نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره سوم، شماره ۲، آبان ماه ۱۳۹۲

شناسایی گزینه‌های مناسب توسعهٔ آتی کاربری اراضی شهری در قزوین به روش مدل‌سازی ایجاد گزینه‌ها

فرهاد حسینعلی*[۱]، علی‌اصغر آل‌شیخ[۲]، فرشاد نوریان[۳]

[۱]استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری- دانشگاه آزاد اسلامی قزوین
frdhal@qiau.ac.ir

[۲]دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی نقشه‌برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
alesheikh@kntu.ac.ir

[۳]دانشیار دانشکدهٔ شهرسازی- دانشگاه تهران
fnoorian@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۲)

چکیده

گسترش سریع و بی‌برنامهٔ کاربریهای شهری اغلب مخاطره‌آمیز و نگران‌کننده است. با توجه به گریزناپذیری توسعهٔ شهری، برنامه-ریزان مسائل شهری همواره به دنبال راه حلهایی هستند که مناطق بهینه را برای گسترش کاربریهای شهری تعیین نمایند. نظر به ماهیت مکانی مسأله، سیستمهای اطلاعات مکانی (GIS)، در گسترهٔ وسیعی از مسائل مکانیابی به کار گرفته شده‌اند. با این وجود به سبب ابعاد گسترده و ماهیت پیچیدهٔ مسأله، آنالیزهای پایهٔ GIS نظیر همپوشانی به تنهایی قادر به در نظر گرفتن تمامی جوانب امر نیستند. به همین دلیل، معمولاً GIS به عنوان یک بستر مناسب، موجبات پیاده‌سازی روشهای مختلف را فراهم می‌آورد. همهٔ روشهای مطرح شده در این وادی به دنبال یافتن راه حلی بهینه با در نظر گرفتن قیود مختلف و متنوع هستند. به هر حال با در نظر گرفتن تمامی مفروضات و قیود احتمالی، ممکن است پاسخ بهینه از نظر اجرایی مطلوب نباشد. لذا منطقی است که چندین راه حل بهینه یا عمدتاً بهینه پیشنهاد شود. در این پژوهش از روش مدلسازی ایجاد گزینه‌ها (MGA) برای یافتن مناطق بهینهٔ توسعهٔ کاربریهای شهری در اطراف شهر قزوین در محدوده‌ای به وسعت ۱۶۲۰ کیلومتر مربع استفاده شده است. ویژگی روش مورد استفاده این است که با گنجاندن قیدی به نام DBDC، پیوستگی و تراکم مناطق مطلوب برای توسعه لحاظ شده، از توسعه‌های پراکنده و جداگانه که عملاً از کیفیت لازم برخوردار نیستند جلوگیری می‌شود. با استفاده از این روش که مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح است، چندین گزینهٔ مطلوب شناسایی و سپس با بررسی و پالایش گزینه‌های تولید شده، سه گزینهٔ مناسب پیشنهاد شده‌اند. نتایج این تحقیق علاوه بر اینکه طرحی از مناطق مطلوب را برای توسعهٔ آتی فرا روی دست‌اندکاران امر قرار می‌دهد، دست آنان را برای انتخاب یکی از گزینه‌ها با توجه به شرایط اجرایی و جوانب کار باز می‌گذارد.

واژگان کلیدی: مدلسازی ایجاد گزینه‌ها، گسترش کاربری اراضی شهری، بهینه‌سازی، GIS.

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

زمین به عنوان نعمتی محدود و ثروتی پایدار، نقش بی بدیلی را در زندگی انسان ایفا می‌نماید. انسانها به دلایل گوناگون همواره و در طول تاریخ بشری تمایل وصف ناشدنی خود را به تصاحب و در اختیار داشتن زمین[۱] و مدیریت آن به خوبی نمایان ساخته‌اند [۱]. در این بین هرچه زمین حاصلخیزتر و از نظر منابع طبیعی غنی‌تر و از نظر موقعیت، استراتژیک‌تر باشد؛ بر ارزش آن افزوده می‌گردد [۲].

اما زمین، این مهد پرورش انسانها و خاستگاه کلیهٔ ثروتهای مادی، چونان دیگر مادیات دچار نقصانی اساسی به نام محدودیت است [۳]. به همین دلیل تلاشهای انسان برای برنامه‌ریزی جهت استفادهٔ درست و مناسب از زمین نیز شکل گرفته است. در طول دوران این تلاشها به واسطهٔ دو عامل مرتباً تقویت و تشدید شده‌اند [۴]: یکی از این عوامل افزایش تراکم جمعیت در شهرها و متناسب با آن افزایش سایر کاربریها به واسطهٔ صنعتی‌تر شدن جوامع است و عامل دیگر رشد چشمگیر فنآوری است که هر از چندگاهی ابزار جدیدی را دردست بشر قرار می‌دهد. تقویت همزمان این دو عامل سبب تشدید هرچه بیشتر تلاشها برای مدیریت زمین به ویژه در مناطق شهری شده است [۵].

پیش‌بینی، پیشنهاد و برنامه‌ریزی کاربری زمین و تغییرات آن دارای سابقه‌ای طولانی است و پیش از مطرح شدن سیستمهای اطلاعات مکانی[۲] (GIS) و حتی پیش از پیدایش رایانه مورد تحقیق و پژوهش واقع شده است [۶]. پیش از پیدایش رایانه، برنامه‌ریزی دربارهٔ زمین توسط متخصصین معماری و گاه با اعمال مدلهای ریاضی انجام می‌پذیرفته است [۷]. با پیدایش این ابزار سودمند و توانا، این عرصه نیز با جهش و پیشرفت شگرفی مواجه شده است. هم اکنون با کمک GIS و با بهره‌گیری از توانایی گستردهٔ محاسباتی رایانه‌ها، انواع و اقسام روشها که بعضاً محاسبات زیادی را به همراه دارند در حوزهٔ کاربری زمین مطرح و به خدمت گرفته شده‌اند [۳].

مکانیابی از کاربردهای مرسوم و رایج GIS به شمار می‌رود[۸]. در این کاربرد با توجه به ملاکهای در نظر گرفته شده، از نقشه‌های مختلف در محیط GIS جهت یافتن مکانهای مناسب برای کاربری مورد نظر استفاده می‌گردد. البته وجود روشهای متنوع و گوناگون جهت تلفیق و استفاده از نقشه‌های اولیه، تنوع بی‌نظیری را به این حوزه از کاربردهای GIS بخشیده است [۹]. این روشها عمدتاً یک یا چند مکان را برای فعالیت مورد نظر پیشنهاد می‌کنند و در اینجا GIS با رویکرد حمایت از تصمیم‌گیری، این امکان را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد تا با استفاده از نتایج پژوهشهای انجام شده، تصمیمی درست و علمی اتخاذ نمایند [۹]. اما آنچه در بسیاری از این قبیل پژوهشها سبب می‌شود که نتایج GIS آنطور که باید و شاید از طرف تصمیم‌سازان مورد توجه قرار نگیرد، انعطاف کم موارد پیشنهادی و محدود بودن گزینه‌هاست [۱۰]. در واقع ممکن است نتایج پیشنهادی با ذهنیات تصمیم‌گیرنده توافق چندانی نداشته باشد و یا اینکه ملاکهای مورد استفاده منجر به نتایج مقبول نشده باشد. گاهی نیز استفاده از این نتایج ممکن است با محدودیتهای اجرایی مواجه شود. در تمامی این موارد آنچه که از هر جهت می‌تواند کارایی مکانیابی را افزایش دهد انجام این فعالیت در قالب گزینه‌های متنوع است. بدین معنی که به جای یک گزینه به عنوان انتخاب بهینه، چندین گزینهٔ عمدتاً بهینه در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار گیرد تا وی با سنجش شرایط، یکی را به عنوان طرح اجرایی انتخاب نماید.

در این تحقیق نیز با تکیه بر مدلسازی ایجاد گزینه‌ها، علاوه بر گزینهٔ بهینه، چندین گزینهٔ عمدتاً بهینه جهت توسعهٔ کاربریهای شهری در ۵ سال آینده برای منطقهٔ قزوین و شهرها و شهرکهای اقماری اطراف آن تعیین می‌گردند. همچنین با در نظر گرفتن قیدی در مسأله، پیوستگی مناطق پیشنهادی حفظ و از پیشنهاد توسعه‌های پراکنده و نامتراکم اجتناب می‌گردد. استفاده از مدلسازی ایجاد گزینه‌ها با در نظر گرفتن شرط پیوستگی در مسائل توسعهٔ کاربریهای شهری همراه با کار در مقیاس وسیع و منطقه‌ای، از نوآوری‌های این تحقیق به شمار می‌رود. همچنین از آنجا که وسعت منطقه سبب تولید متغیرهای بسیار زیادی برای تصمیم‌گیری می‌شود، اجرای

---

[۱] Land
[۲] Geospatial Information Systems

مدل و یافتن پاسخها دارای محدودیتهای اساسی از نظر پردازشی و سخت‌افزاری می‌باشد. لذا، روش نوآورانه‌ای برای مدیریت و کاهش متغیرها و در نتیجه قابل حل سازی مدل پیشنهاد و پیاده‌سازی شده است.

۱-۲- سوابق تحقیق

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[۱] به دو شاخهٔ عمدهٔ تصمیم‌گیری چندشاخصه[۲] و تصمیم‌گیری چندهدفه[۳] تقسیم می‌شوند [۱۱]. در حالیکه در تصمیم‌گیری چندشاخصه هدف انتخاب گزینهٔ برتر در میان چند گزینه با استفاده از یک سری معیارها است، روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه به بهینه کردن چند هدف متفاوت و بعضاً متضاد می‌پردازند [۱۲]. روش‌های برنامه‌ریزی خطی چندهدفه[۴] سیر تکاملی خوبی را طی نموده‌اند و در شاخه‌های مختلفی از علوم به کار گرفته شده‌اند [۱۳]. این روش ابتدا در سال ۱۹۵۱ میلادی توسط کوپمنز[۵]، کاهن[۶] و تاکر[۷] مطرح گردید و به مرور تا سال ۱۹۷۳ میلادی فراگیر شد [۱۱]. به تدریج و از حدود سال ۱۹۹۰ میلادی این مسائل به حوزهٔ اطلاعات مکانی و GIS نیز راه یافت و با توجه به انتظاراتی که از GIS در پشتیبانی از تصمیم‌گیری وجود داشت در این زمینه و به ویژه در مسائل متنوع مکانیابی به خوبی تداوم یافت [۱۴, ۱۵].

همانطور که پیشتر ذکر آن رفت، چنانچه روش مورد استفاده یک جواب برای مسأله داشته باشد ممکن است این جواب برای تصمیم‌گیرندگان مقبول واقع نشود. لذا متخصصان در بازهٔ برنامه‌ریزی خطی به دنبال روشی بودند که چندین گزینه را به عنوان راه حلهای کمابیش بهینه و متفاوت از هم معرفی نماید. به دنبال این موضوع، بریل[۸] و همکاران در سال ۱۹۸۲ میلادی روشی را برای *مدلسازی برای ایجاد گزینه‌ها*[۹] (MGA) مطرح نمودند که با روندی تکراری می‌توانست گزینه‌های متفاوتی را به عنوان راه حل‌های بهینه ارائه دهد [۱۶, ۱۷]. او و همکارانش توانستند با استفاده از این روش ۱۴ حالت گوناگون و مناسب برای تخصیص نسبت مساحت ۱۰ کاربری مختلف به ۱۳ ناحیه در منطقه‌ای واقع در ایلینویز آمریکا معرفی نمایند. وی در این تحقیق ۴ هدف مختلف را برای گزینه‌های به دست آمده بهینه نمود [۱۶].

مدلهای تخصیص منابع نه تنها در برنامه‌ریزی کاربری بلکه در بسیاری از دیگر زمینه‌ها نیز به کار گرفته شدند[۱۸, ۱۹]. این زمینه‌ها شامل مواردی نظیر مدیریت جنگل، طراحی منابع ذخیره‌سازی، مکانیابی دفن زباله، توزیع امکانات، افزایش بهره‌وری کشاورزی و استحصال زمین می‌شود. به عنوان نمونه کیمبال[۱۰] در سال ۱۹۸۸ میلادی با به کارگیری MGA گزینه‌های مختلفی را برای حداکثر نمودن سود باغات سیب ایجاد نمود [۱۰].

روش MGA در تولید گزینه‌های مختلف دارای این اشکال بود که مکانهای تخصیص کاربری شده دارای پیوستگی لازم نبودند [۲۰]. بدین ترتیب کاربریهای پراکنده‌ای حاصل می‌شد که از نظر عملی محل اشکال بود. لذا لیگمن[۱۱] و همکارانش با افزودن قید جدیدی به این مدل، حداکثر پیوستگی را برای آن به وجود آوردند. همچنین آنها بررسی بیشتر بر روی چنین قیدی را پیشنهاد نمودند [۱۸, ۲۰]. با این وجود، روش مزبور همواره دارای محدودیتهای پردازشی می‌باشد. چرا که در این مسائل تمام قطعات زمین به عنوان گزینه مطرح هستند و با وسعت یافتن محدوده، تعداد گزینه‌ها بسیار زیاد شده، بسیار محتمل است که حل مسأله از توان ابزارهای پردازشی معمول فراتر رود.

از دیدگاه دیگر، در زمینهٔ گسترش شهر و گسترش کاربریهای شهری تحقیقات متعددی در ایران و جهان انجام گرفته است. در ایران به زعم نویسندگان تحقیقات مرتبط با گسترش شهر، در زمینهٔ شبیه‌سازی و پیش‌بینی توسعه‌های شهری فراوان‌ترند[۲۱, ۲۲] و در زمینهٔ بهینه-سازی، تحقیقات غالباً بر مکانیابی با استفاده از روشهای چندمعیاره و GIS متمرکز بوده‌اند[۳]. از این قسم می-توان به تحقیقی که به منظور ارزیابی توان اکولوژیک منطقهٔ قزوین جهت تعیین نقاط بالقوه توسعه شهری

---

۱ Multi Criteria Decision Making (MCDM)
۲ Multi Attribute Decision Making (MADM)
۳ Multi Objective Decision Making (MODM)
۴ Multi Objective Linear Programming
۵ Koopmans
۶ Kuhn
۷ Tucker
۸ Brill
۹ Modeling to Generate Alternatives (MGA)
۱۰ Kimball
۱۱ Ligmann

توسط قرخلو و همکاران انجام گرفت اشاره نمود [۲۳]. محققین در این پژوهش با استفاده از پارامترهای متنوع اکولوژیکی و زیستی، توان اکولوژیک توسعهٔ شهری قزوین را بر اساس تناسب اراضی از طریق منطق بولین در محیط GIS تعیین نموده‌اند. در مجموع نویسندگان بر این باورند که مدلسازی توسعه‌های شهری به ویژه در ابعاد منطقه‌ای از موضوعاتی است که کماکان عرصهٔ گسترده‌ای برای پژوهش در مورد آن در ایران وجود دارد.

۲- مدل‌سازی ایجاد گزینه‌ها

یکی از روش‌های معمول تخصیص زمین[۱] همپوشانی وزندار نقشه‌ها است [۲۴]. چنین روشی ممکن است منجر به تخصیص زمینهایی به صورت پراکنده شود و از پیوستگی و تراکم لازم برخوردار نباشد [۱۸]. تراکم عبارت است از اختصاص دادن کاربریهای مورد نظر به محلهایی که در مجاورت مستقیم یکدیگر هستند و باعث ایجاد بلوکهای غیر کشیده می‌شود. همچنین پیوستگی عبارت است از درجه‌ای که یک کاربری مشخص به یک قسمت متصل از کاربریها اختصاص یافته است. پیوستگی ممکن است به شکل توسعه‌های طولی و کشیده بروز نماید [۲۵] .

پایه و اساس بهینه‌سازی مکانی چند هدفه، توانایی این روش در یافتن راه حلهای مناسب برای مسأله است [۱۸]. به عبارت دیگر، استفاده از این روش سبب می‌گردد از انتخاب راه حلهای نامطلوب[۲] اجتناب شود. در این روش ضمن در نظر گرفتن محدودیتهای موجود برای متغیرهای مسأله، تابعی به عنوان هدف وجود دارد که مقدار بهینهٔ آن با توجه به محدودیتهای موجود، محاسبه می‌گردد[۲۶, ۲۷]. برای تخصیص کاربری به قطعات زمین به صورت چندهدفه که بهینه‌سازی مکانی به شمار می‌رود، یکی رایج‌ترین راهها استفاده از برنامه‌ریزی خطی است. در این صورت لازم است تمهیدات خاصی در قیود مسأله گنجانده شود که پیوستگی و تراکم راه حلهای پیشنهادی تضمین شود [۲۸]. به هر حال صورت کلی روابط به شکل زیر خواهد بود [۲۹]:

بهینه کنید $Z=CX$

مشروط بر آنکه $AX<b\ ,\ X>0$

که در این روابط Z تابع هدف است که بسته به صورت مسأله بیشینه یا کمینه می‌شود، C بردار هزینه یا ضرایب، X بردار متغیرهای تصمیم، A ماتریس ضرایب محدودیتها و b بردار منابع می‌باشد.

در این تحقیق، مسأله به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۰]:

Maximize

$$\sum_j v_j x_j \qquad (۱)$$

$$\sum_j a_j x_j \qquad (۲)$$

$$\sum_j n_j x_j \qquad (۳)$$

به شرطی که:

$$\sum_j x_j = d \qquad (۴)$$

$$S_j + \sum_{i \in M_j} x_i \geq b x_j ; \forall j \qquad (۵)$$

$$x_j \in \{۰,۱\}, x_i \in \{۰,۱\} \qquad (۶)$$

که در این روابط:

x متغیر مسأله

i و j موقعیت سلولهای توسعه نیافته

v_j ارزش زمین در موقعیت j

a_j جذابیت زمین در موقعیت j

n_j میزان دسترسی در موقعیت j

d میزان برآورد شدهٔ نیاز به توسعه

M_j مجموعهٔ همسایه‌های توسعه نیافته در موقعیت j

S_j تعداد همسایه‌های پیشتر توسعه یافتهٔ موقعیت j، و

b حداقل تعداد همسایه‌های توسعه یافته در موقعیت j است که باید در پایان تخصیص، توسعه یافته باشند.

در روابط بالا، شرط اول مسأله (رابطهٔ ۴) توسعه به اندازهٔ مورد نظر را تضمین می‌کند و شرط سوم مربوط به دودویی بودن متغیرهاست. شرط دوم نیز همان قید

[۱] Land Allocation
[۲] Inferior

DBDC[۱] است که پیوستگی و تراکم توسعه‌ها را در پی خواهد داشت. در نتیجهٔ این شرط، یک سلول در صورتی توسعه می‌یابد که یا در مجاورت مناطق توسعه یافته باشد و یا حداقل همراه با همسایگانش توسعه یابد. b یک عدد طبیعی است که حداکثر می‌تواند برابر تعداد همسایگان یک سلول باشد. هر چه قدر میزان b بیشتر باشد، توسعه را مقید به تراکم و پیوستگی بیشتری می‌کند. با انجام این بهینه‌سازی، پاسخ مسأله که عبارت است از توسعه به میزان لازم که باعث حداکثرسازی اهداف مسأله با در نظر گرفتن قیود تعریف شده می‌شود، محقق می‌گردد. این پاسخ جواب بهینهٔ مسأله خواهد بود. سپس روش MGA وارد عمل می‌شود تا پاسخهای عمدتاً بهینه را بیابد. البته روش MGA تنها با برنامه‌ریزی خطی همراه نمی‌شود و می‌تواند پس از روشهای دیگر نظیر همپوشانی وزندار نیز به کار گرفته شود[۳۰].

چندین تکنیک می‌توانند در روش MGA برای تولید سایر پاسخها به کار گرفته شوند که بهترین آنها تکنیک HSJ[۲] است [۳۰]. مطابق این تکنیک پس از اینکه بهینه-سازی توسط مدل اولیه انجام گرفت، یک برنامه ریزی خطی به صورت زیر انجام می‌شود [۳۱]:

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{k \in K} x_k \qquad (۷)$$

مشروط بر آنکه

$$f_j(x) \geq u_r V_j \ , \forall j \qquad (۸)$$
$$x \in X$$

که در این روابط:

x_k متغیر تصمیم‌گیری است

K مجموعه‌ای است از متغیرهای تصمیم که در مدل اولیه مثبت (برابر یک) بوده‌اند.

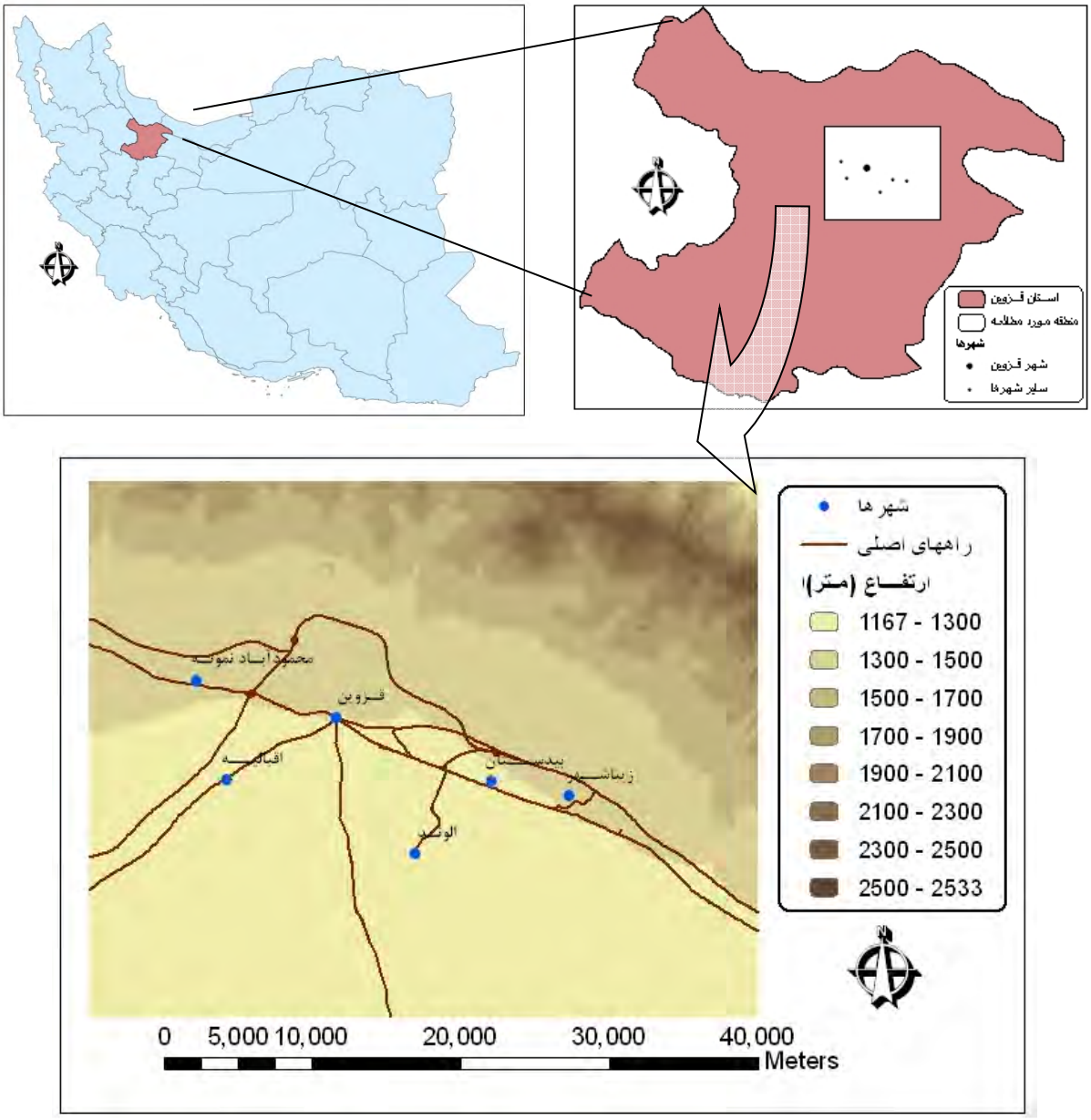
$f_j(x)$ اهداف مدل است.

V_j مقدار راه حل بهینهٔ به دست آمده در مدل اولیه است، و

u_r مقدار رواداری[۳] است که توسط کاربر برای مقدار راه حل بهینه در نظر گرفته می‌شود

در بیان ساده‌تر می‌توان گفت پس از به دست آمدن راه حل بهینه و مقدار آن، کاربر آن را در ضریبی به نام رواداری که معمولاً بین ٪۹۰ تا ٪۹۷/۵ درصد است ضرب می‌نماید و این مقدار حداقلی خواهد بود که سایر راه حلها باید آن را کسب نمایند بنابراین به صورت قید در رابطه گنجانده می‌شود. ولی این بار تابع هدف حداقل کردن متغیرهای تصمیم‌گیریی خواهد بود که در راه حل اولیه مثبت (در اینجا برابر یک) بوده‌اند. بدین ترتیب، مدل به دنبال راه حلی خواهد بود که ضمن رعایت کردن حداقل مقدار بهینه -که ضریبی از مقدار بهینهٔ اولیه است- حداکثر تفاوت را با راه حل قبلی داشته باشد. پس از به دست آمدن راه حل عمدتاً بهینهٔ نخست، متغیرهای تصمیم جدید که مثبت بوده‌اند به مجموعهٔ K افزوده می-شود. برای مثال چنانچه ۱۰ گزینه، حالت بهینه را فراهم آوردند؛ مدل در جستجوی گزینه‌های دهگانهٔ دیگری می-گردد که کمترین اشتراک را با ۱۰ گزینهٔ بهینه داشته باشند و در عین حال حائز حداقل ٪۹۰ تا ٪۹۷/۵ درصد بهینگی ۱۰ گزینهٔ نخست شوند. سپس گزینه‌های جدیدی که یافته می‌شوند به جمع ۱۰ گزینهٔ نخست اضافه می-گردند و این روند مجدداً تکرار می‌شود. شرط توقف تکرارها معمولاً این است که دیگر متغیر تصمیم جدیدی به مجموعهٔ K افزوده نگردد. پاسخهای به دست آمده همگی دارای حداقل مقدار بهینگی خواهند بود ولی میزان تفاوت آنها با یکدیگر طی آنالیزهای بعدی روی پاسخها، مشخص می‌شود.

[۱] Density-Based Design Constraint
[۲] Hop-Skip-Jump
[۳] Relaxation



شکل ۱- منطقهٔ مورد مطالعه، شامل شهر قزوین و پنج شهر اطراف آن

۳- منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش قسمتی از استان قزوین شامل بخش مرکزی شهرستان قزوین به علاوهٔ شهرستان البرز است (شکل ۱). این منطقه به شکل مستطیلی با طول ۴۵ و عرض ۳۶ کیلومتر، در قاچ ۳۹ شمالی از سیستم مختصات UTM قرار گرفته است، به طوری که از مختصات $\begin{cases} X = ۳۹۴۰۰۰ \\ Y = ۳۹۹۴۰۰۰ \end{cases}$ در جنوب غربی تا مختصات $\begin{cases} X = ۴۳۹۰۰۰ \\ Y = ۴۰۳۰۰۰۰ \end{cases}$ در شمال شرقی را پوشش می‌دهد.

جدا از تقسیمات کشوری، منطقهٔ در نظر گرفته شده مجموعه‌ای است شامل شهر قزوین و شهرها و شهرکهای اقماری اطراف آن که در معرض توسعهٔ شهرنشینی قرار دارند. وجود واحدهای متعدد صنعتی و نیز مناطق وسیع کشاورزی در کنار نزدیکی به پایتخت و قرار گرفتن در مسیر شاهراه غرب و شمال غرب کشور سبب جاذبهٔ هر چه بیشتر این منطقه برای سکونت و شهرنشینی شده

است. به همین دلیل است که شهرهای منطقه علاوه بر مهاجرت روستاییان به شهر، شاهد ورود مهاجران از شهرهای دیگر و حتی استانهای دور و نزدیک هستند. سرشماریها نشان می‌دهد جمعیت شهری قزوین از ۵۵۲۹۲۸ نفر در سال ۱۳۷۵ به ۷۷۷۹۷۵ نفر در سال ۱۳۸۵ رسیده است که در همین مدت شاهد کاهش ۵۰۱۰۴ نفری جمعیت روستایی بوده‌ایم [۳۲]. همچنین بررسی نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۸۴ و سال ۱۳۸۹ منطقه، حاکی از رشد حدود ۱۲۰۰ هکتاری کاربریهای شهری در مدت مذکور است. هم‌اینک حتی برخی از روستاهای اطراف شهر نیز شاهد حضور ساکنان غیر بومی هستند که برای یافتن سکونتگاه ارزان در آنجا اقامت گزیده‌اند و برای کار و تحصیل به شهر رفت و آمد می‌کنند.

۴- داده‌های مورد استفاده

محققین مختلف داده‌ها و نقشه‌های مختلفی را به عنوان عوامل تأثیرگذار در توسعهٔ کاربری اراضی شهری مورد استفاده قرار داده‌اند. در این بین بعضی داده‌ها حضور ثابتی را در بیشتر این تحقیقات داشته‌اند. در برخی تحقیقات سعی شده است که تعداد نقشه‌ها و پارامترهای بیشتری مورد استفاده قرار گیرند. با این وجود، بننسن و ترنز[۱] بیان می‌کنند که استفاده از معیارها و پارامترهای بیشتر تنها مسأله را پیچیده‌تر می‌کند و کمکی به بهبود نتایج نمی‌کند [۳۳]. ودل[۲] هم اذعان می‌کند که استفاده از نقشه‌های بیشتر به عنوان معیارهای گسترش کاربری اراضی، سبب استفاده از داده‌های وابسته و در نتیجه منجر به منحرف شدن نتایج می‌گردد [۳۴].

با این توضیحات سه معیار مهم در این تحقیق برای مکان‌گزینی جهت گسترش کاربری اراضی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از: ارزش زمین، دسترسی و جذابیت. این معیارها نماد سه رکن توسعهٔ پایدار هستند [۳۵]. بدین صورت که ارزش زمین نمایندهٔ اقتصاد، جذابیت نمایشگر بخش اکولوژیک و دسترسی نیز متناظر با تساوی حقوقی است. معیارهای مزبور در قالب سه نقشهٔ رستری با اندازهٔ سلول ۱۰۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند و هر یک حاصل اثر و ترکیب چندین نقشهٔ دیگر است. با این شیوه، معیارهای مختلف دسته‌بندی و ترکیب شده، در قالب سه معیار اصلی تبلور می‌یابند.

برای تهیهٔ نقشهٔ ارزش زمین سه معیار اقتصادی، فیزیکی و قانونی مد نظر قرار داشته است. معیار اقتصادی نشانگر قیمت زمین است که با بررسی میدانی در منطقه به دست آمده است. در دیدگاه قانونی، مستعد بودن زمینها برای توسعه در نظر گرفته شده‌اند. با این توصیف که مستعدترین زمینها برای توسعه زمینهایی بوده‌اند که از سوی مراجع قانونی نظیر سازمان مسکن و شهرسازی و شهرداریها برای توسعه و ساخت و ساز در نظر گرفته و در قالب نقشه‌های تفضلیی و جامع توسعهٔ شهری ارائه شده‌اند. زمینهای دیگر در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند تا جایی که با رویکردی زیست‌محیطی، باغها به عنوان غیرمستعدترین زمینها لحاظ شده‌اند. در دیدگاه فیزیکی نیز شیب زمین و جنس خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با افزایش شیب از قابلیت زمین برای توسعه کاسته می‌شود. لذا منطقه از نظر شیب طبقه‌بندی و ارزش هر طبقه یا کلاس توسط کارشناس تعیین شد. همچنین جنس خاکهای مختلف از نظر کارشناسی جهت ساخت و ساز ارزش‌گذاری گردید و سپس با کلاسهای در نظر گرفته شده برای نقشهٔ شیب ترکیب گردید.

نقشهٔ دسترسی نشان‌دهندهٔ نسبت سلولها برای دسترسی به شهر قزوین از نظر زمانی است. برای تهیهٔ چنین نقشه‌ای ابتدا تمامی راههای منطقهٔ مورد مطالعه از آزادراه گرفته تا راه جیپ‌رو استخراج و سرعت حرکت در آنها تعیین شد. همچنین سرعت حرکت پیاده در یک منطقهٔ مسطح شش کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شد که این مقدار با افزایش شیب کاهش می‌یابد[۳۶]. بدین ترتیب کوتاهترین فاصلهٔ زمانی هر سلول تا نزدیکترین کران شهر قزوین استحصال گردید.

در تعیین جذابیت یک منطقه معمولاً نزدیکی به عرصه‌های آبی، پارکها، جنگلها، رودخانه‌ها، برکه‌ها و فضاهای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در منطقهٔ مورد مطالعه از میان عوارض فوق تنها پارکها و باغها وجود دارند. لذا میزان نزدیکی به باغها و پارکها برای تهیهٔ نقشهٔ جذابیت مورد استفاده قرار گرفت. معیار دیگری که در این زمینه لحاظ شد، چشم‌انداز منطقه بود. بدین ترتیب که مناطقی که بر اساس مدل رقومی زمین، بر شهر قزوین

[۱] Benenson and Torrens
[۲] Waddell

مشرف بودند از مزیت بالاتری نسبت به سایر مناطق برخوردار شدند.

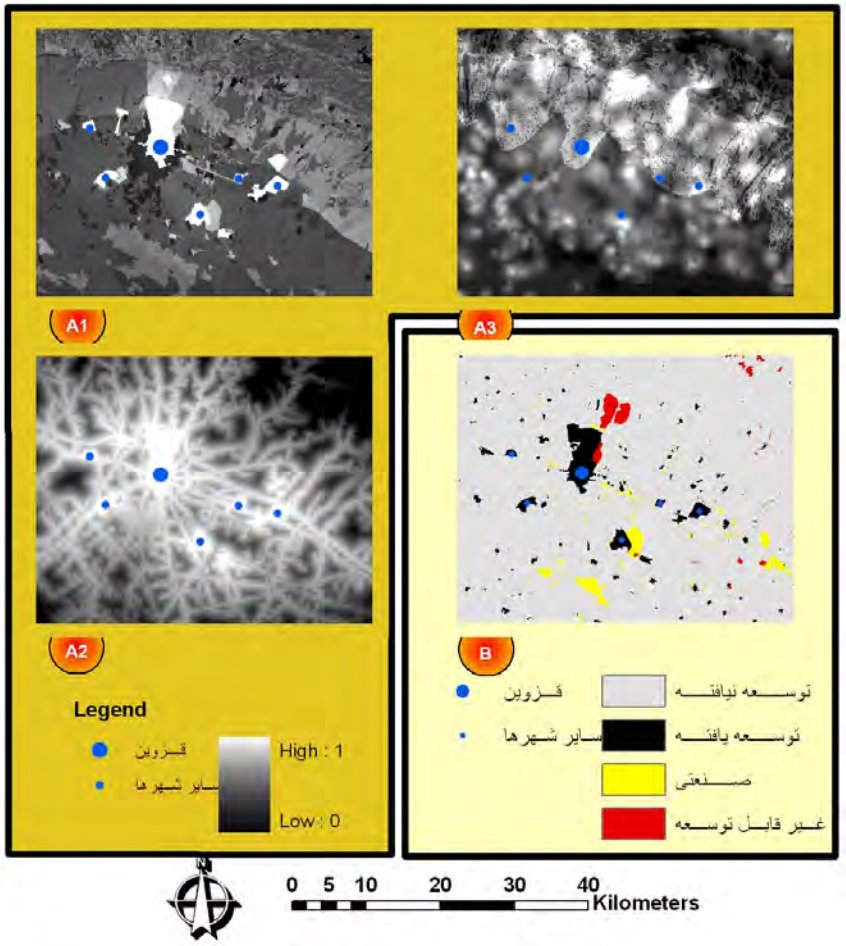
گفتنی است برای آماده‌سازی این نقشه‌ها از روش جمع وزنی نقشه‌های تشکیل‌دهندهٔ آنها استفاده شد. همچنین تمامی نقشه‌ها پیش از ترکیب به صورت نرمالیزه درآمدند. بنابراین در نهایت هر سه نقشهٔ معیار دارای مقادیری بین صفر و یک هستند. وزن نقشه‌ها نیز مطابق با نظر کارشناسی برابر با ۰/۶۶، ۰/۲۲ و ۰/۱۲ به ترتیب برای نقشه‌های ارزش زمین، دسترسی و جذابیت تعیین گردید.

در نهایت لازم است که مناطق توسعه یافته در سال مورد پژوهش مشخص شوند. بدین منظور تصاویر سنجندهٔ P5 ماهوارهٔ IRS برای تشخیص مناطق توسعه یافته در سال ۱۳۸۹ مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. در نقشه‌های معیار رنگ روشن‌تر به معنای مطلوبیت بیشتر است. همچنین در نقشهٔ توسعهٔ شهری سال ۱۳۸۹، منظور از مناطق غیر قابل توسعه مناطقی است که کاربری نظامی و یا منابع طبیعی دارند.

برای تعیین میزان نیاز به توسعه در پنج سال آینده، ابتدا لازم است که تغییرات جمعیت در این مدت برآورد گردد. پارامترهایی نظیر نرخ رشد جمعیت، هرم سنی، امید به زندگی و مهاجرت از مهمترین عوامل مؤثر در نوسانات جمعیت به شمار می‌روند [۳۷]. بنابراین با استخراج این اطلاعات از مرکز آمار ایران جمعیت شهری منطقه در پنج سال آینده با کمک نرم‌افزار Spectrum برآورد گردید. از سوی دیگر با مقایسهٔ نقشه‌های سال ۱۳۸۴ و سال ۱۳۸۹ توسعهٔ کاربریهای شهری در فاصلهٔ زمانی مزبور به میزان ۱۲۰۰ هکتار محاسبه شد. بررسی پروانه‌های ساختمانی صادر شده در چند سال اخیر نیز حاکی از آن است که با انبوه‌سازی و فشرده‌سازی، بخشی از نیازهای توسعه با افزایش تراکم جذب می‌گردد. لذا با در نظر گرفتن عوامل مذکور، میزان توسعهٔ کاربریهای شهری در پنج سال آینده ۱۳۰۰ هکتار برآورد گردید.

همچنین برای اجرای مدل، ضروری است که پارامتر b و میزان رواداری مشخص گردد. چنانچه b برابر صفر باشد، شرط تراکم و پیوستگی لحاظ نمی‌شود و با افزایش b این شرط سختگیرانه تر می‌شود. افزایش b گرچه ممکن است به دلیل الزام توسعه‌ها به پیوستگی و تراکم بیشتر، مناسب به نظر بیاید ولی در عین حال سبب می‌شود که پاسخها از بهینگی فاصله بگیرند. به عبارت دیگر ممکن است برخی مناطق مطلوب صرفاً به دلیل سختگیرانه بودن شرط DBDC از حوزهٔ انتخاب مدل خارج شوند. علاوه بر آن چنانچه بخواهیم سایر گزینه‌های عمدتاً بهینه را شناسایی نماییم، سختگیرانه بودن شرط DBDC سبب کاهش هر چه بیشتر تفاوت بین گزینه‌های یافت شده می‌شود. با این اوصاف در برخی تحقیقات برای یافتن مقدار مناسب برای b اقدام به اجرای مدل با در نظر گرفتن مقادیر مختلف این پارامتر شده است [۲۰]. در اینجا بر پایهٔ تحقیقات قبلی مقدار b برابر با یک در نظر گرفته می‌شود [۳۱]. تأثیر میزان رواداری نیز تا حدودی شبیه به پارمتر b است. رواداری نشان می‌دهد که پاسخ‌های عمدتاً بهینه تا چه حد می‌توانند از حداکثر بهینگی به دست آمده فاصله بگیرند. بنابراین با کاهش رواداری عملکرد مدل سختگیرانه‌تر می‌شود و پاسخها اختلاف کمتری از نظر بهینگی با پاسخ بهینه خواهند داشت و در عوض گزینه-های پیشنهادی مدل دارای تفاوت کمتری خواهند بود. در این مورد نیز بر پایهٔ تحقیقات پیشین [۳۱]، میزان رواداری برابر با ٪۲/۵ در نظر گرفته شد. به عبارتی گزینه-های عمدتاً بهینه باید حداقل ٪۹۷/۵ مطلوبیت گزینهٔ بهینه را کسب نمایند.

شایان ذکر است که در این مطالعه، نرم افزار ArcGIS 9.3 جهت آماده‌سازی داده‌ها، تحلیل و اخذ خروجی مورد استفاده قرار گرفت. جهت پیش‌بینی جمعیت آینده از نرم‌افزار Spectrum استفاده گردید. نرم‌افزار LINGO 12.0 برای انجام بهینه‌سازی به کار گرفته شد و از نرم‌افزار MATLAB 2008 نیز برای اخذ همسایگیهای مکانی و آماده‌سازی ورودیهای نرم‌افزار LINGO و همچنین تبدیل نتایج حاصل از این‌نرم افزار به قالب مکانی بهره گرفته شد.



شکل ۲- نقشه‌های معیار: A1 ارزش زمین، A2 دسترسی، A3 جذابیت. B توسعهٔ شهری سال ۱۳۸۹

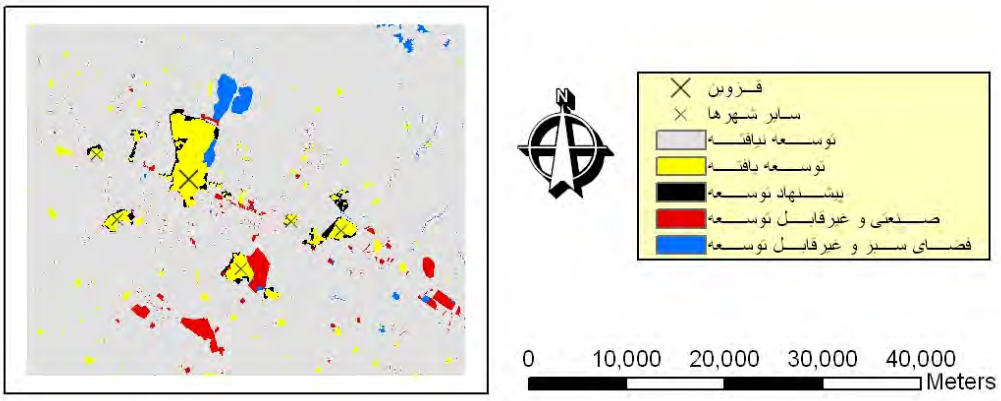
۵- پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

یکی از مشکلات عمدهٔ این تحقیق، اجرایی کردن آن به دلیل تعداد زیاد متغیرهاست. تعداد سلولهای قابل توسعه در سرزمین مورد مطالعه برابر ۱۵۰۹۵۱ سلول از میان ۱۶۲۰۰۰ سلول موجود است. بنابراین تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در مرحلهٔ اول بهینه‌سازی برابر ۱۵۰۹۵۱ متغیر دودویی است که در بین آنها ۱۳۰۰ متغیر باید برای توسعه انتخاب شوند. حل نمودن مسأله‌ای با این تعداد زیاد از متغیر، برای نرم‌افزار در رایانه‌های موجود امکانپذیر نیست. بنابراین لازم بود تدبیری برای حل این معضل اندیشیده شود. لذا، تصمیم گرفته شد که تعداد متغیرهای مسأله کاهش یابد. بدین منظور استدلالی بر پایهٔ میزان تفاوت پاسخها با پاسخ بهینهٔ مسأله استوار گردید. بر اساس این استدلال، پاسخهای عمدتاً بهینهٔ مسأله باید از حداقل معلومی از تفاوت با پاسخ بهینه برخوردار باشند و لذا تفاوتهای اندک که زیر این حد قرار می‌گیرند، پذیرفتنی نبوده و قابل صرف نظر کردن هستند. بر این اساس مقدار ٪۲۰ به عنوان حداقل تفاوت میان پاسخها در نظر گرفته شد که با فرض ۱۳۰۰ سلول برای توسعه، این مقدار معادل با ۲۶۰ سلول خواهد بود. با این فرض، می‌توان حد پایینی مطلوبیت سلول‌هایی را که ممکن است در پاسخها حضور یابند به دست آورد. بدین منظور به ترتیب زیر عمل می‌شود:

ابتدا تمام سلول‌های قابل توسعه بر اساس مطلوبیت به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. سپس مکمل درصد تفاوت محاسبه می‌شود که در اینجا برابر ٪۸۰ و معادل ۱۰۴۰ سلول است. میزان مطلوبیت مجموع سلول‌های انتخاب شده به عنوان سلول‌های بهینه نیز محاسبه و مقدار رواداری (در اینجا ٪۹۷/۵) روی آنها اعمال می‌شود. یعنی پاسخهای عمدتاً بهینه باید دست کم این مقدار از مطلوبیت را کسب نمایند. حال، ضعیف‌ترین سلولهایی که می‌توانند در میان پاسخها حاضر باشند، سلول‌هایی

هستند که در کنار سلول‌های صدر فهرست مطلوبیت، مجموعاً حائز مقدار حداقل مطلوبیت شوند. با این استدلال، میزان مجموع مطلوبیت ٪۸۰ سلولهای صدر فهرست مطلوبیت محاسبه و از میزان مطلوبیت جمعی مورد نیاز با احتساب رواداری کاسته می‌شود. میزان باقیمانده مقدار مطلوبیتی است که باید توسط ٪۲۰ سلول مابقی کسب شود. برای یافتن این سلولها، از انتهای فهرست مطلوبیت ۲۶۰ سلول انتخاب و میزان مطلوبیت جمعی آنها حساب می‌شود. چنانچه مقدار محاسبه شده، کمتر از کمینهٔ مقدار مورد نیاز بود، یک سلول از انتهای مجموعه –که طبیعتاً دارای پایین‌ترین مطلوبیت است– حذف شده، به جای آن یک سلول بالاتر از مجموعه، به آنها اضافه می‌گردد تا میزان مطلوبیت جمعی افزایش یابد. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که مطلوبیت جمعی این مجموعه حداقل مقدار مورد نیاز را کسب نماید و بدین ترتیب پایین‌ترین سلول مجموعه، حد پایینی سلول‌های حائز شرایط به شمار خواهد رفت و تمام سلول‌های بالای آن قابلیت شرکت در پاسخ‌های عمدتاً بهینه را با احتساب تفاوت ٪۲۰ خواهند داشت.

با انجام این عملیات، تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری از ۱۵۰۹۵۱ به ۱۳۰۴۸ کاهش یافت که با این تعداد متغیر می‌توان از طریق نرم‌افزار LINGO و سخت‌افزارهای موجود به پاسخ دست یافت. پاسخ بهینه در شکل ۳ و پاسخهای عمدتاً بهینه که به اندازهٔ ٪۹۷/۵ پاسخ بهینه، مطلوبیت دارند در شکلهای ۴ و ۵ نمایش داده شده‌اند. شایان ذکر است که در این شکل‌ها به دلیل گستردگی منطقه و محدودیت فضا برای نمایش شکل، ممکن است جزئیات سلول‌های منفرد، تنها با صرف دقت قابل مشاهده باشند ولی آنچه کاملاً واضح می‌باشد؛ الگوی گسترش است که با رنگ مشکی نسبت به سایر مناطق به خوبی متمایز گردیده است. همچنین در جدول ۱، تعداد سلول‌های انتخاب شده در هر تکرار و تعداد سلول‌های تکراری نسبت به موارد قبلی نشان داده شده است.

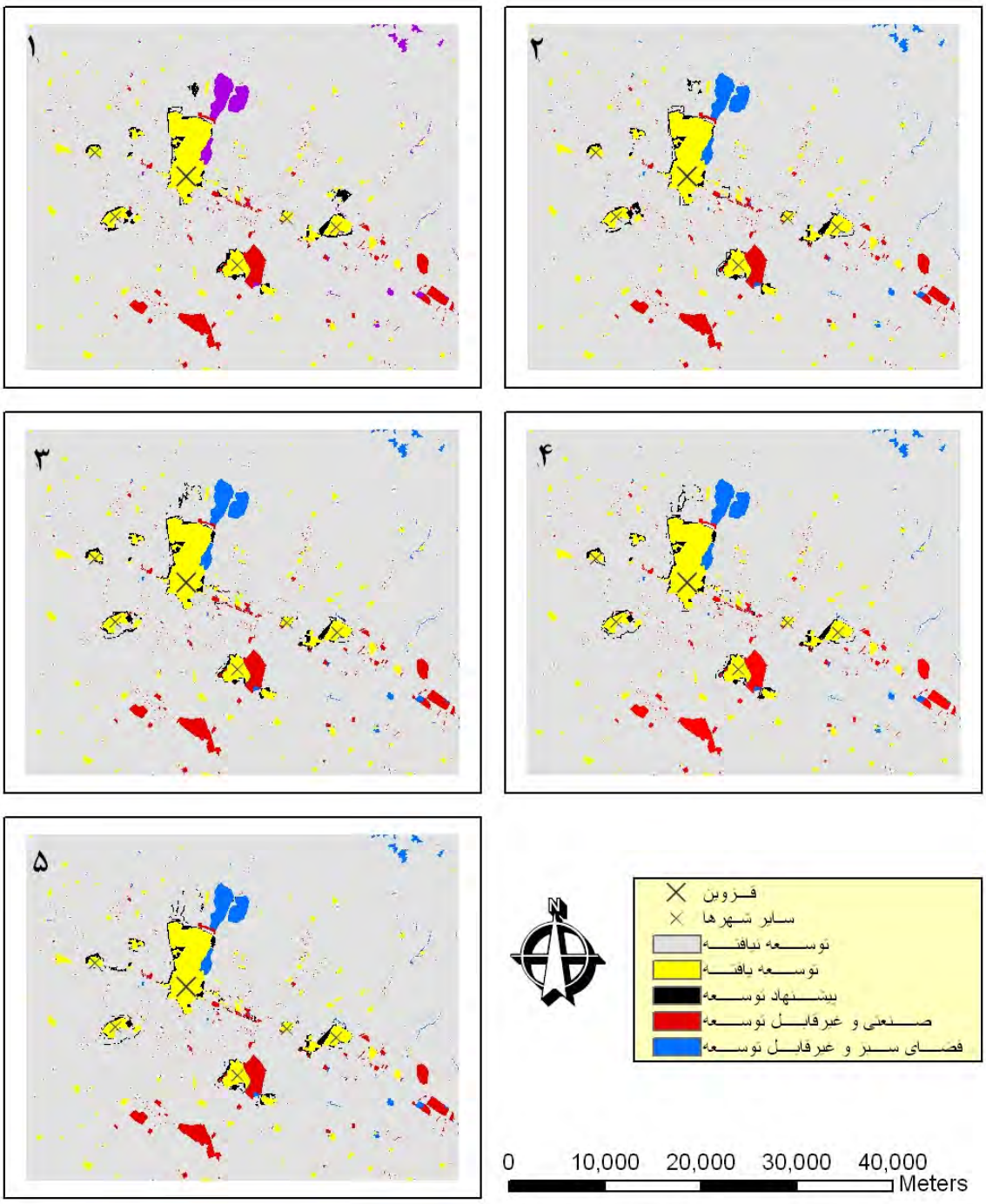


شکل ۳- مناطق بهینهٔ شناسایی شده برای توسعه

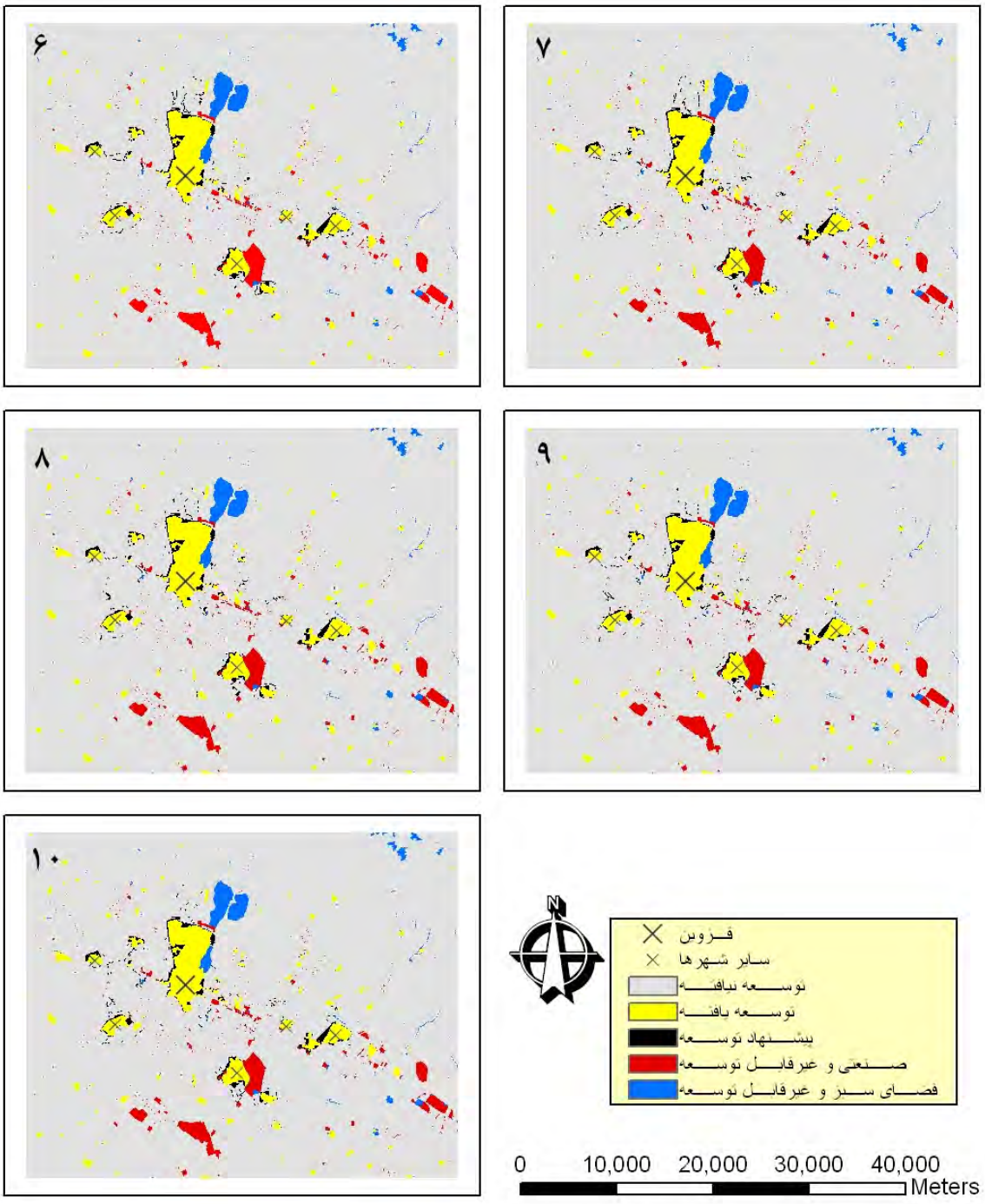
جدول ۱- مراحل اجرا شده و تعداد سلولهایی که قبلاً نیز انتخاب شده بودند.

شمارهٔ اجرا	تعداد سلولهای پیشنهاد توسعه	تعداد سلولهای تکراری
اجرای اولیه (بهینه)	۱۳۰۰	۰
۱	۱۳۰۰	۷۴۴
۲	۱۳۰۰	۸۹۱
۳	۱۳۰۰	۹۴۱
۴	۱۳۰۰	۹۶۷
۵	۱۳۰۰	۹۸۳
۶	۱۳۰۰	۹۹۳
۷	۱۳۰۰	۱۰۰۱
۸	۱۳۰۰	۱۰۰۷
۹	۱۳۰۰	۱۰۱۲
۱۰	۱۳۰۰	۱۰۱۶

همانگونه که در جدول ۱ مشخص شده است، اولین تکرار ۷۴۴ سلول مشترک با بهینه‌سازی اولیه دارد که به معنی حدوداً ٪۵۷ اشتراک است. با اضافه شدن سلولهای جدیدی که در هر تکرار به مجموعهٔ سلولهای انتخاب شده افزوده می‌شوند، قدرت انتخابها محدود می‌شود و از تعداد سلولهای جدیدی که در هر تکرار انتخاب می‌شوند کاسته می‌شود تا جایی که در تکرار دهم، تعداد این سلولها به ۲۸۴ سلول می‌رسد. با کم شدن سلولهای جدید و نیز ملاحظهٔ نقشه‌های به دست آمده در تکرارها، تعداد ۱۰ تکرار کافی تشخیص داده شد. چه اینکه میزان تفاوت به حدود ٪۲۰ رسید و مقادیر کمتر از آن قابل قبول نیستند.



شکل ۴- پنج مورد اول از مناطق عمدتاً بهینهٔ شناسایی شده برای توسعه



شکل ۵- پنج مورد دوم از مناطق عمدتاً بهینهٔ شناسایی شده برای توسعه

شکل ۵ نشان می‌دهد که مناطق مطلوب برای توسعهٔ شهری عمدتاً در حاشیهٔ شهر قزوین و شهرهای بزرگ آن قرار دارند و مناطق پراکنده و نیز روستاهای اطراف، گزینه‌های مناسبی به شمار نمی‌روند. همچنین با توجه به تخصیص وزن بالاتر به ارزش زمین، این نقشه بیشترین نقش را در این پاسخ ایفا نموده است. در تعیین ارزش زمین نیز یکی از ملاکهای مهم، برنامه‌های آیندهٔ توسعهٔ شهری بوده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که قسمت عمده‌ای از مناطق بهینه در زمینهایی قرار گرفته‌اند که در طرحهای جامع و تفضیلی برای توسعه در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر آن، حاشیهٔ شهرها، به خصوص شهر قزوین به دلیل فراهم بودن انواع امکانات شهری و دسترسی خوب، مناطق مطلوبی برای توسعه به شمار می‌روند. آنچه گسترش شهر قزوین را در مناطق جنوبی

محدود نموده، وجود باغهای متراکم در این منطقه می‌باشد که سبب شده است ارزش زمین در این مناطق کاهش یابد. چراکه در تهیهٔ نقشهٔ ارزش زمین و از نظر معیار قانونی، کمترین مطلوبیت ممکن برای باغها در نظر گرفته شده است و بدین ترتیب سعی شده حداکثر توجهات زیست محیطی به عمل آورده شود.

نکتهٔ دیگری که در شکلها مشهود است، عملکرد موفق شرط DBDC است که چه در بهینه‌سازی اولیه و چه در تکرارهای بعدی مانع از توسعهٔ سلولهای منفرد گردیده است. بدین ترتیب شرط پیوستگی رعایت شده و تراکم نیز در بسیاری از موارد حفظ شده است. مورد دیگری که با مرور شکلها به نظر می‌رسد این است که تعدادی از سلولها که در حومهٔ بلافصل شهرها به ویژه قزوین قرار گرفته‌اند، از مطلوبیت بالایی برخوردارند و در تمام تکرارها ثابت مانده‌اند. لذا سلولهای دیگری هستند که در سطح مطلوبیت پایین‌تری قرار دارند و در هر تکرار، دسته‌ای از آنها به جواب اضافه شده، به کمک سلولهای ثابت به مطلوبیت جمعی مورد نظر دست می‌یابند.

در نهایت، مراجعه به روند تکرارها نشان می‌دهد که با افزوده شدن بر تعداد تکرارها، پاسخها به تدریج دچار پراکندگی بیشتری می‌شوند. توجیه این روند مشخص است. در اولین تکرار بهترین سلولهای ممکن که کمترین اشتراک امکانپذیر را با حالت بهینه دارند انتخاب می‌شود. در تکرارهای بعدی شرط بهینه‌سازی بر متفاوت بودن سلولها فشار وارد می‌آورد و سلولهایی انتخاب می‌شوند که گرچه مجموعاً به حداقل سطح مطلوبیت دست می‌یابند ولی به تدریج دارای مطلوبیت کمتری می‌شوند. لذا در تکرارهای بالا سلولهایی وارد پاسخ می‌شوند که مطلوبیت آنها به مراتب کمتر از تکرارهای اولیه است و فقط در کنار بهترین سلولها می‌توانند حداقل سطح مطلوبیت را کسب نمایند. سلولهای پراکندهٔ تکرارهای ۸ و ۹ و ۱۰ در شکل ۵ مؤید این مطلب هستند. واضح است که این سلولها به دلیل دوری از مراکز جمعیت از دسترسی و ارزش زمین پایین‌تری برخوردارند ولی در کنار سلولهای بسیار مطلوب، توانسته‌اند در مجموعهٔ پاسخها جای گیرند. به طور خلاصه می‌توان گفت با افزایش تکرارها نه تنها از تفاوت پاسخها کاسته می‌شود بلکه مطلوبیت آنها نیز رو به نقصان است. به همین دلیل، اگر اولین تکرارها از نظر میزان تفاوت و قابلیت اجرا، مورد پذیرش باشند، بهترین گزینه‌ها هستند و پاسخهای تکرارهای بعدی هرچه بیشتر از بهینگی فاصله می‌گیرند. در اینجا نیز تکرار شمارهٔ یک و تکرار شمارهٔ دو به عنوان گزینه‌های جایگزین حالت بهینه پیشنهاد می‌شوند. در تکرار شمارهٔ یک، منطقهٔ شمال قزوین به عنوان یکی از مناطق توسعهٔ مطلوب پیشنهاد شده است و در تکرار شمارهٔ دو روی این منطقه و منطقهٔ شمال شرق اقبالیه تأکید شده است. از سوی دیگر، دو تکرار اول تراکم بهتری دارند و تکرارهای بعدی به تدریج از شرایط تراکم فاصله گرفته‌اند. هرچند می‌توان با افزایش مقدار b به ۲، تراکم بیشتری را از مدل خواستار شد، ولی در این صورت محدودیتها افزایش پیدا می‌کنند و بسیاری از مناطق مطلوب از دایرهٔ مناطق قابل انتخاب خارج می‌گردند. سایر تکرارها مناطق پراکنده‌ای را پیشنهاد کرده‌اند که مورد توجه قرار گرفتن آنها محل تردید است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله به مسألهٔ گسترش کاربریهای اراضی شهری در زمینهای اطراف شهرها پرداخته شد. یکی از دغدغه‌های دست‌اندرکاران این حوزه، تعیین مناطق مطلوب جهت توسعه است تا با راهکارها و سیاستهای حساب شده، توسعه به سمت مطلوب هدایت شود و از توسعه‌های برنامه‌ریزی نشده و نامتوازن جلوگیری گردد. بدین منظور روش مدلسازی ایجاد گزینه‌ها (MGA) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش همراه با پیشنهاد یک گزینهٔ بهینه، چندین گزینهٔ عمدتاً بهینه پیشنهاد می‌شوند. استفاده از روش MGA در کاربردهایی نظیر گسترش و تغییر کاربری زمین به ویژه در محدوده‌های وسیع اغلب با مشکل تعداد زیاد متغیرها رو به روست و این مشکل، معضلی اساسی برای پردازشگرهای رایانه‌ای به شمار می‌رود. لذا در این تحقیق تکنیکی نوین برای غلبه بر این مشکل و یافتن پاسخها پیشنهاد و با موفقیت پیاده‌سازی شد.

مطالعهٔ موردی این تحقیق، منطقه‌ای به وسعت ۱۶۲۰ کیلومتر مربع در اطراف شهر قزوین است که علاوه بر این شهر، شامل پنج شهر دیگر و چندین شهرک اقماری می‌شود. پس از آماده‌سازی و وزندهی نقشه‌ها در محیط GIS، با استفاده از روش مدلسازی ایجاد گزینه‌ها که همراه با در نظر گرفتن شرط پیوستگی و تراکم (DBDC) انجام گرفت علاوه بر پیشنهاد یک گزینهٔ بهینه، ۱۰ گزینه نیز با

مطلوبیت ٪۹۷/۵ گزینهٔ اولیه تولید گردید. همچنین گزینه‌های عمدتاً بهینهٔ تولید شده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و دو گزینهٔ نخست به عنوان پیشنهاد مطرح شد که در کنار گزینهٔ بهینهٔ اولیه، در مجموع ۳ گزینه، طرحهای توسعهٔ پیشنهادی این تحقیق را تشکیل می-دهند.

نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال اندکی رواداری در جواب مطلوب به دست آمده، می‌توان به پاسخهای مناسب دیگری دست یافت که به فراخور مسأله دارای تفاوت قابل قبولی با پاسخ اولیه هستند. این کار انتخابهای متنوعی را پیش روی تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد که در صورت اجرایی نبودن یا وجود اشکال دیده نشده در هر راه حل، گزینه‌های متنوع دیگر را مورد بررسی قرار دهند. با توجه به ویژگی جالب توجه این روش در تولید گزینه‌های متنوع، استفاده از این روش در حوزهٔ مختلف دیگری که به نوعی با مکانیابی سر و کار دارند پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

[1] R. Kapuscinski, *Travels with Herodotus*: Knopf Doubleday Publishing Group, 2009.

[۲] ش. ا. ایوبی و ا. جلالیان, ارزیابی اراضی (کاربریهای کشاورزی و منابع طبیعی). اصفهان: مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان, ۱۳۹۱.

[۳] م. پورمحمدی, برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری. تهران: مرکز چاپ و انتشارات وزارت امور خارجه, ۱۳۸۶.

[۴] ک. ا. زیاری, برنامه ریزی کاربری اراضی شهری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران, ۱۳۸۸.

[۵] م. مخدوم, شالوده آمایش سرزمین. تهران: انتشارات دانشگاه تهران, ۱۳۹۱.

[۶] خ. کلانتری, برنامه ریزی و توسعه منطقه ای (تئوری و تکنیکها) تهران: انتشارات خوشبین, ۱۳۹۰.

[7] F. S. Chapin and E. J. Kaiser, *Urban land use planning*: University of Illinois Press, 1979.

[8] R. L. Church and A. T. Murray, "GIS," in *Business Site Selection, Location Analysis and GIS*, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2008, pp. 19-54.

[۹] م. مخدوم, ع. ا. د. صفت, ه. جعفرزاده , و ع. مخدوم, ارزیابی و برنامه ریزی محیط زیست با سامانه های اطلاعات جغرافیایی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران, ۱۳۹۰.

[10] M. A. Kimball, "Modeling To Generate Alternatives In A Multiperiod Context: Apple Growers And Alar," *Northeastern Journal of Agricultural and Resource Economics,* vol. 17, pp. 139-146, 1988.

[11] H. A. Eiselt and C. L. Sandblom, *Linear Programming and Its Applications*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

[۱۲] س. قدسی.پور , فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک), ۱۳۸۱.

[۱۳] م. آریانژاد, برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم کارمارکار. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران, ۱۳۷۲.

[14] A. Herzig, "A GIS-based Module for the Multiobjective Optimization of Areal Resource Allocation," in *11th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, University of Girona, Girona, Spain, 2008.

[15] I. Ilić, D. Bogdanović, D. Živković, N. Milošević, and B. Todorović, "Optimization of heavy metals total emission, case study: Bor (Serbia)," *Atmospheric Research,* vol. 101, pp. 450-459, 2011.

[16] E. D. Brill, S.-Y. Chang, and L. D. Hopkins, "Modeling to Generate Alternatives: The HSJ Approach and an Illustration Using a Problem in Land Use Planning," *Management Science,* vol. 28, pp. 221-235, 1982.

[17] S.-Y. Chang, E. D. Brill, and L. D. Hopkins, "Efficient Random Generation of Feasible Alternatives: A Land Use Example," *Journal of Regional Science,* vol. 22, pp. 303-314, 1982.

[18] A. Ligmann-Zielinska, R. Church, and P. Jankowski, "Sustainable Urban Land Use Allocation With Spatial Optimization," in *8th International Conference on GeoComputation*, Ann Arbor, Michigan, USA, 2005.

[19] D. P. Ward, A. T. Murray, and S. R. Phinn, "Integrating spatial optimization and cellular automata for evaluating urban change," *Annals of Regional Science,* vol. 37, pp. 131-148, 2003.

[20] A. Ligmann-Zielinska, R. L. Church, and P. Jankowski, "Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land use allocation," *International Journal of Geographical Information Science,* vol. 22, pp. 601-622, 2008/06/01 2008.

[21] A. Tayyebi, M. Delavar, M. Yazdanpanah, B. Pijanowski, S. Saeedi, and A. Tayyebi, "A Spatial Logistic Regression Model for Simulating Land Use Patterns: A Case Study of the Shiraz Metropolitan Area of Iran," in *Advances in Earth Observation of Global Change*, E. Chuvieco, J. Li, and X. Yang, Eds., ed: Springer Netherlands, 2010, pp. 27-42.

[۲۲] ی. جوادی.دودران ,مدلسازی تغییرات پوشش زمین با استفاده از Cellular Automata درمحیط GIS," پایان نامه کارشناسی ارشد, پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، گروه مهندسی نقشه برداری, دانشگاه تهران, تهران, ۱۳۸۷.

[۲۳] م. قرخلو, ح. پورخباز, م. امیری ,و ح. فرجی.سبکبار, " ارزیابی توان اکولوژیک شهر قزوین جهت تعیین نقاط بالقوهٔ توسعهٔ شهری با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی," مطالعات و پژوهشهای شهری و منطقه ای، سال اول، شمارهٔ دوم، صفحات (۵۱-۶۸). ۱۳۸۸.

[24] P. Jankowski and T. L. Nyerges, *Geographic Information Systems for Group Decision Making: Towards a Participatory, Geographic Information Science*: Taylor & Francis, 2001.

[25] J. C. J. H. Aerts, E. Eisinger, G. B. M. Heuvelink, and T. J. Stewart, "Using Linear Integer Programming for Multi-Site Land-Use Allocation," *Geographical Analysis,* vol. 35, pp. 148-169, 2003.

[۲۶] م. اصغرپور, برنامه ریزی خطی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران, ۱۳۹۱.

[27] S. R. Fallah Shamsi, H. Sobhani, A. A. Darvishsefat, and R. Faraji Dana, "Linear programming model to allocate land to different land uses in Keleibar-chai watershed," *Iranian Journal of Natural Resources,* vol. 58, pp. 579-589, 2008.

[28] M. Alberti, "Urban Patterns and Environmental Performance: What Do We Know?," *Journal of Planning Education and Research,* vol. 19, pp. 151-163, 1999.

[۲۹] ج. ترکمانی, "تحلیل اقتصادی تغییر در سطح زیر کشت آفتابگردان، کاربرد روش مدلسازی ایجاد گزینه ها," اقتصاد کشاورزی و توسعه ,سال سی ام، صفحات (۴۳-۶۳)، ۱۳۷۹.

[30] J. F. DeCarolis, "Using modeling to generate alternatives (MGA) to expand our thinking on energy futures," *Energy Economics,* vol. 33, pp. 145-152, 2011.

[31] T. J. Cova and R. L. Church, "Contiguity Constraints for Single-Region Site Search Problems," *Geographical Analysis,* vol. 32, pp. 306-329, 2000.

[۳۲] مرکز آمار ایران، www.amar.org.ir .

[33] I. Benenson and P. M. Torrens, *Geosimulation: automata-based modeling of urban phenomena*: John Wiley & Sons, 2004.

[34] P. Waddell, "Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning," *Journal of the American Planning Association,* vol. 68, pp. 297-314, 2002/09/30 2002.

[35] K. Williams, M. Jenks, and E. Burton, *Achieving Sustainable Urban Form*: E & FN Spon, 2000.

[36] R. P. Juliao, "Accessibility and GIS," European Regional Science AssociationAug 1999.

[37] R. J. Hyndman and H. Booth, "Stochastic population forecasts using functional data models for mortality, fertility and migration," *International Journal of Forecasting,* vol. 24, pp. 323-342, 2008.