

مدل سازی شاخص های تناسب کاربری اراضی مبتنی بر خودکاره سلولی برداری با تاکید بر اثر همسایگی در شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی

سمیه ابوالحسنی^۱، محمد کریمی^{۲*}، محمد طالعی^۲

^۱ کارشناس ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
somaie.abolhassani@gmail.com

^۲ استادیار گروه سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
{mkarimi, taleai}@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۳، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۴)

چکیده

اثرات مکانی کاربری های همسایه یک مؤلفه مهم در شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی می باشد. استفاده از خودکاره های سلولی در صورتی توجیه پذیر است که قوانین همسایگی به درستی تعریف شده باشند و به عبارتی قوانین همسایگی به عنوان قلب تپنده مدل های خودکاره سلولی مطرح می شوند. از طرفی مدل های خودکاره سلولی متعارف به مقیاس مکانی حساس بوده و در راستای غلبه بر محدودیت های موجود در ساختار رستری، خودکاره های سلولی برداری مطرح می شوند. هدف از این تحقیق مدل سازی شاخص های تناسب کاربری اراضی به منظور شبیه سازی تغییرات کاربری به وسیله خودکاره سلولی، با کاربرد پارسل های کاداستری به جای پیکسل، می باشد. در این مدل تناسب کاربری اراضی بر اساس شاخص های تناسب فیزیکی، میزان دسترسی و اثر همسایگی ارزیابی شده است. همچنین ساختار همسایگی به صورت یک همسایگی شعاعی و بر اساس تابعی از سه مؤلفه متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری تعریف شده و نحوه تعاملات کاربری ها در سه آستانه فعالیت محله ای، ناحیه ای و منطقه ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. این مدل با استفاده از داده های مکانی منطقه ۲۲ شهرداری تهران و در سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، در دو سناریوی اولویت تخصیص کاربری و بیشترین تناسب، پیاده سازی و ارزیابی شده است. نتایج ارائه شده گویای توانایی بالای مدل در شبیه سازی تعاملات کاربری ها و نمایش رشد شهر در یک سطح قابل قبولی از تناسب همجواری کاربری ها می باشد؛ به طوری که ارزیابی مدل بیانگر عدم وجود کاربری های ناسازگار و غیر وابسته در میان پارسل های تازه توسعه یافته و اختصاص متوسط امتیاز ۰/۷۷ و ۰/۵۵ در سناریو ۱ و ۰/۷۵ و ۰/۴۷ در سناریو ۲ (از بازه ۰ تا ۱) به ترتیب برای سازگاری و وابستگی پارسل های توسعه یافته می باشد. از آنجایی که در این مدل اماکن ارزیابی سناریوهای مختلف شهری وجود دارد می توان از آن در زمینه تصمیم گیری های مکانی و برنامه ریزی کاربری اراضی شهری بهره جست.

واژگان کلیدی: تناسب کاربری اراضی، اثر همسایگی، پارسل های کاداستری، خودکاره سلولی برداری، سیستم اطلاعات مکانی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

ازجمله مدل های پرکاربرد در زمینه شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی مدل های خودکاره سلولی^۱ هستند [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶]. مدل های خودکاره سلولی توسط پنج مؤلفه پایه فضا، وضعیت سلول، همسایگی، قوانین انتقال و زمان تعریف می شوند. بحث اصلی در خودکاره های سلولی صحت قوانین همسایگی می باشد، که رفتار کاربری اراضی را تعیین کرده و به عنوان قلب مدل خودکاره سلولی مطرح می شود. در واقع قوانین همسایگی نحوه ترکیب پیامدهای خارجی مکانی را تعیین می کنند. همچنین استفاده از مدل های خودکاره سلولی زمانی توجیه پذیر است که قوانین همسایگی به درستی تعریف شده باشند. یکی از محدودیت های قوانین همسایگی فقدان پایه تئوری و ارزیابی تجربی است. مدل های خودکاره سلولی شهری بیشتر حاصل بررسی ایده های فرضی در مورد دینامیک شهری هستند تا تئوری [۷، ۸]. بنابراین قوانین همسایگی اغلب توسط آزمون و خطا تعیین می شوند [۸].

زمانی که یک روش جدید نظیر خودکاره سلولی مطرح می شود، به طور طبیعی در ابتدا بر جهات تکنیکی آن توجه شده و واقعیت نیروی تبیینی و قابلیت سازگاری برای استفاده از آن، در نحوه اجرا، فراموش می شود. بدین منظور برای یافتن قوانین همسایگی مناسب، لازم است به انطباق قوانین با بافت واقعی برنامه ریزی، توجه بیشتری صورت گیرد [۹].

در توضیح خودکاره سلولی عوامل زیادی را باید مورد توجه قرار داد، که در این میان مقیاس از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۰]. مقیاس در حالت کلی نشان دهنده پنجره ای است که واقعیت از درون آن مشاهده می گردد [۱۱]. در خودکاره سلولی مکانی^۲ مقیاس با سه مؤلفه تعریف می شود: حدود مکانی، اندازه سلول و ترکیب همسایگی. حدود مکانی، مطابق با منطقه جغرافیایی است که باید مدل شود. اندازه سلول، میزان مساحت از منطقه جغرافیایی می باشد که توسط هر سلول پوشش داده می شود. ترکیب همسایگی، توزیع و تعداد همسایه هایی که در تغییر وضعیت سلول تاثیر گذارند را معین می سازد. انتخاب

مقدار مناسب برای این عناصر یک مرحله کلیدی در تعریف خودکاره سلولی مکانی می باشد [۱۲]؛ به طوری که با تغییر در اندازه هر یک از مؤلفه های ذکر شده نتایج ارائه شده حاصل از اجرای مدل نیز دستخوش تغییر می شوند [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]. از طرفی در صورتی که این انتخاب اشتباه انجام پذیرد، مدل نمی تواند به میزان کافی پویایی منطقه مورد مطالعه را نمایش دهد [۱۲].

بنابراین تعیین اندازه سلول در مدل های رستری می تواند تاثیر بسزایی در صحت نتایج ارائه شده داشته باشد. به ویژه زمانی که افزایش قدرت تفکیک مکانی مدنظر باشد، تناسب مدل رستری کاهش می یابد [۱۷]. زیرا باعث ایجاد فضاهایی می شود که از لحاظ نوع کاربری همگون فرض شده اند ولی در حقیقت دارای تنوع در کاربری هستند. تعیین اندازه سلول، عامل تعیین کننده ای در میزان پویایی خروجی مدل و تعامل موثر آن با دنیای واقعی می باشد [۸]. در نهایت عدم انطباق سلول ها بر هستنده های مکانی و اعمال ترکیب همسایگی یکسان بر تمامی سلول ها از معایب روش های رسترمبنا می باشد.

به منظور ارزیابی صحیح تعاملات المان های مدل خودکاره سلولی و در راستای غلبه بر محدودیت ها و کاستی های مدل رستری، اخیرا مدل های خودکاره برداری معرفی شده اند. به منظور ارائه فضای نامنظم برداری روش های متنوعی مطرح شده اند، نظیر: استفاده از پلیگون های ورونی [۱۸، ۱۹، ۲۰]، مثلث بندی دلونی [۲۱]، گراف مسطح [۲۲، ۲۳]، پارسل های کاداستری^۳ [۱۷، ۲۴] و نهایتا پردازش تصاویر رستری و تبدیل آن ها به فرمت برداری [۲۵، ۲۶، ۲۷]. در زمینه کاربرد پلیگون های ورونی و مثلث بندی دلونی، از آنجایی که پلیگون ها به صورت خودکار حاصل می شوند انطباق کامل آن ها بر هستنده های جهان واقعی میسر نمی باشد. همچنین نتایج حاصل از پردازش تصاویر رستری نیز نمی تواند مستقل از اندازه سلول باشد. اما پارسل های کاداستری که اغلب نیز از GIS مربوط به شهرداری ها قابل حصول هستند، انطباق کامل بر هستنده های مکانی دارند.

ترکیب همسایگی نیز یک جزء کلیدی در مدل خودکاره سلولی می باشد، از این رو که ناحیه تاثیر را ارائه داده و تغییر وضعیت یک سلول در مدل رستری یا تغییر

^۱ Cellular Automata (CA)

^۲ Geographic Cellular Automata (GCA)

^۳ Cadastral parcels

۲-۲- ایجاد فضای توسعه پارسل

ساختار فضایی به کار رفته در این مدل شامل پارسل-های کاداستری بوده که کاملاً منطبق بر هستنده‌های مکانی می‌باشند. برای نمایش تغییرات کاربری اراضی غیر-شهری به انواع کاربری‌های شهری، در قالب پارسل، می‌توان از ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین^۱ [۳۰] استفاده کرد. این ابزار فضای غیرشهری را در ابعاد مورد نظر پارسل‌بندی کرده، و با سازماندهی خیابان‌های لازم، امکان دسترسی تمامی پارسل‌های توسعه را به شبکه دسترسی فراهم نموده و فضای توسعه برداری را ایجاد می‌نماید. برای مطالعه بیشتر به مرجع [۳۰] مراجعه شود.

۲-۳- اثرات همسایگی

باتوجه به اهمیت بالای صحت قوانین همسایگی در مدل‌های خودکار سلولی و به منظور ارائه نتایج بهتر در این زمینه، می‌توان پیامدهای خارجی کاربری‌ها را در سه فاکتور متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی بررسی نمود. به عبارت دیگر می‌توان گفت جاذبه یا دافعه یک کاربری بر کاربری دیگر در همسایگی آن، ناشی از متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی می‌باشد. به عنوان مثال جاذبه کاربری مسکونی بر کاربری مشابه خود ناشی از تمایل به متمرکزسازی و دافعه آن بر کاربری صنعتی ناشی از عدم سازگاری و همچنین جاذبه این کاربری بر مراکز خدماتی ناشی از وابستگی می‌باشد. به طور خلاصه می‌توان این سه اثر را به صورت زیر تعریف نمود:

۲-۳-۱- متمرکزسازی^۲

تمایل به ایجاد یک نوع کاربری در مجاورت کاربری مشابه بیشتر بوده و با هزینه کمتری صورت می‌گیرد [۳۱]. مانند تمرکز کاربری‌های صنعتی در حاشیه شهرها و یا کاربری‌های تجاری در مراکز شهری. بنابراین تعدد کاربری‌های مشابه در یک شعاع همسایگی را می‌توان عامل جذب کاربری مشابه دانست و شمار آن‌ها را تحت عنوان فاکتور متمرکزسازی بیان کرد. این شاخص در مدل‌سازی تغییر کاربری [۳۱، ۳۲، ۳۳] و مدل‌سازی توسعه شهری [۳۳] و برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری [۳۵] به کار گرفته شده است.

وضعیت یک پلیگون در مدل برداری را تعیین می‌کند [۲۸]. بنابراین ارائه ساختار همسایگی که توانایی اعمال پارامترهای موثر در میزان تاثیرگذاری المان‌های همسایه بر المان هدف را داشته‌باشد، ضروری می‌نماید.

هدف این مطالعه ارائه مدل خودکار سلولی برداری، بر مبنای پارسل‌های کاداستری، در سیستم اطلاعات مکانی می‌باشد، به نحوی که بتواند موارد زیر را مرتفع سازد:

- شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در فضای توسعه پارسل
- ارائه ساختار همسایگی به صورت یک همسایگی شعاعی و بر اساس تابعی از سه مولفه متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری
- مدل‌سازی نحوه تعاملات کاربری‌ها در سه آستانه فعالیت محله‌ای، ناحیه‌ای و منطقه‌ای

۲- چارچوب نظری تحقیق

۲-۱- ارزیابی تناسب کلی زمین

اندازه‌گیری مقدار دقیق مطلوبیت یک عرصه از سرزمین برای یک کاربری خاص غیرعملی بوده و می‌توان از مقایسه نسبی تناسب فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی آن برای کاربری‌های مختلف استفاده نمود [۲۹]. روند تعیین تناسب کلی هر عرصه از سرزمین برای کاربری مختلف شامل مراحل زیر می‌باشد [۲۹]:

تعیین تناسب فیزیکی: شرایط و نیازمندی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه برای کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

تعیین میزان دسترسی: قابلیت نسبی دستیابی مکان‌های مختلف به مجموعه زیرساخت‌ها و مسیرهای ارتباطی محاسبه می‌گردد.

تعیین اثر همسایگی: تعامل میان کاربری‌های مختلف جهت تغییر کاربری مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

تعیین محدودیت‌ها: مناطقی که به نوعی تغییرات کاربری آن‌ها مشکل و غیر ممکن می‌باشد، تعیین می‌شوند.

تعیین تناسب کلی: مجموعه معیارهای تناسب محیطی، دسترسی، اثر همسایگی و محدودیت‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با هم تلفیق می‌شوند.

^۱ Automated land subdivision tool

^۲ Compactness

۲-۳-۲- سازگاری^۱

این فاکتور به معنی در کنار هم قرار گرفتن دو یا چند کاربری بدون اثرات منفی قابل ملاحظه [۳۵، ۳۶، ۳۷] می باشد، به گونه ای که هیچ یک از کاربری ها مانع از عملکرد صحیح سایر کاربری های مجاور نگردد. اثرات منفی کاربری ها از ایجاد شرایط متزاحم مانند ایجاد آلودگی زیست محیطی و صوتی، ترافیک و غیره ناشی می شود [۲۹]. Taleai و همکاران [۳۶] برای ارزیابی میزان سازگاری کاربری ها در سطح پارسل از روش دلفی بهره برده و ماتریس سازگاری کاربری را ارائه می نمایند. در این ماتریس، میزان سازگاری میان کاربری های مختلف در شش سطح سازگاری زیاد، سازگاری متوسط، سازگاری پایین (خنثی)، ناسازگاری متوسط و ناسازگاری زیاد بیان شده و سپس با استفاده از روش AHP، سطوح سازگاری کمی سازی می گردند. در تحقیق حاضر نیز برای سنجش میزان سازگاری کاربری ها از ماتریس مذکور استفاده شده است (برای مشاهده ماتریس سازگاری به ضمیمه ۱ مراجعه شود).

۲-۳-۳- وابستگی^۲

هر کاربری برای تامین نیازهای خود به بعضی از کاربری های دیگر وابسته است؛ در برخی موارد نیز لزوم وجود یک کاربری مستلزم وجود کاربری های دیگر است (مانند وابستگی بین کاربری تجاری محلی و سکونتگاه شهری) [۳۱، ۳۵، ۳۷، ۳۸]. Masoomi و همکاران [۳۵] برای بیان میزان وابستگی میان کاربری های مختلف، همانند فاکتور سازگاری، با استفاده از روش دلفی، ماتریس وابستگی را تشکیل داده و سپس با روش AHP سطوح مختلف وابستگی را کمی سازی می کنند. در این تحقیق نیز از ماتریس ذکر شده برای بیان وابستگی میان کاربری های مختلف شهری استفاده می گردد (برای مشاهده ماتریس وابستگی به ضمیمه ۱ مراجعه شود).

بنابراین اثر همسایگی حاصل از فاکتورهای متمرکز سازی، وابستگی و سازگاری ارائه شده از سوی کاربری های همسایه در قالب روابط زیر می توان بیان کرد:

$$C_{a_l} = \sum_k N^C_{ab_{lkd}} \quad (1)$$

$$D_{a_l} = \sum_k N^D_{ab_{lkd}} \quad (2)$$

$$P_{a_l} = \sum_k N^P_{ab_{lkd}} \quad (3)$$

که به عنوان نمونه در رابطه (۱)، $N^C_{ab_{lkd}}$ بیانگر اندازه پیامد خارجی مکانی حاصل از فاکتور متمرکزسازی، برای پارسل b با کاربری k واقع در فاصله d ، بر پارسل a با کاربری l و C_{a_l} به عنوان امتیاز متمرکزسازی پارسل a با کاربری l می باشد.

۲-۳-۴- پارامترهای سنجش پیامدهای خارجی مکانی کاربری ها

برآورد پیامدهای مکانی کاربری ها برای هریک از پارسل های شهری به پارامترهای اندازه اثرات مثبت و منفی نسبی کاربری ها بر یکدیگر، شعاع و محدوده همسایگی، فاصله پارسل همسایه از پارسل هدف و نسبت مساحت پارسل همسایه بر مساحت پارسل هدف، وابسته می باشد. بنابراین در ادامه پارامترهای مذکور تشریح می شوند.

اثرات مثبت و منفی نسبی کاربری ها بر اساس

آستانه فعالیت: هر یک از کاربری ها با توجه به پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی که بر سایر کاربری ها دارد، می تواند عامل جذب و یا دفع انواع کاربری های مختلف در محیط پیرامون خود باشد. این پیامدها در طول فاصله متغیر بوده و در نهایت با توجه به آستانه فعالیت و نوع اثرات کاربری، در یک فاصله نسبی تاثیر خود را از دست می دهد. به عنوان مثال کاربری تجاری با آستانه فعالیت محله ای موجب جذب کاربری مسکونی در پیرامون خود می شود؛ در حالی که همین کاربری با آستانه فعالیت منطقه ای، به دلیل ایجاد ازدحام و ترافیک در حیطه مکانی خود، باعث دفع کاربری مسکونی می گردد. در این تحقیق اثرات متقابل کاربری ها در سه گروه متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری بررسی می شود.

شعاع و محدوده تاثیر: به دلیل وابستگی مکانی کاربری های اراضی، ساختار مکانی شهرها بیشتر به تراکم و خوشه ای بودن تمایل دارند [۳۹]، بنابراین اجرای همسایگی شعاعی، در ارزیابی تعاملات کاربری ها، می تواند به ارائه نتایج صحیح تری بیانجامد. در تحقیق حاضر نیز همسایگی بر مبنای یک ساختار شعاعی می باشد، که بر

^۱ Compatibility

^۲ Dependency

اثر متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری پارسل b با کاربری k بر پارسل a با کاربری l می‌باشد.

$$N_{ablk} = \exp\left(\frac{A_b}{A_a} \frac{A_{max}}{A_{min}}\right) * \exp(-d_{ab}/1000) * \begin{cases} I_{a_l b_k}^C \\ I_{a_l b_k}^D \\ I_{a_l b_k}^P \end{cases} \quad (4)$$

۲-۳-۵- اندازه تجمعی پیامدهای خارجی مکانی

اثر همسایگی هر پارسل برای هر کاربری از مجموع اثرات کلیه پارسل‌های مجاور در قالب سه گروه متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری محاسبه می‌گردد. با توجه به ماهیت متفاوت کاربری‌های مختلف شهری و زمینه توسعه آن‌ها در سطح شهر، برای ترکیب سه فاکتور متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری، با توجه به نوع کاربری هدف می‌توان وزن‌های متفاوتی را اختصاص داد. برای کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی میزان جاذبه کاربری‌های مشابه و به بیانی فاکتور متمرکزسازی بیشتر از فاکتورهای وابستگی و سازگاری بوده و بر اساس دانش کارشناسی، وزن‌های ۰/۵۷۶، ۰/۲۴۳ و ۰/۱۱۸ [۳۱] به ترتیب برای فاکتورهای متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی می‌توان اختصاص داد. اما با توجه به نوع عملکرد کاربری‌های خدماتی و فضای سبز عمومی و پارک و اهمیت توزیع متناسب آن‌ها در سطح شهر، فاکتور وابستگی از اهمیت بالاتری نسبت به فاکتور سازگاری برخوردار بوده و همچنین فاکتور متمرکزسازی می‌تواند به عنوان یک فاکتور خنثی مد نظر قرار گیرد. بنابراین برای کاربری‌های خدماتی و فضای سبز عمومی و پارک، با استفاده از دانش کارشناسی، برای فاکتورهای وابستگی، سازگاری و متمرکزسازی به ترتیب وزن‌های ۰/۷، ۰/۳ و ۰ تعریف می‌شود. نهایتاً اثر همسایگی هر پارسل از مجموع اثرات پارسل‌های همسایه به تفکیک سه عامل متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری و با در نظر گرفتن اهمیت نسبی هریک از عوامل طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$N_{al} = \lambda_C * C_{al} + \lambda_I * P_{al} + \lambda_D * D_{al} \quad (5)$$

که در این رابطه N_{al} ، C_{il} ، P_{il} و D_{il} به ترتیب بیانگر اثر همسایگی، متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی برای پارسل i با کاربری l می‌باشد؛ و ضرایب λ_C ، λ_I و λ_D به ترتیب بیانگر

طبق مطالعات گذشته در زمینه تغییرات کاربری اراضی [۷، ۳۱، ۴۰، ۴۱] این همسایگی و به صورت بافر ۸۰۰ متری از لبه‌های پارسل تشکیل می‌گردد [۲۴].

فاصله میان پارسل هدف و پارسل موجود در شعاع همسایگی: اندازه‌گیری فاصله بین دو پلیگون به صورت اندازه‌گیری فاصله میان مراکز آن‌ها [۱۲، ۲۴] نمی‌تواند معیار صحیحی برای اندازه‌گیری فاصله میان دو پارسل شهری باشد، به خصوص در مناطقی که ابعاد پارسل‌ها همگونی لازم را با یکدیگر ندارند [۴۵]. به عنوان مثال برای تامین نیاز یک پارسل مسکونی به پارکی با ابعاد بزرگ، نیاز به رعایت فاصله مجاز میان پارسل تا مرکز پارک نمی‌باشد، چرا که دسترسی به هر قسمت از پارک می‌تواند نیاز پارسل مسکونی به فضای سبز و پارک را بر طرف نماید. بنابراین اندازه‌گیری فاصله میان دو پارسل به صورت کوتاه‌ترین فاصله میان نزدیک‌ترین دو لبه، می‌تواند در ارزیابی صحیح تعاملات کاربری‌ها نقش بسزایی داشته باشد. از آنجایی که با افزایش فاصله میان دو کاربری پیامدهای خارجی مکانی آن‌ها کاهش می‌یابد [۷]، این پارامتر را می‌توان در قالب یک عملگر معکوس نمایی به صورت تابعی از فاصله، در ارزیابی اثر همسایگی، عنوان نمود [۴۶].

اثر مساحت هر پارسل بر تاثیرپذیری پارسل

هدف: هر کاربری که حیطه مکانی بزرگتری را به خود اختصاص دهد، پیامد مکانی بیشتری بر کاربری هدف خواهد داشت [۲۵]. در این خصوص می‌توان نسبت مساحت پارسل همسایه بر پارسل هدف را به عنوان یک فاکتور موثر در ارزیابی اثر همسایگی دخیل کرد. در تعیین اثر همسایگی، به منظور کنترل مقدار نسبت مساحت پارسل همسایه بر پارسل مرکزی، می‌توان از تابع نمایی مقدار استاندارد شده این نسبت بهره جست [۲۵].

رابطه (۴) نشان‌دهنده اثر همسایگی کاربری‌های مختلف به ازای فاکتورهای متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری تحت تاثیر پارامترهای فاصله و نسبت مساحت می‌باشد. در این رابطه N_{ablk} بیانگر اثر همسایگی پارسل b با کاربری k بر پارسل a با کاربری l می‌باشد. A_a ، A_b ، A_{min} و A_{max} به ترتیب معرف مساحت پارسل b ، مساحت پارسل a (هدف)، بیشترین و کمترین مساحت موجود در منطقه و نهایتاً فاصله بین دو پارسل می‌باشد. همچنین $I_{a_l b_k}^C$ ، $I_{a_l b_k}^D$ و $I_{a_l b_k}^P$ به ترتیب نشان‌دهنده

اهمیت نسبی فاکتورهای متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی می باشند، که از دانش کارشناسی حاصل می شوند.

۴-۲- تناسب فیزیکی و دسترسی

از جمله موارد حائز اهمیت در زمینه تبدیل کاربری غیر شهری به انواع کاربری های شهری، تناسب فیزیکی آن و میزان دسترسی پارسل مورد نظر به زیرساخت های مکانی و از جمله شبکه دسترسی می باشد. به همین منظور در این تحقیق، با توجه به نوع کاربری های مورد نظر برای توسعه، دو پارامتر میزان ارتفاع و اندازه شیب برای هر پارسل محاسبه و از طریق ترکیب خطی وزن دار با یکدیگر ترکیب شده و معرف تناسب فیزیکی خواهند بود. همچنین برای محاسبه عامل دسترسی، فاصله اقلیدسی هر پارسل از نزدیک ترین نقطه در شبکه راه ها محاسبه می گردد.

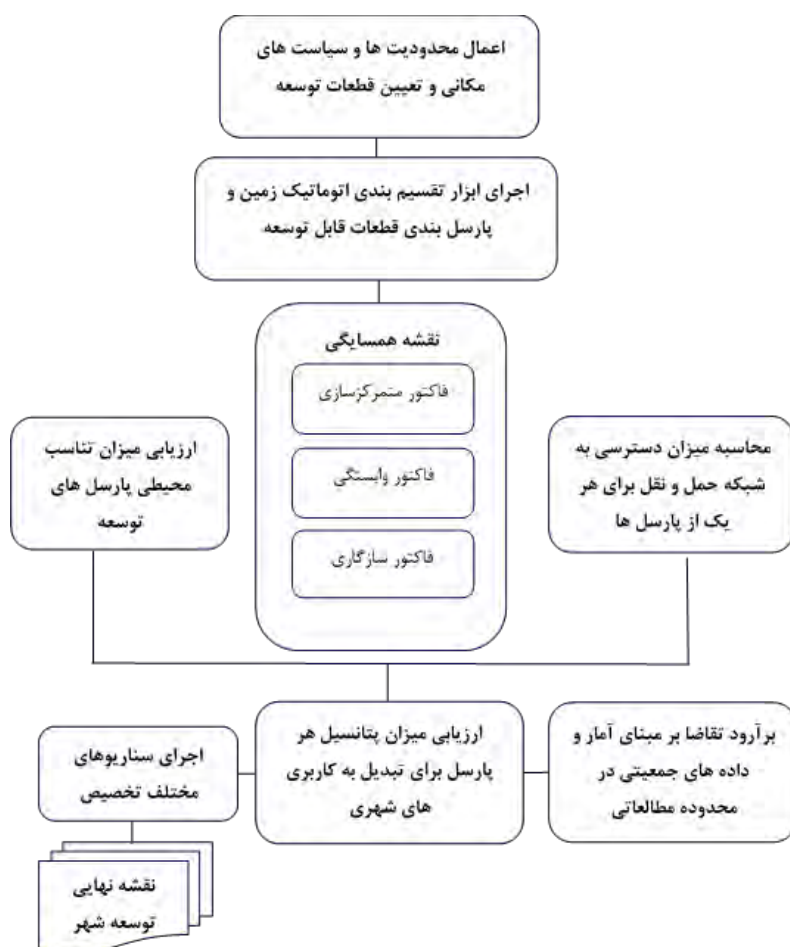
۵-۲- تغییرات کاربری اراضی

همانطور که در بخش ۱-۲ ذکر شد میزان پتانسیل هر پارسل برای تبدیل شدن به کاربری های شهری از ترکیب

فاکتورهای همسایگی، دسترسی و تناسب فیزیکی حاصل می شود. از طرفی تغییرات کاربری اراضی در یک محدوده مکانی تحت تاثیر عنصر تقاضا نیز می باشد [۴۲]. بنابراین در تحقیق حاضر، تغییرات کاربری اراضی تحت تاثیر میزان تقاضا و تناسب هر یک از پارسل های توسعه برای کاربری های مورد نظر بر اساس دو سناریوی ذیل صورت می گیرد [۲۹]:

سناریوی ۱ بر اساس اولویت ارزش کاربری ها: در این حالت سطح مورد نیاز کاربری با بالاترین اولویت در توسعه شهری، بر اساس فاکتور تناسب کلی، تخصیص داده شده و سپس سایر کاربری ها، به ترتیب اولویت در رشد شهری، تخصیص می یابند.

سناریوی ۲ بر اساس بیشترین ارزش: در این سناریو، تخصیص بر اساس بیشترین ارزش در بین نقشه های تناسب کاربری صورت می گیرد؛ بدین نحو که بر اساس میزان تقاضا، پارسل های با بیشترین تناسب به ازای هر کاربری به همان کاربری اختصاص داده می شوند. شکل ۱ روند منطقی تحقیق را نمایش می دهد.

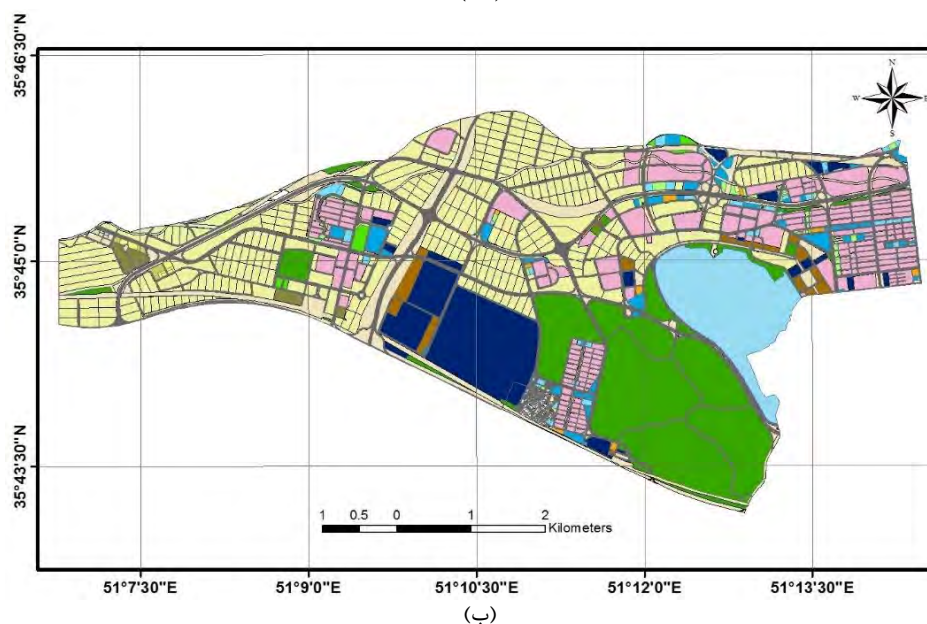
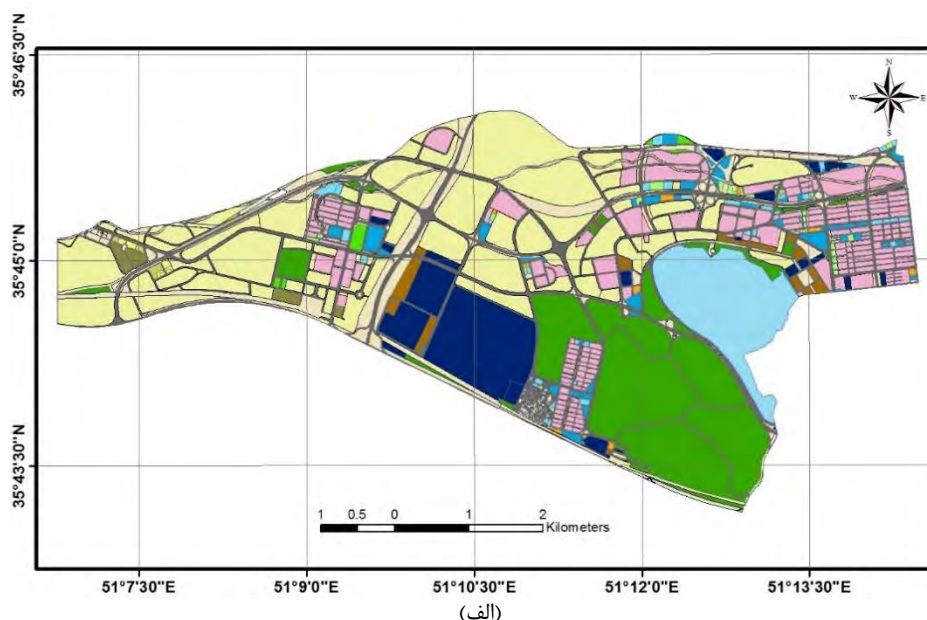


شکل ۱- روند منطقی تحقیق

۳- منطقه مورد مطالعه و آماده‌سازی داده-های مکانی

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، جهت ارزیابی اثرات همسایگی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی، نواحی سه و چهار منطقه ۲۲ تهران با وسعتی حدود ۳۴/۱۲۵ کیلومترمربع و جمعیت ۴۳۳۰۰ می‌باشد. دلیل انتخاب این منطقه وجود فضای توسعه برای کاربری‌های مختلف شهری در یک مسیر هدایت شده و سازگار می‌باشد. همچنین به علت نوساز بودن غالب منطقه می‌توان تغییرات کاربری اراضی را به گذر از کاربری غیر شهری به انواع کاربری‌های شهری مربوط نمود.

داده‌های مکانی مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه برداری پارسل‌های کاداستری می‌باشد، که در هشت کلاس کاربری مسکونی، تجاری، خدماتی، صنعتی کارگاهی، فضای سبز عمومی و پارک، فضای توسعه، شبکه دسترسی و سایر طبقه‌بندی شده‌اند. قابل ذکر است که فضای قابل توسعه بر اساس زمین‌های بایر و به استثنای مناطق محدودیت نظیر مسیل‌ها، حریم مناطق نظامی، مناطق حفاظت شده و غیره تعیین می‌شود. همچنین آستانه فعالیت کاربری‌ها نیز در سه سطح محله‌ای، ناحیه‌ای و منطقه‌ای تعیین گردیده و ارزیابی تأثیرات مثبت و منفی کاربری‌ها بر یکدیگر با توجه به آستانه فعالیت آن‌ها صورت می‌گیرد. شکل ۲- الف نمایی از وضعیت موجود کاربری‌ها را نمایش می‌دهد.





شکل ۲- الف) وضعیت موجود کاربری منطقه مورد مطالعه. ب) پارسل بندی فضای توسعه

۴- نتایج

۴-۱- پارسل های توسعه

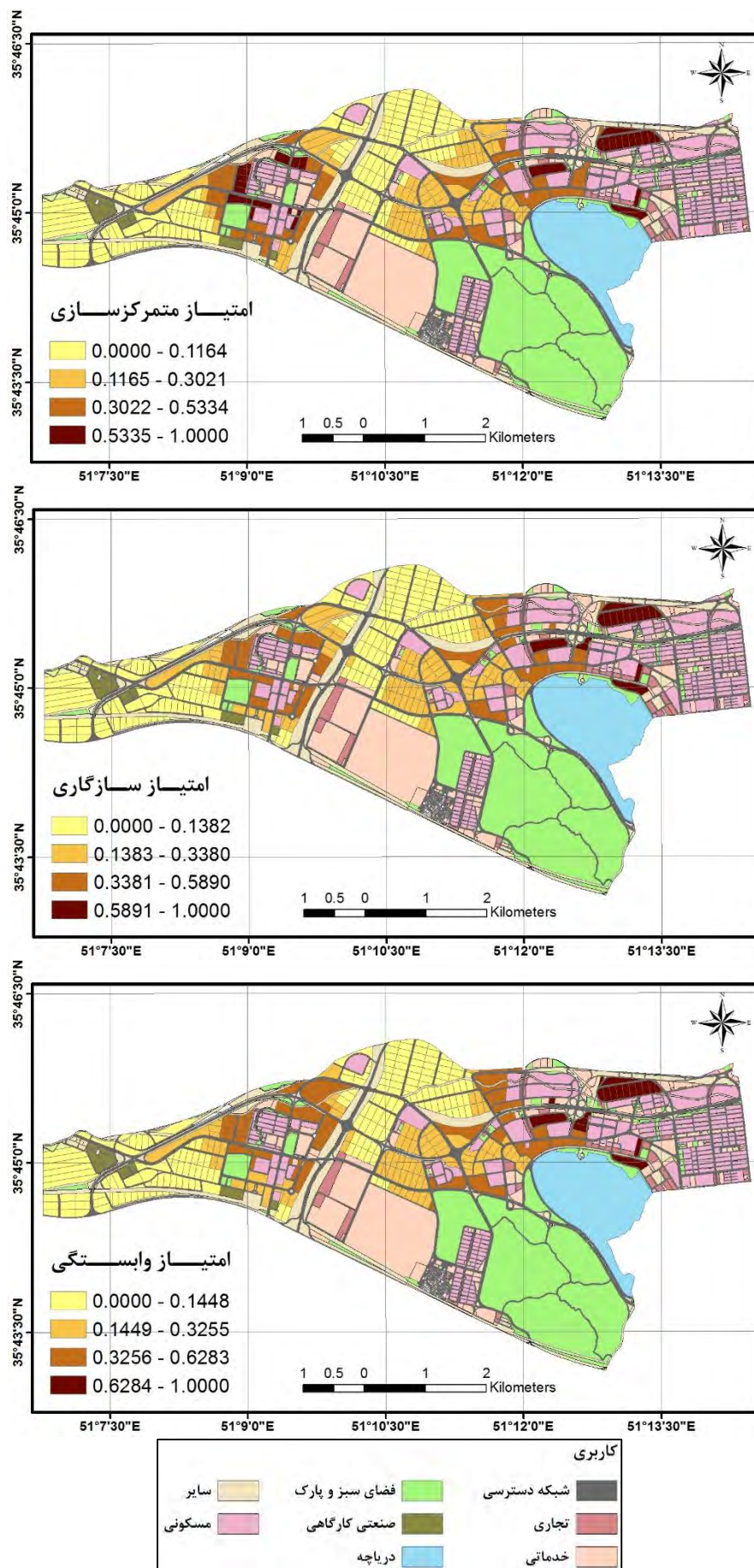
در راستای ایجاد فضای توسعه پارسلی ابتدا ابزار تقسیم بندی خودکار زمین اجرا شده و فضاهای توسعه پارسل بندی می گردند. پارسل بندی بر مبنای پارسل های طراحی شده در طرح تفصیلی، در ابعاد ۱۰۰ در ۲۰۰ متر و با پهنای خیابان ۳۰ متر صورت گرفته است. شکل ۲- ب محدوده پارسل بندی شده را نمایش می دهد. همانطور که مشاهده می شود تمامی پارسل ها امکان دسترسی به شبکه راه ها را داشته و کلیه خیابان های ایجاد شده به شبکه دسترسی موجود متصل می باشند.

۴-۲- نقشه های فاکتور

گام دوم آماده سازی نقشه های همسایگی می باشد. از آنجایی که تخصیص کاربری ها در پنج دسته مسکونی، تجاری، خدماتی، صنعتی و فضای سبز عمومی و پارک صورت می گیرد، لازم است که نقشه همسایگی در پنج دسته ذکر شده تهیه گردد. بدین منظور با توجه به نوع کاربری مورد نظر برای تهیه نقشه همسایگی، کاربری پارسل موجود در شعاع همسایگی، سطح سرویس دهی آن و همچنین با لحاظ نمودن فاصله و نسبت مساحت پارسل ها بر یکدیگر، مطابق رابطه (۴) و توضیحات ارائه شده در بخش ۲-۳-۴، میزان امتیاز هر پارسل برای سه

فاکتور متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی محاسبه می گردد. شکل ۳ نشان دهنده میزان امتیاز پارسل های قابل توسعه برای فاکتور متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی به ازای کاربری مسکونی می باشد.

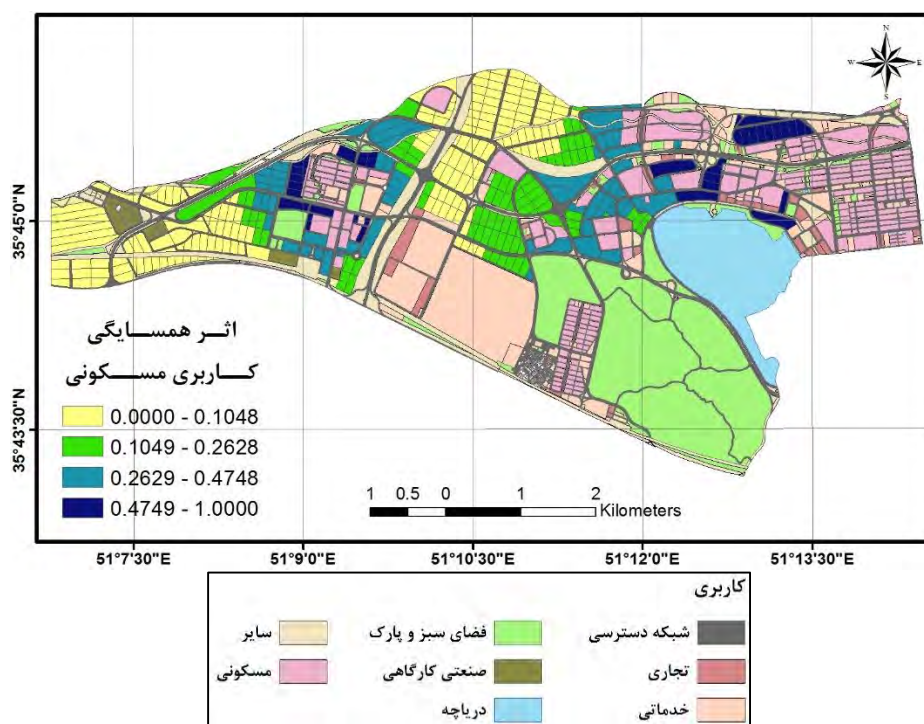
همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود، امتیاز متمرکزسازی برای کاربری مسکونی در نزدیکی پارسل های مسکونی بیشترین مقدار را داشته و این مقدار با فاصله گرفتن از کاربری مشابه کاهش می یابد. بر طبق ماتریس سازگاری، کاربری مسکونی سازگاری مناسبی با کاربری های مسکونی، تجاری در سطح محلی و خدماتی و فضای سبز و پارک در سطوح ناحیه ای و محلی دارد. از آنجایی که در شمال شرقی محدوده مورد مطالعه، این نوع کاربری ها در فاصله مناسبی از پارسل های توسعه نیافته قرار گرفته و کاربری های ناسازگار مانند صنعتی در فاصله دوری از این پارسل ها هستند، فاکتور سازگاری در این ناحیه بیشترین مقدار را دارد. همچنین بر طبق ماتریس وابستگی و به دلیل فراهم کردن نیازهای کاربری مسکونی، کاربری هایی نظیر خدماتی، تجاری و فضای سبز و پارک در سطح محله ای، فضای مناسب را جهت توسعه کاربری مسکونی فراهم می کنند؛ از آنجایی که در شمال شرقی محدوده مورد مطالعه این نوع کاربری ها به وفور یافت می شوند، فاکتور وابستگی بیشترین مقدار را داشته و متقابلاً در غرب محدوده مورد مطالعه، به دلیل کمبود تنوع در کاربری های مذکور، این فاکتور مقدار کمتری دارد.



شکل ۳- امتیاز متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی پارسل‌های توسعه برای کاربری مسکونی

در نهایت سه فاکتور متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری بر اساس وزن های ذکر شده در بخش ۳-۲ با یکدیگر ترکیب شده و اثر همسایگی برای هر پارسل محاسبه می گردد. شکل ۴ نمایش دهنده اثر همسایگی پارسل های توسعه برای کاربری مسکونی، می باشد. همانطور که در بخش ۳-۲ ذکر شد، فاکتور متمرکزسازی بیشترین اثر را در تخمین اثر همسایگی برای کاربری مسکونی دارد. بنابراین در شکل ۴ فاکتور همسایگی در اطراف پارسل های مسکونی بیشترین میزان را دارد. همچنین در شمال شرقی محدوده مورد مطالعه، فاکتورهای سازگاری و وابستگی بیشترین مقدار را داشته و بنابراین پارسل های بیشتری امتیاز همسایگی بالایی دارند.

پس از محاسبه میزان تناسب فیزیکی و دسترسی طبق بخش ۲-۴، میزان تناسب کلی هر پارسل برای هر یک از کاربری های مسکونی، تجاری، صنعتی، خدماتی و فضای سبز و پارک از ترکیب خطی وزن دار فاکتورهای همسایگی، تناسب فیزیکی و دسترسی، به ترتیب با وزن های ۰/۵۵، ۰/۳۴ و ۰/۱۱ طبق نظر کارشناسی، حاصل می شود. قابل ذکر است که فاکتور محدودیت به صورت عدم جای گیری پلیگون های دارای محدودیت، نظیر مسیل ها، نواحی حفاظت شده و مناطق نظامی، در دسته پلیگون های توسعه، منظور می گردد.



شکل ۴- اثر همسایگی کاربری مسکونی برای پارسل های توسعه

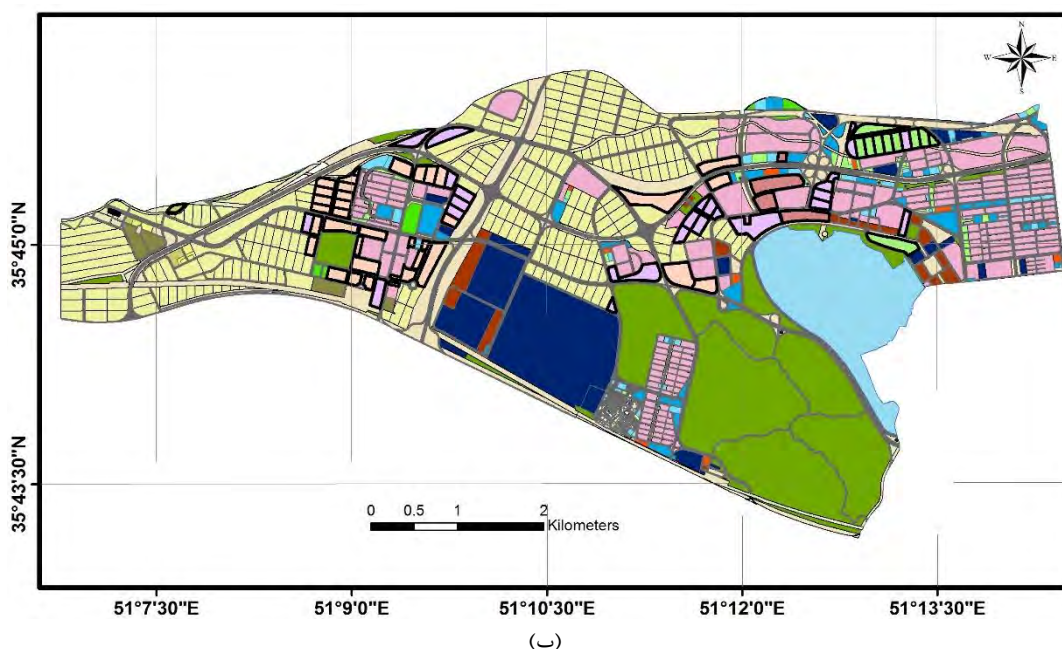
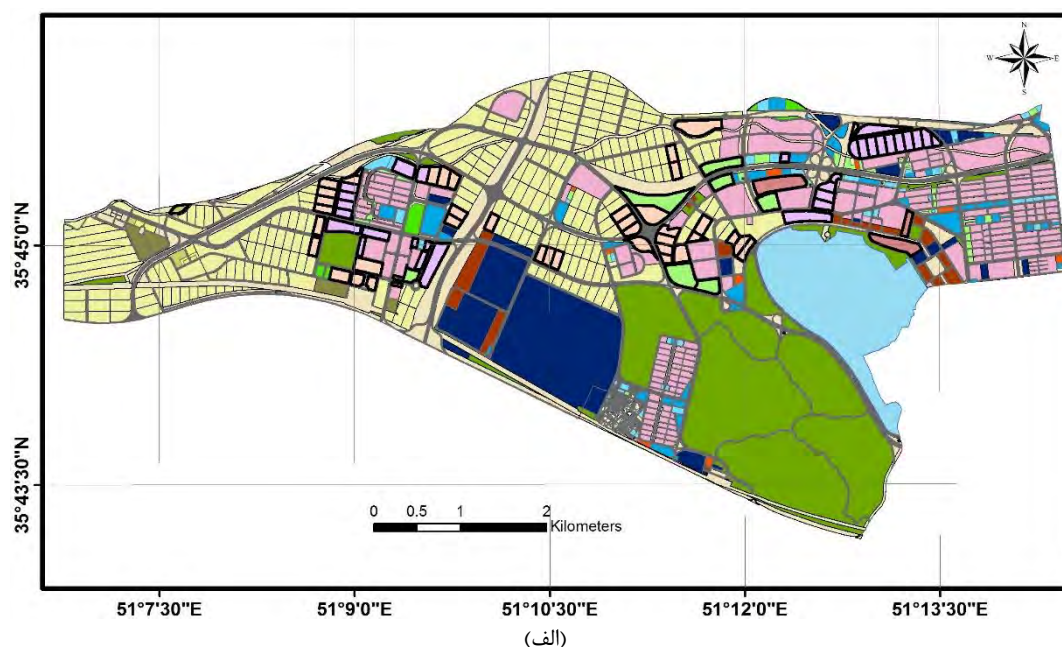
۳-۴- برآورد تقاضا و شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی

مهمترین عامل در تغییرات کاربری اراضی، میزان تقاضا در منطقه می باشد. برآورد تقاضا در محدوده مورد مطالعه با توجه به سرانه های ارائه شده به تفکیک نواحی [۴۳] و میزان افزایش جمعیت در گام زمانی مورد نظر انجام می شود. جدول ۱ پارامترهای تقاضای کاربری اراضی برای بازه زمانی ۱۰ سال را نمایش می دهد. در نهایت

براساس امتیاز تناسب کلی به ازای کاربری های مسکونی، تجاری، صنعتی _ کارگاهی، خدماتی و فضای سبز و پارک و همچنین تقاضای برآورد شده برای منطقه مورد مطالعه، جانمایی کاربری ها در دو سناریوی مذکور در بخش ۲-۵ انجام می شود. جانمایی به روش اولویت ارزش کاربری ها به ترتیب تجاری، صنعتی _ کارگاهی، مسکونی، فضای سبز عمومی و پارک و خدماتی [۴۴]، صورت می گیرد. بدین معنی که ابتدا پارسل های مورد نیاز برای کاربری تجاری، مطابق پارسل هایی با بیشترین تناسب کلی برای کاربری

تناسب را برای هر کاربری داشته باشد به آن کاربری اختصاص می‌یابد، تا زمانی که تقاضای محاسبه شده برای بازه زمانی ۱۰ سال، برآورده شود. شکل (۵) نشان‌دهنده جانمایی کاربری‌ها در دو روش اولویت ارزش کاربری‌ها و بیشترین ارزش پارسل در بازه زمانی ۱۰ ساله می‌باشد.

تجاری، تخصیص داده شده و سپس کاربری صنعتی و بعد از آن به ترتیب کاربری‌های مسکونی، فضای سبز و پارک و خدماتی در پارسل‌هایی با تناسب بالا تخصیص می‌یابند؛ به شرط آن که در مراحل قبل به کاربری‌های اولی‌تر تخصیص داده نشده باشند. در سناریو ۲، ترتیب مکان-گزینی کاربری‌ها مطرح نبوده و هر پارسلی که بیشترین



کاربری های توسعه یافته

تجاری
پارک
صنعتی
مسکونی
خدماتی

صنعتی کارگاهی، منطقه
دریاچه
سایر
مسکونی
پارسل های توسعه نیافته

فضای سبز و پارک، محله
فضای سبز و پارک، منطقه
صنعتی کارگاهی، ناحیه
صنعتی کارگاهی، محله
پارسل های توسعه نیافته

شبکه دسترسی
تجاری، ناحیه
تجاری، محله
تجاری، منطقه
تجاری، منطقه

خدماتی، ناحیه
خدماتی، محله
خدماتی، منطقه
خدماتی، منطقه

کاربری

شکل ۵- نمایش رشد منطقه برای بازه زمانی ۱۰ ساله: الف) بر مبنای اولویت ارزش کاربری‌ها، ب) بر مبنای بیشترین ارزش پارسل‌ها

جدول ۱- پارامترهای تقاضای کاربری اراضی بر اساس متر مربع برای بازه زمانی ۱۰ سال

کاربری	حداقل اندازه پارسل ها	سرانه	مساحت مورد نیاز
تجاری	۶۰۰	۴/۲۷	۱۷۸۸۱۹/۰۶
صنعتی _ کارگاهی	۳۰۰۰	۰/۲۸	۱۱۷۲۵/۸۴
مسکونی تراکم کم	۲۷۵	۳۳/۵۳	۱۴۰۴۱۶۹/۳۴
مسکونی تراکم زیاد	۱۶۰۰	۱۷	۷۱۱۹۲۶
خدماتی	۲۵۰۰	۲۳/۰۷	۹۶۶۱۲۵/۴۶
فضای سبز و پارک	۱۰۰۰۰	۶/۵۰	۲۷۲۲۰۷

۴-۴- تحلیل نتایج

به منظور ارزیابی نتایج تحقیق، متوسط مقادیر سازگاری و وابستگی برای پارسل های تازه تخصیص یافته، در سناریوی ۱ و ۲ محاسبه شده و مورد تحلیل قرار گرفته اند. در فرآیند پیاده سازی این تحقیق تلاش بر این است که هر یک از کاربری ها در پارسل هایی با تناسب بالا جایگزین شوند، اما باید دید که آیا پارسل های تازه تخصیص یافته نیز در کنار یکدیگر چیدمان و ترکیب سازگار و متناسبی دارند؟ بدین منظور جدول ۲ برای نمایش سطوح سازگاری و وابستگی پارسل های توسعه یافته و امکان مقایسه دو سناریوی مذکور، ارائه شده است. همچنین جدول ۳، سطوح مختلف سازگاری و وابستگی را ارائه می کند.

جدول ۲- متوسط سطوح سازگاری و وابستگی برای پارسل های تازه تخصیص یافته در سناریوی ۱ و سناریوی ۲

کاربری	متوسط سازگاری		متوسط وابستگی	
	امتیاز	سطح سازگاری	امتیاز	سطح وابستگی
مسکونی	سناریوی ۱	۰/۹۷	زیاد	۰/۹۵
	سناریوی ۲	۰/۹۵	زیاد	۰/۸۶
تجاری	سناریوی ۱	۰/۸۵	زیاد	۰/۵۵
	سناریوی ۲	۰/۸۸	زیاد	۰/۴۷
صنعتی کارگاهی	سناریوی ۱	۰/۶۶	متوسط	۰/۴۲
	سناریوی ۲	۰/۶۶	متوسط	۰/۴۲
خدماتی	سناریوی ۱	۰/۶۵	متوسط	۰/۳۹
	سناریوی ۲	۰/۶۳	متوسط	۰/۳۲
فضای سبز و پارک	سناریوی ۱	۰/۷۳	متوسط	۰/۴۲
	سناریوی ۲	۰/۶۲	متوسط	۰/۲۷

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، سطوح سازگاری و وابستگی برای کاربری مسکونی در هر دو سناریو بالا است. زیرا پارسل های مسکونی در تجمع مکانی کاربری مسکونی و در فاصله نزدیک از پارسل های خدماتی با سطح سرویس دهی محله ای و ناحیه ای واقع شده اند. همچنین سازگاری زیاد و وابستگی متوسط پارسل های تجاری به علت جایگزینی آن ها در مرکز جمعیتی منطقه مورد مطالعه و در مجاورت سایر پارسل های تجاری می باشد. پارسل های صنعتی در حاشیه شهر و در فاصله دور از کاربری مسکونی و در محل تجمع کاربری های صنعتی واقع شده اند. اما سطح پایین سازگاری این کاربری به جهت وجود پارسل های مسکونی در محدوده ۸۰۰ متری پارسل صنعتی می باشد.

موضوع به دلیل فقدان همسایگی دینامیک اتفاق می افتد. در نهایت ارزیابی مدل بیانگر عدم وجود کاربری های ناسازگار و غیروابسته در میان پارسل های تازه توسعه یافته و اختصاص متوسط امتیاز ۰/۷۷ و ۰/۵۵ در سناریو ۱ و ۰/۷۵ و ۰/۴۷ در سناریو ۲ (از بازه ۰ تا ۱) به ترتیب برای

همچنین، پارسل های فضای سبز و پارک و خدماتی به جهت وابستگی با کاربری مسکونی، در همسایگی پارسل های مسکونی توسعه یافته اند. سطح پایین وابستگی کاربری خدماتی و پارک به دلیل تجمع مکانی و غیروابستگی این کاربری ها با یکدیگر می باشد، که این

سازگاری و وابستگی پارسل‌های توسعه یافته می‌باشد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، سناریوی ۱ عملکرد بهتری نسبت به سناریوی ۲ دارد. این موضوع به جهت اختصاص دادن ترتیب ۱ و ۳ به کاربری تجاری و

مسکونی برای مکان‌گزینی در سناریوی ۱ و تجمع مکانی کاربری خدماتی و پارک، به جهت استفاده از روش بیشترین تناسب برای مکان‌گزینی در سناریوی ۲، در پی عدم اجرای همسایگی دینامیک می‌باشد.

جدول ۳- سطوح سازگاری و وابستگی [۳۴، ۳۸]

سطوح سازگاری	سطوح وابستگی	امتیاز
سازگاری زیاد	وابستگی زیاد	$1 \leq \text{امتیاز} \leq 0.79$
سازگاری متوسط	وابستگی متوسط	$0.79 < \text{امتیاز} \leq 0.49$
سازگاری کم	وابستگی کم	$0.49 < \text{امتیاز} \leq 0.18$
سازگاری خیلی کم	وابستگی خیلی کم	$0.18 < \text{امتیاز} \leq 0.05$
ناسازگار	غیر وابسته	$0 \leq \text{امتیاز}$

۵- بحث و نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق بررسی اثرات همسایگی بر اساس تابعی از سه مؤلفه متمرکزسازی، وابستگی و سازگاری و تعیین پارامترهای موثر در اندازه آن و همچنین ارزیابی تعاملات کاربری‌ها در سه آستانه فعالیت محله‌ای، ناحیه‌ای و منطقه‌ای می‌باشد. همچنین کاربرد ساختار برداری در قالب پارسل‌های کاداستری، به دلیل انطباق کامل بر هستنده‌های مکانی و ارائه نتایج بهتر در زمینه تعاملات کاربری‌ها، از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

این تحقیق می‌تواند به عنوان ادامه و پیشبرد روش‌های مورد استفاده در سایر مدل‌های خوارکاره سولی پارسل مینا برای شبیه‌سازی رشد شهری باشد، که توسط Stevens et al. (2007) و Ballesteros and Qiu (2012) انجام شده‌اند. در این تحقیقات تعریف قوانین انتقال و برآورد اثر همسایگی اغلب به وسیله قوانینی که توسط خود نویسندگان طراحی می‌شود، اجرا می‌گردد. در حالی که ارزیابی اثر همسایگی بر اساس فاکتورهای کارآمد و شناخته شده نظیر، متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی، که در تحقیقات اخیر تعاملات کاربری‌ها [۳۴، ۳۵، ۳۶] استفاده شده‌اند، می‌تواند شبیه‌سازی کارآمدتری در رشد شهری را نتیجه دهد.

در تحقیقات مشابه کاربرد مدل‌های خودکاره برداری در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری بر اساس پارسل‌های کاداستری، که توسط Stevens et al. (2007) انجام شده است، ایجاد فضای توسعه پارسل‌مبنا به ازای کاربری‌های مختلف به صورت دستی انجام شده است؛ در

صورتی که در تحقیق حاضر با کاربرد ابزار تقسیم‌بندی اتوماتیک زمین، مدل از سطح اتوماسیون بالاتری برخوردار است.

استفاده از مدل‌های خودکاره سلولی در صورتی توجیه‌پذیر است که قوانین همسایگی به درستی تعریف شده باشند. صحت قوانین همسایگی منوط به شناخت صحیح نحوه تعاملات کاربری‌ها و عوامل موثر در آن نظیر شعاع همسایگی، فاصله و مساحت پلیگون‌ها، می‌باشد. اندازه‌گیری فاصله میان دو پارسل به صورت کوتاه‌ترین فاصله بین نزدیک‌ترین دو لبه مربوط به دو پارسل، در ارزیابی تعاملات کاربری‌ها واقعیت‌پذیرتر است. زیرا ممکن است فاصله میان مراکز دو پلیگون تحت تاثیر شکل و اندازه آن‌ها، بیشتر از ناحیه تاثیر (۸۰۰ متر) بوده و اثرات متقابل پلیگون‌ها مورد اغماض واقع شود، در صورتی که دو پلیگون فاصله کوتاهی از یکدیگر داشته باشند.

در این مدل می‌توان تعامل پارسل‌های توسعه نیافته را از سه نقطه نظر سازگاری، وابستگی و متمرکزسازی، با پارسل‌های موجود در شعاع همسایگی سنجید. به علت ماهیت و اهمیت متفاوت این سه گروه، بسته به نظر کارشناسان و مدیران شهری، می‌توان این فاکتورها را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، با وزن‌های مختلف و متناسب با نوع کاربری مورد ارزیابی، با یکدیگر ترکیب نمود. از دیدگاهی دیگر این مدل توانایی اجرای سناریوهای مختلف را داشته و می‌تواند تحت عنوان یک ابزار حامی تصمیم‌گیری مکانی در زمینه ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت شهری توسط برنامه‌ریزان و مدیران شهری مورد استفاده قرار گیرد.

از جمله تحقیقات آینده در زمینه توسعه این مدل می توان معرفی شعاع همسایگی متغیر، به نحوی که متناسب با نوع کاربری مورد نظر و آستانه فعالیت آن باشد، اشاره کرد. بدین ترتیب علاوه بر سنجش اثرگذاری کاربری ها در سه سطح محله، ناحیه و منطقه، می توان اثرپذیری آن ها را نیز در سه سطح ذکر شده بررسی کرد.

همچنین باید توجه داشت که اثرات کاربری ها در طول فاصله همیشه به صورت نزولی عمل نمی کنند، و بهتر است جهت بررسی دقیق تر، اثر کاربری های گوناگون، در طول فاصله به صورت توابع فازی معین گردند. قابل ذکر است اجرای همسایگی دینامیک نیز بر پیشبرد صحیح مدل، اثر بسزایی خواهد داشت.

مراجع

- [1] Batty, M. (1997). "Cellular automata and urban form: a primer", Journal of the American Planning Association, Vol. 63, No. 2, PP. 266-274.
- [2] Wu, F. and Webster, C.J. (1998). "Simulation of land development through the integration of cellular automata and multi-criteria evaluation", Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 25, No. 1, PP. 103-126.
- [3] White, R. and Engelen, G. (2000). "High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 24, No. 5, PP. 383-400.
- [4] Jenerette, G. D. and Wu, J. (2001). "Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA", Landscape Ecology, Vol. 16, No. 7, PP. 611-626.
- [5] Rafiee, R., Mahiny, A. S., Khorasani, N., Darvishsefat, A. S. and Danekar, A. (2009). "Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model", Cities, Vol. 26, No. 1, PP. 19-26.
- [6] Feng, Y., Liu, Y., Tong, X., Liu, M. and Deng, S. (2011). "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules", International journal of Landscape and Urban Planning, Vol. 102, No. 3, PP. 188-196.
- [7] Hagoort, M., Geertman, S. and Ottens, H. (2008). "Spatial externalities, neighbourhood rules and CA land-use modelling", Ann RegSci, Vol. 42, No. 1, PP. 39-56.
- [8] Torrens, P. M. (2000). "How cellular models of urban systems work: 1. Theory". Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, Paper 28.
- [9] Torrens, P. M. and O'Sullivan, D. (2001). "Editorial, CA and urban simulation: where do we go from here? Environment and Planning B, Vol. 28, No. 2, PP. 163-168.
- [10] Farsaie, M., Hakimpour, F. (2014). "Evaluation of Scale Change Effect on Simulating Urban Expansion Using Continuous Cellular Automata". JGST. Vol. 4, No. 1, PP. 67-78. [in Persian].
- [11] Marceau, D.J. (1999). "The scale issue in the social and natural sciences", Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 4, PP. 347-356.
- [12] Moreno, N. (2008). "A vector-based geographical cellular automata model to mitigate scale sensitivity and to allow objects' geometric transformation", University of Calgary, 20266.
- [13] Kocabas, V., and Dragicevic, S. (2006). "Assessing cellular automata model behavior using a sensitivity analysis approach", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 30, No. 6, PP. 921-953.
- [14] Jantz, C. A. and Goetz, S. J. (2005). "Analysis of scale dependencies in an urban landuse-change model", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 19, No. 2, PP. 217-241.
- [15] Ménard, A. and Marceau, D. (2005). "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata", Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 32, No. 5, PP. 714-693.

- [16] Chen, Q. and Mynett, A. E. (2003). "Effects of cells size and configuration in cellular automata based prey-predator modeling", *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 11, No. 7-8, PP. 609-625.
- [17] Stevens, D., Dragicevic, S., and Rothley, K. (2007). "iCity: A GIS-CA modeling tool for urban planning and decision making", *Environmental Modelling & Software*, Vol. 22, No. 6, PP. 773-761.
- [18] Shi, W. and Pang, M. Y. C. (2000). "Development of Voronoi-based cellular automata – an integrated dynamic model for Geographical Information Systems," *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 14, No. 5, PP. 455-474.
- [19] Flache, A. and Hegselmann, R. (2001). "Do irregular grids make a difference? Relaxing the spatial regularity assumption in cellular models of social dynamics". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 4, No. 4, PP. 6.1-6.27.
- [20] Pang, M.Y.C. and Shi, W.Z. (2002). "Development of a process-based model for dynamic interaction in spatio-temporal GIS", *Geoinformatica*, Vol. 6, No. 4, PP. 323-344.
- [21] Semboloni, F. (2000). "The growth of an urban cluster into a dynamic self-modifying spatial pattern". *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 27, No. 4, PP. 549-564.
- [22] O'Sullivan, D., (2001a). "Graph-cellular automata: A generalized discrete urban and regional model", *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 28, No. 5, PP. 687-705.
- [23] O'Sullivan, D. (2001b). "Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models". *Geographical Analysis*, Vol. 33, No. 1, PP. 1-18.
- [24] Ballestores Jr, F. and Qiu, Z. (2012). "An integrated parcel-based land use change model using cellular automata and decision tree", *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, Vol. 2, No. 2, PP. 53-69.
- [25] Moreno, N., Wang, F., and Marceau, D.J. (2009). "Implementation of a dynamic neighborhood in a land-use vector-based cellular automata model", *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 33, No. 1, PP. 44-54.
- [26] Moreno, N. and Marceau, D. J. (2007). "Performance assessment of a new vector-based geographic cellular automata model", In *Proceedings of the international conference on geocomputation* (September 3-5). Ireland: Maynooth.
- [27] Wang, F. (2012). "A cellular automata model to simulate land-use changes at fine spatial resolution", PhD thesis, University of Calgary. Calgary, Canada.
- [28] Verburg, P.H. and Veldkamp, A., (2004). "Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales". *Landscape Ecol.* Vol. 19, No. 1, PP. 77-98.
- [29] Karimi, M. (2010). "Developing Multi-Criteria Decision Analysis Methods for Land Use Allocation", PhD Thesis in Geographic Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran. [in Persian].
- [30] Wickramasuriya, R., Chisholm, L.A., Puotinen, M., Gill, N. and Klepeis, P. (2011). "An automated land subdivision tool for urban and regional planning: Concepts, implementation and testing". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 26, No. 12, PP: 1675-1684.
- [31] Karimi, M., Sharifi, M.A. and Mesgari, M.S. (2012). "Modeling land use interaction using linguistic variables", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 16, PP. 42-53.
- [32] Geneletti, D. (2004). "A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an Alpin valley". *Land use policy*, Vol. 21, No. 2, PP. 149-160.
- [33] Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R. and Miranda-Barros, D. (2008). "GIS-based planning support system for rural land-use allocation", *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 63, No. 2, PP. 257-273.
- [34] Thinh, N.X., Arlt, G., Heber, B., Hennersdorf, J. and Lehmann, I. (2002). "Evaluation of urban land use structures with a view to sustainable development". *Environ. Impact Assess.* Vol. 22, No. 5, PP: 475-492.

- [35] Masoomi, Z., Mesgari, M.S. and Hamrah, M. (2013). "Allocation of urban land uses by Multi-Objective Particle Swarm Optimization algorithm", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 27, No. 3, PP. 542–566.
- [36] Taleai, M., Sharifi, A., Sliuzas, R. and Mesgari, M. (2007). "Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses", *International Journal of Applied Earth and Geoinformation*, Vol. 9, No. 4, PP: 375–391.
- [37] Behzadi, S. and Alesheikh, A.A. (2013). "Introducing a novel model of belief–desire–intention agent for urban land use planning". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 23, PP. 20. –233.
- [38] Taleai, M. (2007). "GIS-based planning support system for urban land use externalities evaluation"., PhD Thesis in Geographic Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran. [in Persian].
- [39] Wu, H., Zhou, L., Chi, X., Li, Y. and Sun, Y. (2012). "Quantifying and analyzing neighborhood configuration characteristics to cellular automata for land use simulation considering data source error". *Earth Sci Inform*, Vol. 5, No. 2, PP. 77–86.
- [40] Hagoort, M.J. (2006). "The Neighbourhood Rules: Land-use Interactions, Urban Dynamics and Cellular Automata Modelling". *Netherlands Geographical Studies* 334. KNAG/Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- [41] Geertman, S., Hagoort, M. and Ottens, H. (2007). "Spatial-temporal specific neighbourhood rules for cellular automata land-use modelling". *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21, No. 5, PP. 547–568.
- [42] Sharifi, M.A., Karimi, M. and Mesgari M.S. (2010). "Modeling land allocation in time and space". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, No.2, PP. 63–68.
- [43] Center for environment research and studies (2001). "Land use state of 22nd municipal region of Tehran, Project of assessment and prediction of noise pollution due to the implementation of the comprehensive plan of Tehran municipality, district 22". First report, Chapter V, PP. 83-138. [in Persian].
- [44] Pettit, C.J. (2002). "Land use planning scenarios for urban growth: a case study approach", PhD thesis, University of Queensland, Queensland, Australia.
- [45] Cohen, E. and Kaplan, H. (2007). "Spatially-Decaying Aggregation over a Network", *Journal of Computer and System Sciences*, Vol. 73, No. 3, PP. 265–288.
- [46] Knorr, E.M. and Ng, R.T., (1996). "Finding aggregate proximity relationships and commonalities in spatial data mining", *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, Vol. 8, No. 6, PP. 884–897.

[illegible]

