مدل‌سازی رشد شهری به‌وسیلهٔ خودکارهٔ سلولی برداری پارسل‌مبنا

سمیه ابوالحسنی[1*]، محمد طالعی[2]، محمد کریمی[3]

1- کارشناس ارشد GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
2- استادیار گروه GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
3- استادیار گروه GIS، دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: 93/9/2 پذیرش: 94/3/15

چکیده

شبیه‌سازی رشد شهری در مسیری پایدار و بهینه، همواره از چالش‌های موجود در عرصه‌های مدیریت و برنامه‌ریزی شهری است. از مدل‌های پرکاربرد در این زمینه، خودکاره‌های سلولی هستند که طی چند دههٔ اخیر، مورد توجه بسیاری از محققان حوزهٔ پیش‌بینی رشد شهری قرار گرفته‌اند. تحقیقات انجام‌شده حاکی از آن است که خروجی مدل متعارف خودکارهٔ سلولی به‌اندازهٔ سلول و ترکیب همسایگی حساس بوده و با تغییر در اندازهٔ این پارامترها، نتایج نیز دگرگون می‌شوند. به همین منظور، مدل‌های خودکارهٔ سلولی برداری معرفی شدند که در طی دورهٔ تکامل خود توانسته‌اند بر محدودیت‌های ذکرشده در مدل متعارف خودکارهٔ سلولی فائق آیند و نتایج بهتری به‌دست دهند. هدف این تحقیق، شبیه‌سازی رشد شهری به‌وسیلهٔ خودکارهٔ سلولی برداری و نمایش چگونگی رشد و توسعهٔ شهر در ساختاری پارسل‌مبنا، با تفکیک‌پذیری مکانیِ زیاد است. در این مدل، ساختار همسایگی به‌صورت یک بافر خارجی از لبه‌های پارسل و براساس یک تابع وزن‌دار از مؤلفه‌های فاصله، مساحت و کاربری پارسل‌های کاداستری تعریف شده است. مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌های مکانی منطقهٔ 22 شهرداری تهران اجرا و تحلیل شده است. نتایج بیانگر توانایی مدل در ارزیابی آثار متقابل کاربری‌های مختلف شهری در اندازه‌های مختلف و فاصله‌های گوناگون از یکدیگر بوده و همچنین، نشان‌دهندهٔ رشد شهر در تناسب قابل قبولی از چیدمان کاربری‌های مختلف شهری‌اند. از آنجایی که در این مدل، امکان تخصیص کاربری‌های مختلف شهری فراهم شده، می‌توان از آن در زمینهٔ تصمیم‌گیری‌های مکانی و برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری بهره برد.

واژه‌های کلیدی: خودکارهٔ سلولی برداری، ساختار همسایگی، مدل‌سازی رشد شهری، مدل پارسل‌مبنا.

* نویسندهٔ مسئول مقاله: Email: somaie.abolhassani@gmail.com

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

1- مقدمه

پیش‌بینی رشد شهری و هدایت آن در مسیر توسعهٔ پایدار همواره از دغدغه‌های مسئولان و برنامه‌ریزان شهری بوده است. طبق تحقیقات صورت‌گرفته در دویست سال اخیر، جمعیت جهان شش‌برابر، ولی جمعیت شهری صدبرابر شده است (Stalker, 2000). ایران نیز به‌عنوان کشوری درحال توسعه از این قاعده مستثنا نبوده است و شاهد رشد نابسامان شهرهای بزرگ، به‌خصوص در نواحی حاشیه‌ای شهرها هستیم. بنابراین، با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و همچنین تمایل زیاد به شهرنشینی، ضرورت ایجاد بسترهای مناسب پیش‌بینی رشد شهری بیش از پیش احساس می‌شود (Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997: 248; Batty & Longley, 1989: 1469; Li & Yeh, 2000: 132; Torrens, 2002: 71).

از مدل‌های پرکاربرد در زمینهٔ شبیه‌سازی فرایندهای دینامیک، مدل‌های خودکارهٔ سلولی[1] هستند (Batty, Xie & Sun, 1999: 206; Yassemi, Dragicevic & Schmidt, 2008: 73). طی چند دههٔ اخیر، مدل‌های خودکارهٔ سلولی با ساختار رستری، به‌طوری فزاینده در زمینهٔ شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Verburg & Veldkamp, 2004; Wu & Webster, 1998; Jenerette & Wu, 2001; Rafiee et al., 2009; Feng et al., 2011). مطالعات داخلی صورت‌گرفته نیز مؤید همین مسئله است (علیمحمدی، متکان و میرباقری، 1389؛ صادقی و همکاران، 1390؛ زارعی و آل‌شیخ، 1391). این مدل‌ها به‌دلیل سادگی محاسبات و انطباق آن‌ها با داده‌های سنجش از دور، همچنان مورد توجه پژوهشگران‌اند.

تحقیقاتی که به‌تازگی در زمینهٔ خودکارهٔ سلولی با ساختار رستری صورت گرفته، حاکی از آن است که این مدل‌ها به‌اندازهٔ سلول و ترکیب همسایگی حساس بوده و با تغییر در اندازهٔ آن‌ها، نتایج مدل نیز دگرگون می‌شوند (Kocabas & Dragicevic, 2006: 950; Jantz & Goetz, 2005: 238; Ménard & Marceau, 2005: 690; Chen & Mynett, 2003: 622). برای فائق آمدن بر محدودیت‌های ذکرشده در ساختار رستریِ خودکاره‌های سلولی، دو راه‌حل ارائه می‌شود: یکی، تحلیل حساسیت (Kocabas & Dragicevic, 2006: 951; Jantz & Goetz, 2005:238) و دیگری استفاده از ساختار فضایی نامنظم (White & Engelen, 2000: 397) و

1. cellular automata (CA)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

منطبق بر هستنده‌های مکانی.[1] تحلیل حساسیت شامل بررسی اندازه‌های مختلف سلول و به‌کار بردن ترکیب‌های مختلف همسایگی است؛ به‌گونه‌ای که بتوان مناسب‌ترین اندازهٔ سلول و بهترین ترکیب همسایگی را برای منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب کرد؛ اما این روش فقط امکان بررسی حالات خاصی از تمام حالات ممکن اندازهٔ سلول و آرایش همسایگی را فراهم کرده و فقط در مطالعه‌ای خاص یاری‌رسان خواهد بود.

برای ارائهٔ ساختار فضایی نامنظم، روش‌های گوناگونی نظیر استفاده از المان‌های تفکیک‌پذیری مکانی[2] (Tobler, 1995; Moore, 2000)، پلیگون‌های ورونی (Flache & Hegselmann, 2001; Pang & Shi, 2002) و مثلث‌بندی دلونی (Semboloni, 2000) ارائه شده است. از محدودیت‌های روش‌های ذکرشده این است که پلیگون‌ها به‌صورت خودکار ایجاد می‌شوند و ممکن است بر هستنده‌های جهان واقعی منطبق نباشند (Moreno, Wang & Marceau, 2009: 45). روش‌های دیگر عبارت‌اند از: استفاده از یک گراف مسطح به‌صورت ترکیبی از راس‌ها و یال‌ها (O'Sullivan, 2001a, b)، روش‌های هستنده‌مبنا (Benenson, Omer & Hatna, 2002) و به‌کارگیری یک قالب‌برداری GISمبنا باعنوان مدل VCA (Li & Hu, 2004) برای نمایش فضای نامنظم مدل خودکارهٔ سلولی. در این روش‌ها نیز همسایگی توسط مثلث‌های دلونی تعریف می‌شود و نیازمند تعریف همسایگی مناسب‌تری است (Stevens, Dragicevic & Rothley, 2007:762).

مدل دیگری که در قالب برداریِ GISمعرفی شده و icity نامیده می‌شود، توسعه‌یافتهٔ مدل متعارف خودکارهٔ سلولی است که در آن فضا توسط پارسل‌های کاداستری غیرمنظم تعریف می‌شود (Ibid). این مدل تعریف مناسبی از هستنده‌های جهان واقعی و کاربرد آن‌ها در خودکاره‌های سلولی دارد. از معایب این مدل، ثابت ماندن شکل و اندازهٔ اشیا در طول زمان (Moreno, Wang & Marceau, 2008: 13) و عدم امکان ایجاد پارسل‌های توسعه به‌صورت خودکار است. در تلاش برای نمایش برداری از موجودیت‌های جهان واقعی و تغییر شکل هندسی آن‌ها، مورنو[3] و مارسیو[4] (2006) و مورنو و همکاران (2008)

1. spatial entities
2. resolution elements (resels)
3. Morreno
4. Marceau

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

مدل خودکارهٔ سلولی برداری به‌نام VecGCA[1] را پیشنهاد کردند. در VecGCA فضا به‌عنوان مجموعه‌ای از اشیای جغرافیایی نامنظم متصل که منطبق بر موجودیت‌های دنیای واقعی هستند، نمایش داده می‌شود؛ اما باید توجه کرد که این روش نیز مستقل از اندازهٔ سلول نیست و با تبدیل داده‌های رستری به نوع برداری، از صحت داده‌های ورودی کاسته خواهد شد.

ترکیب همسایگی به‌دلیل آنکه ارائه‌دهنده ناحیهٔ تأثیر بوده و هم‌زمان تعیین‌کنندهٔ تغییر وضعیت سلول در مدل خودکارهٔ سلولی رستری یا پلیگون در مدل خودکارهٔ سلولی برداری است، جزئی کلیدی در مدل‌سازی برمبنای خودکارهٔ سلولی به‌شمار می‌آید (Verburg et al., 2004: 83). موارد مختلف همسایگی که برای ساختار نامنظم مدل خودکارهٔ سلولی بررسی شده‌اند، عبارت‌اند از: اتصالات مثلث‌بندی دلونی، گراف مسطح و پلیگون‌های ورونی. این همسایگی‌ها در تعیین ناحیهٔ درست تأثیر هیچ نقشی ندارند (Couclelis, 1985; Moreno, Wang & Marceau, 2009: 45). به‌منظور فائق آمدن بر حساسیت مدل‌های خودکارهٔ سلولی متعارف به اندازه و ترکیب همسایگی، در تحقیقات مختلف روش‌های متنوعی معرفی شده است؛ ازجمله استفاده از یک همسایگی شعاعی بزرگ که یک تابع وزن‌دار براساس فاصله در آن استفاده می‌شود (White & Engelen, 1993)، ایجاد امکان تغییرپذیری یا عدم تغییرپذیری مکانی همسایگی (Takeyama & Couclelis, 1997)، و استفاده از همسایگی محلی و کلی (Stewart-Cox, Britton & Mogie, 2005).

مورنو و همکاران (2009) برای مدل VecGCA، همسایگی دینامیک تعریف کردند. در این مدل، فضای همسایگی شامل کل منطقهٔ مطالعه بوده و میزان تأثیر همسایه‌ها بر شیء مرکزی متغیر است. همچنین، اندازهٔ ناحیهٔ تأثیر براساس ویژگی‌های شیء مرکزی و پلیگون‌های همسایه مشخص می‌شود. مدل VecGCA با همسایگی دینامیک، مستقل از اندازهٔ سلول و ترکیب همسایگی بوده و بی‌نیاز از تحلیل حساسیت است (Moreno, Wang & Marceau, 2009: 53)؛ ولی این مدل فقط امکان رشد را برای پلیگون‌های متصل به اشیای توسعه‌یافته فراهم می‌کند و زمینهٔ رشد پراکنده در نواحی مختلف را ایجاد نمی‌کند. از

1. vector-based geographical cellular automata

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

مطالعات داخلی در زمینهٔ کاربرد مدل‌های خودکارهٔ سلولی برداری می‌توان به تحقیق اصلانی مقدم (1388) اشاره کرد که مدل VecGCA را برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان اجرا کرده است.

مدل‌های خودکارهٔ سلولی برداری توانسته‌اند به میزان زیادی کمبودهای مدل رستری در زمینهٔ حساسیت به اندازهٔ سلول و ترکیب همسایگی را رفع کنند؛ هچنین، نتایج اعلام‌شده در سایر تحقیقات حاکی از آن است که استفاده از مدل‌های برداری به نتایج دقیق‌تری در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری می‌انجامد (Ménard & Marceau, 2005: 693; Moreno, 2008: 56). اما به‌دلیل پیچیدگی محاسبات در ساختار نامنظم مدل خودکارهٔ سلولی، پژوهش‌های اندکی در این زمینه صورت گرفته (Stevens et al., 2007: 762) و استفاده از ساختار رستری همچنان طرف‌داران خود را دارد. هدف این مطالعه، ارائهٔ مدل خودکارهٔ سلولی برداری برمبنای پارسل کاداستری است؛ به‌نحوی که بتواند موارد زیر را مرتفع کند:

– استفاده از یک فضای نامنظمِ برداری برای نمایش فضا و انطباق کامل ساختار پارسلی بر هستنده‌های مکانی؛

– انجام تمام مراحل شبیه‌سازی مستقیماً بر داده‌های GIS شهری؛

– امکان ایجاد خودکار فضای توسعهٔ پارسلی؛

– طراحی یک ساختار همسایگی انعطاف‌پذیر.

2- مبانی نظری

مدل‌های خودکارهٔ سلولی برداری درواقع متمم مدل‌های خودکارهٔ سلولی متعارف هستند و همانند آن‌ها، از پنج مؤلفهٔ فضا، همسایگی، وضعیت سلول، قوانین انتقال و زمان تشکیل شده‌اند؛ بنابراین، در ادامه مؤلفه‌های مدل ارائه‌شده را مرور می‌کنیم.

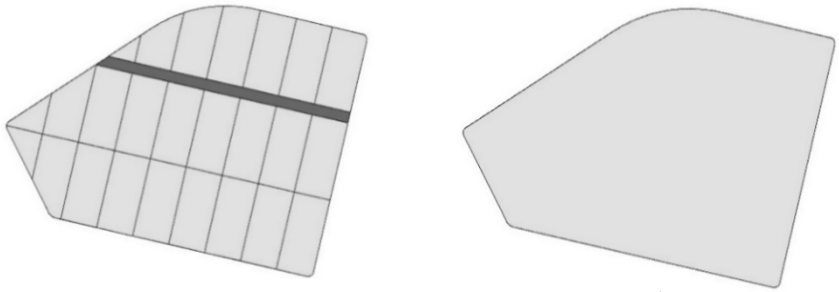
2-1- ساختار فضایی پارسل‌مبنا

ساختار فضایی نامنظم به‌کاررفته در این مدل شامل پلیگون‌هایی است که پارسل‌های کاداستری را نشان می‌دهند بوده و کاملاً منطبق بر هستنده‌های واقعی هستند. برای نمایش چگونگی رشد و توسعهٔ شهر در ساختار برداری و با قدرت تفکیک مکانی زیاد، می‌توان از

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین[1] بهره برد. هدف این ابزار، تقسیم‌بندی یک قطعه به قطعاتی با ابعاد کوچک‌تر است. برای انتخاب ابزار تقسیم‌بندی مناسب، باید مواردی نظیر توانایی ابزار در ایجاد قطعات و خیابان‌های مربوط به‌طور هم‌زمان، ایجاد شرایط دسترسی تمام قطعات ایجادشده به خیابان‌ها، استفادهٔ بهینه از فضا از راه انتخاب هوشمند یک طرح تقسیم‌بندی مناسب برای قطعهٔ اصلی و درنهایت سطح اتوماسیون و بازده محاسبات را درنظر گرفت (Wickramasuriya et al., 2011: 1676).

ابزار تقسیم‌بندی به‌کاررفته در این تحقیق که ویکراماسوریا[2] و همکاران (2011) آن را توسعه داده‌اند، ابزار کاملاً خودکارِ بردارمبنای تقسیم‌بندی زمین برای ایجاد طرح تقسیم‌بندی کامل است که هم قطعه‌زمین و هم خیابان‌های لازم را سازمان‌دهی کرده و برای شکل‌های مختلف قطعات زمین و خیابان‌های موجود قابل اجراست؛ همچنین، بیشترین تعداد قطعات و کمترین تعداد خیابان را برای هر قطعهٔ داده‌شده ایجاد می‌کند (Ibid, 1683)؛ بنابراین می‌توان از این ابزار برای ایجاد فضای نامنظم برداری پارسل‌مبنا، جهت نمایش رشد آیندهٔ شهر استفاده کرد (برای مطالعهٔ بیشتر ر.ک: Ibid). شکل شمارهٔ یک نشان‌دهندهٔ اجرای این ابزار بر یکی از قطعات قابل توسعه است.



شکل 1 نمایش تقسیم‌بندی قطعات: الف. قطعهٔ اصلی، ب. قطعات تقسیم‌بندی‌شده

1. automated land subdivision tool
2. Wickramasuriya

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

2-2- اثر همسایگی

همان‌طور که در بخش مقدمه ذکر شد، چگونگی انتخاب ترکیب همسایگی همواره یکی از چالش‌های خودکارهٔ سلولی بوده است. در پژوهش حاضر، برای ارائهٔ یک ترکیب همسایگی انعطاف‌پذیر، پارامترهای زیر مورد توجه قرار گرفته‌اند:

- اندازهٔ شعاع و محدودهٔ تأثیر؛
- فاصلهٔ پارسل‌های موجود در فاصله همسایگی از پارسل هدف؛
- میزان اثر مساحت هر پارسل بر اثرپذیری پارسل هدف؛
- آثار متقابل کاربری‌ها.

با توجه به موارد ذکرشده اثر همسایگی هر پارسل طبق رابطهٔ 1 محاسبه می‌شود:

$$N_{a_l} = \sum_k N_{ab_{lkd}}$$ رابطهٔ 1

در این رابطه، $N_{ab_{lkd}}$ بیانگر اندازهٔ پیامد خارجی مکانی پارسل b با کاربری k واقع در فاصله d، بر پارسل a با کاربری l، و N_{al} به‌عنوان اثر همسایگی پارسل a با کاربری l است. اندازهٔ پیامد خارجی $(N_{ab_{lkd}})$ را می‌توان مطابق رابطهٔ 2، به‌صورت تابعی از پارامترهای زیر بیان کرد:

$$N_{ab_{lkd}} = f(I_{a_l b_k}, d_{ab}, A_{ab})$$ رابطهٔ 2

در این رابطه، $I_{a_l b_k}$، d_{ab} و A_{ab} به‌ترتیب معرف اثر دافعه یا جاذبهٔ پارسل b با کاربری K بر پارسل a با کاربری l، فاصلهٔ بین دو پارسل a و b و میزان اثر مساحت پارسل b بر اثرپذیری پارسل a هستند.

2-2-1- شعاع تأثیر

شعاع همسایگی در تحقیقات گوناگون، براساس ماهیت و ویژگی‌های عملکردی کاربری‌های محدودهٔ مطالعاتی، مقادیر مختلفی را به خود اختصاص می‌دهد (Hansen, 2012: 219)؛

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

ازجمله شعاع تأثیر 800متر که در تحقیقات گوناگونی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Hagoort, 2006: 55; Geertman, Hagoort & Ottens, 2007: 554; Hagoort, Geertman & Ottens, 2008: 46). در واقعیت ممکن است شعاع تـأثیر بیشـتر از 800متـر باشـد؛ همچنـین استفاده از اندازهٔ همسایگی بزرگ راهی مناسب برای به‌دست آوردن نتایج با دقـت فـراوان در خودکارهٔ سلولی است و توانایی بیشتری در مقاومت دربرابر توزیع خطـای منبـع دارد و نتـایج شبیه‌سازی پایدارتری ارائه می‌دهد (Wu et al., 2012: 77)؛ اما افزایش اندازهٔ همسایگی موجب افزایش اطلاعات کاربری اراضی و درنتیجه، افزایش حجم و زمان محاسبات می‌شود (Karimi, Sharifi & Mesgari, 2012: 43).

در تحقیق حاضر نیز با توجه به محدودهٔ مطالعاتی که یک منطقهٔ شهری بوده و با درنظر گـرفتن آستانهٔ فعالیت کاربری‌های مختلف شهری، شعاع همسایگی 800 متر مورد نظر قـرار گرفتـه اسـت. همچنین، استفاده از بافر خارجی از لبه‌های پارسل، درمقابل بافر دایـره‌ایِ مرکـزی، ایـن اطمینـان را ایجاد می‌کند که همسایگی در خارج از هر پارسل تشکیل می‌شود و خطر جاافتـادگی کـاهش پیـدا می‌کند (Ballesteros & Qiu, 2012: 59). بنابراین، با توجه به اینکه محدودهٔ تـأثیر بـه‌صـورت بـافر خارجی از لبهٔ پارسل تعریف می‌شود، اندازهٔ پارسل در شعاع همسایگی تأثیر نمی‌گذارد و برای همهٔ کاربری‌ها شعاع تأثیر یکسان منظور می‌شود، اگرچه کاربرد شـعاع همسـایگی متغیـر کـه بـر سـطح عملکرد کاربری مورد نظر منطبق باشد، به نتایج دقیق‌تر می‌انجامد.

2-2-2- فاصلهٔ بین دو پارسل (d_{ab})

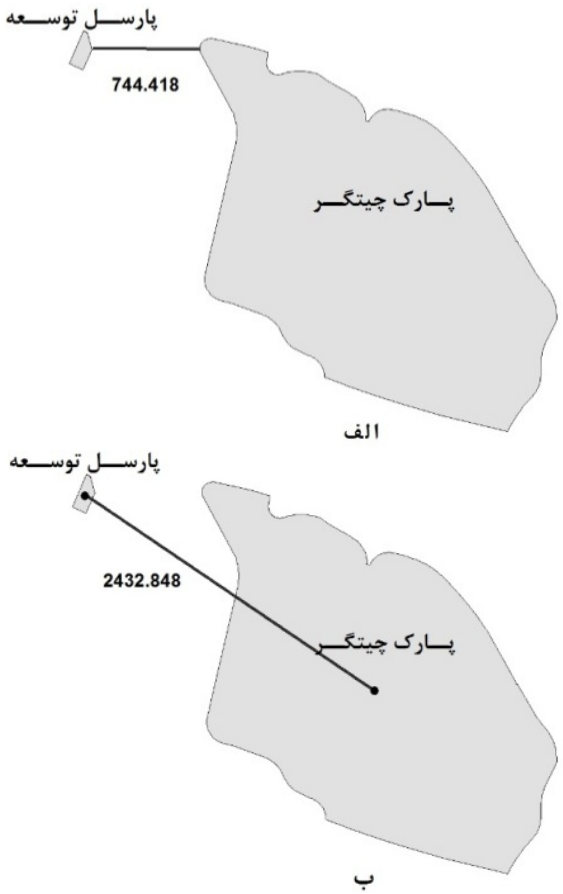
با افزایش فاصله بین دو کاربری پیامدهای خارجی مکانی آن‌ها کاهش می‌یابند؛ بنابراین، در پژوهش حاضر اثر عامل فاصله بین دو پارسل a و b (d_{ab}) طبق رابطهٔ 3 به‌صورت یک عملگـر کاهشـی از فاصله بیان شده است (Song & Knaap, 2004: 669; Cohen & Kaplan, 2006: 269):

$$f(d_{ab}) = \exp(-d_{ab}/1000)$$ رابطهٔ 3

در این تحقیق، برای بیان فاصلهٔ بین دو پارسل از روش اندازه‌گیریِ کوتاه‌ترین فاصـله بـین نزدیک‌ترین دو لبه، دربرابر روش اندازهٔ فاصله میـان مراکـز دو پلیگـون اسـتفاده شـده اسـت.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

اندازه‌گیری فاصله میان مراکز دو پارسل، به‌ویژه در مناطقی که پلیگون‌ها شکل و اندازهٔ همگونی ندارند، ممکن است مبهم باشد؛ برای مثال، برای تمام پارسل‌های مسکونی که اطراف پارکی بزرگ قرار دارند، فاصله میان مرکز پارک با پارسل‌های مسکونی بسیار زیاد است؛ به‌طوری که به‌نظر می‌رسد پارسل‌های مسکونی از پارک فاصلهٔ زیادی دارند و از وجود پارک اثر نمی‌پذیرند (Knorr & Ng, 1996). شکل دو نمایشی از دو روش ذکرشده در اندازه‌گیری فواصل بین پلیگون‌ها است:



شکل 2 فاصله بین دو پارسل: الف. کوتاه‌ترین فاصله بین نزدیک‌ترین دو لبهٔ پارسل، ب. فاصله بین مراکز دو پارسل

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

2-2-3- میزان اثر مساحت هر پارسل بر اثرپذیری پارسل هدف (A_{ab})

این پارامتر بیانگر نحوهٔ تأثیر اندازهٔ مساحت پارسل همسایه در پارسل هدف است. در مطالعات کاربری اراضی، هر کاربری که فضای بیشتری را به خود اختصاص دهد، آثار خارجی بیشتری دارد و در تغییر کاربری واحدهای اطراف سهم بیشتری خواهد داشت. در تحقیق حاضر نیز هر پارسلی که مساحت بیشتری داشته باشد، پیامد خارجی مکانی بیشتری بر پارسل مرکزی خواهد داشت. میزان این تأثیر به اندازهٔ پارسل مرکزی نیز مربوط می‌شود؛ به‌طوری که اگر اندازهٔ پارسل همسایه از پارسل مرکزی کوچک‌تر باشد، باعث کاهش میزان پیامد خارجی مکانیِ پارسل همسایه می‌شود؛ بنابراین، اثر مساحت به‌صورت نسبتی از مساحت پارسل همسایه، b، بر مساحت پارسل مرکزی، a، بیان می‌شود. زمانی‌که مساحت پارسل همسایه از مساحت پارسل مرکزی بیشتر باشد، این نسبت (A_b/A_a) بزرگ‌تر از یک می‌شود و می‌تواند تغییرات زیادی را بر پیامد اثر خارجی اعمال کند؛ بنابراین، به‌منظور کنترل نحوهٔ تغییر عامل مساحت، از تابع نمایی نرمال‌شدهٔ A_b/A_a، برای تنظیم این مقدار استفاده شده است (Morreno, Wang & Marceau, 2009: 47). رابطهٔ چهار بیانگر اثر مساحت پارسل همسایه بر پارسل هدف است. در این رابطه، A_b، A_a، A_{max} و A_{min} به‌ترتیب معرف مساحت پارسل b، مساحت پارسل a (هدف)، بیشترین و کمترین مساحت موجود در منطقه هستند.

$$f(A_{ab}) = \exp\left(\frac{\frac{A_b}{A_a}}{\frac{A_{max}}{A_{min}}}\right)$$ رابطهٔ 4

2-2-4- آثار متقابل کاربری‌ها ($I_{a_l b_k}$)

این پارامتر بیانگر میزان جاذبه یا دافعهٔ پارسل b با کاربری K بر پارسل هدف، a، با کاربری l است. ازجملهٔ این آثار می‌توان به تأثیر مثبت کاربری مسکونی در مجاورت کاربری مسکونی یا تأثیر منفی کاربری صنعتی در کاربری مسکونی اشاره کرد که در تحقیق حاضر براساس دانش کارشناسی و مطالعات صورت‌گرفته در سایر پژوهش‌ها (طالعی، 1385؛ کریمی، 1389؛ Hagoort, 2006: 95) حاصل شده است.

درنهایت می‌توان اندازهٔ $N_{ab_{lkd}}$ را براساس ترکیب روابط پیش‌گفته و مطابق رابطهٔ 5 بیان کرد:

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

$$N_{ab_{lkd}} = \left(\exp\left(\frac{\frac{A_b}{A_a}}{\frac{A_{max}}{A_{min}}} \right) * \exp(-d_{ab}/1000) \right) * I_{a_l b_k}$$

رابطهٔ 5

در این رابطه، پارامترهای نسبتِ مساحت و فاصله به‌صورت آثار افزایشی یا کاهشی بر میزان تأثیر کاربری‌ها اعمال می‌شوند.

2-3- تناسب محیطی و دسترسی پارسل‌های توسعه

از موارد حائز اهمیت در زمینهٔ تبدیل پلیگون غیرشهری به شهری، تناسب محیطی و میزان دسترسی آن به زیرساخت‌های مکانی و ازجمله شبکهٔ دسترسی است (لطفی، مهدیان و مهدی، 1392: 34). به همین منظور، در این تحقیق، با توجه به نوع کاربری‌های مورد نظر برای توسعه، دو پارامتر میزان ارتفاع و اندازهٔ شیب برای هر پارسل محاسبه و از طریق ترکیب خطی وزن‌دار با یکدیگر ترکیب شد که معرف تناسب محیطی خواهد بود. برای محاسبهٔ عامل دسترسی، میزان دستیابی هر پارسل با توجه به فاصلهٔ اقلیدسی آن از نزدیک‌ترین نقطهٔ شبکهٔ راه‌ها با استفاده از رابطهٔ 6 محاسبه شده است (کریمی، 1389).

$$A_{ajk} = \frac{1}{1 + D_{aj}/a_{jk}}$$

رابطهٔ 6

در رابطهٔ بالا، A_{ajk} بیانگر میزان دسترسی پارسل a با کاربری k به زیرساخت j، D_{aj} بیانگر فاصلهٔ اقلیدسی پارسل a تا نزدیک‌ترین نقطه به زیرساخت j و a_{jk} بیانگر اهمیت دسترسی کاربری k به زیرساخت j است. درخور ذکر است که هرچه میزان پارامتر a_{jk} به عدد یک نزدیک‌تر باشد، با افزایش فاصله از زیرساخت تغییرات میزان دسترسی به‌صورت تدریجی‌تر صورت می‌گیرد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

2-4- تعیین تناسب کلی

برای سنجش میزان تناسب هر پارسل، برای تبدیل از کاربری غیرشهری به کاربری‌های شهری، باید عوامل مؤثر در تعیین تناسب کلی زمین شامل تناسب محیطی، اثر همسایگی، میزان دسترسی و محدودیت‌ها تلفیق شوند. به‌همین منظور، مدل‌های متفاوتی در مطالعات گوناگون ارائه شده‌اند که هرکدام با توجه به زمینهٔ تحقیقاتی مورد نظر، عوامل ذکرشده را با روش‌ها و وزن‌های متنوعی ترکیب کرده‌اند (Barredo et al., 2003; Van Delden, Luja & Engelen, 2004; Verburg & Overmars, 2009). در این تحقیق، برای محاسبهٔ تناسب کلی و تلفیق عوامل تناسب محیطی، اثر همسایگی، دسترسی و محدودیت‌ها، از روش ارزیابی چندمعیاره، طبق رابطهٔ 7 استفاده شده است:

رابطهٔ 7

$$P_{al} = W_A * A_{al} + W_S * S_{al} + W_N * N_{al}$$

در این رابطه P_{al}، S_{al}، A_{al} و N_{al} به‌ترتیب بیانگر تناسب کلی، میزان دسترسی، تناسب محیطی و اثر همسایگی برای پارسل a با کاربری l هستند. همچنین، اهمیت نسبی این پارامترها به‌وسیلهٔ وزن‌های W_A، W_S و W_N بیان می‌شود. لازم است ذکر شود که تأثیر عامل محدودیت به‌صورت نبود پلیگون‌های دارای محدودیت، مانند مسیل‌ها و حریم مناطق نظامی و غیره، در محاسبه تناسب کلی و تخصیص کاربری صورت گرفته است؛ به عبارت دیگر، محاسبهٔ تناسب کلی و فرایند تخصیص فقط برای پارسل‌های فاقد محدودیت انجام شده است.

2-5- انتقال از پارسل غیرشهری به پارسل شهری

تبدیل کاربری غیرشهریِ یک واحد از سرزمین به یکی از انواع کاربری‌های شهری نتیجهٔ تعامل میان تناسب و تقاضای کاربری در محیط و متأثر از شرایط اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، و مقررات و قوانین اجرایی است (Sharifi, Kanrimi & Mesgari, 2010: 63). بنابراین، در این پژوهش انتقال یک پلیگون از حالت توسعه‌نیافته به کاربری شهری، منوط به میزان تقاضا و سپس براساس اولویت ارزش کاربری‌ها صورت گرفته است؛ بدین معنا که ابتدا سطح مورد

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

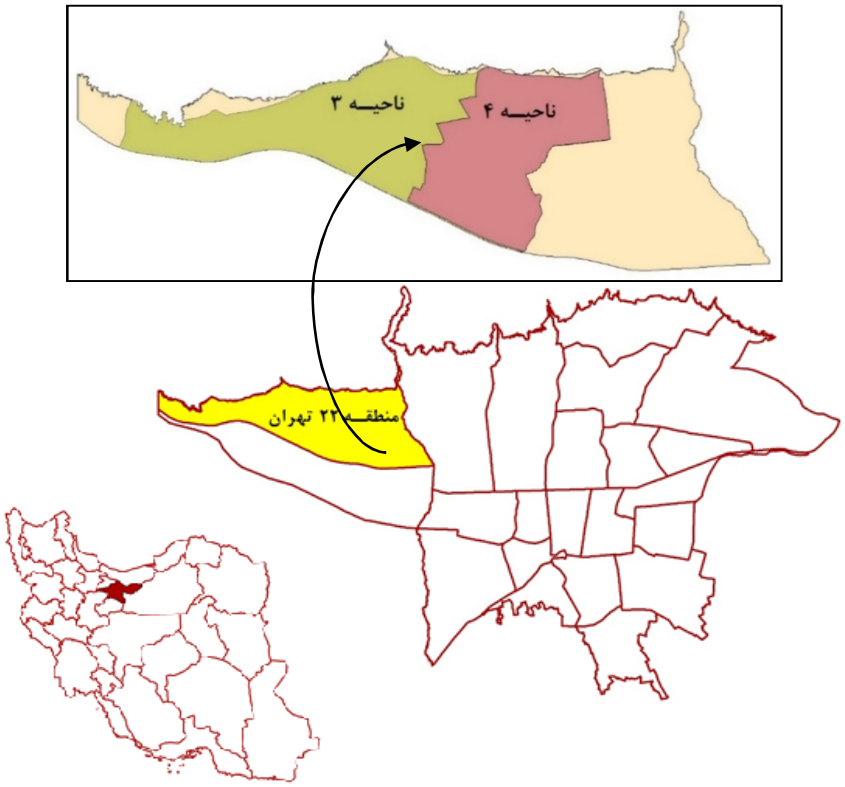
نیاز کاربری با بیشترین اولویت، براساس تقاضای برآوردشده، تخصیص می‌یابد و سپس سایر کاربری‌ها به‌ترتیب اولویت در رشد شهری، در پارسل‌هایی با بیشترین تناسب تخصیص داده می‌شوند؛ به شرط آنکه در مراحل قبل به کاربری‌های اولی‌تر اختصاص نیافته باشند.

3- منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه در این تحقیق، جهت اجرا و سنجش مدل خودکاره برداری توسعهٔ شهری، نواحی 3 و 4 منطقهٔ 22 تهران با وسعتی حدود 3412/5 هکتار و جمعیت 43300 است. انتخاب این مکان به‌عنوان محدودهٔ مورد مطالعه، به‌علت وجود فضای توسعه در زمینهٔ تمام کاربری‌های شهری و همچنین روند رشد مدیریت‌شده و پایدار در منطقه به‌دلیل ساختارهای نظارتی و بسترهای ایجادشده در منطقه است. منطقهٔ 22 شهرداری واقع در شمال غرب تهران، با هدف رفع کمبودهای خدماتی حوزهٔ غرب ایجاد شده و آخرین امید شهر تهران برای ایجاد الگوی مناسب و بهینهٔ زندگی شهری است. این منطقه براساس سرشماری سال 1385 داری سرعت رشد 6/85 درصد در سال است که درمقایسه با سرعت رشد شهر تهران (1/45) به‌مراتب مقدار بزرگ‌تری دارد؛ این موضوع سرعت زیاد رشد و توسعهٔ شهری در این منطقه را نشان می‌دهد. شکل سه نمایی از موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

داده‌های مکانی مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشهٔ برداری پارسل‌های کاداستری است که در هشت کلاس کاربری مسکونی، تجاری، خدماتی، صنعتی کارگاهی، فضای سبز عمومی و پارک، فضای توسعه، شبکهٔ دسترسی و سایر طبقه‌بندی شده‌اند. شکل 4 الف نمایی از وضعیت موجود کاربری‌ها را نمایش می‌دهد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]



شکل 3 محدودهٔ مطالعاتی، نواحی 3 و 4 منطقهٔ 22 تهران

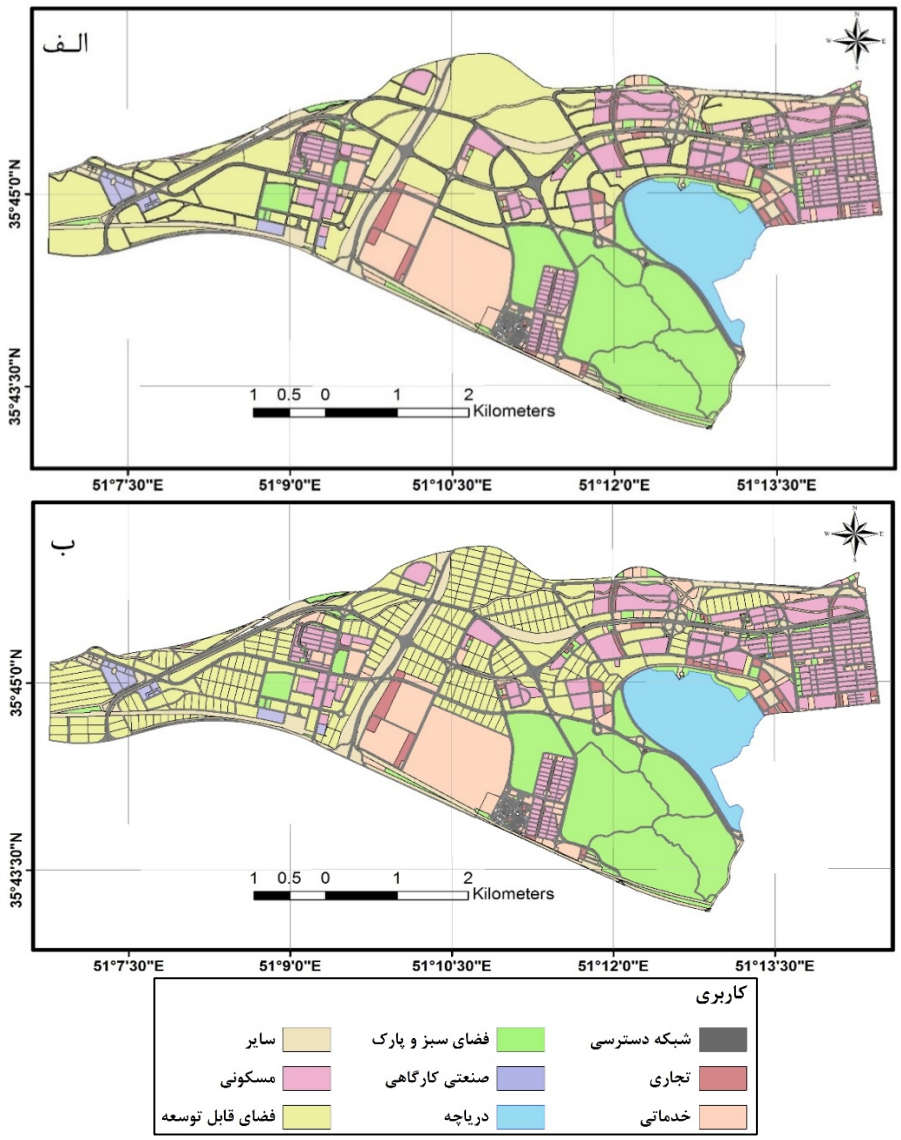
4- نتایج

همان‌گونه که در بخش قبل ذکر شد، شبیه‌سازی رشد شهری برمبنای پارسل، مستلزم ایجاد نقشه‌های عامل پارسل‌مبنا و برآورد مساحت مورد نیاز کاربری‌ها در سال هدف است. در ادامه، روند شبیه‌سازی رشد شهری و نتایج تشریح می‌شود.

در گام اول، برای ایجاد فضای برداری پارسلی جهت نمایش چگونگی رشد و توسعهٔ شهری، از ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین استفاده شده و پلیگون‌های قابل توسعه پارسل‌بندی شده‌اند. پارسل‌بندی برمبنای طرح تفصیلی، در قطعات 100 در 200متر انجام شده است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

همان‌طور که در شکل 4 ب مشاهده می‌شود، تمام پارسل‌ها امکان دسترسی به شبکهٔ راه‌هـا را ندارند و تمام خیابان‌های ایجادشده به شبکهٔ دسترسی موجود متصل هستند.



شکل 4 الف. وضعیت موجود کاربری‌های منطقهٔ مورد مطالعه، ب. پارسل‌بندی قطعات توسعه

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

گام دوم، آماده‌سازی نقشه‌های همسایگی است. از آنجایی که تخصیص کاربری‌ها در پنج دستهٔ مسکونی، تجاری، خدماتی، صنعتی، و فضای سبز و پارک صورت می‌گیرد، لازم است نقشهٔ همسایگی در پنج گروه ذکرشده تهیه شود. بدین منظور، با توجه به نوع کاربری مورد نظر برای تهیهٔ نقشهٔ همسایگی و کاربری پارسل موجود در شعاع همسایگی، با توجه به رابطهٔ 5 آثار همسایگی به‌ازای هریک از کاربری‌های مورد نظر، برای تک‌تکِ پارسل‌های توسعه محاسبه شد.

برای محاسبهٔ میزان تناسب محیطی دو عامل ارتفاع و شیب درنظر گرفته شدند. با توجه به نقشهٔ ارتفاعی (DEM) منطقه، دامنهٔ تغییرات ارتفاعی از 1224 تا 1450متر است که براساس مقررات ابلاغ‌شده از سازمان‌های مربوط، محدودیتی برای توسعه ایجاد نمی‌کند. برای تعیین میزان شیب هر پارسل، پس از تشکیل نقشهٔ شیب منطقه، شیب متوسط برای محدودهٔ مکانی هر پارسل محاسبه و به آن پارسل اختصاص داده شد.

به‌منظور تعیین میزان دسترسی هر پارسل به شبکهٔ راه‌ها، با توجه به اینکه درجهٔ اهمیت دسترسی برای هر کاربری متفاوت است، اندازهٔ پارامتر a_{jk} در رابطهٔ 6، باید طبق نوع کاربری مورد بررسی مشخص شود. پارامتر a_{jk}، با استناد به نظر کارشناسی، برای کاربری مسکونی و خدماتی 0/65، کاربردی تجاری و صنعتی 0/34، و برای فضای سبز عمومی و پارک 0/74 تعیین، و سپس طبق رابطهٔ مذکور، فاصلهٔ اقلیدسی هر پارسل از شبکهٔ دسترسی محاسبه شد. شکل پنج نشان‌دهندهٔ میزان عوامل همسایگی، تناسب محیطی و دسترسی برای هر پارسل است.

همان‌طور که در شکل پنج مشاهده می‌شود، به‌دلیل جاذبهٔ کاربری تجاری و مسکونی بر کاربری تجاری، پارسل‌هایی که در فاصلهٔ نزدیک‌تری به این کاربری‌ها قرار دارند، امتیاز همسایگی بیشتری دارند و با افزایش فاصله از این کاربری‌ها، امتیاز همسایگی کاهش می‌یابد. در نقشهٔ دسترسی، پارسل‌هایی که در وضعیت اولیه در مجاورت خیابان‌های موجود قرار دارند، امتیاز دسترسی بیشتری دارند و با فاصله گرفتن از معابر، این امتیاز به‌شدت کاهش می‌یابد؛ این موضوع نشان‌دهندهٔ اهمیت عامل دسترسی برای کاربری تجاری است. در نقشهٔ تناسب محیطی، بخش شمالی به‌دلیل واقع شدن در دامنهٔ رشته‌کوه البرز شیب زیادی دارد و با عبور از شمال به جنوب منطقه، شیب کاهش پیدا می‌کند و تناسب محیطی افزایش می‌یابد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

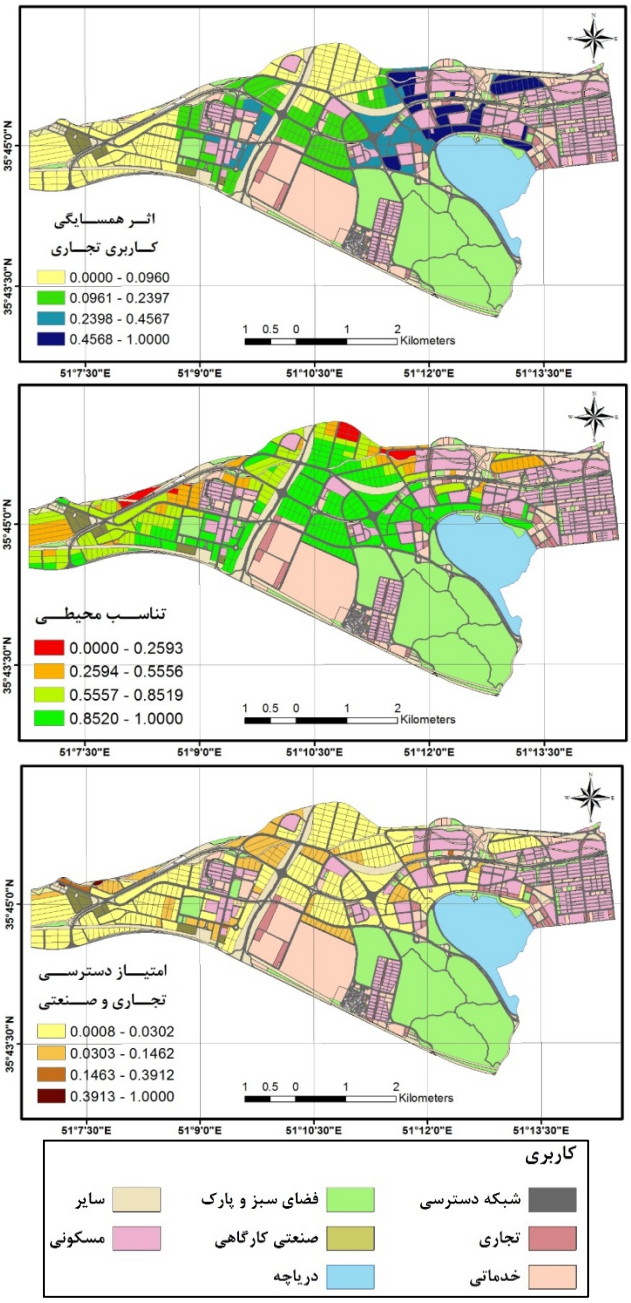
جهت تعیین تناسب کلی هر پارسل با استفاده از رابطهٔ 7، وزن‌های 0/55، 0/34 و 0/11 به‌ترتیب برای اثر همسایگی، دسترسی و تناسب محیطی با توجه به نظر کارشناسی درنظر گرفته شده است. درنهایت، با تلفیق این سه عامل، تناسب کلی برای هر پارسل جهت گذر از حالت توسعه‌نیافته به حالت توسعه‌یافته حاصل شد. شکل شش نمایی از میزان تناسب هریک از پارسل‌های مساعد برای توسعه، برای کاربری تجاری را ارائه می‌کند.

جدول 1 پارامترهای تخصیص کاربری اراضی برای بازهٔ زمانی پنج سال

کاربری	ترتیب تخصیص[1]	حداقل اندازهٔ قطعات[2] (مترمربع)	سرانه[3] (مترمربع)	مساحت مورد نیاز[4] (مترمربع)
تجاری	1	600	4/27	74426
صنعتی- کارگاهی	2	3000	0/28	4880/4
مسکونی	3	تراکم کم: 275	33/53	584427/9
		تراکم زیاد: 1600	17	269310
خدماتی	5	2500	23/07	402110/1
فضای سبز و پارک	4	10000	6/50	113295

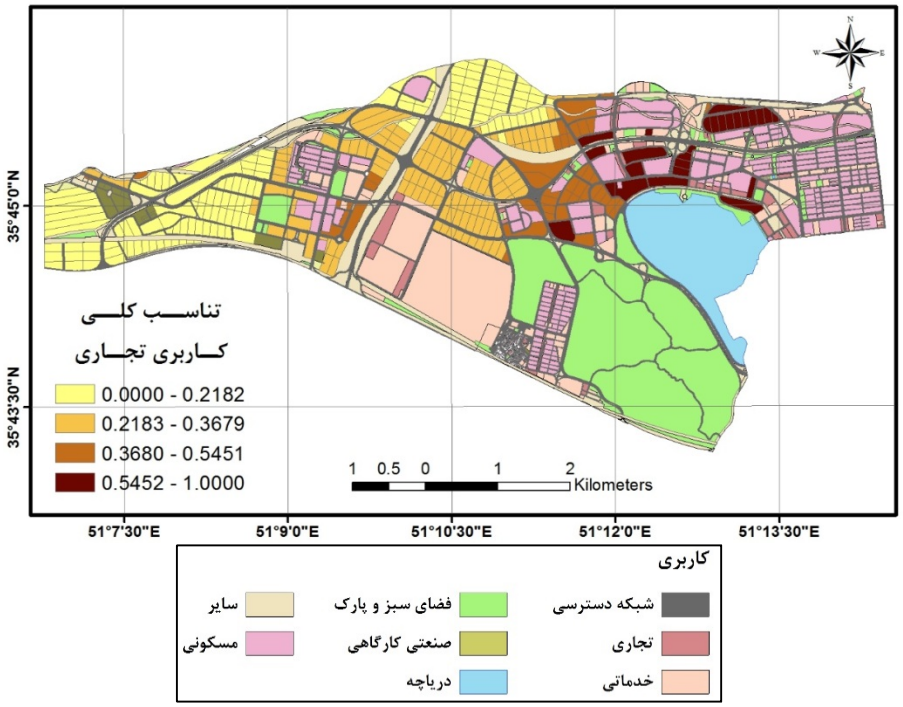
(منابع: مهندسین مشاور شارستان، 1391؛ مرکز تحقیقات و مطالعات زیست‌محیطی، 1380؛ نگارندگان؛ Pettit, 2002)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]



شکل 5 نقشهٔ عوامل همسایگی، دسترسی و تناسب محیطی محدودهٔ مورد مطالعه

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]



شکل 6 تناسب کلی پارسل‌های توسعه برای کاربری تجاری

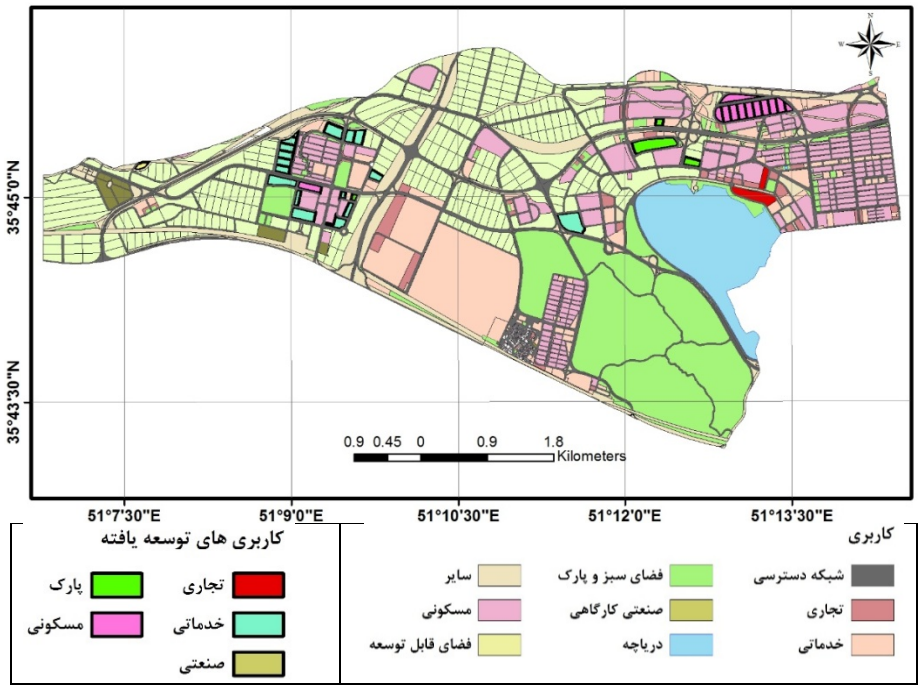
همان‌طور که در شکل شش مشاهده می‌شود، بیشترین تناسب برای کاربری تجاری، با توجه به اثر همسایگی در درجهٔ اول، دسترسی در درجهٔ دوم و تناسب محیطی در درجهٔ سوم (که در بند قبلی تشریح شدند)، در شمال شرقی محدودهٔ مطالعه واقع شده است.

مهم‌ترین عامل در رشد و توسعهٔ شهری، میزان تقاضا در منطقه است. برآورد تقاضا در محدودهٔ مطالعه با توجه به سرانه‌های اعلام‌شده به‌تفکیک نواحی (مرکز تحقیقات و مطالعات زیست‌محیطی، 1380: 98) و میزان افزایش جمعیت در گام زمانی مورد نظر صورت گرفته است. درخور ذکر است که میزان تقاضا در این تحقیق براساس افزودهٔ جمعیت محاسبه شده و از برآورد میزان کمبود کاربری‌های مختلف در محدودهٔ مطالعاتی، با توجه به روند رشد مدیریت‌شدهٔ آن، صرف‌نظر شده است. پس از محاسبهٔ میزان تقاضا در محدودهٔ مطالعه،

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

تخصیص کاربری‌های مختلف با توجه به اولویت تجاری، صنعتی- کارگاهی، مسکونی، فضای سبز و پارک، و خدماتی (Pettit, 2002: 160) صورت گرفته است.

در اکثر مطالعات انجام‌شده درزمینهٔ پیش‌بینی رشد و توسعهٔ شهری، گام زمانی تقریباً ده‌ساله مورد نظر بوده (Moreno, Wang & Marceau, 2009: 52; Ballesteros & Qiu, 2012: 141)؛ اما در تحقیق حاضر، گام زمانی کوتاه‌تری به میزان پنج سال مورد استفاده قرار گرفته است. پارامترهای تخصیص برای این گام زمانی در جدول شمارهٔ یک آمده است. سرانجام، با توجه به میزان تقاضا و تناسب هر پارسل برای کاربری مورد نظر، چگونگی رشد شهر برای بازهٔ زمانی پنج‌ساله برآورد شده است. در این شبیه‌سازی، به‌علت نوساز بودن غالب منطقه، جانمایی کاربری‌های شهری مربوط به رشد جمعیت، فقط در مناطق توسعه‌نیافته درنظر گرفته شد؛ به‌طوری که باعث تغییر در سایر مناطق توسعه‌یافته نمی‌شود. شکل هفت نشان‌دهندهٔ چگونگی رشد محدودهٔ مورد مطالعه برای بازهٔ زمانی پنج‌ساله است.



شکل 7 شبیه‌سازی رشد شهری برای گام زمانی پنج سال

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

5- تحلیل نتایج

به‌منظور ارزیابی نتایج این تحقیق، میانگین مقادیر امتیاز همسایگی، دسترسی، تناسب محیطی و تناسب کلی برای پارسل‌های اولیه و پارسل‌های توسعه‌یافته در جدول شمارهٔ دو ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین مقادیر تناسب کلی در پارسل‌های توسعه‌یافته در مقایسه با پارسل‌های موجود، مقادیر بیشتری دارند؛ به‌استثنای کاربری تجاری که این موضوع به‌دلیل کم بودن امتیاز دسترسیِ پارسل‌های تجاری‌توسعه‌یافته اتفاق افتاده است. زیاد بودن میانگین تناسب کلی پارسل‌های توسعه در مقایسه با پارسل‌های موجود، نشان‌دهندهٔ هدایت رشد شهر به‌سمت گزینه‌های بهتر و مناسب‌تر برای جایگزینی کاربری‌ها به‌کمک مدل ارائه‌شده است.

جدول 2 میانگین امتیازات همسایگی، دسترسی، تناسب فیزیکی و تناسب کلی به‌ازای کاربری‌های مختلف برای پارسل‌های اولیه و پارسل‌های توسعه‌یافته

کاربری		میانگین امتیاز همسایگی	میانگین امتیاز دسترسی	میانگین امتیاز تناسب محیطی	میانگین امتیاز تناسب کلی
مسکونی	پارسل های اولیه	0/805	0/065	0/929	0/567
	پارسل های توسعه یافته	0/847	0/059	0/811	0/575
تجاری	پارسل های اولیه	0/472	0/246	0/929	0/448
	پارسل های توسعه یافته	0/474	0/002	1	0/371
صنعتی	پارسل های اولیه	0/313	0/023	0/765	0/264
	پارسل های توسعه یافته	0/215	1	0/852	0/552
خدماتی	پارسل های اولیه	0/227	0/102	0/888	0/257
	پارسل های توسعه یافته	0/456	0/022	0/752	0/341
فضای سبز و پارک	پارسل های اولیه	0/297	0/094	0/821	0/286
	پارسل های توسعه یافته	0/421	0/094	0/815	0/354

اثر همسایگی عاملی کلیدی در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری است. به همین منظور، جدول شمارهٔ سه برای نمایش متوسط مقادیر همسایگیِ تمام پارسل‌های موجود در وضعیت

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

اولیه و سال هدف (پس از اجرای فرایند شبیه‌سازی برای بازهٔ زمانی پنج سال)، به‌ازای کاربری‌های مختلف ارائه شده است. برپایهٔ اطلاعات این جدول، مکان‌گزینی کاربری‌ها در مجاورت یکدیگر به‌نحوی انجام شده که درنهایت، به افزایش امتیاز همسایگی نسبت به وضعیت اولیه و بهبود شرایط همسایگی منجر شده است. کاهش امتیاز همسایگی پارسل‌های صنعتی نسبت به وضعیت اولیه نیز به‌دلیل وجود پارسل‌های مسکونی در شعاع 800متری و اثر دافعهٔ آن‌ها بر پارسل صنعتی است؛ گرچه پارسل صنعتی در انتهای محدودهٔ مطالعه و در مرکز تجمع کاربری مشابه توسعه یافته است که این موضوع نیز عملکرد صحیح مدل را نشان می‌دهد. به‌دلیل تعداد کم پارسل‌های توسعه‌یافته دربرابر پارسل‌های موجود، امتیازات همسایگی در سال هدف درمقایسه با وضعیت اولیه تغییرات جزئی دارند. درنهایت، افزایش امتیاز همسایگی نسبت به وضعیت اولیه، بیانگر توانایی مدل در پیشبرد فرایند شبیه‌سازی رشد شهری در مسیری متناسب‌تر و پایدارتر است.

جدول 3 میانگین امتیاز همسایگی به‌ازای کاربری‌های مختلف در وضعیت اولیه و سال هدف

کاربری		مسکونی	تجاری	صنعتی	خدماتی	فضای سبز و پارک
میانگین امتیاز همسایگی	وضعیت اولیه	0/805	0/472	0/314	0/227	0/297
	سال هدف	0/809	0/473	0/219	0/442	0/448

همان‌طور که در شکل هفت مشاهده می‌شود، شبیه‌سازی رشد شهری در ساختاری متراکم و یکپارچه صورت گرفته است و پارسل‌های مسکونی و تجاری در مرکز تجمع کاربری‌های مشابه خود واقع شده‌اند. همچنین، کاربری صنعتی در حاشیهٔ منطقه و دور از کاربری‌های مسکونی و در نزدیکی کاربری‌های مشابه خود قرار گرفته است. از سویی، کاربری‌های خدماتی و فضای سبز نیز به‌سبب عرضهٔ امکانات و زمینهٔ عرضه و تقاضا، در مجاورت با کاربری‌های مسکونی توسعه یافته‌اند که این موضوع نشان‌دهندهٔ توانایی مدل ارائه‌شده در

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

ارزیابی صحیح تعاملات پارسل‌های شهری و اثر همسایگی در انطباق کامل با هسته‌های مکانی است.

6- تجزیه و تحلیل و نتیجه

مدل‌های خودکارهٔ سلولی برداری ارائه‌شده در تحقیقات پیشین را در دو دسته می‌توان بررسی کرد: 1. مدل‌هایی که المان‌های برداری فضای تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها از تبدیل تصایر ماهواره‌ای به فرمت برداری تشکیل شده‌اند (Moreno & Marceau, 2007; Moreno, Wang & Marceau, 2009; Cao, 2011; Wang, 2012). مبنای اطلاعات اولیهٔ این دسته از مدل‌ها رستری بوده و انتخاب اندازهٔ سلول برای پردازش‌های مکانی همچنان می‌تواند بر نتایج مدل اثر بگذارد. 2. مدل‌های برداریِ پارسل‌مبنا که مستقیماً بر داده‌های پارسلی کاداستری اجرا می‌شوند (Stevens, Dragicevic & Rothiey, 2007; Ballesteros & Qiu, 2012). داده‌های ورودی این مدل‌ها کاملاً منطبق بر هستنده‌های مکانی هستند. مدل ارائه‌شده در این تحقیق نیز با کاربرد پارسل‌های کاداستری موجب استقلال نتایج اجرای مدل از اندازهٔ سلول می‌شود.

در بیشتر تحقیقات صورت‌گرفته در زمینهٔ کاربرد مدل‌های خودکاره برداری جهت شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری، فاصله بین دو المان برداری در قالب فاصلهٔ بین مراکز دو پلیگون (Morreno, 2008: 23; Ballesteros & Qiu, 2012: 60) معرفی می‌شود؛ اما باید درنظر گرفت استفاده از این روش به‌ویژه در مناطقی که المان‌های برداری همگونی کافی را با یکدیگر ندارند، باعث ایجاد ابهام در بیان فواصل میان پلیگون‌ها می‌شود (Knorr & Ng, 1996). بنابراین، با بیان فاصله به‌صورت کوتاه‌ترین فاصله بین نزدیک‌ترین دو لبه مربوط به دو پارسل، شکل و اندازهٔ پلیگون‌ها در اندازه‌گیری فاصله میان دو پلیگون بی‌تأثیر می‌شود.

در سایر مطالعات خودکارهٔ سلولی پارسل‌مبنا که استیونس[1] و همکاران (2007) و بالسترس[2] و کیو[3] (2012) انجام داده‌اند، تمام پارسل‌های موجود در شعاع همسایگی، فارغ از فواصل مختلفی که از پارسل مرکزی دارند، تأثیر یکسانی بر پارسل هدف می‌گذارند؛ اما در تحقیق

1. Stevens
2. Ballesteros
3. Qiu

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

حاضر، پارسل‌هایی که در محدودهٔ همسایگی قرار می‌گیرند، با توجه به میـزان فاصـله‌شـان از پارسل مرکز، تأثیرات متفاوتی بر آن خواهند گذاشت. همچنین، انـدازهٔ مسـاحت پارسـل‌هـای شهری از عوامل مؤثر در تعاملات کاربری‌هاست. این موضوع در مدل‌هـای خودکـارهٔ سـلولی رستری به‌صورت عامل تراکم، تعداد سلول‌های با کاربری یکسان در شعاع همسایگی، اعمـال می‌شود (Karimi, Sharifi & Mesgari, 2012: 43) و در مدل‌های خودکـارهٔ سـلولی بـرداری به‌صورت تـابعی از مسـاحت پلیگـون مـورد بررسـی قـرار مـی‌گیـرد (Morreno, Wang & Marceau, 2009: 47). در تحقیق حاضر نیز، دخیل کردن اندازهٔ مساحت پلیگون‌ها در ارزیابی آثار متقابل پارسل‌ها بر صحت نتایج می‌افزاید.

در تحقیقات مشابه کاربرد مدل‌های خودکاره برداری در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری براساس پارسل‌های کاداستری که اسـتیونز و همکـاران (2007) انجـام داده‌انـد، ایجـاد فضای توسعهٔ پارسل‌مبنا به‌ازای کاربری‌های مختلف به‌صورت دستی انجام شده است؛ درحالی که در تحقیق حاضر، با کاربرد ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین، مدل از سطح اتوماسیون بیشتری برخوردار است. از سوی دیگر، این ابزار باعث ایجاد پارسل‌هـایی در محـدوده‌هـای مختلـف منطقهٔ مطالعه می‌شود که جهت‌گیری مناسبی با پارسل‌های موجـود شـهری ندارنـد؛ بنـابراین، استفاده از ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین که قادر به اِعمال شرط هم‌راسـتا بـودن پارسـل‌هـای ایجادشده با پارسل‌های موجود باشد، ضروری می‌نماید.

در مدل ارائه‌شده، پارامترهای تناسب محیطی، دسترسی به زیرساخت‌های مکـانی و عوامـل همسایگی برمبنای شرایط عمومی توسعهٔ مناطق بیان شده‌اند و می‌توانند طبـق محـدودهٔ مـورد مطالعه بومی‌سازی شوند؛ برای مثال در مناطقی از کشور نظیـر حاشـیهٔ شـهرهای بـزرگ ابتـدا ساخت‌وساز در نواحی مختلف انجام می‌شود و سپس شهرداری‌ها و سازمان‌های مربوط ناگزیر از ایجاد زیرساخت‌های لازم در این نواحی می‌شوند. عامـل شـیب نیـز در منـاطقی از تهـران به‌عنوان عامل کاهندهٔ تناسب مورد توجه قرار نمی‌گیرد. بنابراین، آثـار متفـاوت ایـن پارامترهـا برای مناطق گوناگون به‌وسیلهٔ اختصاص وزن‌های مختلف، طبق نظر کارشناسی مرتبط با همان منطقه، به پارامترهای مذکور اعمال می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق، توسعهٔ مدل شبیه‌سازی رشد شهری برداری است؛ به‌نحوی کـه بـر محدودیت‌های ساختار رستری خودکارهٔ سلولی متعارف، شامل حساسیت بـه انـدازهٔ سـلول و

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

ترکیب همسایگی یکسان برای تمام سلول‌های همسایه، فائق آید. مدل ارائه‌شده در این تحقیق با استفاده از داده‌های پارسلی کاداستری، علاوه‌بر انطباق کامل بر هستنده‌های مکانی، نیاز به تحلیل حساسیت جهت تعیین اندازه مناسب سلول را، به‌نحوی که منطبق بر پویایی منطقه باشد، مرتفع می‌سازد. همچنین، به‌سبب تقلیل محدودیت‌های ساختار متعارف خودکارهٔ سلولی، در زمینهٔ حساسیت به ترکیب همسایگی، یک همسایگی شعاعی براساس یک تابع وزن‌دار از مؤلفه‌های فاصله، مساحت و کاربری پارسل‌های کاداستری غیرمنظم تعریف شده است که به‌بیانی، می‌تواند از ارائهٔ اثر همسایگی یکسان برای تمام پارسل‌ها که در فواصل مختلفی از پارسل هدف قرار دارند و اندازهٔ مساحت متنوعی دارند، جلوگیری کند.

از آنجایی که پارسل، واحد مکانی مناسبی برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی است، با تداوم کامپیوتری کردن داده‌های کاداستری و سرعت پیشرفت امکانات GIS، نقشه‌های پارسلی بیش از پیش در دسترس قرار می‌گیرند و درنتیجه، استفاده از نقشه‌های کاربری پارسل‌مبنا در مدل‌سازی و برنامه‌ریزی کاربری اراضی افزایش می‌یابد. از طرفی با توجه به کاربرد روزافزون مدل‌های خودکارهٔ سلولی در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و برنامه‌ریزی شهری و همچنین براساس نتایج تحقیق حاضر، مبنی بر افزایش تناسب همسایگی و تناسب کلی پس از اجرای مدل، امید است مدل خودکارهٔ سلولی برداری مسیر توسعهٔ بهتر و رو به پیشرفت را در زمینهٔ شبیه‌سازی تعاملات کاربری‌ها و شبیه‌سازی رشد شهری طی کند.

تحقیقات آینده در زمینهٔ توسعهٔ این مدل، شامل معرفی شعاع همسایگی متغیر متناسب با نوع کاربری مورد نظر است. همچنین، اجرای همسایگی دینامیک بر پیشبرد صحیح مدل اثر بسزایی خواهد گذاشت؛ به‌طوری که به‌ازای هر پارسل تخصیص‌یافته، آثار همسایگی و نقشهٔ تناسب به‌روز می‌شود و سپس پارسل بعدی به کاربری مورد نظر تخصیص می‌یابد. از دیگر موارد توسعهٔ مدل می‌توان به استفاده از GIS سه‌بعدی برای بصری‌سازی بهتر رشد شهری و ارزیابی تناسب کاربری‌ها در سطح قائم اشاره کرد. همچنین، کالیبراسیون مدل‌های شبیه‌سازی رشد شهری همواره جزء جدایی‌ناپذیر این مدل‌ها هستند. برای مدل‌های خودکارهٔ سلولی رستری روش‌های کالیبراسیون خودکار توسعه داده شده است (Straatman, White & Engelen, 2004; Van Vliet et al., 2013)؛ ولی کالیبراسیون مدل‌های خودکاره برداری همواره به‌عنوان چالشی در این زمینه مطرح است (Stevens, Dragicevic & Rothley, 2007: 771)؛

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

بنابراین، توسعهٔ روش‌های خودکار کالیبراسیون خودکارهٔ سلولی برداری از دیگر موارد پیشبرد مدل در آینده است.

7- منابع

- اصلانی‌مقدم، ایمان، *بررسی مدل برداری Cellular Automata به‌منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، 1388.
- زارعی، رضا و علی‌اصغر آل‌شیخ، «مدل‌سازی توسعهٔ شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک (منطقهٔ مورد مطالعه: شیراز)»، *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، س3، ش11، صص1-16، 1391.
- صادقی، علی، خاطره سعیدی، علی‌اکبر متکان و علیرضا شکیبا، «شبیه‌سازی رشد فیزیکی شهر با استفاده از مدل سلول‌های خودکار شهری (Urban-CA)، RS و GIS، مطالعهٔ موردی: شهرکرد»، *همایش ژئوماتیک*، سازمان نقشه‌برداری ایران، تهران، 1390.
- علیمحمدی سراب، عباس، علی‌اکبر متکان و بابک میرباقری، «ارزیابی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومهٔ جنوب غرب تهران»، *فصلنامهٔ برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، د. 14، ش2، صص81- 102، 1389.
- کریمی، محمد، توسعهٔ روش‌های تصمیم‌گیری مکانی برای تعیین کاربری و پوشش مطلوب سرزمین، رسالهٔ دکتری، *دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی*، تهران، 1389.
- لطفی، صدیقه، معصومه مهدیان بهنمیری و علیی مهدی، «تعیین اراضی مناسب توسعهٔ شهری با بهره‌گیری از مدل‌های چندمعیاره در شمال ایران»، *فصلنامهٔ برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، د. 17، ش2، صص23-54، 1392.
- مرکز تحقیقات و مطالعات زیست‌محیطی، *وضعیت کاربری منطقهٔ 22 شهرداری تهران*، پروژهٔ ارزیابی و پیش‌بینی آلودگی صوتی ناشی از اجرای طرح جامع منطقهٔ 22 شهرداری تهران بر محیط زیست منطقه، گزارش اول، فصل پنجم، صص83-131، 1380.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

– مهندسین مشاور شارستان، پیش‌نویس طرح تفصیلی منطقهٔ 22 تهران، http://region22.tehran.ir/Default.aspx?tabid=41، 1391.

– Alimohammadi Sarab, A., A.A. Matkan & B. Mirbagheri, "Assessment of Cellular automata models for simulating urban land growth in south west suburbs of Tehran", *The Journal of spatial planning*, *Vol. 14, No. 2*, pp. 81-102, 2010. [in Persian]

– Aslani Moghaddam, I., *A vector-based cellular automata model to simulate land use changes*, MSc. Thesis, Department of Geomatics and Surveying Engineering, School of Engineering, University of Tehran, 2009. [in Persian]

– Ballesteros, Jr.F. & Z. Qiu, "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, 2012.

– Barredo, J.I., M. Kasanko, N. McCormick & C. Lavalle, "Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata", *Land scape and urban planning*, Vol. 64, No. 3, pp. 145-160, 2003.

– Batty, M. & P. Longely, "Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation", *Environment and planning A*, Vol. 21, No. 11, pp. 1447-1472, 1989.

– Batty, M., Y. Xie & Z. Sun, "Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata", *Computers, Environment and Urban Systems*, *Vol. 23, No. 3*, pp. 205-233, 1999.

– Benenson, I., I. Omer & E. Hatna, "Entity-based modeling of urban residential dynamics: The case of Yaffo, Tel Aviv", *Environment and Planning B: Planning and Design*, *Vol. 29, No. 4*, pp. 491-512, 2002.

– Cao, M., "Implementation of a vector-based cellular automata model for simulating land-use changes", *19th International Conference on Geoinformatics*, June 24-26, Shanghai, 2011.

– Center for environment research and studies, *Land use state of 22nd municipal region of Tehran*, Project of assessment and prediction of noise pollution due to

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

the implementation of the comprehensive plan of Tehran municipality, district 22, First report, Chapter V, pp. 83-138, 2001. [in Persian]

– Chen, Q. & A.E. Mynett, "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, 2003.

– Clarke, K.C., S. Hoppen & L. Gaydos, "A self-modifying cellular automata model of historical urbanization in the San Francisco Bay area", *Environment and Planning B: Planning & Design*, *Vol. 24, No. 2*, pp. 247-261, 1997.

– Cohen, E. & H. Kaplan, "Spatially-Decaying Aggregation over a Network", *Journal of Computer and System Sciences*, *Vol. 73, No. 3*, pp. 265-288, 2007.

– Couclelis, H., "Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics", *Environment and Planning A*, *Vol. 17, No. 5*, pp. 585-596, 1985.

– Feng, Y. et al., "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, 2011.

– Flache, A. & R. Hegselmann, "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, 2001.

– Geertman, S., M. Hagoort & H. Ottens, "Spatial-temporal specific neighbourhood rules for cellular automata land-use modelling", *International Journal of Geographical Information Science*, *Vol. 21, No. 5*, pp. 547-568, 2007.

– Hagoort, M., S. Geertman & H. Ottens, "Spatial externalities, neighbourhood rules and CA land-use modelling", *Ann RegSci*, *Vol. 42, No. 1*, pp. 39-56, 2008.

– Hagoort, M.J., "The Neighbourhood Rules: Land-use Interactions, Urban Dynamics and Cellular Automata Modelling", *Netherlands Geographical Studies 334*, KNAG/Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, 2006.

– Hansen, H.S., "Empirically derived neighborhood rules for urban land use modeling", *Environment and Planning*, *Vol. 39, No. 2*, pp. 213-228, 2012.

– Hu, S. & D. Li, "Vector Cellular Automata Based Geographical Entity",12^{th} *International Conference on Geoinformatics- Geoespatial Information Research:*

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

Bridging the Pacific and Atlantic, 7-9 June, University of Gävle, Sweden, pp. 249- 256, 2004.

- Jantz, C.A. & S.J. Goetz, "Analysis of scale dependencies in an urban land use-change model", *International Journal of Geographical Information Science*, *Vol. 19, No. 2*, pp. 217-241, 2005.
- Jenerette, G.D. & J. Wu, "Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA", *Landscape Ecology*, *Vol. 16, No. 7*, pp. 611-626, 2001.
- Karimi, M., *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, 2010. [in Persian]
- Karimi, M., M.A. Sharifi & M.S. Mesgari, "Modeling land use interaction using linguistic variables", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *Vol. 16*, pp. 42-53, 2012.
- Knorr, E.M. & R.T. Ng, "Finding aggregate proximity relationships and commonalities in spatial data mining", *Knowledge and Data Engineering*, *IEEE Transactions on*, *Vol. 8, No. 6*, pp. 884-897, 1996.
- Kocabas, V. & S. Dragicevic, "Assessing cellular automata model behavior using a sensitivity analysis approach", *Computers, Environment and Urban Systems*, *Vol. 30, No. 6*, pp. 921-953, 2006.
- Li, X. & A.G. Yeh, "Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS", *International Journal of Geographical Information Science*, *Vol. 14, No. 2*, pp. 131-153, 2000.
- Lotfi, S., M. Mahdian Bahnamiri & A. Mahdi, "Land Suitability Analysis for Urban Development using multi criteria models in north of Iran", *The Journal of spatial planning*, *Vol. 17, No. 2*, pp. 23-54, 2013. [in Persian]
- Ménard, A. & D. Marceau, "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata", *Environment and Planning B: Planning and Design*, *Vol. 32, No. 5*, pp. 693-714, 2005.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

- Moore, K., "Resel filtering to aid visualization within an exploratory data analysis system", *Journal of Geographical Systems, Vol. 2, No. 4*, pp. 375-398, 2000.
- Moreno, N. & D.J. Marceau, "Performance assessment of a new vector-based geographic cellular automata model" In *Proceedings of the international conference on geocomputation*, September 3-5. Ireland: Maynooth, 2007.
- Moreno, N., A. Ménard & D.J. Marceau, "VecGCA: A vector-based geographic cellular automata model allowing geometrical transformations of objects", *Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 35, No. 4*, pp. 647-665, 2008.
- Moreno, N., F. Wang & D.J. Marceau, "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, 2009.
- O'Sullivan, D., "Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models", *Geographical Analysis, Vol. 33, No. 1*, pp. 1-18, 2001b.
- O'Sullivan, D., "Graph-cellular automata: A generalized discrete urban and regional model", *Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 28, No. 5*, pp. 687-705, 2001a.
- Pang, M.Y.C. & W.Z. Shi, "Development of a process-based model for dynamic interaction in spatio-temporal GIS", *Geoinformatica, Vol. 6, No. 4*, pp. 323-344, 2002.
- Pettit, C.J., *Land use planning scenarios for urban growth: a case study approach*, PhD thesis, University of Queensland, Queensland, Australia, 2002.
- Rafiee, R. et al., "Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model", *Cities, Vol. 26, No. 1*, pp. 19-26, 2009.
- Sadeghi, A., Kh. Saidi, A.A. Matkan & A. Shakiba, "Simulating physical urban growth using CA, RS and GIS, case study: Shahrekord", *Geomatics conference*, Iranian National Cartographic Center (NCC), Tehran, 2011. [in Persian]
- Semboloni, F., "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, 2000.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

- Sharestan consulting engineers company, *Detailed plan of 22nd municipal region of Tehran*, http://region22.tehran.ir/Default.aspx?tabid=41, 2012. [in Persian]
- Sharifi, M.A., M. Karimi & M.S. Mesgari, "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, 2010.
- Song, Y. & G.J. Knaap, "Measuring the Effects of Mixed Land Uses on Housing Values", *Regional Science and Urban Economics, Vol. 34, No. 6*, pp. 663-680, 2004.
- Stalker, P., *Handbook of World*, New York: Oxford University Press, 2000.
- Stevens, D., S. Dragicevic & K. Rothley, "iCity: A GIS-CA modeling tool for urban planning and decision making", *Environmental Modelling & Software*, *Vol. 22, No. 6*, pp. 773-761, 2007.
- Stewart-Cox, J., N. Britton & M. Mogie, "Pollen limitation or mate search need not induce an Allee effect", *Bulletin of Mathematical Biology*, *Vol. 67, No. 5*, pp. 1049-1079, 2005.
- Straatman, B., R. White & G. Engelen, "Towards an automatic calibration procedure for constrained cellular automata", *Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 28, No. 1-2*, pp. 149-170, 2004.
- Takeyama, M. & H. Couclelis, "Map dynamics: Integrating cellular automata and GIS through geoalgebra", *International Journal of Geographical Information Science, Vol. 11, No. 1*, pp. 73-91, 1997.
- Tobler, W., "The resel-based GIS", *International Journal of Geographic Information Systems, Vol. 9, No. 1*, pp. 95-100, 1995.
- Torrens, P.M., "SprawlSim: modeling sprawling urban growth using automata-based models" In Agent-Based Models of Land-Use/Land-Cover Change, Edited by D.C. Parker, T. Berger, S.M. Manson and W.J. McConnell, *Louvain-la-Neuve, Belgium: LUCC International Project Office*, pp. 69-76, 2002.
- Van Delden, H., P. Luja & G. Engelen, "Integration of multi-scale dynamic spatial models of socio-economic and physical processes for river basin management", *Environ. Model. Softw, Vol. 22, No. 2*, pp. 223-238, 2007.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

- Van Vliet, J. et al., "Measuring the neighbourhood effect to calibrate land use models", *Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 41*, pp. 55-64, 2013.
- Verburg, P.H. & A. Veldkamp, "Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales", *Landscape Ecol.*, Vol. 19, No. 1, pp. 77-98, 2004.
- Verburg, P.H. & K.P. Overmars, "Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model", *Landscape Ecol, Vol. 24, No. 9*, pp. 1167-1181, 2009.
- Verburg, P.H. et al., "A method to analyze neighbourhood characteristics of land use patterns", *Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 28, No. 6*, pp. 667-690, 2004.
- Wang, F., *A cellular automata model to simulate land-use changes at fine spatial resolution*, PhD thesis, University of Calgary, Calgary, Canada, 2012.
- White, R. & G. Engelen, "Cellular automata and fractal urban from: a cellular modelling approach to the evaluation of land use patterns", *Environ. Plann. A., Vol. 25, No. 8*, pp. 1175-1199, 1993.
- White, R. & G. Engelen, "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, 2000.
- Wickramasuriya, R. et al., "An automated land subdivision tool for urban and regional planning: Concepts, implementation and testing", *Environmental Modelling & Software,* Vol. 26, No. 12, pp. 1675-1684, 2011.
- Wu, F. & C.J. Webster, "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, 1998.
- Wu, H. et al., "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, 2012.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]

– Yassemi, S., S. Dragicevic & M. Schmidt, "Design and implementation of an integrated GIS-based cellular automata model to characterize forest fire behavior", *Ecological Modelling*, Vol. 210, No. 1-2, pp. 71-84, 2008.

– Zarei, R. & A.A. Alesheikh, "Modelling urban growth using Cellular automata and Genetic algorithm (Case study: Shiraz)", *Research and urban planning*, *Vol. 3, No. 3*, pp. 1-16, 2012. [in Persian]

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-25]