

شبیه سازی و ارزیابی سناریوهای توسعه شهری با بهره گیری از تلفیق خودکاره سلولی و تئوری بازی ها (مطالعه ی موردی: شهرک روزیه ی شهر سمنان)

سیداحسان صدوقی^۱، محمد طالعی^{۲*}، سمیه ابوالحسنی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

e.sadooghi@email.kntu.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

taleai@kntu.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

somaie.abolhassani@gmail.com

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۸، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۹)

چکیده

طرح ریزی توسعه ی پایدار کاربری اراضی شهر (به عنوان یک سیستم پیچیده)، بدون اتکاء به چارچوبی جهت شناسایی، پیشبینی، برنامه ریزی و ارزیابی روند توسعه ی شهر مبتنی بر تعریف تعاملات میان انواع کاربری، ساختار جمعیت (میزان رشد و چگونگی توزیع جمعیت) و همچنین در نظر گرفتن رفتار راهبردی عوامل اصلی دخیل در فرایند توسعه ی شهر، امکانپذیر نیست. این مقاله مدلی مبتنی بر تلفیق خودکاره ی سلولی، تحلیل چندمعیاره و تئوری بازی ها برای طرح ریزی کاربری اراضی و شبیه سازی چگونگی توسعه ی شهر با توجه به سناریوهای موردنظر برای تغییر ساختار جمعیت شهری را ارائه می دهد. در این مدل، از تلفیق خودکاره ی سلولی و تحلیل چندمعیاره به عنوان ابزاری برای مدل سازی تعاملات میان انواع کاربری و کمی سازی تأثیرات متقابل میان آنها، با توجه به آستانه ی فعالیت و آستانه ی تأثیرگذاری آنها، بهره گرفته شده است. همچنین در مدل پیشنهادی، تغییر کاربری معلول تصمیم گیری دو عامل توسعه دهنده (به عنوان سرمایه گذار) و شهرداری (به عنوان متولی مدیریت شهری) تعریف شده و از تئوری بازی ها برای مدل سازی و کمی سازی رفتار راهبردی این دو عامل بهره گرفته شده است. جهت آزمودن عملکرد مدل پیشنهادی، توسعه ی کاربری اراضی شهری شهرک روزیه ی سمنان، در غالب دو سناریوی مختلف و با در نظر گرفتن تأثیر کاربری های موجود در سراسر شهر سمنان با بهره گیری از مدل پیشنهادی، طرح ریزی شده است. نتایج پیاده سازی به ویژه در توزیع انواع کاربری ها (با توجه به ویژگی های منحصر به هر کاربری)، نمایانگر توانایی مناسب مدل برای شبیه سازی نتایج برنامه ریزی توسعه ی شهری، مبتنی بر ضوابط طرح جامع است.

واژگان کلیدی: شبیه سازی توسعه ی شهری، خودکاره ی سلولی، تحلیل چندمعیاره، مدل سازی عامل مبنای تئوری بازی

۱- مقدمه

با توجه به رشد جمعیت و به تبع آن روند رو به رشد توسعه‌ی شهرها و گسترش بافت‌های شهری (از دیدگاه وسعت توسعه و نرخ توسعه‌ی شهری)، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری^۱، نقش کلیدی در فرایندهای اجتماعی-اقتصادی، محیط‌زیستی و به طور کلی در کیفیت زندگی ایفا می‌کند [۴-۱]. سیاست‌گذاری که مسئولیت طرح‌ریزی منطقه‌ای را بر عهده دارند، برای مدیریت مسائل شهر به عنوان یک سامانه‌ی پیچیده با چالش‌های بسیاری روبه‌رو هستند. این چالش‌ها می‌توانند ناشی از پارامترهای سراسری مانند رشد جمعیت، مهاجرت، رکود اقتصادی، تغییرات اقلیمی باشند و در عین حال می‌توانند به عنوان تابعی از پارامترهای محلی مانند تأثیر متقابل همسایگی‌ها، مورد مطالعه قرار گیرند. بنابراین تصمیم‌سازان برای فائق آمدن بر چنین پیچیدگی‌هایی و آگاهی از نتایج تصمیم‌ها و مداخلاتی که در سیاست‌های شهری انجام می‌گیرد، به ابزار و روش‌های مناسب نیاز دارند [۲ و ۵].

مدل‌سازی مکانی پویا و تولید سناریو، فرایندهایی هستند که از مذاکرات سیاسی و مباحثات در خصوص چشم انداز، پشتیبانی می‌کنند [۶]. از این رو ارائه‌ی مدلی جهت شبیه‌سازی روند توسعه شهر مبتنی بر سناریوهای رشد شهری و سیاست‌گذاری‌ها و قوانینی موجود، منجر به ارائه‌ی تحلیلی مناسب برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری و پیشنهاد راهبردهایی برای مدیریت پایدار می‌شود.

در میان انواع مدل‌های شبیه‌سازی، مدل خودکاره سلولی با توجه مزایایی از قبیل انعطاف‌پذیری، سادگی در پیاده‌سازی و همچنین سازگاری با انواع مجموعه‌داده‌های مکانی-زمانی، یکی از پرکاربردترین مدل‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی انواع سیستم‌ها و پدیده‌های مکانی و به طور خاص شبیه‌سازی توسعه شهری است [۲، ۷ و ۸]. خودکاره‌های سلولی علیرغم مزایا و نقاط قوتی که دارند، دارای نقاط ضعف و ناکارآمدی‌هایی نیز هستند که پژوهشگران را برآن داشته تا با اتخاذ راه‌کارهایی همچون افزودن قیدها و یا تلفیق خودکاره‌ی سلولی با ابزارها و یا مدل‌های دیگر، در راستای رفع این ناکارآمدی‌ها گام بردارند و ضمن بهره‌مندی از مزایای این مدل‌ها، بر معایب آنها فائق

آیند [۹-۱۳]. از جمله ناکارآمدی‌های خودکاره‌ی سلولی در شبیه‌سازی توسعه شهری، می‌توان به حساسیت این مدل به ابعاد شبکه‌ی سلولی، عدم انطباق نتایج بر هسته‌های مکانی، بهره‌مندی از پیکربندی ثابت در تعریف همسایگی و نانوانی در مدل‌سازی رفتار عامل‌ها اشاره نمود [۷]. در این پژوهش تلاش شده است تا راه‌کارهای مناسبی جهت غلبه بر این ناکارآمدی‌ها ارائه شود.

محدودیت‌های کمی موجود در منابع مکانی و تناسب منابع مکانی موجود برای پذیرش کاربری‌ها مختلف، فرایند برنامه‌ریزی و تخصیص کاربری را به رقابتی میان کاربری‌ها گوناگون تبدیل می‌کند [۱۴]. تئوری بازی‌ها^۲ از جمله ابزارهای کارآمد در زمینه مدل‌سازی رفتاری است و با توجه به توانایی آن در تحلیل موقعیت‌های راهبردی و فرایندهای تصمیم‌گیری گروهی، در پژوهش‌های متعددی از مدل‌های مبتنی بر تئوری بازی‌ها به عنوان ابزاری کارآمد برای پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری در طرح‌ریزی مکانی بهره گرفته شده است [۱۵]. در ادامه این بخش، به دستاوردها و کاستی‌های برخی از مهمترین این پژوهش‌ها، پرداخته شده است.

تان و همکاران (۲۰۱۵) با تلفیق خودکاره‌ی سلولی و تئوری بازی، مدلی از نیروهای مؤثر^۳ در توسعه شهر توسعه داده‌اند که علاوه بر عوامل اجتماعی-اقتصادی، تعاملات انسانی تأثیرگذار در توسعه شهر را نیز شامل می‌شود. آنها به منظور پشتیبانی از تأثیر تضاد منافع موجود میان شهرداری، توسعه‌دهنده و مالکین اراضی در روند توسعه شهر، از تئوری بازی بهره گرفته‌اند. فرایند توسعه در پژوهش فوق تنها از منظر تغییر وضعیت پوشش زمین از وضعیت غیرشهری به شهری مورد بررسی قرار گرفته‌است، ضمن اینکه تأثیر متقابل نوع کاربری‌ها در روند توسعه، مغفول مانده و دسترسی به خدمات تابعی از نزدیکی به مرکز شهر و راه‌های شریانی تعریف شده است [۱].

کاویاری و همکاران (۲۰۱۹) به منظور پیش‌بینی چگونگی توسعه‌ی شهر، مدلی عامل‌مبنا تعریف کرده‌اند. آنها عامل‌ها را بر اساس توان مالی، به سه نوع عامل (کم درآمد، قشر متوسط، پردرآمد) دسته‌بندی کرده‌اند که در محیط سلولی و مبتنی بر ترجیحاتشان به توسعه‌ی فضای

^۲ Game Theory^۳ Driving Forces^۱ Urban Land Use Planning

سلولی می‌پردازند. موقعیت راهبردی میان سه‌نوع عامل تعریف شده در این پژوهش، موقعیتی کاملاً رقابتی در نظر گرفته شده است. معیارهای ارزیابی مطلوبیت هر سلول برای هر نوع عامل (مشابه با پژوهش حسینی و همکاران [۱۳]) ترکیب موزونی از شاخص‌های دسترسی (دسترسی به مرکز شهر)، جذابیت (نزدیکی به پارک، آرامستان و مناطق صنعتی)، ارزش زمین (تعداد همسایگی توسعه یافته پیرامون هر سلول) و شیب بوده است.

لیو و همکاران (۲۰۱۴) الگوی کاربری زمین را به عنوان نتیجه‌ی رقابت میان کاربری‌های گوناگون معرفی کردند. آن‌ها به منظور ارائه‌ی بیانی کارآمد از رقابت میان نوع کاربری‌ها در تصاحب یک واحد مکانی، از مدل تلفیقی حاصل از همراهی آزاد^۱ الگوریتم ژنتیک^۲ و تئوری بازی‌ها بهره گرفتند. نخست با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک، طرح توزیع بهینه‌ی هر نوع کاربری تولید شده است. با بهره‌گیری از نقشه‌های توزیع بهینه‌ی نوع کاربری‌های موردنظر، فضای رقابتی میان این کاربری‌ها تشکیل شده است. در پژوهش فوق تنها به رشد کالبدی شهر پرداخته شده و در تعریف نوع کاربری‌های غیر شهری تنها به سه گروه از کاربری‌های منابع طبیعی (جنگل، زراعت، چمنزار) بسنده شده است. آنها تغییر کاربری را نه در یک واحد مکانی که در مجموعه‌ای از واحدهای مکانی به عنوان پهنه رقابت مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۶].

همانطور که از مطالعه پژوهش‌های انجام شده در این حوزه استنباط می‌شود، تأثیر متقابل نوع کاربری‌های شهری و همچنین تأثیر ساختار جمعیت بر روند توسعه شهر، در اکثر این پژوهش‌ها مغفول مانده است.

در این مقاله مدلی برای تلفیق تئوری بازی‌ها با خودکاره سلولی و در راستای مدلسازی رفتار عوامل دخیل در فرایند توسعه‌ی شهر، ارائه می‌شود. این مدل، نه تنها دستیابی به نتایج واقع‌گرایانه‌تر را امکانپذیر می‌نماید، بلکه امکان آزمون فرضیه‌ها و یا سناریوهای گوناگون را نیز فراهم می‌آورد. در این پژوهش مدلسازی رفتار عوامل دخیل در فرایند توسعه و تعریف سناریوهای توسعه، مبتنی بر مطالعات و ضوابط طرح جامع انجام شده است.

در این پژوهش با بهره‌گیری از مدلی حاصل از تلفیق خودکاره سلولی و تحلیل چندمعیاره، تأثیر نوع کاربری‌های موجود در سطح کل شهر (۴۱ نوع کاربری تعریف شده در طرح جامع منطقه مورد مطالعه)، بر محدوده‌ی مورد مطالعه ارزیابی شده است. تأثیرات متقابل موجود میان انواع کاربری‌های تعریف شده، با توجه به آستانه‌ی فعالیت و آستانه‌ی تأثیرگذاری هر نوع کاربری، با در نظر گرفتن توزیع جمعیت مبتنی بر تحلیل شبکه کمی‌سازی شده است. همچنین توسعه شهر نه تنها از دیدگاه توسعه بافت شهری، بلکه از دیدگاه توسعه و توزیع نوع کاربری‌ها (با توجه به گستره مورد مطالعه که در این پژوهش یک محله در نظر گرفته شده است)، مبتنی بر سرانه‌های تعریف شده در طرح جامع شبیه‌سازی شده است.

این مقاله در شش بخش ارائه شده است. بخش نخست به تعریف مسئله، ضرورت انجام این پژوهش و ایده‌های پدید آورنده، همچنین مرور اجمالی پژوهش‌های مرتبط و ارائه‌ی بیانی اجمالی از مدل ارائه شده و روش انجام و پیاده‌سازی این پژوهش می‌پردازد. در بخش دوم، جهت تبیین مبانی نظری و مفاهیم پایه مرتبط با این مقاله، به مروری گذرا بر انواع روش‌های مدلسازی کاربری اراضی و مفاهیم تئوری بازی‌ها که در رویکرد این پژوهش مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، پرداخته شده و تلاش شده است تا دلایل تناسب این اصول با رویکرد پیشنهادی این پژوهش تبیین شود. در بخش سوم روش‌شناسی پیشنهادی این پژوهش برای برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی توسعه‌ی شهری (شامل مدل پیشنهادی برای ارزیابی تناسب کاربری، برخی بهبودهای ایجاد شده در این مدل و نیز نحوه‌ی بهره‌گیری از تئوری بازی‌ها) تبیین شده است. در بخش چهارم، چگونگی پیاده‌سازی سناریوهای توسعه‌ی شهری تبیین شده است. همچنین ضمن بررسی تناسب واحدهای مکانی توسعه یافته در محدوده مورد مطالعه، نتایج به‌دست آمده با بهره‌گیری از شاخص‌های آماری مورد سنجش، ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. در بخش پنجم، ضمن جمع‌بندی دستاوردهای این پژوهش، پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آینده در این زمینه، ارائه شده است. در بخش نهایی، مراجع و منابع پژوهشی و اطلاعاتی که در تهیه این پژوهش مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، معرفی شده است.

^۱ Loosely Coupled

^۲ Genetic Algorithm (GA)

۲- مفاهیم نظری

۲-۱- مدل‌های تغییر کاربری

مدل‌های تغییر کاربری اراضی، ابزاری برای پشتیبانی از تحلیل دلایل و پیامدهای تغییر کاربری اراضی در راستای درک بهتر عملکرد سامانه‌ی کاربری اراضی و برای پشتیبانی از سیاست‌گذاری و طرح‌ریزی کاربری اراضی، محسوب می‌شوند [۲]. مدل‌های بسیاری برای شبیه‌سازی تغییر کاربری اراضی و توسعه‌ی آتی شهر، در انواع و قالب‌های گوناگون به وجود آمده‌اند، اما تمام این مدل‌ها بر تعداد محدودی از روش‌ها و تئوری‌ها استوار هستند. برای نمونه می‌توان به مدل‌های مبتنی بر تئوری‌های اقتصادی [۱۷ و ۱۸]، تئوری تعاملات فضایی [۱۹ و ۲۰]، خودکارهی سلولی [۶ و ۱۰-۱۲]، تحلیل‌های آماری [۲۱]، شبیه‌سازی قانون‌مبنا [۲۲ و ۲۳]، مدلسازی عامل مبنا [۱۲، ۱۳، ۲۴، ۲۵] و شبیه‌سازی خردنگر [۲۶] اشاره نمود. در این میان پژوهشگران بسیاری به منظور ارائه‌ی مدلی دقیق‌تر که توانایی بررسی جوانب بیشتری از مسائل مربوط به طرح‌ریزی شهری را داشته باشد، از رویکرد تلفیق مدل‌ها بهره گرفته‌اند [۲۷].

۲-۲- تئوری بازی‌ها

تئوری بازی‌ها را می‌توان علم تصمیم‌گیری راهبردی^۲ تعریف نمود که به عنوان ابزاری توانمند، به منظور درک و مدلسازی روابط راهبردی میان تصمیم‌گیران (با منافع مشترک و یا متضاد و در جریان مشارکت یا رقابت میان آنان)، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد [۲۸ و ۲۹]. همچنین این تئوری در پژوهش‌های متعددی در راستای مدلسازی رفتار عامل‌های دخیل در فرایند توسعه‌ی شهرها، مورد توجه قرار گرفته است [۱، ۱۵، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۱۶].

در تئوری بازی‌ها، بازی مناقشه‌ای یا موقعیتی راهبردی تعریف می‌شود که افراد درگیر در آن مناقشه، به دنبال کسب نتیجه یا عایدی بیشتر از آن مناقشه هستند [۳۵-۳۳]. به طور کلی بازی‌ها را می‌توان در دو گروه دسته‌بندی کرد: بازی‌های اتفاقی^۳ و بازی‌های راهبردی^۴ (برخی از انواع

بازی می‌تواند حاصل ترکیب این دو نوع بازی باشد). در بازی‌های اتفاقی، عملکرد بازیگران در نتیجه‌ی بازی و عایدی آنان تأثیرگذار نیست. در نقطه‌ی مقابل در بازی‌های راهبردی (موضوع مبحث تئوری بازی‌ها)، این عملکرد بازیگران است که عایدی آنان را تعیین می‌کند [۳۶].

۲-۲-۱- اجزاء بازی

- بازی‌ها متناسب با ساختار خود، دارای اجزائی هستند که در مجموع مکانیزم و قوانین بازی را تعریف می‌کنند. به طور کلی بازیگران، راهبردها و عواید بازیگران را می‌توان اجزاء جدا ناشدنی هر بازی قلمداد کرد [۳۳ و ۳۴].
- بازیگران: عامل‌های شرکت کننده در بازی یا به عبارت بهتر تصمیم‌گیران که با بروز رفتار منطقی، در پی بیشینه نمودن عایدی خود از فرایند بازی هستند.
- راهبرد (اقدام یا عمل)^۵: اقدامی است که یک بازیگر در هر نوبت تصمیم‌گیری، می‌تواند از مجموعه اقدام‌های تعریف شده و قابل انتخاب، اتخاذ کند.
- مجموعه راهبردها: فهرستی از راهبردها که برای هر بازیگر (تمام بازیگران)، یک راهبرد ارائه می‌دهد.
- ترتیب بازی: در بازی‌های ترتیبی (بازی‌هایی که بازیگران به صورت همزمان بازی نمی‌کنند)، نوبت بازی در هر موقعیت تصمیم‌گیری را تبیین می‌کند.
- عایدی^۶: دریافت هر بازیگر از فرایند بازی که با توجه به مجموعه راهبرد اتخاذ شده توسط آن بازیگر محاسبه می‌شود را عایدی می‌نامند.
- خروجی بازی: برای هر مجموعه اقدامات یا مجموعه راهبردها، در هر گره پایانی^۸ از بازی، خروجی بازی عبارت از نتیجه‌ی بازی (یک نتیجه‌ی فیزیکی، اقتصادی یا اجتماعی) برای بازیگران شرکت کننده در فرایند بازی است. خروجی‌های گوناگون از بازی، می‌توانند عایدی یکسان داشته باشند.

۲-۲-۲- نظریه‌ی انتخاب منطقی یا عقلانی^۹

نظریه‌ی انتخاب منطقی یا عقلانی، یکی از فرضیات بنیادی بسیاری از مدل‌های مبتنی بر تئوری بازی است. به

^۵ Action

^۶ Strategy profile

^۷ Payoff or Utility

^۸ Terminal Node

^۹ Rational Choice

^۱ Economic Theories

^۲ Strategic decision making

^۳ Random Game

^۴ Strategic Game

۲-۲-۴- راه حل بازی

هدف از مدل سازی مسائل گوناگون در چهارچوب بازی، دستیابی به سازوکار معینی برای یافتن راه حل معتبر برای این مسائل است. از میان روش های حل گوناگونی که پژوهشگران مختلف متناسب با ساختار بازی ها ارائه داده اند، روش پیشنهادی ریاضیدانی به نام نش^{۱۰} را می توان مهمترین تعریفی دانست که در خصوص پیشبینی نتیجه ی بازی و یا به دیگر سخن یافتن تعادل در بازی ها ارائه شده است [۳۷].

• تعادل نش: مفهومی کاملاً ریاضی است که نتیجه ی بازی را پیشبینی می کند. تعادل نش در واقع مجموعه اقدام^{۱۱} یا مجموعه راهبردی است (یک راهبرد برای هر بازیگر)، به نحوی که هیچ بازیگری با فرض ثابت ماندن راهبرد بازیگران دیگر، انگیزه ی تخطی از راهبرد پیشنهادی تعادل نش را نداشته باشد [۳۴ و ۳۹]. ثابت شده است که هر بازی رقابتی (غیر همکارانه) همزمان با اطلاعات کامل، دست کم یک تعادل نش دارد [۳۴]. تعادل نش، خروجی مورد انتظار از بازی است. از آنجا که ممکن است بازی تعادل های نش چندگانه داشته باشد، توجه بسیاری از پژوهشگران در تئوری بازی ها، معطوف به بهبود مفهوم تعادل نش بوده است [۱۵]. تلاش هایی که به ایجاد مفاهیم جدیدی مانند تعادل نش بیزی^{۱۲} و تعادل نش زیربازی کامل^{۱۳} منجر شده است.

• تعادل نش زیربازی کامل: در بازی های ترتیبی، نتیجه ی بازی می بایست از دیدگاه ترتیبی عقلانی باشد. از طرفی بهره گیری از مفهوم تعادل نش به قسمی که در فرم راهبردی تعریف می شود، می تواند منجر به ارائه ی تعادل هایی شود که از خاصیت عقلانی بودن از دیدگاه ترتیبی، بی بهره اند. بنابراین به منظور یافتن تعادل هایی که از دیدگاه ترتیبی نیز عقلانی باشند، می بایست به مفهومی قوی تر از تعادل نش، اتکاء شود. یکی از راه کارهای پژوهشگران برای بهبود در مفهوم تعادل نش در بازی های ترتیبی، بهره گیری از مفهوم استقراء معکوس است. [۱۵]. طبق تعریف، یک مجموعه راهبرد برای یک بازی ترتیبی، یک تعادل نش زیربازی کامل معرفی می شود، اگر این مجموعه راهبرد بتواند برای هر زیربازی موجود، یک تعادل

طور خلاصه این نظریه بیان می کند که هر یک از تصمیم گیرندگان تعریف شده در مدل بازی، از میان مجموعه اقدامات قابل انتخاب (مبتنی بر مدل موردنظر و فرضیات بازی)، اقدامی را برمیگزیند که با توجه به ترجیحات یا اولویت هایش و ضمناً آگاهی از رفتار عقلانی بازیگران دیگر، بیشترین عایدی را برای او در پی داشته و یا دست کم عایدی راهبرد برگزیده، کمتر از هیچ راهبرد دیگری نباشد [۳۵ و ۳۷].

۲-۲-۳- انواع بازی و نحوه بیان بازی

بازی ها را می توان از دیدگاه تعداد بازیگران، نوبت شرکت بازیگران در فرایند بازی (بازی های همزمان^۱- بازی های ترتیبی^۲)، نحوه ی دسترسی بازیگران به تاریخچه (بازی با اطلاعات کامل^۳- بازی با اطلاعات ناکامل^۴)، تقارن بازی، رابطه ی عایدی بازیگران، مفروضات بازی، متناهی بودن بازی و نیز چگونگی تعامل بازیگران با یکدیگر (بازی های همکارانه یا ائتلافی^۵- بازی های غیر همکارانه) به انواع گوناگون طبقه بندی کرد [۲۸ و ۳۴].

یک بازی را می توان با گزاره های منطقی تشریح کرد، اما عموماً جهت خوانایی و امکان مطالعه ی دقیق تر بازی، از فرم های نمایشی برای تبیین بازی بهره می برند. به طور کلی بازی ها را می توان به دو گونه ی نمایشی، بیان نمود؛ فرم راهبردی^۶ و فرم گسترده^۷ [۳۳، ۳۴، ۱۵].

از فرم راهبردی (که از آن با عنوان فرم نرمال^۸ نمایش بازی نیز یاد می شود) با توجه به تناسب ساختاری آن، معمولاً جهت تبیین بازی های همزمان بهره گرفته می شود. در مقابل از فرم گسترده یا بسط یافته که از ابزار گراف یا درخت بازی^۹ برای بیان فرایند بازی بهره می گیرد، با توجه به تناسب ساختاری آن، معمولاً جهت تبیین بازی های ترتیبی بهره گرفته می شود [۳۴ و ۳۸]. در این پژوهش با توجه به تناسب موضوع از تعریف بازی ترتیبی و فرم گسترده بهره گرفته شده است.

^۱ Simultaneous Game

^۲ Sequential-Move Game

^۳ Complete/Perfect Information

^۴ Incomplete Information

^۵ Cooperative Games / Coalitional Games

^۶ Strategic form

^۷ Extensive form

^۸ Normal form

^۹ Game Tree

^{۱۰} Jahn Nash

^{۱۱} Action Profile

^{۱۲} Bayesian Nash Equilibrium

^{۱۳} Sub-Game Perfect Nash Equilibrium (SPNE)

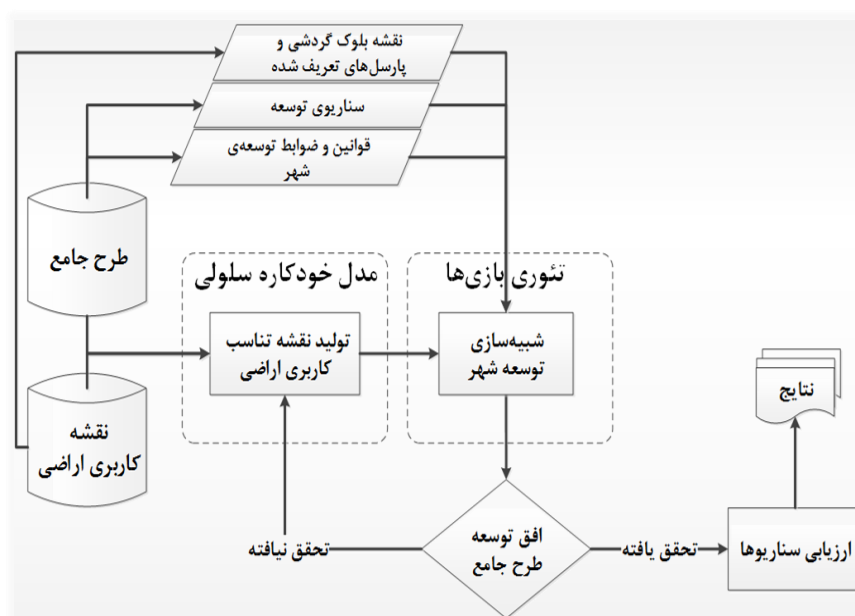
نش معرفی کند. هر زیربازی، زیرمجموعه‌ای از درخت بازی است به نحوی که این زیرمجموعه شامل تعدادی گره تصمیم‌گیری مرتبط با هم بوده و تمام راهبردهای صادر شده از این گره‌های تصمیم‌گیری تا گره پایانی مرتبط با هر راهبرد را در بر داشته باشد. مجموعه تعادل‌های کامل زیربازی‌های یک بازی ترتیبی متناهی با اطلاعات کامل، هم ارز با مجموعه‌ای است که از طریق فرایند استقراء معکوس محاسبه می‌شود [۳۴].

۳- روش‌شناسی پیشنهادی مبتنی بر تئوری بازی‌ها

فرایند توسعه‌ی شهر را می‌توان فرایندی حاصل از تلاش توسعه‌دهندگان جهت توسعه‌ی زمین در راستای کسب عایدی بیشتر و در عین حال تلاش حکومت در راستای توسعه‌ی نظام‌مند شهر تعریف نمود [۱]. در این

پژوهش به‌منظور مدل‌سازی رفتار راهبردی حکومت و توسعه دهنده در فرایند توسعه هر واحد مکانی و محاسبه نتیجه این رفتار راهبردی با توجه به عایدی هر یک از این عوامل از توسعه هر نوع کاربری در واحدهای مکانی قابل توسعه، از تئوری بازی‌ها بهره گرفته شده است.

مدل ارائه شده در این مقاله (شکل ۱)، متشکل از دو بخش اصلی است: بخش نخست، چهارچوب مفهومی است که با تلفیق خودکاره‌ی سلولی و تحلیل چندمعیاره، به منظور ارزیابی مناسبت واحدهای مکانی قابل توسعه و مبتنی بر تأثیرات متقابل کاربری‌ها بر یکدیگر، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. بخش دوم مدلی مبتنی بر تئوری بازی‌های عامل مبنا است که به‌منظور مدل‌سازی تعاملات میان عوامل دخیل در فرایند توسعه‌ی کاربری‌های شهری و شبیه‌سازی روند توسعه‌ی شهر، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.



شکل ۱- روش‌شناسی تحقیق

به مزایای خودکاره‌های سلولی، از این مدل‌داده برای بازنمایی مکانی شهر و ارتباط میان هستارهای مکانی بهره گرفته شده است. با توجه به همسان نبودن ابعاد، گستره و راستای جغرافیایی هستارهای مکانی در بافت شهری [۴۱]، شبکه‌ای با ابعاد ۴ متر مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. بهره‌گیری از این شبکه ریزدانه، پشتیبانی از ناهمگونی هندسی هستارهای مکانی را امکانپذیر می‌نماید.

۳-۱- ساختار مکانی

نتیجه‌ی مدل‌سازی پدیده‌های مکانی، وابسته به ساختار مکانی مدل است. مدل‌های داده‌مکانی در تشریح مکان از دو مفهوم کاملاً متفاوت بهره می‌گیرند؛ رویکرد پهنه‌ای^۱ و رویکرد شی‌ای^۲ [۴۰]. در این پژوهش، با توجه

^۱ Field View
^۲ Object View

مکانی را ناشی از تناسب فیزیکی^{۱۰} آن (نوع خاک، شیب، ارتفاع از سطح دریا)، میزان دسترسی^{۱۱} آن به شبکه‌ی معابر و همچنین و در برخی پژوهش‌ها تناسب هزینه‌ی تملک زمین با کاربری مورد نظر معرفی می‌کنند[۴۶]. در محدوده‌ی شهر (به ویژه در سطح یک منطقه خاص) با توجه به تشابه قابل ملاحظه‌ی تناسب فیزیکی زمین‌های شهری و همچنین اطمینان از وجود دسترسی عرصه‌ها در بافت شهری، می‌توان از تأثیر این دو معیار و به دیگر سخن از ارزیابی تناسب ذاتی در فرایند ارزیابی تناسب واحدهای مکانی، صرف نظر نمود. بنابراین معیار ارزیابی تناسب زمین در این پژوهش، تناسب همسایگی است که مبتنی بر تأثیر متقابل کاربری‌ها تعیین می‌شود.

۳-۲-۱- تعیین اثر همسایگی

یکی از پارامترهای اساسی در مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی و توسعه‌ی شهر، تأثیر همسایگی است. کاربری‌های گوناگون تأثیر مثبت یا منفی بر یکدیگر دارند. میزان این تأثیر با توجه به معیارهای مورد نظر، مقیاس عملکردی کاربری‌ها و فاصله‌ی میان کاربری‌ها، متفاوت است [۴۳ و ۵۰]. پیامدهای خارجی کاربری‌ها بر یکدیگر را می‌توان در سه گروه طبقه‌بندی کرد: سازگاری^{۱۲}، وابستگی^{۱۳} و تراکم^{۱۴}. این پیامدها در واقع تأثیر مثبت و یا منفی هر نوع کاربری بر نوع کاربری‌های دیگر هستند که متناسب با فاصله‌ی دو نوع کاربری از یکدیگر محاسبه می‌شوند [۴۶ و ۴۹].

سازگاری: سازگاری معیاری است که میزان تفاهم دونوع کاربری همسایه را تبیین می‌کند. در واقع دو کاربری کاملاً سازگار، هیچگونه تأثیر منفی بر عملکرد یکدیگر ندارند. در این پژوهش از روش‌شناسی ارائه شده توسط طالعی و همکاران [۵۰]، به منظور ارزیابی میزان سازگاری کاربری‌ها بهره گرفته شده است (رابطه ۱).

$$P_{ak} = \sum_d \sum_k CPT_{ij} \times I_{dab} \quad (1)$$

در این رابطه P_{ak} ، CPT_{ij} و I_{dab} به ترتیب اثر پیامد خارجی ناشی از پارامتر سازگاری برای واحد مکانی a با

ساختار همسایگی: یکی از شاخص‌های بسیار مهم در مطالعه‌ی تغییر کاربری و یا ارزیابی تناسب زمین در مدل‌سازی توسعه‌ی شهرها، مدل‌سازی تعاملات میان کاربری‌های^۱ موجود و یا به دیگر سخن، تأثیر همسایگی^۲ است. در مدل‌های مبتنی بر خودکاره‌ی سلولی، انتخاب ساختار همسایگی می‌تواند در نتایج نهایی تأثیرگذار باشد [۴۲]. با توجه به شعاع تأثیرگذاری کاربری‌های شهری، در این پژوهش از همسایگی^۳ مور^۴ ۲۰۰ سلول* ۲۰۰ سلول (پنجره‌ای با ابعاد ۸۰۰ متر) به منظور ارزیابی تأثیر همسایگی بهره گرفته شده است [۴۳]. همچنین در رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی روابط میان واحدهای خدماتی و سرویس‌گیرندگان از هر واحد خدماتی، از تحلیل شبکه^۵ بهره گرفته شده است.

ناحیه‌ی تأثیرگذاری: براساس قانون اول تابلر^۶، تمام هستاره‌های مکانی به یکدیگر مرتبط هستند و هستاره‌های نزدیکتر به هم، ارتباط قوی‌تری دارند [۴۴]. اگرچه وابستگی مکانی هستاره‌های مکانی، با افزایش فاصله‌ی میان آنها کاهش می‌یابد، اما نمی‌توان از تأثیر متقابل هستاره‌های مکانی چشم‌پوشی کرد [۴۲]. در این پژوهش از روش‌شناسی ارائه شده در پژوهش کریمی و همکاران [۴۳]، به منظور مدل‌سازی تأثیر فاصله‌ی هستاره‌ها بر میزان تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر بهره گرفته شده است.

۳-۲- ارزیابی تناسب زمین

تناسب کاربری، مفهومی است که به منظور بیان میزان تناسب یک واحد مکانی برای پذیرش کاربری(های) موردنظر و مبتنی بر معیارهای تعریف شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی تناسب کاربری، بهره‌گیری از تحلیل چند معیاره^۷ است [۴۵-۴۹]. تناسب هر واحد مکانی برای توسعه، ناشی از تناسب ذاتی^۸ آن واحد مکانی و تناسب همسایگی^۹ آن واحد مکانی برای پذیرش یک نوع کاربری است. تناسب ذاتی هر واحد

^۱ Land Use Interaction

^۲ Neighbourhood Effect

^۳ Moore Neighborhood

^۴ Network Analysis

^۵ Region Of Influence

^۶ Tobler

^۷ Multi Criteria Analysis

^۸ Intrinsinc Suitability

^۹ Neighbourhood Suitability

^{۱۰} Physical Suitability

^{۱۱} Accessibility

^{۱۲} Compatibility

^{۱۳} Dependency

^{۱۴} Compactness

کاربری k و سازگاری نوع کاربری i و j که از ماتریس سازگاری استخراج می‌شود و ضریب تأثیرگذاری ناحیه‌ی همسایگی واحد خدماتی b نسبت به واحد مکانی a تعریف می‌شود.

وابستگی: کارکرد هر نوع کاربری، وابسته به کارکرد برخی از انواع دیگر کاربری‌هاست. به دیگر سخن، وابستگی، تأثیری است که عملکرد مجموعه‌ای از کاربری‌ها با توجه به فاصله و مقیاس عملکردی خود، در عملکرد کاربری موردنظر دارند [۵۱]. معیار وابستگی در پژوهش‌های متعددی [۴۵ و ۴۶] با رویکردی مشابه آنچه در بخش سازگاری بیان شد، با تعریف یک ماتریس وابستگی^۱ تبیین شده است (که از کارایی لازم برای تبیین این مفهوم برخوردار نیست). در تعریف معیار وابستگی، نباید از نظر دور داشت که وجود کاربری‌های تک‌خدماتی در نزدیکی هم، اگرچه منجر به ایجاد ناسازگاری نمی‌شود، اما در صورت نبود تقاضای کافی، تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد یکدیگر خواهند داشت (برای نمونه وجود دو دبستان ابتدائی پسرانه در یک همسایگی). در این پژوهش از مفهوم "وابستگی منفی" به‌عنوان راه‌کاری برای ایجاد حریم پیرامون کاربری‌های تک خدماتی بهره گرفته شده است تا از ایجاد کاربری‌های مشابه در همسایگی هم اجتناب شود. همچنین نباید از نظر دور داشت که هر کاربری، در صورتی توان ارائه‌ی خدمات کارآمد و مورد نیاز دیگر کاربری‌ها را دارد که متقاضیان خدمات از آن واحد خدماتی، کمتر از سرانه‌ی تعریف شده برای آن واحد خدماتی باشد. در این پژوهش، مفهومی با عنوان "ضریب عملکرد"^۲ (نسبت تقاضای^۳ موجود در حوزه‌ی خدمت رسانی^۴ هر واحد خدماتی به سرانه‌ی تعریف شده در طرح جامع) به عنوان شاخصی برای توان هر واحد خدماتی در تأمین خدمات موردانتظار از آن واحد، تعریف شده است. با توجه به تعاریف انجام شده، معیار وابستگی برای هر واحد مکانی با کاربری k ، حاصل مجموع پیامدهای خارجی ناشی از وابستگی واحدهای مکانی همسایه آن واحد تعریف شده که برای محاسبه‌ی آن در این پژوهش از رابطه ۲ بهره گرفته شده است.

$$D_{ak} = \sum_d \sum_k DEP_{ij} \times PF_b \times I_{dab} \quad (2)$$

در این رابطه D_{ak} ، DEP_{ij} و PF_b به ترتیب اثر پیامد خارجی ناشی از پارامتر وابستگی برای واحد مکانی a با کاربری k ، وابستگی میان نوع کاربری i و j که از ماتریس وابستگی استخراج می‌شود (ماتریس وابستگی یک ماتریس نامتقارن است) و ضریب عملکرد واحد خدماتی b در همسایگی واحد مکانی a تعریف می‌شود.

تراکم: معیاری است که میزان هم‌نوع بودن کاربری مورد نظر برای یک واحد مکانی با نوع کاربری واحدهای مکانی همسایه را تبیین می‌کند. در پژوهش‌های متعددی، نسبت واحدهای مکانی با کاربری همسان به کل واحدهای مکانی موجود در همسایگی، به عنوان معیار تراکم، معرفی شده است [۴۵]. برای محاسبه‌ی معیار تراکم در این پژوهش از رابطه ۳ بهره گرفته شده است.

$$C_{ak} = \sum_d \frac{n_{akd}}{n_d} * I_d \quad (3)$$

در این رابطه C_{ak} ، n_{ak} و n_d به ترتیب معیار تراکم برای واحد مکانی a با کاربری k ، تعداد سلول با کاربری k در رینگ d از همسایگی سلول a و تعداد کل سلول‌های موجود در رینگ d از همسایگی a تعریف می‌شود.

تعیین تناسب برای هر قطعه: تناسب هر واحد مکانی برای پذیرش یک نوع کاربری را می‌توان بر اساس تلفیق موزون معیارهای تعریف شده (با توجه به میزان تأثیر متفاوت آن‌ها در ارزیابی پتانسیل توسعه‌ی هر قطعه)، برای ارزیابی میزان تناسب، محاسبه کرد [۴۸]. در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های نوع کاربری‌های مختلف، از رویکرد پژوهش ابوالحسنی و همکاران [۴۶]، برای تلفیق معیارهای موردنظر، بهره گرفته شده است. برای محاسبه‌ی تناسب هر واحد مکانی (هر سلول) از رابطه ۴ بهره گرفته شده است:

$$N_{ak} = \omega_C \times C_{ak} + \omega_P \times P_{ak} + \omega_D \times D_{ak} \quad (4)$$

در این رابطه N_{ak} تناسب سلول a برای پذیرش کاربری k است. همچنین ω_C ، ω_P و ω_D به ترتیب تأثیر پیامدهای خارجی متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی در تناسب واحد مکانی a با کاربری k هستند که برای نوع کاربری‌های مسکونی و تجاری به ترتیب ۰/۵۷۶، ۰/۲۴۳ و ۰/۱۸۱ و برای نوع کاربری‌های خدماتی به ترتیب ۰/۳، ۰/۷ و ۰/۷ تعریف شده است.

^۱ Dependency Matrix

^۲ Performance Index

^۳ Demand

^۴ Service Area

^۵ Per Capita

۳-۳- پیش بینی توسعه

پس از تعیین پتانسیل هر واحد مکانی در پذیرش انواع کاربری‌های مورد نظر (که در نقشه‌ی تناسب کاربری برای هر نوع کاربری تولید می‌شود)، فرایند پیش بینی چگونگی توسعه و یا به دیگر سخن تخصیص کاربری در افق زمانی مورد نظر، مبتنی بر پتانسیل واحدهای مکانی تعریف می‌شود [۵۲]. در این پژوهش تلاش شده است تا توسعه‌ی کاربری، نه با رویکردی آرمان‌گرایانه در راستای بهینه‌سازی حداکثری توزیع کاربری‌ها، بلکه با رویکردی واقع‌گرایانه و با در نظر گرفتن رفتار عوامل دخیل در فرایند توسعه، مدل‌سازی شود.

حکومت‌ها، به طور مستقیم یا غیر مستقیم متولی مدیریت توسعه‌ی شهر هستند، اما غالباً امکان تحکم به توسعه‌دهندگان اراضی را ندارند. ابزار حکومت‌ها برای مدیریت شهر، وضع قوانین و ضوابط شهری و نظارت بر حسن اجرای این قوانین است [۳۱]. اگرچه بخشی از این قوانین کاملاً محدود کننده هستند (تعریف مناطق محافظت شده و غیرقابل توسعه)، اما بخشی قابل توجهی از این ضوابط، دارای میزانی از انعطاف‌پذیری هستند [۳۲]. توسعه‌دهندگان نیز با اطلاع از قوانین، پیشنهاد خود را برای توسعه به شهرداری‌ها ارائه می‌دهند و شهرداری‌ها نیز در چهارچوب ضوابط، مجوز توسعه را صادر می‌کنند (نقش نظارتی دارند). به دیگر سخن توسعه‌ی کاربری‌های شهری، بیش از آنکه معلول اراده‌ی حکومت باشند، تابعی از رفتار توسعه‌دهندگان هستند [۱۲].

در این چهارچوب، این مقاله با بهره‌گیری از مفاهیم تئوری بازی‌های عامل مبنای، یک روش‌شناسی را برای شبیه‌سازی فرایند توسعه در چهارچوب ضوابط طرح جامع و با در نظر گرفتن تمایل توسعه‌دهندگان به انتفاع بیشتر، پیشنهاد می‌دهد. در ادامه‌ی این بخش سازوکار بازی شامل، تعریف عوامل توسعه و ترجیحات آنها، سناریوی توسعه و ساختار بازی، تشریح شده است. نتیجه بازی در هر سلول وضعیت توسعه آن سلول را مشخص می‌کند و وضعیت هر عرصه (پارسل) تابعی است از وضعیت سلول‌های تشکیل دهنده آن پارسل که در ادامه به طور مبسوط تشریح شده است.

۳-۳-۱- عامل‌های توسعه

با توجه به سناریوی تعریف شده، فرایند توسعه را می‌توان تابعی از تعاملات میان توسعه‌دهندگان و حکومت به عنوان عوامل اصلی دخیل در فرایند توسعه تعریف کرد [۱ و ۳۰]. در ادامه به تعریف این دو عامل و تبیین ویژگی‌ها و ترجیحات آنها پرداخته شده است:

عامل توسعه دهنده: اولویت توسعه‌دهنده در توسعه‌ی کاربری‌ها، برتری پتانسیل توسعه واحدهای مکانی قابل توسعه است. توسعه دهنده، نوع کاربری را بر اساس اولویت خود، به حکومت پیشنهاد می‌دهد. اگر این پیشنهاد در چهارچوب ضوابط از طرف حکومت پذیرفته نشود، توسعه‌دهنده بر اساس اولویت توسعه‌ی خود، تا زمانی که توسعه‌ی کاربری برای او عایدی به همراه داشته باشد، پیشنهادات جدیدی ارائه می‌دهد. اگر هیچ یک از اولویت‌های او توسط حکومت پذیرفته نشود، توسعه‌دهنده، از توسعه‌ی آن واحد مکانی منصرف می‌شود. در صورتی که پس از بررسی تمام واحدهای مکانی موجود، همچنان سرانه‌های مورد نظر تأمین نشده باشد، توسعه دهنده، سطح توقع یا عایدی انتظاری را تا حدی کاهش خواهد داد. حکومت به منظور هدایت توسعه‌دهنده به توسعه‌ی کاربری‌های پیشنهادی از بسته‌های تشویقی بهره می‌گیرد و در مقابل تمایل توسعه دهنده به توسعه‌ی کاربری‌های مشروط، هزینه‌هایی افزوده‌ای برای او در پی خواهد داشت. با توجه به سناریوی فوق، تابع عایدی توسعه‌دهنده، در قالب رابطه ۵ تعریف می‌شود:

$$\prod_{ak}^D = \frac{S_{ak}}{S_{max_k}} - LUC - \alpha \quad (5)$$

در این رابطه، $\prod_{ak}^D$ عایدی عامل توسعه‌دهنده از توسعه‌ی کاربری k در واحد مکانی a ، S_{max_k} بیشینه تناسب واحدهای مکانی قابل توسعه برای توسعه نوع کاربری k ، S_{ak} تناسب واحد مکان a برای توسعه‌ی کاربری k ، LUC هزینه‌ی تغییر کاربری است (با توجه به تعاریف طرح جامع از کاربری اصلی، مجاز، مشروط و غیرمجاز تعیین می‌شود) و α سطح توقع عامل توسعه‌دهنده یا آستانه‌ی پذیرش توسعه‌ی یک نوع کاربری تعریف می‌شوند.

عامل حکومت: راهبرد حکومت (شهرداری‌ها نماینده‌ی حکومت در اجرای ضوابط هستند)، رعایت پهنه‌بندی (به عنوان یکی از ضوابط حاکم بر تخصیص کاربری) و البته توجه به تناسب کاربری‌های موجود و

کاربری‌های مورد نیاز است. رعایت پهنه‌بندی (با توجه به ضوابط طرح جامع و طرح تفصیلی) برای حکومت در اولویت قرار دارد. با توجه به سناریوی فوق، تابع عایدی حکومت، در قالب رابطه ۶ تعریف می‌شود:

$$\prod_{ak}^G = \frac{2}{3}(ZCF) + \frac{1}{3}\left(\frac{S_{ak}}{S_{max_k}}\right) - \beta \quad (6)$$

در این رابطه، $\prod_{ak}^G$ عایدی عامل حکومت از توسعه‌ی کاربری k در واحد مکانی a ، S_{max_k} بیشینه تناسب واحدهای مکانی قابل توسعه برای توسعه کاربری k ، S_{ak} تناسب واحد مکانی a برای توسعه‌ی کاربری k ، ZCF میزان تناسب کاربری پیشنهادی با پهنه‌بندی است (با توجه به تعاریف طرح جامع از کاربری اصلی، مجاز، مشروط و غیرمجاز تعیین می‌شود) و β سطح توقع عامل حکومت یا آستانه‌ی پذیرش پیشنهاد توسعه‌ی یک نوع کاربری تعریف می‌شوند.

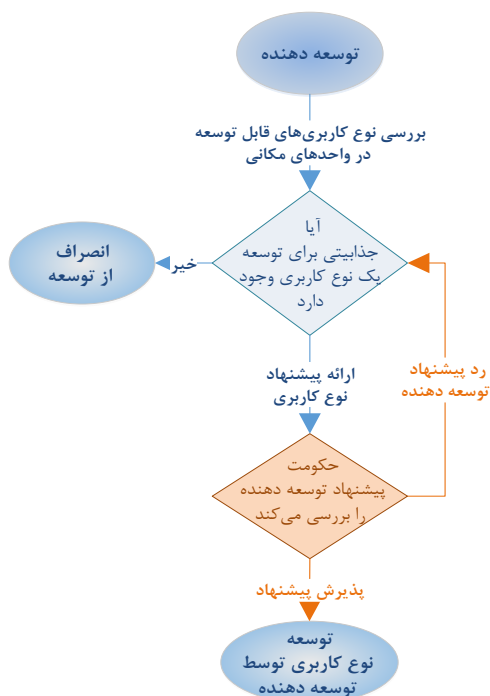
۳-۳-۲- ساختار بازی

ساختار بازی، با توجه به سناریوی توسعه، در قالب یک بازی ترتیبی سازماندهی شده است. با توجه به اینکه فرایند توسعه، با پیشنهاد توسعه‌دهنده آغاز می‌شود، درخت بازی برای توسعه‌ی هر واحد مکانی با پیشنهاد عامل توسعه‌دهنده و با توجه به پتانسیل توسعه‌ی واحد مکانی بر مبنای تناسب کاربری تشکیل می‌شود. پس از تشکیل درخت بازی برای هر واحد مکانی (شکل ۲)، با بهره‌گیری از استقراء معکوس، تعادل نش زیربازی‌ها، از پایین درخت تا زیربازی نخست بازی محاسبه شده و در نهایت تعادل نش زیربازی کامل به عنوان نتیجه‌ی فرایند مذاکره‌ی میان توسعه‌دهنده و حکومت برای توسعه‌ی هر واحد مکانی، محاسبه می‌شود.

۳-۳-۳- قیود و محدودیت‌های مکانی توسعه

توسعه‌دهنده، تنها امکان توسعه در فضاهای مجاز برای توسعه (با توجه به ضوابط طرح جامع و نقشه‌ی پهنه‌بندی) را دارد. همچنین با توجه به رویکرد قطعه‌مبنای روش‌شناسی ارائه شده، نتیجه‌ی تخصیص کاربری برای هر عرصه، با توجه به وضعیت سلول‌های تشکیل دهنده آن تعیین می‌شود (نوع کاربری غالب به عنوان وضعیت نهایی یک عرصه تعیین می‌شود). به این ترتیب نتیجه‌ی فرایند

توسعه، مبتنی بر هستارهای مکانی خواهد بود و تبدیل نتایج به‌دست آمده در فضای سلولی، به فضای برداری مورد بهره‌برداری در ارگان‌های اجرایی، با بهره‌گیری از سامانه‌ی اطلاعات مکانی امکانپذیر می‌شود.



شکل ۲- ساختار بازی

۴- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی

برنامه‌ریزی کاربری زمین شامل سه مرحله کلی است: برآورد تقاضا (شناخت)، ارزیابی تناسب کاربری (طراحی) و تخصیص کاربری (انتخاب) [۴۶]. مدل ارائه شده در این مقاله نیز با اتخاذ این رویکرد، فرایند تخصیص کاربری مبتنی بر قوانین توسعه را با توجه به تناسب کاربری زمین و با در نظر گرفتن سناریوی توسعه مبتنی بر ساختار جمعیت و سرانه‌ی موردنیاز برای هر نوع کاربری، شبیه‌سازی می‌کند. گستره مورد مطالعه این تحقیق، توسعه کاربری در سطح عملکردی محله است. به‌منظور پیاده‌سازی و سنجش عملکرد مدل ارائه شده جهت "شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای توسعه شهری"، محله روزیه از ناحیه ۲ منطقه ۲ شهر سمنان انتخاب شده و مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۳). در فرایند پیاده‌سازی، به منظور آماده‌سازی و پردازش داده‌ها و نمایش خروجی از نرم‌افزار ArcMap 10.4.1 و به منظور پیاده‌سازی مدل پیشنهادی از زبان برنامه‌نویسی Matlab بهره گرفته شده است.

آمده، فرایند تحلیل چندمعیاره به منظور ارزیابی تناسب زمین و همچنین پیشبینی روند توسعه در محیط رستری انجام پذیرد و در نهایت نتایج به دست آمده در محیط برداری ارائه می‌شود. در این بخش چگونگی آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به محیط سلولی تشریح شده است.

داده‌های مورد بهره‌برداری در این پژوهش را می‌توان در سه گروه دسته‌بندی کرد؛ داده‌های مکانی، داده‌های آماری و ضوابط و قوانین تخصیص کاربری.

داده‌های مکانی: در این پژوهش از پایگاه داده مکانی شهر سمنان که توسط شهرداری سمنان به صورت برداری و با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه و تا سال ۱۳۹۵ به‌هنگام شده، بهره گرفته شده است.

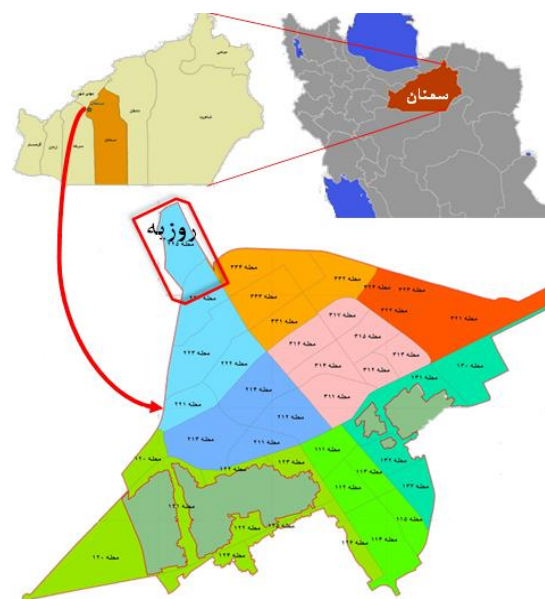
داده‌های آماری: داده‌های جمعیتی مورد استفاده در این پژوهش، نتایج حاصل از سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ شهر سمنان است که توسط مرکز آمار ایران منتشر شده است [۵۴].

ضوابط قوانین: در این پژوهش قوانین توسعه‌ی کاربری، نرخ رشد جمعیت و سرانه‌ی تأمین کاربری، مبتنی بر طرح جامع شهر سمنان و مستندات و پیوست‌های مطالعاتی این طرح، تدوین شده است [۵۵].

فضای برداری مورد بهره‌برداری در این پژوهش متشکل از پارسل‌ها و شبکه معابر شهر سمنان است. در پایگاه داده تهیه شده، نوع کاربری و جمعیت ساکن، به تفکیک هر پارسل و در سطح شهر سمنان مشخص شده است. پس از انجام تحلیل‌های تحت شبکه معابر در فضای برداری و تولید اطلاعات، فضای برداری به ساختار سلولی با ابعاد ۴*۴ متر تبدیل شده است. شایان ذکر است که سلول‌های مربوط به عرصه‌ها در فضای سلولی، با بهره‌گیری از شناسه‌ی منحصر به فرد عرصه‌ها، نمایه‌گذاری شده‌اند. با اتخاذ این رویکرد، ویژگی هندسی هستارهای مکانی، در فضای سلولی رستری نیز حفظ شده و قابل بازیابی و بهره‌برداری است.

۳-۴- ارزیابی تناسب واحدهای مکانی

در این پژوهش فرایند تخصیص کاربری برای توسعه‌ی هفت کلاس کاربری مسکونی، تجاری، آموزشی، مذهبی، درمانی، ورزشی و فضای سبز در سطح محله پیاده‌سازی شده است (فرض شده است که کاربری‌های فرامحله‌ای



شکل ۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه [55]

۴-۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه

شهر سمنان از جمله شهرهایی است که با توجه به رشد جمعیت پیش‌بینی شده برای آن، با محدودیت فیزیکی و فضایی روبه‌رو است [۵۳]. بر پایه‌ی نتایج آمار سرشماری عمومی نفوس و مسکن، جمعیت شهر سمنان در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۸۵ هزار و ۱۲۹ نفر اعلام شده است [۵۴]. با توجه به مطالعات و محاسبات انجام شده در طرح جامع مصوب سال ۱۳۹۴ شهر سمنان، جمعیت این شهر در سال ۱۴۰۵ (افق طرح جامع) و با نرخ رشد ۳/۸۲، ۲۷۰ هزار نفر پیش‌بینی شده است [۵۵].

با توجه به مطالعات طرح جامع سمنان اولویت توسعه‌ی اراضی الحاقی سمنان در برنامه‌ی میان مدت شهر سمنان، توسعه‌ی محله روزیه، واقع در شمال شهر سمنان است. این محله از شمال و غرب به کوهستان پارک سمنان، از جنوب به کمربندی سمنان و از شرق به جاده‌ی مهدی‌شهر محدود شده است، محدوده‌ای به مساحت ۶۰ هکتار را دربر می‌گیرد. با محاسبه‌ی سطح معابر شهری، محدوده‌ای به مساحت ۳۰ هکتار و شامل ۱۴۱۲ عرصه، فضای توسعه در این محدوده را تشکیل می‌دهد.

۴-۲- آماده‌سازی داده

با توجه به روش‌شناسی پیشنهادی این مقاله، بخشی از تحلیل‌های مورد نیاز مانند تحلیل شبکه، می‌بایست در فضای برداری انجام شده و با بهره‌گیری از نتایج بدست

مورد تقاضا از کاربری‌های موجود در محلات مجاور تأمین شده است). بنابراین کاربری‌های مورد نظر، هشت نوع کاربری مسکونی (تک یا چند خانواری)، تجاری (خرید روزانه)، کودکستان، دبستان، مسجد، درمانی، ورزشی و پارک کودک را شامل می‌شود. البته برای فراهم آوردن شرایط آغاز شبیه‌سازی (اصطلاحاً شروع سرد)، ارزیابی تناسب واحدهای مکانی با محاسبه تأثیر متقابل تمام نوع کاربری‌های موجود، در کل محدوده‌ی شهر سمنان (۴۱ زیرکلاس تعریف شده، مبتنی بر تعاریف طرح جامع) انجام پذیرفته است. البته توسعه‌ی کاربری تنها در محله‌ی روزیه شبیه‌سازی شده و مناطق دیگر شهر سمنان در افق توسعه، بدون تغییر فرض شده‌اند.

معیار ارزیابی تناسب زمین در این پژوهش، تناسب همسایگی است که مبتنی بر تأثیر متقابل کاربری‌ها تعیین می‌شود. به‌منظور ارزیابی تناسب واحدهای مکانی، معیار سازگاری، معیار وابستگی و معیار تراکم یا متمرکزسازی با بهره‌گیری از روش‌شناسی ارائه شده در بخش مدل‌سازی، محاسبه شده و تناسب هر واحد مکانی با تلفیق این معیارها ارزیابی شده است. ماتریس‌های سازگاری و وابستگی مبتنی بر پژوهش ابوالحسنی و همکاران [۴۶] تعریف شده است، البته در ماتریس وابستگی برای کاربری‌های خدماتی همسان، مقادیر وابستگی منفی جایگزین شده‌اند. مقادیر منفی وابستگی کاربری‌های خدماتی همسان به‌گونه‌ای تنظیم شده‌اند که امکان توسعه‌ی یک کاربری خدماتی در ناحیه اول و دوم تأثیرگذاری کاربری خدماتی هم‌کلاس وجود نداشته باشد، مگر آنکه ضریب عملکرد واحد خدماتی کاهش یافته باشد یا به دیگر سخن یک واحد خدماتی توان پاسخگویی به متقاضیان خدمت را نداشته باشد.

۴-۴- شبیه‌سازی روند توسعه

هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای توسعه شهری است. بنابراین به منظور پیاده‌سازی روش‌شناسی پیشنهادی، سناریوی توسعه، مبتنی بر مطالعات اجتماعی-اقتصادی پیوست به طرح تفصیلی و سرانه‌های تعریف شده در طرح تفصیلی تعریف شده‌اند. در گام بعد با بهره‌گیری از چهارچوب ارائه شده جهت بهره‌گیری از تئوری بازی‌ها، نتایج اتخاذ سناریوی تعریف شده، مبتنی بر تناسب واحدهای مکانی قابل توسعه و قوانین توسعه‌ی کاربری شبیه‌سازی شده است.

گام زمانی پیش بینی چگونگی توسعه شهر، بر مبنای افق طرح جامع، بازه‌ی زمانی ده سال در نظر گرفته شده است. با توجه به مطالعات طرح جامع سمنان در راستای جبران کمبود مسکن، تأمین ۲۰٪ از سکونتگاه‌های مورد نیاز در افق طرح، از طریق توسعه‌ی زمین‌های بایر موجود برنامه‌ریزی شده است. بنابراین با توجه به سرانه‌ها و سناریوهای جمعیتی تعریف شده در طرح جامع، تقاضای موردانتظار برای کاربری‌های مختلف محاسبه شده و با بهره‌گیری از مدل پیشنهادی، روند توسعه‌ی شهر شبیه‌سازی شده است (ارزیابی عرضه و تقاضا برای خدمات در هر گام زمانی، مبتنی بر محدوده‌ی خدمت رسانی واحدهای خدماتی، توزیع جمعیت به تفکیک پارسل‌ها و با بهره‌گیری از تحلیل شبکه در کل شهر سمنان انجام شده است).

تعریف سناریو توسعه: بهره‌گیری از روش‌های سناریو مینا، به منظور ایجاد و بررسی روایت‌های گوناگون از آینده‌ی محتمل و امکان مقایسه‌ی نتایج این روایت‌ها، مورد توجه قرار می‌گیرد. در این پژوهش سناریوهای توسعه‌ی شهر مبتنی بر بهره‌گیری از، مطالعات اقتصادی-اجتماعی پیوست به طرح جامع تعریف شده‌اند. بر این اساس دو سناریو قابل بررسی است؛ ادامه روند موجود و یا پیش بینی روند افزایش جمعیت با توجه به شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی مورد انتظار در افق طرح. در سناریوی ادامه روند موجود یا افزایش جمعیت با الگوی ۱۰ سال گذشته، با در نظر گرفتن وقایع حیاتی و روند مهاجرت فعلی به شهر سمنان، جمعیت سمنان با پیش بینی نرخ رشد ۱/۹۴ برای پنج ساله نخست و نرخ رشد ۱/۳۷ برای پنج ساله دوم در افق طرح، ۲۱۰ هزار نفر پیش بینی شده است. در سناریوی مورد انتظار طرح جامع، با در نظر گرفتن پارامترهایی همچون افزایش امید به زندگی، کاهش مرگ‌ومیر، بهبود شاخص‌های اقتصادی، افزایش رشد اقتصادی و رشد چشم‌گیر روند مهاجرت به شهر سمنان، جمعیت سمنان با پیش‌بینی نرخ رشد ۳/۶۳ برای پنج ساله نخست و نرخ رشد ۳/۱۴ برای پنج ساله دوم در افق طرح، ۲۷۰ هزار نفر پیش بینی شده است.

شبیه‌سازی چگونگی توسعه: روش‌شناسی ارائه شده در این مقاله، روشی حریصانه، با در نظر گرفتن رفتار توسعه‌دهنده و حکومت به عنوان عوامل دخیل در فرایند توسعه را پیشنهاد می‌دهد. این رویکرد، واحدهای مکانی را با اولویت پتانسیل بالاتر برای توسعه، بررسی نموده و ضمن تشکیل درخت بازی

مدل برای تمام واحدهای مکانی قابل توسعه، برخی از سرانه‌های محاسبه شده همچنان تأمین نشده باشند، سطح توقع عوامل توسعه تدریجاً تا میزان حداکثر ۳۰٪ کاهش داده شده و اگر همچنان برخی سرانه‌ها تأمین نشده باقی مانده باشند، تأمین آنها به گام زمانی بعد موکول شده است.

گام پیاده‌سازی مدل برای هر سناریو، بازه‌های یک ساله است. پس از شبیه‌سازی توسعه در هر سال، تناسب کاربری برای نتیجه‌ی توسعه کاربری‌ها تا آن مقطع زمانی، محاسبه شده و مبنای شبیه‌سازی در گام زمانی بعدی قرار گرفته شده است.

نتایج پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی این پژوهش برای سناریوهای مورد نظر، در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- نتایج پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی برای دو سناریوی توسعه، در افق طرح جامع (پس از ۱۰ سال)

برای هر واحد مکانی، در خصوص توسعه‌ی آن واحد مکانی تصمیم‌گیری می‌کند. در هر گام زمانی از فرایند توسعه، تصمیم‌گیری برای هر واحد مکانی، بدون وابستگی به تصمیم‌گیری انجام شده در خصوص دیگر واحدهای مکانی توسعه یافته در آن گام زمانی انجام شده است.

تعامل میان عامل توسعه‌دهنده و حکومت، مبتنی بر تابع عایدی آنها و یا به تعبیر بهتر، تابعی از تناسب هر واحد مکانی برای پذیرش کاربری و ضوابط حاکم بر توسعه شهر است. در این پژوهش به منظور تخصیص کاربری برای توسعه‌ی هشت نوع کاربری (در سطح عملکرد محله)، نخست عایدی توسعه‌دهنده از توسعه‌ی کاربری‌های مذکور (با توجه به تقاضای موجود در گام زمانی مورد نظر) برای تمام واحدهای مکانی قابل توسعه، محاسبه شده است. برای هر واحد مکانی قابل توسعه، درخت بازی با توجه به عایدی توسعه‌دهنده و عایدی حکومت، با اولویت کسب عایدی بیشتر توسط توسعه‌دهنده و با در نظر گرفتن ترجیح توسعه‌دهنده به پیشنهاد کاربری با تناسب بیشتر (عایدی بالاتر)، تشکیل شده و با بهره‌گیری از مفهوم استقراء معکوس و در نظر گرفتن قیود و محدودیت‌های مکانی توسعه، نتیجه‌ی فرایند چانه‌زنی میان توسعه‌دهنده و حکومت برای هر سلول قابل توسعه، محاسبه شده است.

مقادیر توابع عایدی عامل‌های دخیل در فرایند توسعه (رابطه‌های ۵ و ۶) طوری تنظیم شده است که با توجه به ترجیحات آنها اگر توسعه هر نوع کاربری در هر سلول، کمتر از ۸۰ درصد سطح توقع آنها را برآورده سازد، آنها انگیزه‌ای برای پذیرش توسعه آن نوع کاربری ندارند. به دیگر سخن عامل توسعه دهنده تنها زمانی توسعه یک نوع کاربری در یک سلول را پیشنهاد می‌دهد که آن سلول، دست کم ۸۰ درصد از بیشینه تناسب ممکن برای آن نوع کاربری در محدوده مورد مطالعه را تأمین نموده و ضمناً با توجه به ضوابط طرح تفصیلی، سطح توقع شهرداری را نیز تأمین نماید. بنابراین تغییر وضعیت هر سلول تنها زمانی مجاز است که سطح توقع عامل‌های دخیل در فرایند توسعه تأمین شده باشد. تغییر وضعیت هر واحد مکانی (هر پارسل) تنها زمانی مجاز است که بیش از ۵۰ درصد از سلول‌های متناظر با آن عرصه، به یک نوع کاربری تغییر وضعیت داده باشند.

این چرخه تا تأمین سرانه‌های محاسبه شده برای گام زمانی موردنظر، پیاده‌سازی شده است. اگر پس از اجرای

۴-۵- ارزیابی نتایج

اگرچه مقایسه‌ی دیداری نقشه‌های شبیه‌سازی شده، می‌تواند برخی تمایزهای موجود میان نتیجه‌ی پیاده‌سازی سناریوهای مختلف توسعه‌ی شهر را آشکار کند، اما با توجه به پیچیدگی ارتباطات داخلی مدل، می‌توان از مجموعه شاخص‌ها به منظور کمی‌سازی نقشه‌ی کاربری‌های توسعه یافته به پارامترهای قابل مقایسه، بهره گرفت.

به منظور ارزیابی توسعه‌ی مطلوب کاربری‌ها، راهبرد بررسی و مقایسه تناسب واحدهای مکانی توسعه یافته می‌تواند راهبرد مناسبی محسوب شود [۴۶]، اما توازن فضایی توسعه‌ی کاربری‌های خدماتی (به عنوان یکی از اصول توسعه پایدار شهرها در اسناد بالادستی) نیز، اصل مهمی است که نمی‌بایست مغفول بماند [۵۶]. از همین روی در این پژوهش به منظور ارزیابی نتایج پیاده‌سازی سناریوهای مختلف، علاوه بر مقایسه تناسب کاربری‌های توسعه یافته، مواردی همچون گستره‌ی افراد بهره‌مند از واحدهای خدماتی و شاخص ضریب عملکرد واحدهای خدماتی (شاخص‌های جهت ارزیابی توازن فضایی توسعه‌ی کاربری‌های خدماتی)، به عنوان معیارهای مقایسه‌ی نتایج پیاده‌سازی سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تناسب واحدهای مکانی توسعه یافته: همانطور که در بخش‌های قبل بیان شد، تناسب هر واحد مکانی را می‌توان بر اساس تلفیق موزون معیارهای تعریف شده برای ارزیابی میزان تناسب، محاسبه کرد [۴۸]. به منظور ارزیابی تناسب واحدهای مکانی توسعه یافته، در این پژوهش از رویکردی مشابه با رویکرد مورد استفاده به منظور ارزیابی پتانسیل واحدهای مکانی برای پذیرش انواع کاربری (بخش ۳-۲-۱)، بهره گرفته شده است.

در بررسی این نتایج (جدول ۱)، روشن است که به دلیل تأثیر قابل ملاحظه‌ی پارامتر متمرکزسازی در رویکرد مورد بهره‌برداری در این پژوهش برای ارزیابی تناسب کاربری مسکونی، نتیجه‌ی شبیه‌سازی سناریوی دوم در توسعه کاربری (با توجه به اینکه این سناریو رشد بسیار بالای جمعیت را هدف‌گذاری نموده و منجر به توسعه بیش از ۸۵٪ واحدهای مکانی قابل توسعه شده است)، تناسب بهتری را نتیجه داده است (شکل ۴).

به دیگر سخن بهره‌گیری از این شاخص جهت مقایسه نتیجه‌ی پیاده‌سازی سناریوهایی که سطح توسعه‌ی

متفاوتی را هدف‌گذاری می‌کنند، از کارامدی لازم برای تفسیر نتایج برخوردار نیست.

توزیع متناسب کاربری‌های خدماتی: یکی از معیارهای توسعه‌ی پایدار، عدالت اجتماعی است و از نشانه‌های عدالت اجتماعی توزیع فضایی متعادل خدمات شهری است. همگام با توسعه‌ی شهرها و ورود بخش خدمات به فضاهای شهری، نابرابری‌های منطقه‌ای تشدید می‌شود و از همین روی یکی از دغدغه‌های حکومت‌ها، تشخیص به‌هنگام این عدم‌تعادل‌ها و سیاست‌گذاری برای ساماندهی چیدمان فضایی خدمات است [۵۶]. در این پژوهش با بهره‌گیری از این مفهوم، شاخص‌های "دسترسی شهروندان" و "متوسط ضریب عملکرد واحدهای خدماتی" به عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی توزیع متعادل کاربری‌ها تعریف شده‌اند. نتایج ارزیابی این شاخص‌ها به تفکیک هر سناریو و برای هر نوع کاربری خدماتی محاسبه شده (جدول ۲) و میانگین این شاخص‌ها به عنوان معیاری برای مقایسه‌ی نتایج پیاده‌سازی سناریوها، ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه تناسب کاربری‌های توسعه داده شده

کاربری	سناریوی نخست	سناریوی دوم
تناسب کاربری	۰,۵۳۰	۰,۶۷۱
	۰,۲۳۶	۰,۲۹۱
	۰,۵۷۸	۰,۵۷۸
	۰,۵۷۰	۰,۶۲۱
	۰,۲۰۹	۰,۴۷۵
	۰,۴۷۳	۰,۶۴۲
	۰,۲۴۲	۰,۵۱۶
پارک کودک	۰,۶۲۶	۰,۶۷۳
تناسب متوسط	٪۴۳,۳	٪۵۵,۸

• شاخص دسترسی شهروندان: به منظور محاسبه‌ی این شاخص، دسترسی واحدهای مسکونی به هر نوع واحد خدماتی، با توجه به حداکثر فاصله‌ی دسترسی پیاده به هر نوع واحد خدماتی (مبتنی بر تعاریف طرح جامع) و با بهره‌گیری از تحلیل شبکه، بررسی شده و نسبت جمعیت ساکنینی که به هر نوع کاربری خدماتی دسترسی دارند به کل جمعیت ساکن در محدوده مورد مطالعه، به عنوان شاخص دسترسی شهروندان به هر نوع کاربری خدماتی تعریف شده است.

در این پژوهش تلاش شده تا با اتخاذ راه کارهای مناسب از جمله انتخاب شبکه‌ی ریزدانه برای خودکارهی سلولی، نمایه‌گذاری سلول‌ها، ضمن بهره‌مندی از مزایای خودکاره‌های سلولی بر نقاط ضعف آن فائق آمده و فرایند توسعه‌ی کاربری‌ها را مبتنی بر ضوابط طرح تفصیلی و منطبق بر هستارهای مکانی هدایت نماید و در این راستا به میزان قابل توجهی موفق بوده است.

در راستای توزیع متعادل کاربری‌ها از دیدگاه مکانی و هم از دیدگاه دسترسی متعادل شهروندان به خدمات، در این پژوهش فرایند تخصیص کاربری‌های خدماتی، علاوه بر تناسب همسایگی واحدهای مکانی، با در نظر گرفتن تقاضای موجود مبتنی بر دسترسی پیاده و تحت شبکه و متناسب با روند توسعه‌ی کاربری مسکونی برنامه‌ریزی شده است. ارزیابی نتایج با بهره‌گیری از شاخص‌های "دسترسی شهروندان" و "متوسط ضریب عملکرد واحدهای خدماتی"، بیانگر توانمندی مدل در تخصیص مناسب کاربری‌های خدماتی است. نتایج پیاده‌سازی سناریوهای تعریف شده، بیانگر این واقعیت است که توزیع کاربری‌ها، هیچگاه منجر به دسترسی کمتر از ۷۰ درصد متقاضیان نشده است (که با در نظر گرفتن میزان پراکندگی کاربری‌ها در سناریوی موردنظر، میزان دسترسی قابل قبولی قلمداد می‌شود).

از جمله پیشنهادات این مقاله برای پژوهش‌های آتی، می‌توان به کوتاه نمودن گام‌های زمانی مدل در راستای پیشگیری از کژی مدل به دلیل توسعه‌ی گسترده و متمرکز کاربری‌ها، اشاره نمود. همچنین تلفیق تئوری بازی با مدل‌های خودکاره برداری (ارزیابی همسایگی‌ها مبتنی بر ساختار برداری)، منجر به بهبود قابل توجهی در توزیع مناسب کاربری‌های خدماتی می‌شود. همچنین تلفیق مدل ارائه شده با یک مدل اقتصادی که توانایی پیشبینی پیامدهای اقتصادی و درآمدزایی ناشی از سرمایه‌گذاری در توسعه‌ی کاربری‌ها را داشته باشد، علاوه بر آنکه امکان تعریف گزینه‌های تصمیم‌گیری گسترده‌تری را برای عامل‌ها فراهم می‌کند، شرایط مدل را به شرایط دنیای واقعی نزدیکتر می‌نماید.

• ضریب عملکرد واحدهای خدماتی: به‌منظور محاسبه‌ی این شاخص، میانگین ضریب عملکرد یا بهره‌وری واحدهای مکانی توسعه داده شده از هر نوع کاربری خدماتی، به عنوان سنجه‌ی ای از میزان توازن در توزیع خدمات معرفی شده است. با توجه به اینکه توسعه خدمات مبتنی بر تغییر ساختار جمعیت انجام پذیرفته است، انتظار می‌رود که ضریب بهره‌وری تمام واحدهای خدماتی ۱۰۰٪ باشد، اما در عمل به دلیل توزیع نامتوازن واحدهای خدماتی، برخی واحدهای خدماتی جمعیتی بیش از سقف سرانه پیش‌بینی شده در طرح جامع را در محدوده خدماتی خود پوشش می‌دهند و در مقابل برخی واحدهای خدماتی جمعیتی کمتر از سرانه‌های پیش‌بینی شده را در محدوده خدماتی خود دارند.

با مقایسه نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری تعریف شده برای نتایج پیاده‌سازی سناریوهای توسعه (جدول ۲)، ملاحظه می‌شود که در سناریوی اول با توجه به رشد جمعیت پایین، گستره‌ای کوچکتر از ۳۵٪ فضای مورد مطالعه توسعه داده شده است و با توجه به گسستگی بیش از حد گستره‌های مسکونی، شاخص دسترسی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سناریوی دوم است.

۵- جمع‌بندی و پیشنهادها

هدف این مقاله، ارائه‌ی مدلی مبتنی بر تلفیق خودکارهی سلولی، تحلیل چندمعیاره و تئوری‌بازی‌ها برای طرح‌ریزی کاربری اراضی و شبیه‌سازی چگونگی توسعه‌ی شهر با توجه به سناریوهای مورد نظر برای تغییر ساختار جمعیت شهری و ارزیابی و کمی‌سازی نتایج سناریوهای توسعه شهری است. در مدل پیشنهادی این مقاله، از تلفیق خودکارهی سلولی و تحلیل چندمعیاره به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی تعاملات میان انواع کاربری و کمی‌سازی تأثیرات متقابل میان آنها، با توجه به آستانه‌ی فعالیت و آستانه‌ی تأثیرگذاری کاربری‌ها، جمعیت ساکن در هر پارسل و مبتنی بر تحلیل شبکه، بهره گرفته شده است. همچنین با بهره‌گیری از تئوری بازی‌ها به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی رفتاری عامل‌های انسانی، تلاش شده است تا فرایند توسعه‌ی کاربری، نه با رویکردی آرمان‌گرایانه در راستای بهینه‌سازی حداکثری توزیع کاربری‌ها، بلکه با رویکردی واقع‌گرایانه و با در نظر گرفتن رفتار عوامل دخیل در فرایند توسعه، مدل‌سازی شود.

جدول ۲- شاخص‌های آماری برای کاربری‌های توسعه داده شده با پیاده‌سازی سناریوهای توسعه تعریف شده

نتایج سناریوی نخست

کاربری	سطح عملکرد	مساحت توسعه یافته	تعداد واحد	عرصه‌های فاقد دسترسی	جمعیتی که دسترسی دارند	جمعیت ساکن	شاخص دسترسی	متوسط ضریب عملکرد
تجاری	خرده فروشی/ محله	۱۰۷۰	۹	۱	۷۹۸۹	۷۹۹۴	%۹۹,۹	%۹۲,۷
آموزشی	کودکستان	۸۱۷	۹	۳۲	۷۶۴۸	۷۹۹۴	%۹۵,۷	%۷۶,۹
آموزشی	دبستان	۲۰۶۰	۳	۴۴	۷۵۰۲	۷۹۹۴	%۹۳,۸	%۷۶,۳
مذهبی	مذهبی مقیاس محله	۱۰۹۳	۱	۲۵۷	۲۸۹۲	۷۹۹۴	%۳۶,۲	%۱۰۰,۰
درمانی	درمانی مقیاس محله	۱۴۳۲	۲	۱۷۶	۴۶۴۱	۷۹۹۴	%۵۸,۱	%۹۱,۸
ورزشی	ورزشی مقیاس محله	۱۶۹۲	۲	۲۷۴	۲۶۷۴	۷۹۹۴	%۳۳,۵	%۱۰۰,۰
پارک	پارک کودک	۴۲۲	۲	۱۴۳	۶۱۱۱	۷۹۹۴	%۷۶,۴	%۹۳,۱
						میانگین	%۷۰,۵	%۹۰,۱

نتایج سناریوی دوم

کاربری	سطح عملکرد	مساحت توسعه یافته	تعداد واحد	عرصه‌های فاقد دسترسی	جمعیتی که دسترسی دارند	جمعیت ساکن	شاخص دسترسی	متوسط ضریب عملکرد
تجاری	خرده فروشی/ محله	۱۷۲۳	۱۲	۰	۱۹۵۰۰	۱۹۵۰۰	%۱۰۰,۰	%۸۰,۱
آموزشی	کودکستان	۲۶۷۶	۸	۵۹	۱۸۵۸۵	۱۹۵۰۰	%۹۵,۳	%۸۴,۶
آموزشی	دبستان	۵۹۲۹	۹	۰	۱۹۵۰۰	۱۹۵۰۰	%۱۰۰,۰	%۸۰,۱
مذهبی	مذهبی مقیاس محله	۲۷۲۵	۴	۰	۱۹۵۰۰	۱۹۵۰۰	%۱۰۰,۰	%۷۵,۷
درمانی	درمانی مقیاس محله	۳۴۶۹	۵	۴۵	۱۸۸۳۴	۱۹۵۰۰	%۹۶,۶	%۸۶,۳
ورزشی	ورزشی مقیاس محله	۳۴۳۷	۶	۰	۱۹۵۰۰	۱۹۵۰۰	%۱۰۰,۰	%۸۲,۴
پارک	پارک کودک	۸۶۹	۳	۶۳۹	۱۰۰۶۴	۱۹۵۰۰	%۵۱,۶	%۱۰۰,۰
						میانگین	%۹۱,۹	%۸۴,۲

مراجع

- [1] R. Tan, Y. Liu, K. Zhou, L. Jiao and W. Tang, "A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: A case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 49, pp. 15-29, 2015.
- [2] A. D. Aarthi and L. Gnanappazham, "Comparison of Urban Growth Modeling Using Deep Belief and Neural Network Based Cellular Automata Model," vol. 11, pp. 1-16, 2019.
- [3] K.-y. Wu and H. Zhang, "Land use dynamics, built-up land expansion patterns, and driving forces analysis of the fast-growing Hangzhou metropolitan area, eastern China (1978–2008)," Applied Geography, vol. 34, pp. 137-145, 2012.
- [4] Y. Liu, Y. Hu, S. Long, L. Liu and X. Liu, "Analysis of the Effectiveness of Urban Land-Use-Change Models Based on the Measurement of Spatio-Temporal, Dynamic Urban Growth: A Cellular Automata Case Study," Sustainability, vol. 9, no. 5, p. 796, 2017.
- [5] S. Geertman and J. Stillwell, Planning Support Systems Best Practice and New Methods, vol. 95, Dordrecht: GeoJournal Library, 2009, p. 490.
- [6] J. I. Barredo, M. Kasanko, N. McCormick and C. Laval, "Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata," Landscape and Urban Planning, vol. 64, no. 3, pp. 145-160, 2003.
- [7] N. L. Moreno, "A vector-based geographical cellular automata model to mitigate scale sensitivity and to allow objects' geometric transformation," niversity of Calgary, 2008.
- [8] R. White and G. Engelen, "High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 24, pp. 383-400, 2000.

- [9] P. M. Torrens, "HOW CELLULAR MODELS OF URBAN SYSTEMS WORK. (1.T H E O R Y)," 2000.
- [10] K. Al-Ahmadi, L. See, A. Heppenstall and J. Hogg, "Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia," vol. 6, no. 2, pp. 80-101, 2009.
- [11] D. Mitsova, W. Shuster and X. Wang, "A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation," vol. 99, no. 2, pp. 141-153, 2011.
- [12] A. Mustafa, M. Cools, I. Saadi and J. Teller, "Coupling agent-based, cellular automata and logistic regression into a hybrid urban expansion model (HUEM)," vol. 69, pp. 529-540, 2017.
- [13] F. Hosseinali, A. A. Alesheikh and F. Nourian, "Simulation of Land-Use Development, Using a Risk-Regarding Agent-Based Model," *Advances in Artificial Intelligence*, vol. 2012, pp. 1-11, 2012.
- [14] Y. LIU, L. WANG and H. LONG, "Spatio-temporal analysis of land-use conversion in the eastern coastal China during 1996–2005," *Journal of Geographical Sciences*, vol. 18, no. 3, p. 274–282, 2008.
- [15] D. A. A. Samsurua, E. v. d. Krabbena and A. v. Deemen, "A game theory approach to the analysis of land and property development processes," *Land Use Policy*, vol. 27, p. 564–578, 2009.
- [16] J. Lin and . X. Li, "Conflict resolution in the zoning of eco-protected areas in fast growing regions based on game theory," *Journal of Environmental Management*, vol. 170, pp. 177-185, 2015.
- [17] N. E. Bockstael and E. G. Irwin, *Economics and the land use-environment link*, Northampton: Edward Elgar Publishing, 2000, p. 1–54.
- [18] E. G. Irwin and J. Geoghegan, "Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 85, no. 1, pp. 7-23, 2001.
- [19] K. E. Haynes and A. S. Fotheringham, *Gravity and Spatial Interaction Models*, Beverly Hills: Sage, 1984.
- [20] H. Barbosa-Filho, M. Barthelemy, G. Ghoshal, C. R. James, M. Lenormand, T. Louail, R. Menezes, J. J. Ramasco, F. Simini and M. Tomasini, "Human Mobility: Models and Applications," *Physics Reports*, 2017.
- [21] M. Jafari, H. Majedi, S. M. Monavari, A. A. Alesheikh and M. Kheirkhah Zarkesh, "Dynamic Simulation of Urban Expansion Based on Cellular Automata and Logistic Regression Model: Case Study of the Hyrcanian Region of Iran," *Sustainability*, vol. 8, pp. 1-18, 2016.
- [22] M. Castellazzi, J. Matthews, F. Angevin, C. Sausse , G. Wood, P. Burgess, I. Brown, K. Conrad and . J. Perry, "Simulation scenarios of spatio-temporal arrangement of crops at the landscape scale," *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, pp. 1881-1889, 2010.
- [23] R. Klosterman and C. Pettit, "Guest editorial: an update on planning support systems," *Environment and Planning*, vol. 32, pp. 477-484, 2005.
- [24] Y. Chen, X. Li, X. Liu, H. Huang and S. Ma, "Simulating urban growth boundaries using a patch-based cellular automaton with economic and ecological constraints," *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE*, vol. 33, pp. 55-80, 2018.
- [25] D. C. Parker, S. Manson, M. Janssen, M. Hoffmann and P. Deadman, "Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review," 2003.
- [26] H. Shahumyan and P. Jankowski, "Integration of the MOLAND Model with GeoChoicePerspectives Spatial Decision Support Software for Scenario Evaluation," in *13th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Guimarães, Portugal, 2010.
- [27] J. Jokar Arsanjani, M. Helbich and E. Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: The case of Tehran," *Cities*, vol. 32, p. 33–42, 2013.
- [28] E. Kose, . M. Erbas and E. Ersen, "An integrate d approach base d on game theory and geographical information systems to solve decision problems," *Applied Mathematics and Computation*, pp. 105-114, 2017.
- [29] A. Kelly, *Decision Making Using Game Theory*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2003.
- [30] F. Kaviari, M. Saadi Mesgari, E. Seidi and H. Motieyan, "Simulation of urban growth using agent-based modeling and game theory with different temporal resolutions," *Cities*, vol. 95, 2019.
- [31] A. Jana, R. Basu and C. Mukherjee, "A game theoretic approach to optimize multi-stakeholder utilities for land acquisition negotiations with informality," *Socio-Economic Planning Sciences*, 2019.
- [32] Y. Liu, W. Tang, J. He, Y. Liu, T. Ai and . D. Liu, "A land-use spatial optimization model based on genetic optimization and game theory," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 49, pp. 1-14, 2014.
- [33] J. Von Neuman and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, 1944.

- [34] M. J. Osborne, *An Introduction to Game Theory*, Oxford: Oxford University Press, 2003.
- [35] P. D. Straffin, *Game Theory and Strategy*, Washington: The Mathematical Association of America (Inc.), 1993.
- [36] X. Deng, . X. Zheng, X. Su, F. . T. Chan, . Y. Hue, R. Sadiq and Y. Deng, "An evidential game theory framework in multi-criteria decision making process," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 244, pp. 783-793, 2014.
- [37] R. J. Aumann, "Rationality and bounded rationality," *Games and Economic Behavior*, vol. 21, pp. 2-14, 1997.
- [38] H. W. Kuhn, *Lectures on the Theory of Games (AM-37) (Annals of Mathematics Studies)*, Princeton University Press, 2003.
- [39] J. Nash, "Non-Cooperative Games," *The Annals of Mathematics, Second Series*, vol. 54, no. 2, pp. 286-295, 1951.
- [40] D. . G. Brown, R. Riolo, D. . T. Robinson, M. North and W. Rand, "Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS," *Journal of Geographical Systems*, vol. 7, no. 1, p. 25-47, 2004.
- [41] M. Batty and Y. Xie, "Possible urban automata," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, no. 2, pp. 175-192, 1997.
- [42] R. White and G. Engelen, "Cellular automata and fractal urban form: a cellularmodelling approach to the evolution of urban land-use patterns," *Environment and Planning*, vol. 25, pp. 1175-1199, 1993.
- [43] M. Karimi, . M. A. Sharifi and M. S. Mesgari, "Modeling land use interaction using linguistic variables," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 16, pp. 42-53, 2012.
- [44] W. R. Tobler, "CELLULAR GEOGRAPHY," *Philosophy in Geography*, pp. 379-386, 1979.
- [45] Z. Masoomi, M. S. Mesgari and M. Hamrah, "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, 2013.
- [46] S. Abolhasani, M. Taleai, M. Karimi and A. Rezaee Node, "Simulating urban growth under planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model," *International Journal of Geographical Information Science*, 2016.
- [47] R. White and G. Engelen, "Cellular Automata as the Basis of Integrated Dynamic Regional Modelling," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, no. 2, pp. 235-246, 1997.
- [48] J. Malczewski, "Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 8, no. 4, pp. 270-277, 2006.
- [49] M. Karimi, M. S. Mesgari, M. A. Sharifi and P. Pilehforoosha, "Developing a methodology for modelling land use change in space and time," *Journal of Spatial Science*, vol. 62, no. 2, p. 261-280, 2017.
- [50] M. Taleai, A. Sharifi, R. Sliuzas and M. S. Mesgari, "Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 9, no. 4, pp. 375-391, 2007.
- [51] S. M. Ghavami, M. Taleai and T. Arentze, "Socially rational agents in spatial land use planning: A heuristic proposal based negotiation mechanism," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 60, pp. 67-78, 2016.
- [52] M. A. Sharifi, M. Karimi and M. S. Mesgari, "Modelling Land Allocation Process In Time And Space," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 38, no. 2, pp. 63-68, 2010.
- [53] S. Hassanpoor, "Assessment of the Ecological Bearing Capacity of Residential Development in the City of Semnan," *Researches Biannual Journal of Urban Ecology*, vol. 9, no. 1, pp. 63-74, 2018.
- [54] S. C. o. Iran, *Statistical YearBook_2016-2017*, 2018.
- [55] Arman Shahr Co., *Master Plan of Semnan City, Head Office Of Road And Urban Development Of Semnan Province*, 2015.
- [56] R. Gray, "The social accounting project and Accounting Organizations and Society Privileging engagement, imaginings, new accountings and pragmatism over critique?," *Accounting, Organizations and Society*, vol. 27, p. 687-708, 2002.