تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲

مجتبی رفیعیان[۱]، علی باقری[۲]، مریم فرخی[۳]

برنامه‌ریزی مدیریت توسعه شهری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم بررسی موردی: منطقه ۱۸ تهران

چکیده

شهر، سیستمی پویا و مرکب از زیرسیستم‌های بی‌شماری بوده که تعاملات و ارتباطات بین آن‌ها بر توسعه شهر مؤثر است. رفتار کلی و تأثیرات زیرسیستم‌ها بر یکدیگر در طی زمان باعث توسعه یا عدم توسعه شهر می‌شوند. برنامه‌ریزی کاربری زمین، بنا به دلایلی چون عدم شناخت صحیح و عمیق از عوامل مؤثر بر توسعه زمین، تعامل و تقابل آنها با یکدیگر و نیز ناآگاهی از نتایج سیاست‌های اتخاذی در درازمدت موفق نبوده است. رویکرد پویایی سیستم، فرصتی را برای بررسی اثرات متقابل زیرسیستم‌های شهری بر روی یکدیگر در طول زمان، جهت اتخاذ سیاست‌های مناسب برای توسعه شهری به‌وجود می‌آورد. در مقاله حاضر، رویکرد پویایی سیستم برای طراحی مدل توسعه منطقه ۱۸ تهران به‌کار گرفته شده است. بدین منظور، پس از انجام فرایند طراحی و توسعه مدل با استفاده از نرم‌افزار Vensim، مدل طراحی شده برای شبیه‌سازی گزینه‌های محتمل آتی در منطقه ۱۸ به‌کار گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات جمعیت اثر مستقیمی بر میزان استفاده از زمین دارد. از سوی دیگر تغییرات بنگاه‌های اقتصادی منطقه با تأثیر بر میزان اشتغال، در افزایش یا کاهش جمعیت منطقه مؤثر است، لذا به‌کارگیری سیاست‌هایی که بتواند علاوه بر ساماندهی فضای کالبدی منطقه و تأمین نیازهای مسکونی و خدماتی ساکنان، فرصت‌های شغلی را افزایش دهد، در توسعه این منطقه مؤثر خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت توسعه شهری، پویایی سیستم، مدل‌سازی، زیرسیستم‌های شهری، منطقه ۱۸ تهران.

[۱] دانشیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: rafiei_m@modares.ac.ir

[۲] استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: ali.bagheri@modares.ac.ir

[۳] کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: maryam_farokhy@yahoo.com

مقدمه

افزایش سطح شهرها و رشد شهرنشینی که نشان‌دهنده تغییرات عمده در زیستگاه‌های انسانی است، منجر به بروز بحران‌های زیست‌محیطی و اجتماعی فراوانی شده و لزوم نگرش‌های خاص و برنامه‌ریزی‌های کارآمد را درخصوص توسعه شهری مطرح نموده است. در این میان، موضوع توسعه آتی شهر و چگونگی استفاده از زمین برای فعالیت‌های گوناگون شهری به یکی از موضوعات اساسی اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی جامعه امروز ما مبدل گردیده و یافتن جهات توسعه و تعادل‌بخشی بین عرضه و تقاضای زمین یکی از مهمترین موضوعاتی است که دست‌اندرکاران مسائل شهری با آن مواجه هستند. در برنامه‌ریزی شهری، زمین به‌عنوان عمده‌ترین عنصر و بستر اصلی کلیه برنامه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است و به‌ویژه با توجه به رشد شتابان جمعیت شهری، ضرورت ساماندهی ساختارفضایی شهر از طریق برنامه‌ریزی کاربری بهینه زمین، از ضروریات برنامه‌ریزی شهری به‌شمار می‌رود. برنامه‌ریزی کاربری زمین با هدف پیش‌بینی الگوی توسعه شهری و اجرای آن، به دلیل وجود عواملی چون نداشتن شناخت صحیح و عمیق از ویژگی‌ها، موانع و محدودیت‌های توسعه این بافت‌ها، عوامل مؤثر بر توسعه زمین و تعامل و تقابل آنها با یکدیگر، نبود ضمانت اجرایی برای طرح‌ها و ناکارآیی سیستم مدیریت شهری که نشان از نبود نظارت و کنترل بر توسعه زمین دارد و مهم‌تر از همه ناآگاهی از نتایج سیاست‌های اتخاذی در درازمدت موفق نبوده است.

در شهر تهران نیز عدم تحقق اهداف طرح‌های توسعه شهری بنا به دلایل ذکر شده، موجب رشد شدید جمعیت و توسعه شهری ناموزون بر اساس الگوهایی خودرو و بی‌برنامه شده است. منطقه ۱۸ شهرداری از جمله مناطق پرتغییر شهر تهران است که روند توسعه شتابانی را در دهه‌های اخیر تجربه کرده است. این منطقه یکی از مناطق حاشیه‌ای تهران است و به همین لحاظ بخش بزرگی از حریم شهر تهران در محدوده این منطقه قرار گرفته است و به دلیل دربرداشتن بخش وسیعی از صنایع، اراضی متروکه و بلااستفاده دارای عملکردهای نامطلوب و مغایر با توسعه شهری است و الگوی توسعه نامتعادلی را دارا است. مقاله حاضر در پی یافتن زیرسیستم‌های مؤثر بر توسعه شهری، اثرات پویایی و عامل زمان بر رفتار و تغییرات هر یک و نیز کنش متقابل آن‌ها بر یکدیگر در قالب زمان است. بدین منظور جهت مدیریت توسعه منطقه ۱۸، در این تحقیق رویکرد پویایی سیستم[1] به‌عنوان گزینه‌ای که پاسخگوی مسائل مطرح شده است، انتخاب می‌گردد.

روش‌شناسی تحقیق

روش‌شناسی این تحقیق بر پایه روش‌ها و مدل‌سازی‌های تحلیلی است. لذا از روش تحلیل پویایی سیستم به منظور تبیین ارتباطات کمّی بین عوامل و بخش‌های مؤثر در توسعه شهری، ارزیابی و شبیه‌سازی توسعه منطقه ۱۸ تهران استفاده شده است. همچنین از روش توصیفی برای بیان اطلاعات اسنادی و ارائه تعاریف، انگاره‌ها و چارچوب‌های نظری پویایی سیستم به‌عنوان رویکرد پژوهش پرداخته شده و در نهایت با استفاده از نرم‌افزاهای موجود (که در این تحقیق نرم‌افزار Vensim انتخاب شده است) اقدام به مدل‌سازی و اجرای گزینه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای در مدل شده است.

روند تحقیق بدین صورت بود که در ابتدا زیرسیستم‌های مؤثر بر توسعه شهری شناسایی شدند. سپس سه عامل جمعیت، اقتصاد و زمین به‌عنوان مهمترین عوامل مؤثر در توسعه منطقه ۱۸ تهران برای ساخت مدل انتخاب شدند. بدین منظور، ابتدا ساختار هر یک از زیرسیستم‌های ذکر شده تبیین گردید و با استفاده از نرم‌افزار Vensim نمودارهای مربوط به چرخه هر یک

طراحی و روابط بین آن‌ها فرموله شد. سپس با تلفیق آن‌ها، مدل توسعه منطقه ۱۸ ساخته شد. گام بعدی معتبرسازی و صحت‌سنجی مدل طراحی شده بود که با استفاده از آزمون‌های استاندارد معتبرسازی و داده‌های سال‌ها ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۱ منطقه ۱۸ درستی مدل اثبات گردید و در نهایت گزینه‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها در منطقه می‌رفت به‌عنوان سناریو انتخاب شده و در مدل به‌عنوان گزینه‌های توسعه منطقه ۱۸ شبیه‌سازی شدند.

پیشینه تحقیق

مدل اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در مطالعات حمل و نقل و کاربری اراضی در آمریکا مورد استفاده قرار گرفت (حبیب، ۱۳۸۳، ۲۲). با عبور از مرحله برنامه‌ریزی فیزیکی و ورود به مرحله جدید برنامه‌ریزی عقلایی در دهه ۱۹۶۰ طراحی مدل‌های شهری آغاز گردید. مدل‌های کلان طراحی شده در این دهه که عمدتاً بر پایه استدلال‌های ریاضی و منطقی بودند، نتیجه همین تفکر جدید است (میزبان شاکر، ۱۳۸۰، ۷۶). پیشرفت‌های شایان توجه در زمینه محاسبات، استفاده از ماتریس‌ها، پیدایش تکنولوژی کامپیوتر که امکان دسترسی به اطلاعات وسیع و پیچیده در زمانی کوتاه را میسر می‌ساخت، همگی باعث شد که مدل‌های کمّی و بزرگ‌مقیاس رواج پیدا کنند (حبیب، ۱۳۸۳، ۲۲). رویکرد پویایی سیستم‌ها یک متدولوژی نیرومند و مدل شبیه‌سازی کامپیوتری برای تعیین چارچوب، درک و بحث در مورد مسائل و موضوعات پیچیده است که در دهه ۱۹۵۰ پروفسور فارستر[۲] در انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) آن را ابداع کرد. دامنهٔ کاربرد این رویکرد بسیار وسیع است، از جمله در سیستم‌های جمعیتی، اکولوژیکی و اقتصادی که بر روی هم اثرات متقابل شدیدی دارند، به‌کار می‌رود. پویایی سیستم‌ها وجهی از نظریه سیستم‌ها به‌عنوان روشی برای درک رفتار پویای سیستم‌های پیچیده است. اساس این سیستم شناسایی ساختار سیستم –چرخه‌ها، گره‌ها و تأخیرات زمانی و روابط بین عناصر– است که اغلب در تعیین رفتار فردی عناصر مهم است. علی‌رغم اهمیت فزاینده مدل‌ها، آن‌ها تنها بخش کوچکی از متدلوژی برنامه‌ریزی را تشکیل می‌دهند. با این همه توجه به این جنبه خاص متدولوژی برنامه‌ریزی در زمینه وسیع و کلی فرایند برنامه‌ریزی برای مدل‌سازان و استفاده‌کنندگان از مدل‌ها بسیار حائز اهمیت است.
رویکرد پویایی سیستم‌ها در مطالعاتی نظیر پایداری محیط‌زیست جهانی (Forrester, 1961, 1968; Meadows & Randers, 1992)، توسعه پایدار منطقه‌ای (Bach & Saeed, 1992; Saeed, 1994)، مدیریت محیط‌زیست (Mashayekhi, 1990)، برنامه‌ریزی منابع آب (Ford, 1996)، پایداری کشاورزی (Saysel, Barlas, &Yenigun, 2002)، مدل‌سازی اکولوژی (Wu, Barlas & Wankat, 1993)، مدیریت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست منطقه‌ای (Guo et al., 2001)، برنامه‌های توسعه ملی (Wolstenholme, 1983)، حمل ونقل و کاربری اراضی (Heimgartner, 2001) و برنامه‌ریزی و توسعه پایدار کاربری اراضی هنگ‌کنگ (QipingShen et. al, 2008) استفاده شده است.

سوابق مطالعاتی نشان می‌دهد که تحقیقات موجود در این زمینه، عمدتاً درحوزه‌های جداگانه به بررسی کالبدی برنامه‌ریزی کاربری اراضی، ارزیابی سیاست‌های زمین و یا صرفاً مباحث مدل‌سازی بدون توجه به جنبه‌های مدیریتی پرداخته و کمتر به بررسی جامع کنترل و مدیریت توسعه به لحاظ کالبدی، سیاستی و ... به‌طور یکپارچه توجه داشته است. با وجود اهمیت مباحث مدیریت توسعه و کنترل توسعه زمین در طرح‌های توسعه شهری، تحقیقات باارزش در این زمینه کمیاب است؛ به نظر می‌رسد نتایج حاصل از این تحقیق بتواند مبنایی برای سیاست‌گذاری و ارائه روش و راهبردهای برخورد در زمینه توسعه زمین شهری و هدایت آن به سمت اهداف مطلوب باشد.

مبانی نظری تحقیق

برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، ساماندهی مکانی و فضایی فعالیت‌ها و عملکردهای شهری بر اساس خواسته‌ها و نیازهای جامعه شهری است. این برنامه‌ریزی هسته اصلی برنامه‌ریزی شهری است و انواع استفاده از زمین را طبقه‌بندی و مکان‌یابی می‌کند (Chapin, 1970, 3). به دلیل اهمیت زمین به‌عنوان عمده‌ترین عنصر برای الگو و فرم توسعه و همچنین قدرت و ثروت در شهرها و به‌طور کلی بستر اصلی کلیه برنامه‌ها، برنامه‌ریزی برای زمین به‌عنوان اساس و پایه برنامه‌ریزی شهرها شناخته می‌شود (Kivell, 1993, 5-7). هسته اصلی برنامه‌ریزی کاربری زمین تلاش برای تأثیرگذاری بر جهت تغییرات استفاده از زمین است که به روش‌های مختلفی اجرا می‌شود؛ نظیر تهیه و اجرای طرح‌ها و سیاست‌های کاربری زمین، مرور و تصویب طرح‌های توسعه، پیشنهاد برنامه‌های افزایش سرمایه، مشارکت در تصمیم‌گیری دولت محلی و غیره. این روندها از طریق ترکیب ارزش‌های اجتماع، استانداردهای تخصصی، سوابق قانونی، تاکتیک‌های سیاسی و دیدگاه‌های طولانی‌مدت هدایت می‌شوند. کل این تلاش که «مدیریت تغییرات کاربری زمین» نام دارد، منطق بنیادی برای نظریه و عمل برنامه‌ریزی کاربری زمین است (Kaiser, 1995, 35). برنامه‌ریزی کاربری زمین با هدف پیش‌بینی الگوی توسعه شهری و اجرای آن، به دلیل عدم شناخت صحیح و عمیق از ویژگی‌ها، موانع و محدودیت‌های توسعه این بافت‌ها، عوامل مؤثر بر توسعه زمین و تعامل و تقابل آنها با یکدیگر، نبود ضمانت اجرایی برای طرح‌ها و ناکارایی سیستم مدیریت شهری که نشان از نبود نظارت و کنترل بر توسعه زمین دارد، موفق نبوده است. برای سیستم‌هایی به پیچیدگی و پویایی شهرها، برنامه‌ریزی بدون داشتن مفاهیمی از چگونگی فعالیت‌ها، کاربری اراضی و تعاملات فضایی، نتایج پتانسیل طبیعی رشد را تغییر خواهد داد و مداخله برنامه‌ریزی عملاً بیهوده خواهد بود (Benenson et al., 2001, 1). بنابراین عدم توجه به امکان پویایی و طرح‌ریزی فضایی در تهیه و ارزیابی سیاست‌های شهری در تکنیک‌های امروزه یک کمبود و ضعف بسیار مهم است. واضح است ابزارهایی که ما امروزه برای مطالعه شهرها استفاده می‌کنیم، کارایی و توانایی یک شبیه‌سازی کامل و تشریح تغییرات و ویژگی نواحی شهری را ندارند. بنابراین به مدلی که توانایی انعطاف‌پذیری و پویایی در شبیه‌سازی داشته باشد، نیاز است (Batty and Torrens, 2000,1).

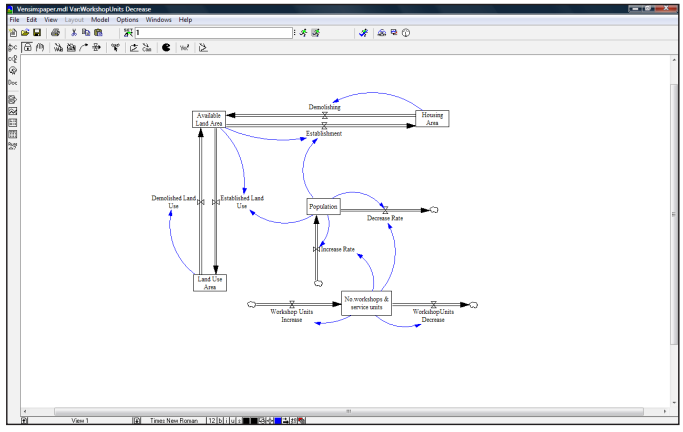
رویکرد پویایی سیستم‌ها (SD)

با پیدایش نگرش سیستمی در شهرسازی که سعی دارد فعالیت‌های مختلفی را که تعیین‌کننده ماهیت محیط انسانی هستند، مشخص نموده و رابطه میان آن‌ها را درک کند، تکنیک‌های متعدد و مرتبطی نیز برای تحلیل و بررسی این فعالیت‌ها و در نتیجه سیستم متشکل از آن‌ها ابداع شد. از قابل توجه‌ترین و مهمترین این تکنیک‌ها، ساخت مدل‌ها برای نمایاندن جهان واقعی به‌صورت انتزاعی ولی به حالت قابل مدیریت است (حبیب، ۱۳۸۳، ۲۲). رویکرد پویایی سیستم یک متدولوژی نیرومند و مدل شبیه‌سازی کامپیوتری برای تعیین چارچوب، درک و بحث در مورد مسائل و موضوعات پیچیده است که در دهه ۱۹۵۰ برای کمک به مدیران جهت درک بهتر فرایندهای صنعتی گسترش یافته است. این رویکرد وجهی از نظریه سیستم‌ها به‌عنوان روشی برای درک رفتار پویای سیستم‌های پیچیده است. چیزی که کاربرد این روش را از سایر روش‌هایی که بر روی سیستم‌های پیچیده مطالعه می‌کنند، متفاوت می‌کند، استفاده از چرخه‌های بازخورد و متغیرهای ذخیره و جریان‌هاست. این عناصر به تشریح چگونگی نمایش روابط غیرخطی توسط سیستم‌های ساده کمک می‌کند. همچنین برخلاف سایر

روش‌ها که سعی می‌کنند جهان را از طریق تجزیه کردن آن به واحدهای کوچک و کوچکتر مطالعه نمایند، روش پویایی سیستم‌ها به پدیده‌ها در کلیت آن‌ها می‌نگرد (Taylor, 2008).

نرم‌افزار Vensim

همراه با افزایش تمایل به استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها در تجزیه و تحلیل‌های مختلف، نرم‌افزارهای کامپیوتری نیز برای کارهای شبیه‌سازی تهیه گردید. از جمله این نرم‌افزارها می‌توان به نرم افزارهای Stella، Vensim و ithink اشاره کرد. نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش Vensim است. پیکره پیچیده استاندارد سیستم شبیه‌سازی ونتانا[۲] چارچوب یکپارچه‌ای برای ایده‌سازی، شبیه‌سازی، تحلیل، بهینه‌سازی و گسترش مدل‌های پیچیده در سیستم‌های پویا است. به عبارت دیگر، Vensim ابزار نهایی برای توسعه و تحلیل مدل‌های پویاست. این نرم‌افزار با استفاده از ابزارهای قدرتمند تحلیل و شبیه‌سازی، افزایش چشمگیری را در سرعت انجام کار و کیفیت نتایج حاصله سبب می‌شود. Vensim روش انعطاف‌پذیری را برای خلق مدل‌ها با در نظر گرفتن ایده‌ها، ساخت نمودارها و در زمان مناسب، پیشنهاد یک مدل شبیه‌سازی شده ارائه می‌کند (Eberlin, 1991, 24). شکل ۱ محیط نرم‌افزار Vensim را نشان می‌دهد.



شکل ۱. محیط نرم‌افزار Vensim

منبع: نگارندگان

معرفی محدوده مورد پژوهش: منطقه ۱۸ تهران

منطقه ۱۸ شهرداری شهر تهران به‌عنوان یکی از مناطق ۲۲ گانه این شهر، با مساحتی بالغ بر ۳۶۵ کیلومترمربع در منتهی‌الیه جنوب‌غربی آن قرار گرفته است. از این میزان ۳۷/۸ کیلومترمربع آن داخل محدوده قانونی و مابقی خارج از آن و در حریم شهر تهران قرار دارد. هسته اولیه منطقه ۱۸ روستایی به‌نام «یافت‌آباد» بود که با گسترش مهاجرت، توسعه و رشد یافته است. این منطقه در اثر توسعه کالبدی شهر تهران و از سال ۱۳۵۹ به‌صورت یک منطقه مستقل از مناطق مرکزی شهر تهران جدا گردید و موجودیت یافت (معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران، ۱۳۸۲، فصل دوم، ۵). از ویژگی‌های جمعیتی این منطقه در طی دهه ۱۳۶۰ مهاجرپذیری گسترده است که سبب رشد سریع جمعیت و به‌وجود آمدن اجتماعات خودرو در منطقه گردیده است. اما در طی دهه ۱۳۷۰، این نرخ مهاجرت کاهش یافته و رشد جمعیت در آن متعادل‌تر می‌گردد (معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران، ۱۳۸۲، فصل پنجم، ۱۲). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اقتصادی این

منطقه، نقش بالای بخش صنعت در اشتغال آن است. نقش بخش صنعت و سطوح بسیار بالای کاربری صنعتی در منطقه سبب گردیده است که بیش از ٤٤ درصد مشاغل این منطقه را شاغلان بخش صنعت، شامل کارگران امور تولیدی و کارخانجات تشکیل دهند. با وجود استقرار صنایع عمده‌ای در مقیاس شهری و فراشهری و حتی ملی در این منطقه، سود اقتصادی ناشی از آنها عمدتاً به خارج از منطقه منتقل می‌گردد. بدین لحاظ توان و قدرت اقتصادی خانواده‌ها در منطقه عمدتاً کم بوده و این منطقه جزء مناطق محروم اقتصادی تهران به حساب می‌آید (معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران، ۱۳۸۲، فصل پنجم، ٢٤). به‌دلیل عبور خط مرز محدوده ۲۵ ساله طرح جامع اول تهران، از میان منطقه و عدم ارائه خدمات از سوی شهرداری در خارج از این مرز، عمده کاربری‌های اصلی منطقه در شمال و شرق منطقه مستقر گردیده‌اند. به‌عنوان نمونه بیش از ۹۵% کاربری‌های مسکونی در داخل این محدوده و در بخش‌های شرقی و شمالی و پیرامون شریانی های داخلی منطقه استقرار یافته‌اند (میرزایی، ۱۳۸۵، ٦٦). جدول ۱ مقادیر بخش‌های مختلف منطقه ۱۸ که در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، را نشان می‌دهد.

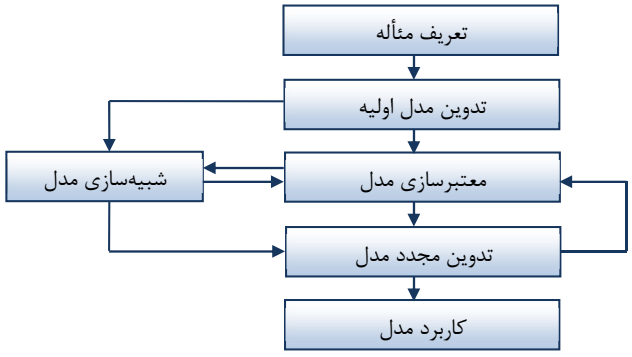
جدول ۱. مقادیر بخش‌های مؤثر منطقه ۱۸ در مدل‌سازی

مؤلفه	۱۳۷۵	۱۳۸۱
جمعیت (نفر)	۳۰۹۹۲۷	۳۲۱٤۲۵
تعداد کارگاه‌ها (واحد)	۱۵۸٦۰	۱٦۱٤٦
اراضی مسکونی (مترمربع)	۳۱۲۳۰۷۳	٤٤۷۵۵۵۹
اراضی کاربری‌های غیرمسکونی (مترمربع)	۱۵۹۵۰۸۱٤	۱٦۱۰۳۳۵٦
اراضی ذخیره شهری (مترمربع)	۳۸٤٦۵٤۹	۲۳٤۱۵۲۱

منبع: معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران، ۱۳۸۲، فصل اول و پنجم
و مرکز آمار ایران، سرشماری کارگاهی ۱۳۷۳و ۱۳۸۳

تشریح مدل

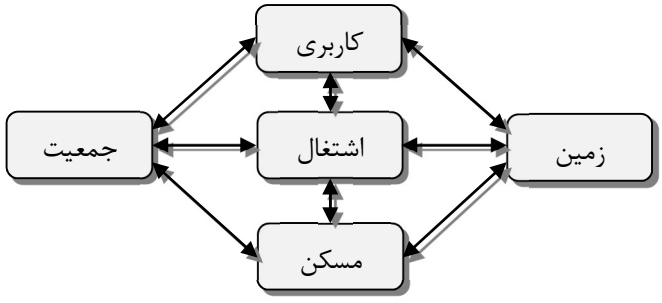
موفقیت مدل‌سازی در رویکرد پویایی سیستم (SD) به تعریف کاملاً روشن و واضحی از هدف یا موضوع مورد بحث برمی‌گردد. به عبارت دیگر هر چه هدف در این سیستم بهتر تعریف شده باشد، مدل طراحی شده موفق‌تر خواهد بود (Forrester, 1991, 14-15). فرایند مدل‌سازی در این سیستم گام‌های مهم متعددی داشته و تکرارپذیر است (شکل ۲) و نتایج هر مرحله می‌تواند به مرحله قبل بازخورد داشته باشد (Sanjaykumar, 2008, 4).



شکل ۲. توسعه مدل در یک فرایند تکرارپذیر

منبع: Hamilton, et al., 1969

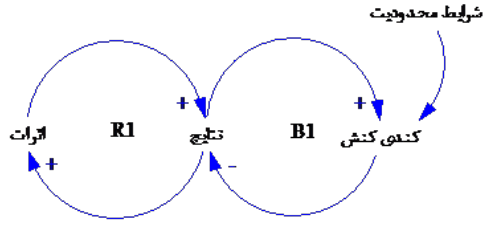
روند تحولات و رشد و توسعه در هر یک از زیرسیستم‌های شهری و نحوه ارتباط آن با سایر بخش‌ها، به توسعه شهر جهت می‌دهد. با توجه به گستره سیستم شهری و تنوع زیرسیستم‌های آن، جهت دستیابی به مدیی قابل اجرا، اصلی‌ترین بخش‌های مؤثر در سیستم شهری به‌عنوان فرضیه‌های دینامیکی اثرگذار روی توسعه شهری مد نظر قرار گرفته‌اند. لیکن از آنجا که در نظرگرفتن همه پارامترها به‌صورتی که در جهان واقعی وجود دارد، در هیچ مدلی امکان‌پذیر نیست، در مدل حاضر نیز برای سادگی کار، مهمترین دینامیک‌های موجود در منطقه ۱۸ جهت مدل‌سازی انتخاب شده است. دینامیک‌های مؤثر مورد استفاده برای مدل‌سازی جریان توسعه منطقه ۱۸ شامل زیرسیستم‌های جمعیت، اشتغال، مسکن، کاربری‌های شهری و زمین هستند (شکل ۳).



شکل ۳. مدل مفهومی و ارتباط بین زیرسیستم‌ها

منبع: نگارندگان

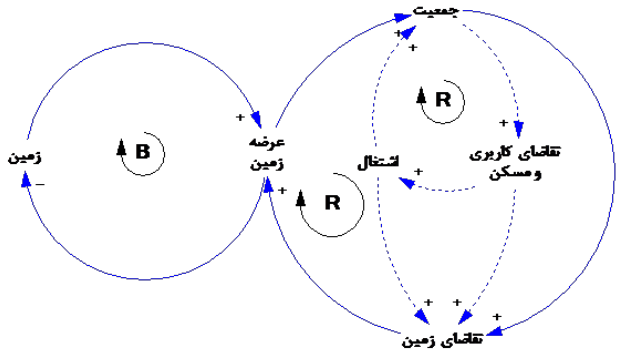
مدل مفهومی فوق مبتنی بر الگوی محدودیت رشد[۴] است که ساختار کلی آن در شکل ٤ ارائه شده است.[۵]



شکل ۴. الگوی کلی ساختار محدودیت رشد

منبع: Braun, 2002, 2

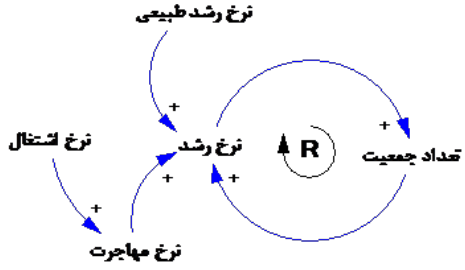
در مدل مفهومی این مدل، افزایش اشتغال و فرصت‌های شغلی، باعث جذب جمعیت و در نتیجه افزایش جمعیت می‌شود. جمعیت افزایش یافته نیازهای مختلفی از جمله مسکن و سایر کاربری‌ها دارد که برطرف کردن این نیازها، باعث افزایش مصرف زمین خواهد شد. در کل افزایش اشتغال، مسکن و کاربری‌ها باعث توسعه زمین شهری می‌شود که این افزایش زمین، جذب جمعیت را به‌دنبال دارد و نیز موجب افزایش اشتغال، ساخت و ساز و کاربری‌های عمومی می‌شود. از طرف دیگر زمین علاوه بر محدود بودن با موانعی نظیر قوانین و مقررات و نیز موانع زیست‌محیطی با محدودیت جهت مصارف شهری روبه‌رو است که این محدودیت‌ها در نهایت با کاهش مطلوبیت‌ها روی افزایش جمعیت اثر منفی می‌گذارد و چرخه رشد را کنترل می‌کند. شکل ٥ روابط علی بین این زیرسیستم‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودار علیتی مدل مفهومی

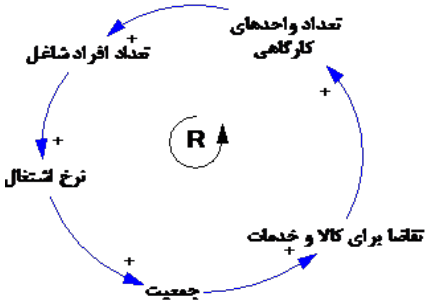
منبع: نگارندگان

برای دستیابی به مدل نهایی و کلی توسعه، در ابتدا دینامیک مربوط به هر یک از زیرسیستم‌ها تشریح و نمودار جریان مربوط به آن‌ها به‌طور جداگانه ترسیم شد. شکل‌های ٦ تا ١٠ نمودارهای علیتی تغییرات زیرسیستم‌های مدل را نشان می‌دهد.



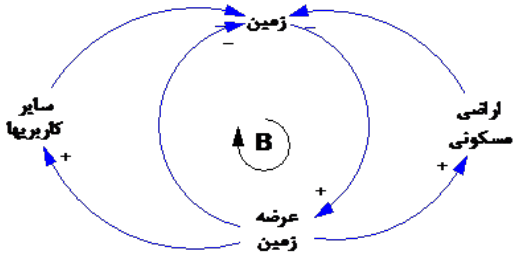
شکل ۶. نمودار علیتی دینامیک تغییرات جمعیت

منبع: نگارندگان



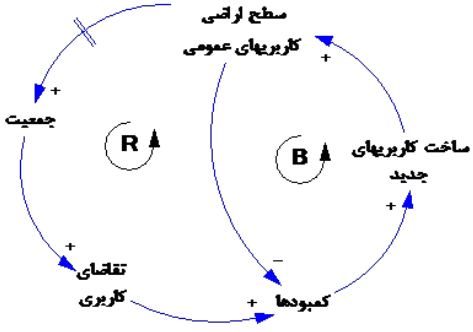
شکل ۷. نمودار علیتی دینامیک تغییرات اشتغال

منبع: نگارندگان



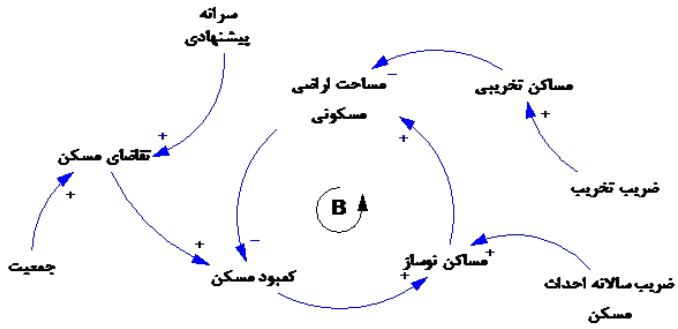
شکل ۸. نمودار علیتی دینامیک تغییرات زمین

منبع: نگارندگان



شکل ۹. نمودار علیتی دینامیک تغییرات کاربری‌های غیرمسکونی

منبع: نگارندگان

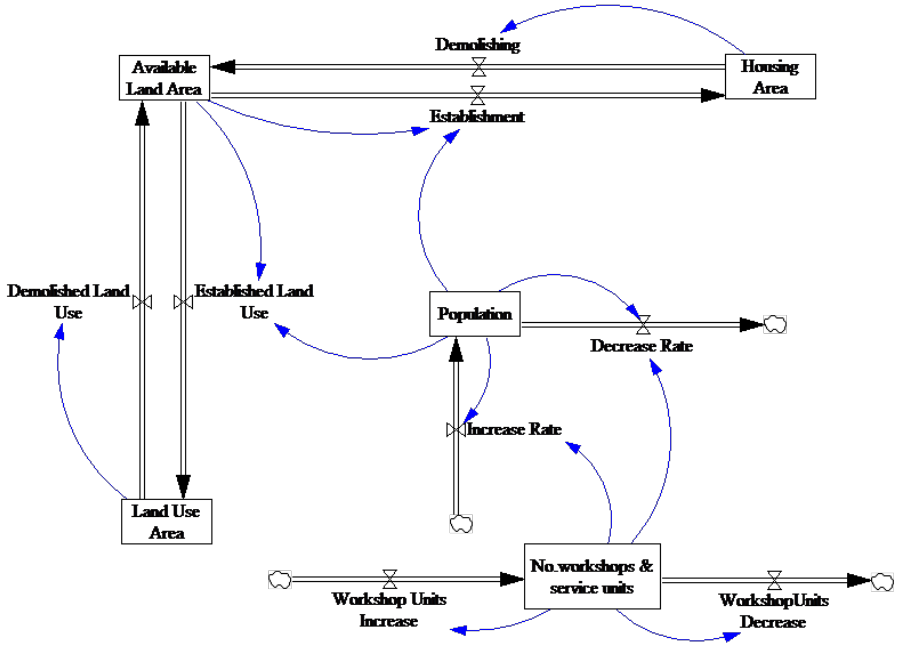


شکل ۱۰. نمودار علیتی دینامیک تغییرات مسکن

منبع: نگارندگان

در نهایت، دینامیک‌های تبیین شده هر یک از زیرسیستم‌ها با هم تلفیق شد و مدل کلی توسعه منطقه ۱۸ به‌دست آمد. شکل ۱۱ مدل کلی توسعه منطقه ۱۸ را نشان می‌دهد. فرض‌های کلی که در طراحی مدل در نظر گرفته شده است، به شرح زیر معرفی می‌شوند:

- دوره سری زمانی شرایط گذشته در مدل‌سازی از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۸۱ فرض گردیده است و دوره زمانی شبیه سازی به مدت ۲۰ سال از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰ هجری شمسی فرض گردیده است.
- مجموع اراضی مسکونی، اراضی کاربری‌های غیر مسکونی و اراضی ذخیره شهری تحت عنوان زمین، ثابت و برابر با ۲۲۲۹۰۴۳۶ مترمربع است که به‌عنوان مرز و حد سیستم است. این مقدار پس از کسر اراضی حفاظتی و کشاورزی با هدف حفظ منابع طبیعی و در راستای رویکرد توسعه پایدار به‌دست آمده است.



شکل ۱۱. مدل کلی توسعه منطقه ۱۸

منبع: نگارندگان

ارزیابی مدل

گام بعدی در فرایند توسعه و ساخت مدل، معتبرسازی آن است که این مرحله با استفاده از فرایندهای واسنجی و صحت‌سنجی، انجام شد و مدل با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۱ اعتبارسنجی شد.

واسنجی مدل[۶]

این مرحله از ساخت مدل، برای تنظیم پارامترهای مدل، از طریق مقایسه داده‌های تولید شده توسط مدل با داده‌های مشاهده‌ای انجام می‌گیرد. این فرایند با استفاده از دو سوم داده‌های موجود، یعنی داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸ بر روی پارامترهای نرخ تخریب کاربری‌های غیرمسکونی[۷]، نرخ ورشکستگی کارگاه‌ها[۸] و نرخ مهاجرت[۹] بر اساس داده‌های متغیرهای حالت مدل (جمعیت، واحدهای کارگاهی، اراضی مسکونی، کاربری‌های غیرمسکونی و اراضی ذخیره) انجام گرفته است.

صحت‌سنجی مدل[۱۰]

توجه به این نکته ضروری است که درجه اطمینان از صحت مدل وابسته به دید مدل‌ساز براساس مدل دینامیکی طراحی شده و اهداف مورد نظر مدل‌ساز از مدل مربوطه خواهد داشت (Sterman, 2000, 858). صحت‌سنجی مدل طراحی شده توسط آزمون‌های ارزیابی ساختار[۱۱]، سازگاری واحدها، تکرار رفتار[۱۲]، شرایط حدی[۱۳] و آزمون ضریب تشخیص[۱۴] انجام گرفته است. در آزمون ضریب تشخیص هرچه این ضریب بیشتر از ۰/۸ و نزدیک به ۱ باشد، نشان‌دهنده خطای کمتر در مدل است. جدول ۲ نتایج آزمون آماری متغیرهای حالت را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج آزمون آماری متغیرهای حالت

متغیرهای حالت	R^2
جمعیت	۰/۸۵٤
واحدهای کارگاهی	۰/۹۹۹
اراضی مسکونی	۰/۸٤۷
کاربری‌های غیرمسکونی	۰/۸۳۹
اراضی ذخیره شهری	۰/۸۹٤

منبع: نگارندگان

شبیه‌سازی مدل

برای اینکه تأثیر شرایط موجود و اعمال سیاست‌ها در طولانی‌مدت و در طی سال‌های آتی در سیستم مورد نظر مشخص شود، مدل برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱٤۰۰ اجرا شده است. در طول سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱٤۰۰ مدل مبتنی بر سناریوهای موجود در منطقه باید به تحلیل آثار ناشی از اعمال سیاستها و استخراج نتایج حاصل از شبیه‌سازی آنها جهت سیستم مورد نظر بپردازد. هر سناریو یکی از شرایط محتمل آتی منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به مدل مفهومی و علیتی

توسعه که قبلاً به آن اشاره شد، میزان جمعیت و پاسخگویی به نیازهای جمعیتی به‌عنوان عامل کلیدی، نقش مهمی را در توسعه یا عدم توسعه یک شهر یا منطقه ایفا می‌کند. بنابراین تغییرات بخش جمعیت و سیاست‌گذاری روی این بخش، بر تغییرات سایر بخش‌ها و نیز سیاست‌های اعمالی بر روی آن‌ها، تأثیرات اساسی و مستقیمی دارد. لذا در این تحقیق، سناریوهای اجرایی در مدل بر اساس تغییرات بخش جمعیت، طراحی و اعمال شده است. زیرسیستم مؤثر بر تغییرات جمعیتی، میزان نرخ رشد است و به همین منظور با فرض تغییرات در میزان این زیرسیستم، اقدام به تولید سه سناریوی افزایش جمعیت با نرخ رشد موجود (۱٫۲)، افزایش جمعیت با بیشترین نرخ رشد مربوط به ادوار گذشته (۱٫۸) و کاهش میزان جمعیت با کمترین نرخ رشد یا نرخ رشد منفی (۰٫۰٤-) صورت گرفت. جدول ۳ گزینه‌های اجرا شده در مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۳. سناریوهای اجرایی مدل

سناریوی ۱	تغییرات جمعیت با نرخ رشد ۱٫۲
سناریوی ۲	تغییرات جمعیت با نرخ رشد ۱٫۸
سناریوی ۳	تغییرات جمعیت با نرخ رشد ۰٫۰٤-

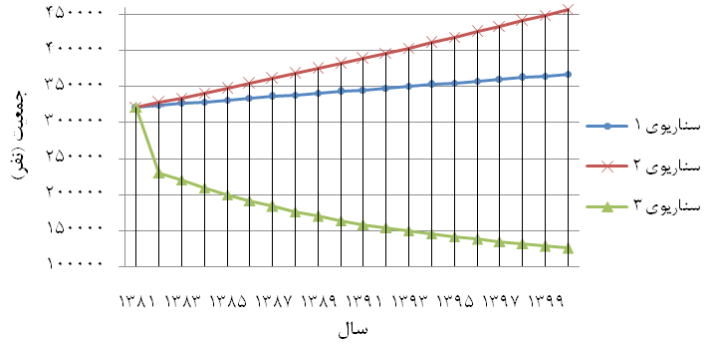
منبع: نگارندگان

با اجرای هر یک از گزینه‌های محتمل در مدل، نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی‌های مدل در رابطه با تغییرات جمعیت و تأثیر آن بر متغیر زمین از طریق کاربرد آن به صورت مسکن و کاربری‌های مورد نیاز شهری، در جدول ٤ و شکل‌های ۱۲ الی ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقادیر متغیرهای حالت تحت سناریوهای مختلف در سال ۱۴۰۰

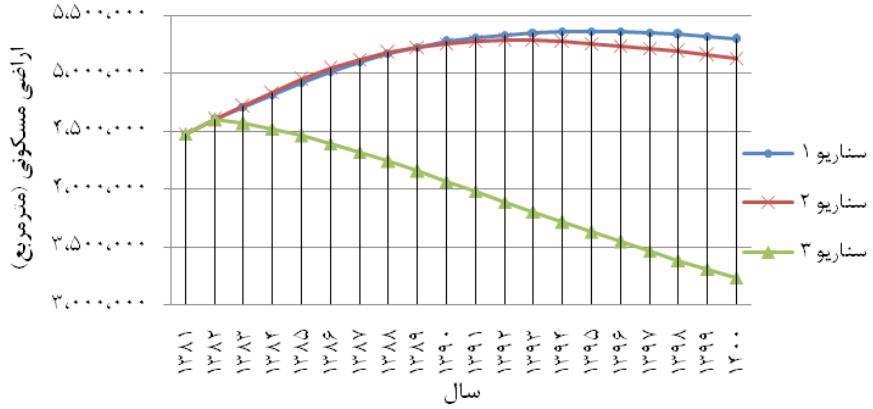
سناریو	جمعیت (نفر)	تعداد کارگاه‌ها (واحد)	اراضی مسکونی (مترمربع)	کاربری‌های غیرمسکونی (مترمربع)	اراضی ذخیره شهری (مترمربع)
۱	۳٦۷۰۷۵	۱۷۰۸۵	٥۲۹۰۳۰۰	۱۷۱۰۰۳۰۰	٥۲۹۸۷۰
۲	٤٥۷۰٦۷	۱۷۰۸۵	٥۱۲٦۲۲۰	۱۷۳۳۹٥۰۰	٤٥٤۷۱٤
۳	۱۲٥۲۸۷	۱۷۰۸۵	۳۲۲۸۲۲۰	۱۳۷۳٥۸۰۰	٥۹٥٦۳۹۰

منبع: نگارندگان



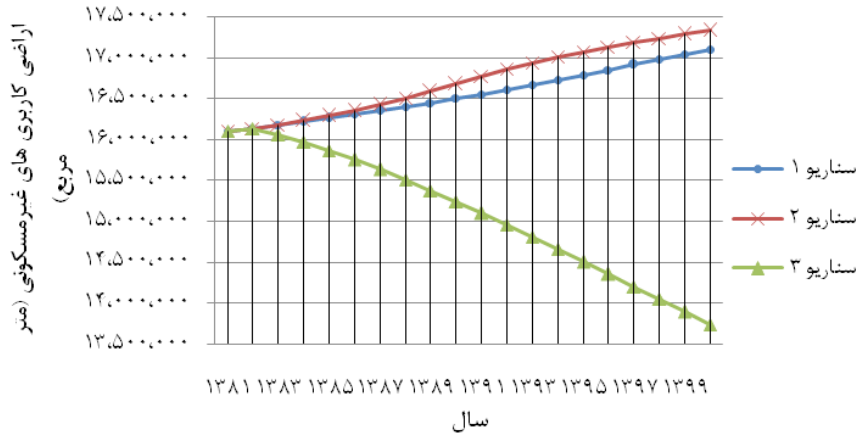
شکل ۱۲. رفتار متغیر جمعیت تحت سناریوهای سه‌گانه طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۴۰۰

منبع: نگارندگان



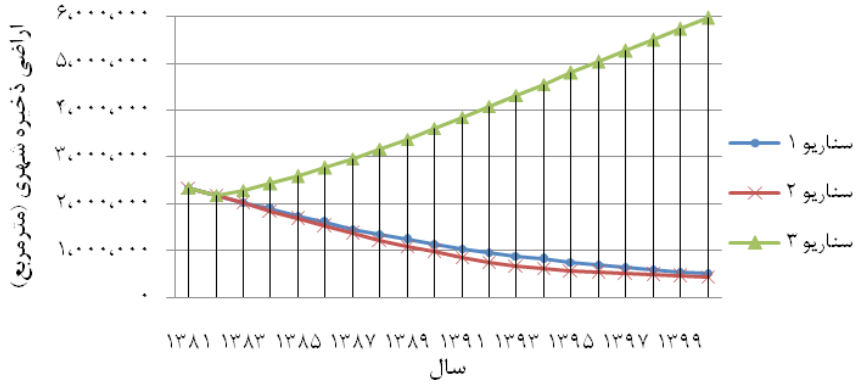
شکل ۱۳. رفتار متغیر مسکن تحت سناریوهای سه‌گانه طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۴۰۰

منبع: نگارندگان



شکل ۱۴. رفتار متغیر کاربری‌های غیر مسکونی تحت سناریوهای سه‌گانه طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۴۰۰

منبع: نگارندگان



شکل ۱۵. رفتار متغیر اراضی ذخیره شهری تحت سناریوهای سه‌گانه طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۴۰۰

منبع: نگارندگان

تحلیل و ارائه پیشنهادها

در این تحقیق برای شبیه‌سازی توسعه شهری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها، در ابتدا زیرسیستم‌های مؤثر بر توسعه شهری شناسایی شدند. سپس سه عامل جمعیت، اقتصاد و زمین شامل اراضی مسکونی، کاربری‌های غیرمسکونی و اراضی ذخیره (بایر) به‌عنوان عوامل مؤثر در توسعه منطقه ۱۸ تهران برای ساخت مدل انتخاب شدند. بدین منظور، ابتدا ساختار بخش‌های مذکور تبیین و سپس با تعیین روابط و تلفیق آن‌ها، مدل توسعه منطقه ۱۸ ساخته شد و پس از اینکه صحت مدل با استفاده از آزمون‌های معتبرسازی و داده‌های سال‌ها ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۱ اثبات گردید، گزینه‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها در منطقه می‌رفت به‌عنوان سناریو انتخاب شدند. توسعه یک شهر یا منطقه حاصل تعاملات هماهنگ زیرسیستم‌های شهر با یکدیگر است. به دلیل اهمیت بالای عامل زمین، توسعه زمانی رخ می‌دهد که میزان عرضه زمین متناسب با تقاضای آن باشد. در این منطقه نیز جمعیت به‌عنوان عامل بسیار مهم در مصرف زمین، وارد مدل شده و گزینه‌های محتمل برای آینده منطقه، بر اساس تغییرات جمعیتی مطرح شده‌اند. بدین صورت که فرض بر آن شد تغییرات جمعیت یا به‌صورت ادامه روند کنونی نرخ رشد منطقه باشد، یا با نرخ رشد بیشتری افزایش یابد و یا اینکه جمعیت روند کاهشی در پیش بگیرد. با اجرای هر سناریو تأثیرات هر کدام بر روی استفاده از زمین منطقه، با استفاده از مدل ساخته شده، به‌دست آمد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که افزایش جمعیت با نرخ رشد فعلی و نرخ رشد بالا روند تقریباً یکسانی را در مصرف زمین داشته است و ادامه روند فعلی تأمین مسکن و نیازمندی‌های شهری، نتایج مشابهی در صورت وقوع هر دو گزینه در پی خواهد داشت. لذا جهت تأمین نیازهای ساکنین باید سیاست‌های مختلفی در پیش گرفته شود. نتایج به‌دست آمده از اجرای سناریوی کاهش جمعیت نیز روند رو به رشد اراضی بدون استفاده را در طی سال‌های اجرای مدل نشان می‌دهد. در صورت وقوع این حالت، منطقه دچار فرسودگی کالبدی خواهد شد.

جدول ۵ تأثیرات افزایش یا کاهش جمعیت را بر سه متغیر اراضی مسکونی، کاربری‌های غیرمسکونی و اراضی ذخیره در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۰ مقایسه می‌کند.

جدول ۵. تأثیر میزان جمعیت بر زمین

نوع تغییرات (سال و سناریو)	جمعیت (نفر)	اراضی مسکونی (مترمربع)	کاربری‌های غیرمسکونی (مترمربع)	اراضی ذخیره (مترمربع)
۱۳۸۱	۳۲۱۴۲۵	۴۴۷۵۵۵۹	۱۶۱۰۳۳۵۶	۲۳۴۱۵۲۱
۱۴۰۰ (سناریوی یک)	۳۶۷۰۷۵	۵۲۹۰۳۰۰	۱۷۱۰۰۳۰۰	۵۲۹۸۷۰
۱۴۰۰ (سناریوی دو)	۴۵۷۰۶۷	۵۱۲۶۲۲۰	۱۷۳۳۹۵۰۰	۴۵۴۷۱۴
۱۴۰۰ (سناریوی سه)	۱۲۵۲۸۷	۳۲۲۸۲۲۰	۱۳۷۳۵۸۰۰	۵۹۵۶۳۹۰

منبع: نگارندگان

منطقه ۱۸ تهران به‌دلیل وسعت اراضی، قابلیت توسعه و تأمین نیازهای ساکنین را دارد، لذا جهت رفع این نیازها، با توجه به نوع اثرات هر یک از سناریوها، گزینه‌های سیاستی مختلفی را می‌توان برای هر یک از آن‌ها اعمال نمود. وجود اراضی با کاربری‌های متروکه و ناسازگار

با شرایط مسکونی، فرصتی جهت تبدیل آن‌ها به کاربری‌های شهری متناسب با نیاز ساکنین است. نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل نشان‌دهنده آن است که ساخت‌وساز متناسب با نیاز و در نظر گرفتن سرانه‌های همگون با شرایط محیطی منطقه، گام مؤثری در جهت بهبود شرایط و رفع نیازهای جمعیتی است. علاوه بر آن اتخاذ سیاست‌های بهینه در رابطه با شرایط مسکونی و کاربری‌ها می‌تواند با ایجاد شرایط محیطی مطلوب منجر به جذب جمعیت بیشتر به منطقه شده و از تخلیه جمعیتی که نتیجه آن فرسودگی محیط منطقه است، جلوگیری کند. راهکارها و سیاست‌های عمومی پیشنهادی در مورد بخش مسکن و کاربری‌های غیرمسکونی در مواجهه با سناریوهای محتمل به شرح جدول ٦ پیشنهاد می‌شود. این سیاست ها برگرفته از تجارب عمومی شهرسازی و صرفاً جهت تطبیق با اثرگذاری میزان تأثیر مولفه‌ها بر نتایج مدل محاسباتی تنظیم شده است.

جدول ۶. سیاست‌های پیشنهادی در رابطه با بخش‌های مختلف

سیاست‌های پیشنهادی مسکن	سرانه مسکونی منطقه در شرایط حاضر برابر ۱۳,۹۲ مترمربع است که از سرانه پیشنهادی طرح ساماندهی (۲۰,۹۳) کمتر است و با توجه به نتیج مدل باید بهبود پیدا کند. ارائه تراکم‌های تشویقی و معافیت‌های مربوط به عوارض شهرداری و اخذ پروانه در بخش مسکن، جهت حمایت و تشویق از سرمایه‌گذاری در بخش مسکن، به همراه استفاده از اراضی ذخیره و پتاسیل‌های بالقوه منطقه می‌تواند مد نظر باشد.
سیاست‌های پیشنهادی کاربری‌های شهری غیرمسکونی	نتایج حاصل از شناخت و تحلیل وضع موجود نشان می‌دهد که در مورد کاربری‌های مکمل مسکن و نیازهای شهری، با وجود اینکه سرانه موجود به ظاهر رقم بالایی است، کاربری صنایع وسعت زیادی از منطقه را به خود اختصاص داده و می‌تواند برای تأمین سایر خدمات شهری مورد استفاده قرار گیرد. اصلاح الگوی کاربری زمین، جایگزینی کاربری‌های مورد نیاز جمعیت با صنایع و کاربری‌های ناسازگار با محیط‌زیست شهری مانند دامداری‌ها و نیز استفاده بهینه از اراضی متروک و بلااستفاده از جمله سیاست‌های پیشنهادی در این بخش است.
سیاست‌های پیشنهادی اقتصادی	با توجه به نتایج مدل در تبیین میزان اثرات اقتصادی ناشی از کاربری های صنعتی، پیشنهاد می‌شود صنایع ناسازگار با کاربری‌های شهری به خارج از محدوده انتقال یافته و فعالیت‌های مرتبط با نیازهای شهری جایگزین آنها شود. بخش جنوبی منطقه دارای اولویت بالایی برای شناسایی و ایجاد سازوکارهای انتقال مناسب است.

منبع: نگارندگان

پی‌نوشت‌ها

1. System dynamics (SD)
2. Jay Forrester
3. The Ventana Simulation Environment
4. Limits to Growth

۵. برای مطالعه بیشتر ن.ک. Braun, 2002, 2

6. Calibration of Model
7. Rate of Land Use Demolished
8. Rate of Depreciation
9. Rate of Migration
10. Verification of Model
11. Structure Assessment Tests
12. Behavior Reproduction Tests
13. Extreme Conditions Tests
14. Coefficient of determination (R2)

فهرست منابع

- حبیب، فرح (۱۳۸۳) «ماهیت مسائل شهرسازی، نقش برنامه‌ریزی و جایگاه شهرساز»؛ *مجله شهرساز*؛ ۲(۲): ۲۱– ۲۶.
- مرکز آمار ایران (۱۳۷۳) *سرشماری عمومی کارگاهی.*
- مرکز آمار ایران (۱۳۸۳) *سرشماری عمومی کارگاهی.*
- معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران (۱۳۸۲) *بررسی مسائل توسعه شهری منطقه ۱۸*، فصل دوم: مطالعات سازمان فضایی و سیمای شهری، مهندسین مشاور آبان.
- معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران (۱۳۸۲) *بررسی مسائل توسعه شهری منطقه ۱۸*، فصل پنجم: مطالعات جمعیتی و اقتصادی–اجتماعی، مهندسین مشاور آبان.
- معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران (۱۳۸۲) *بررسی مسائل توسعه شهری منطقه ۱۸*، فصل ششم: مطالعات مسکن، مهندسین مشاور آبان.
- میرزایی، حمیدرضا (۱۳۸۵) *ظرفیت‌سازی توسعه محله‌ای بر اساس رویکرد توسعه سطوح میان‌افزای شهری*؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی؛ تهران؛ دانشگاه علم و صنعت؛ دانشکده معماری و شهرسازی.
- میزبان شاکر، آرزو (۱۳۸۰) *مدل‌سازی اثرات تغییر تراکم بر حمل و نقل شهری*؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی؛ تهران؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ دانشکده هنر و معماری.

- Bach, N. L. & Saeed, K. (1992) "Food Self-Sufficiency in Vietnam: a search for a viable solution", *System Dynamics Review*, 8(2), 129–148.
- Batty, M. & Torrens, P. M. (2000) "Modeling Complexity: The limits to Prediction, In The Advanced Spatial Analysis (CASA)", *Working paper series*, No. 36. http://eprints.ucl.ac.uk/260/1/paper36.pdf (2009)
- Benenson, I.; Aronovich, S. & Noam, S. (2001) "OBEUS: Object-Based Environment for Urban Simulation", In *Proceedings of the 6th international conference on GeoComputatio*n, University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Braun, William (2002) "The System Archetypes". http://wwwu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/sd/wb_sysarch.pdf (2009)
- Chapin, F. Stuart (1970) *Urban Land Use Planning,* University of Illinois Press, Illinois.
- Eberlein, Robert (1991) "Vensim Reference Manual". IBM PC, DECVMS, and UNIX workstations. 72 Grafton st. Arlington, MA 02174: Ventana Systems; INC, P. 24.

- Ford, A. (1996) Testing Snake River Explorer, *System Dynamics Review*, 12(4), 305–329.
- Forrester, J. W. (1961) *Industrial dynamics,* Cambridge, The M.I.T. Press, MA.
- Forrester, J. W. (1968) *Principles of systems,* Cambridge, Productivity Press, MA.
- Forrester, J. W. (1969) *Urban dynamics,* The M.I.T. Press.
- Forrester, J. W. (1991) *System Dynamics and the Lessons of 35 Years,* Massachusetts Institute of Technology, M.I.T. Press.
- Guo, H. C.; Liu, L.; Huang, G. H.; Fuller, G. A.' Zou, R. & Yin, Y. Y. (2001) "A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for the Lake Erhai Basin", *Journal of Environmental Management,* 61(1), 93–111.
- Hamilton, H. R. et al. (1969) *Systems Simulation for Regional Analysis,* Massachusetts Institute of Technology, M. I. T. Press.
- Heimgartner, C. (2001) "System dynamic modelling of transport and land use: a first model draft", *The first Swiss Transport Research Conference.*
- Kaiser, Edward. J; Godschalk, David. R & Chapin, F. Stuart (1995) *Urban Land Use Planning,* Illinois, University of Illinois Press.
- Kivell, Philip (1993) *land and the city: Patterns and Processes Of Urban Change,* Routledge, London and New York.
- Mashayekhi, A. N. (1990) "Rangeland Destruction Under Population Growth: the Case of Iran", *System Dynamics Review,* 6(2), 167–193.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L. & Randers, J. (1992) *Beyondthe limits,* Vermont,Chelsea Green Publishing.
- Qiping Shen; Qing Chen; Bo-sin Tang; Yeung, Stanley; Yucun, Hu & Cheung, Gordon (2008) "A System Dynamics Model for The Sustainable Land Use Planning and Development"; Department of Building and Real Estate, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong. journal homepage: www.elsevier.com/locate/habitatint (2009)
- Saeed, K. (1994) *Development planning and policy design: A system dynamics approach*, Brookfield, Avebury.
- Sanjaykumar, Sonar (2008) "Urban Sprawl: A System Dynamic Approach"; *44th ISOCARP Congress.*
- Saysel, A. K.; Barlas, Y.; & Yenigun, O. (2002) "Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach", *Environmental Management,* 64(3), 247–260.
- Sterman, J. D. (2000) *Systems Thinking and Modeling for a Complex World,* McGraw-Hill Higher Education, Massachusetts Institute of Technology, M.I.T. Press.
- Taylor, Robert A. (2008) "Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics", *U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics,* Retrieved 23 October. http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm(2009)
- Wolstenholme, E. F. (1983) "Modelling national development program: an exercise in system description and qualitative analysis using system dynamics", *Operational Research Society,* 34(12), 1133–1148.
- Wu, J.; Barlas, Y. & Wankat, J. L. (1993) "Effect of path connectivity and arrangement on animal metapopulation dynamics: a simulation study", *Ecological Modeling,* 65(3–4), 221–254.