مدل‌سازی یکپارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی (مطالعه موردی: شهر قم)

مقاله پژوهشی

شهریار افندی‌زاده*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمود احمدی نژاد، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
نوید کلانتری، دانش آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علیرضا نجفی‌نژاد، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰٤/۱۸- پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۵
صفحه ۱۱۲-۹۵

چکیده

امروزه ارتباط متقابل بین حمل‌ونقل و کاربری زمین در برنامه‌ریزی شهری بسیار اهمیت دارند. استفاده از مدل‌های یکپارچه کاربری زمین و حمل‌ونقل سبب پیش‌بینی توسعه هر یک از مناطق، تغییر در الگوی سفرهای ایجادشده در نواحی ترافیکی و همچنین باعث افزایش دقت و پیش‌بینی چگونگی وضعیت آینده می‌شود. سناریوهای تولید شده، می‌تواند شامل سیاست‌های کنترلی متفاوت، انجام پروژه‌های استراتژیک و احداث زیرساخت‌ها باشد.در این مقاله یک الگوی انتخاب محل سکونت و اشتغال با استفاده از یک چارچوب مدل‌سازی انتخاب گسسته در" اربن‌سیم" در شهر قم با اهداف زیر اعمال می‌شود: (۱) ارائه مدل یکپارچه تعامل حمل‌ونقل و الگوی کاربری زمین در قالب عامل قیمت‌گذاری زمین و رفتار استفاده کنندگان، (۲) بررسی عوامل مؤثر در انتخاب محل سکونت و اشتغال برای پیش‌بینی تغییرات در مسکن و مکان‌ها و (۳) به دست آوردن نتایج سیاست‌گذاری قیمت گذاری در حمل‌ونقل. برای انجام این کار متغیرهای موردنیاز مدل‌سازی تعیین می‌گردد و اطلاعات اقتصادی و اجتماعی لازم از مجموعه های مختلف مانند اداره آمار و ثبت‌احوال جمع‌آوری می‌گردد. در گام بعدی فرایند ساخت مدل بر اساس اطلاعات سال پایه انجام می‌شود و هر یک از مدل‌های کاربری زمین ساخته می‌شوند و پس از آن، صحت سنجی مدل‌ها انجام می‌گیرد. نهایتاً مجموعه مدل‌ها به صورت یکپارچه برای سال طرح اجرا گشته تا الگوی توزیع جمعیت و اشتغال در محیط شهر قم در سال طرح به دست آید. از جمله نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان دسترسی بین هر زوج ناحیه ترافیکی، متغیرهای اقتصادی و اجتماعی مانند درآمد، بعد خانوار، مالکیت خودرو، ارزش زمین از عوامل مهم در تعیین محل‌های مسکونی و شغلی خانوار در قم است. علاوه بر این، نتایج این تحقیق نشان می دهد که گروه‌های سنی و درآمدی مختلف ترجیحات مکان مسکونی متفاوتی دارند.

واژه‌های کلیدی: انتخاب محل سکونت و اشتغال، دسترسی، کاربری زمین، مدل‌های انتخاب گسسته، نرم‌افزار اربن‌سیم

۱- مقدمه

در بحث مدل‌های یکپارچه هرگونه تغییر در کاربری زمین بر تعداد سفرهای تولید و جذب‌شده نواحی مربوطه اثر گذاشته و باعث تغییر در الگوی سفرها و توزیع آن‌ها می‌شود. لذا با داشتن آگاهی بهتر و دقیق‌تر از الگوی کاربری زمین در آینده می‌توان اطلاعات ورودی دقیق‌تری را برای مدل‌های پیش‌بینی حمل‌ونقل تأمین کرد که نتیجه آن خروجی نزدیک‌تر به واقعیت و خطای کمتر در پیش‌بینی تقاضای آینده سیستم حمل‌ونقل خواهد بود. از طرف دیگر الگوی کاربری زمین تحت تأثیر سیستم حمل‌ونقل شهری و دسترسی به کاربری‌ها حاصل از آن است؛ چراکه دسترسی بهتر موجب افزایش مطلوبیت زمین شده و درنتیجه سبب تغییر کاربری زمین و افزایش تقاضای آن می‌شود. علت افزایش مطلوبیت زمین در اثر دسترسی بهتر،

تمایل خانوارها به داشتن دسترسی بهتر به مراکز تجاری شهر با هزینه و زمانی کمتر و همچنین تمایل مشاغل به دسترسی بیشتر مشتریانشان باشد. خانوارها بر اساس مطلوبیتی که یک واحد مسکونی برای سکونت آن‌ها دارد، تمایل به هزینه کردن مبلغ مشخصی جهت تصاحب آن می‌باشند که بخش عمده‌ای از این مطلوبیت وابسته به قیمت‌گذاری و دسترسی آن واحد مسکونی است. پس مطلوبیت بیشتر سبب افزایش تقاضا می‌گردد. از طرفی محدودیت در عرضه واحدهای مسکونی باعث ایجاد رقابت در تصاحب ملک شده و درنتیجه ارزش آن بالا می‌رود. به همین ترتیب مطلوبیت کارفرمایان نیز تصرف ملکی با دسترسی بهتر به مشتریان و شرکت‌های همکار است (کاکل‌من، ۲۰۱۱). به هر صورت اهمیت بالای نقش کاربری زمین در تولید سفرهای افراد در شهرهای امروزی مسئله‌ای قابل چشم‌پوشی نبوده و برای پیش‌بینی سفرهای افراد نیاز به پیش‌بینی محل فعالیت‌های آن‌ها و به عبارتی پیش‌بینی کاربری زمین در آینده است و هرچه این پیش‌بینی از منطق رفتاری و ریاضی قوی‌تری برخوردار باشد، مدل‌های ساخته شده بر اساس آن‌ها نیز دقیق‌تر و با انطباق بیشتری بر واقعیت همراه خواهند بود. متغیرهای زیادی به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روند انتخاب محل سکونت و اشتغال افراد اثرگذار است که مهم‌ترین آن‌ها میزان دسترسی به مراکز تجاری در هر ناحیه، متغیرهای خانوار مانند درآمد، بعد، مالکیت خودرو، قیمت زمین، جمعیت و اشتغال آینده است (لاچل، ۲۰۱۰).

مسئله موردنظر در این تحقیق دستیابی به مدل مناسب جهت نمایش فرایند انتخاب محل سکونت توسط خانوارها و انتخاب محل اشتغال توسط کارفرمایان و همچنین تعیین متغیرهایی همانند هزینه و زمان سفرها، قیمت املاک و مستغلات، ویژگی‌های جمعیت و اشتغال و .. است، که نقش عمده‌ای را در تأمین مطلوبیت انتخاب‌کنندگان ایفا می‌کنند؛ به طوری که قابلیت پیش‌بینی الگوی کاربری زمین در آینده را فراهم نماید.

هدف این تحقیق ارائه مدل یکپارچه تعامل حمل‌ونقل و الگوی کاربری زمین را در قالب عامل قیمت‌گذاری زمین و رفتار افراد در انتخاب محل سکونت از طریق شبیه‌سازی است. در مطالعات گذشته که در زمینه‌ی مدل‌های یکپارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین انجام‌شده است، فاکتور مربوط به خریدار و فروشنده در نظر گرفته نشده است که در این تحقیق به آن توجه ویژه‌ای خواهد شد. در این تحقیق برای شهر قم، مدل انتخاب سکونت یا اشتغال با استفاده از چارچوب مدل‌سازی انتخاب گسسته در "اربن‌سیم"، با اهدافی همچون بررسی عوامل مؤثر بر انتخاب محل سکونت، پیش‌بینی تغییر در محل سکونت خانوارها و به دست آوردن تاثیر سیاست‌گذاری قیمت بازار مسکن محلی در حمل‌ونقل مورد بررسی قرار می‌گیرد. با تعیین چگونگی انتخاب‌های افراد می‌توان به جهت‌دهی فرایند توسعه شهری پرداخت، ارزش زمین در نواحی شهری و نوع کاربری‌ها را پیش‌بینی کرد و نیاز به توسعه زیرساخت‌ها برای تقاضای آینده و یا سیاست‌های کنترلی جهت جلوگیری از رشد بی‌رویه مناطق شهری را برآورد نمود. قابلیت ارزیابی سیاست‌های مختلف کاربری زمین و سرمایه‌گذاری‌های مربوط به زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌تواند موجب صرفه‌جویی مالی بسیار برای نهادهای مسئول در حوزه برنامه‌ریزی شهری شود.

بنابراین انتظار می‌رود که این تحقیق در انتها به سؤالات زیر پاسخگو باشد:

- متغیرهای اصلی در تعیین انتخاب محل سکونت و اشتغال چیست؟
- نقش کاربری زمین و فرم نواحی شهری در سیستم حمل‌ونقل چگونه است؟
- توزیع جمعیت و انواع مختلف کاربری زمین در نواحی شهری در آینده چگونه خواهد بود؟
- میزان نیاز به اطلاعات ورودی برای اجرای مدل‌های یکپارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین چقدر است؟

۲- پیشینه تحقیق

در مطالعات انجام شده درباره مدل‌های مختلف همانند متروا‌سکن[۱]، ایتلوپ[۲] و اربن‌سیم برای پیاده‌سازی مدل یکپارچه کاربری زمین و حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی شهری و همچنین مواردی از جمله تأثیر واحدهای مکانی مانند سلول شبکه‌ای و ساختمان، داده‌های همفزون و ناهمفزون، ویژگی‌های خانوار مانند بعد و سن و غیره موردبحث قرار گرفتند. در مطالعه انجام شده توسط وادل[۳] (۲۰۰۲) که با هدف اجرای مدل یکپارچه کاربری زمین و حمل‌ونقل از طریق شبیه‌سازی نرم‌افزار در شهر یوجین[۴] آمریکا صورت گرفت، پیشرفت چشمگیر و یکپارچگی بیشتر در توسعه مدل‌های کاربری زمین و حمل‌ونقل حاصل شد. همچنین مطالعه پترسون[۵] و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که در مقایسه مدل همفزون و ناهمفزون در دو شهر لیون و بروکسل[۶]، تنها با اعمال داده‌های همفزون، امکان تخمین موفق تمامی مدل‌ها و توسعه یک برنامه کاملاً کاربردی امکان‌پذیر نیست. همچنین در مطالعه مرسیر[۷] و همکاران (۲۰۱۳) که برای

بررسی متغیر قیمت تأخیری یک‌ساله در شبیه‌سازی قیمت مسکن نواحی مختلف شهر پاریس[8] با چارچوب کاربری زمین در تعامل با مدل حمل‌ونقل موزارت[9] صورت گرفت، نشان داده شد که بدون متغیر قیمت تأخیری یک‌ساله، قیمت نتوانست با پویایی قیمت واقعی همگام شود. در مطالعه سو[10] و همکاران (۲۰۱۵) روش جدید تخصیص کاربری زمین به نام «سه مرحله‌ای بازخوردی» برای تخصیص کاربری زمین و گزینه‌های سیاست حمل‌ونقل با کاربرد عملی معرفی شد که استفاده از این روش منجر به کاهش مسافت خودرو و افزایش سطح دسترسی خدمات که عامل تأثیرگذار در کاربری زمین است، می‌شود. در مطالعه هنشر[11] و همکاران (۲۰۱۷) توسعه یک مدل انتخاب محل سکونت به عنوان بخشی از سیستم یکپارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین به نام متروا‌سکن، در چارچوب مدل‌سازی حداکثر سازی مطلوبیت انجام گرفت. مطالعه دیگر که توسط ما[12] و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی دو شاخص حداکثر تعداد خانوار و اشتغال برای توصیف ظرفیت زمین و عملی بودن مدل ایتلوپ در شهرهای کوچک و متوسط کشور چین صورت گرفت، مشخص شد که حداکثر خانوار و اشتغال در آینده ممکن است از ظرفیت زمین فراتر رود و باید در یک منطقه جدید تنظیم شود و عملکرد شبیه‌سازی مدل به وضعیت واقعی شهرهای کوچک و متوسط نزدیک‌تر شود.

۲- روش و مبانی نظری تحقیق

روش پژوهش به این صورت انجام گرفت که ابتدا داده‌های موردنیاز مربوط به شهر قم جهت ورود به نرم‌افزار "اربن‌سیم" جمع‌آوری و سامان‌دهی شده‌اند. این داده‌ها به شرح زیر هستند:

۱. جمعیت شهر قم با بسط دادن نمونه آماری به حاصل از پرسشنامه‌های خانوار در سال ۹۵ به جامعه، توسط نرم‌افزار "پاپ‌جن" ساخته شد. در این قسمت از آنجایی که مدل‌های کاربری زمین به جای اطلاعات همفزون نواحی ترافیکی، نیاز به ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی خانوارها دارند، به جای استفاده از فرمول ساده ضریب تعمیم نمونه به جامعه از روش ساخت مصنوعی جمعیت با استفاده از الگوریتم IPU[13] استفاده شد.

۲. اطلاعات مربوط به ساختمان همانند مساحت انواع کاربری، عمر بنا، قیمت و غیره سامان‌دهی و وارد نرم‌افزار شده است.

۳. اطلاعات مربوط به خانوار همانند بعد، مالکیت خودرو، درآمد، سن سرپرست و غیره سامان‌دهی و وارد نرم‌افزار شده است.

٤. اطلاعات مربوط به مشاغل همانند تعداد هر شغل در ناحیه، مساحت تخصیصی به هر شغل و غیره جمع‌آوری، سامان‌دهی و وارد نرم‌افزار شده است.

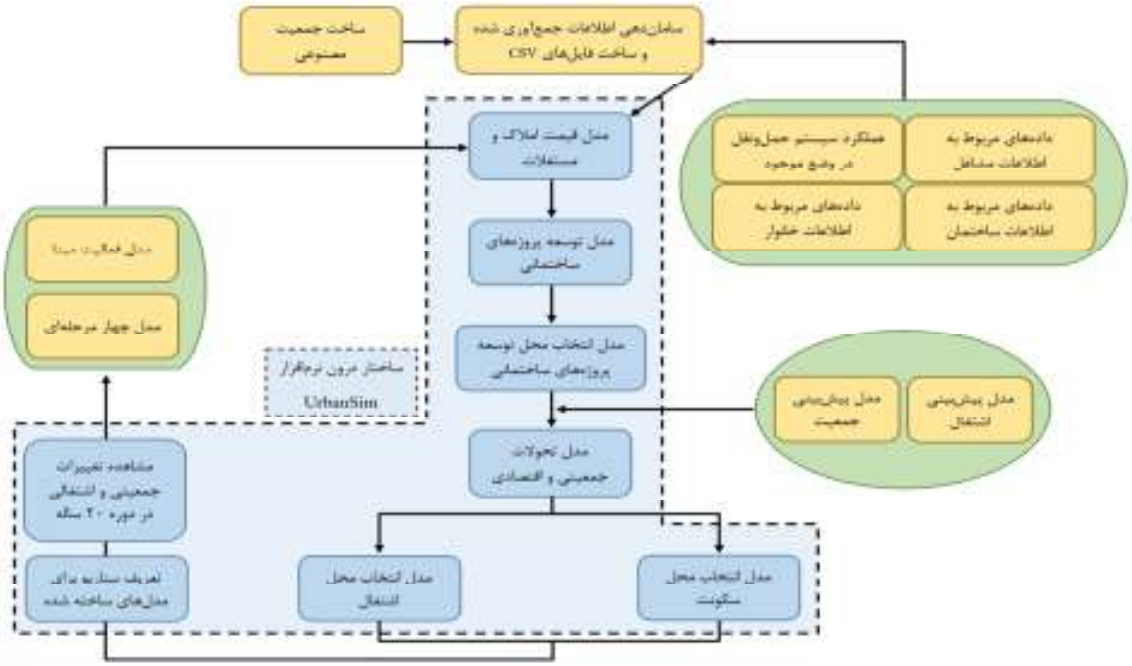
۵. عملکرد سیستم حمل‌ونقل موجود و زمان سفرها بین نواحی شهری و مراکز تجاری محاسبه و وارد نرم‌افزار شده است.

در گام بعد نوبت به ساخت و پرداخت مدل‌های کاربری زمین با رویکرد انتخاب گسسته رسید. بدین منظور از نرم‌افزار "اربن‌سیم" و زیر مدل‌های قیمت املاک و مستغلات[14] و توسعه پروژه‌های ساختمانی[15] استفاده شده است. سپس با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی جمعیت و اشتغال به روش جز به کل، جمعیت و اشتغال آینده شهر به دست آمد که بعنوان اطلاعات ورودی لازم برای مدل های تحولات جمعیتی و اقتصادی[16] است. در انتها از خروجی مدل‌های مذکور به عنوان اطلاعات ورودی برای پرداخت مدل‌های انتخاب محل سکونت و اشتغال[17] استفاده می‌شود.

نهایتاً اجرای این مدل‌ها در رویکردی یکپارچه صورت گرفت که نتیجه آن سیمایی از وضعیت شهر از نظر انواع کاربری‌های مسکونی و شغلی و سیستم حمل‌ونقل آن خواهد بود. نحوه اجرای این مدل‌ها به صورت یکپارچه در ادامه شرح داده شده است. ساختار تحقیق و ارتباط بین گام‌های آن در شکل (۱) به صورت فلوچارت نشان داده شده است.

۲-۱- ساخت جمعیت

با پیدایش روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی و ظهور مدل‌های فعالیت مبنا و کاربرد انها برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، واحدهای تصمیم‌گیرنده رفتاری در سفرها از نواحی ترافیکی به افراد و خانوارها تبدیل می‌شوند. لذا، در این‌گونه مدل‌ها جهت کالیبره کردن، صحت سنجی و اجرای مدل نیاز به اطلاعات ویژگی‌های افراد و خانوار است. در سال پایه، می‌توان چنین اطلاعاتی را از نمونه‌های تصادفی از جامعه برداشت کرد ولی نیاز به اطلاعاتی



شکل ۱. ساختار تحقیق و ارتباط بین گام‌ها

در این سطح برای کل جامعه است. درنتیجه برای تهیه چنین اطلاعاتی از جمعیت ساختگی استفاده می‌شود. جمعیت ساختگی با استفاده از ویژگی‌های نمونه آماری تهیه‌شده و طوری ساخته می‌شود که توزیع ویژگی‌های موردنظر افراد و خانوارها با توزیع همفزون آن ویژگی‌ها در جامعه منطبق باشد. روش مورد استفاده در این تحقیق از الگوریتم IPU استفاده شده است که قبلا مورد آزمایش قرار گرفته است (پارک، ٢٠١٤). در این روش خانوارها و افراد بر اساس ویژگی‌های کنترلی مدنظر تعریف می‌شوند. در مورد خانوار این ویژگی می‌تواند بعد خانواده و در مورد افراد می‌تواند ویژگی‌هایی مانند وضعیت اشتغال، جنسیت، وضعیت تحصیلی و ... باشد. در مرحله اول با وزن دهی به خانوار موجود در نمونه، قید مربوط به ویژگی کنترلی خانوار در جامعه ارضا شود؛ اما الگوریتم به این بسنده نکرده و کار را ادامه می‌دهد و با وزن دهی به افراد موجود در نمونه، سعی بر این دارد که قیود مربوط به توزیع ویژگی‌های افراد مانند جنس و وضعیت اشتغال را نیز ارضا کند. برخلاف سطح خانواده ها در سطح افراد، تضمینی برای ارضای کامل قیود افراد وجود ندارد، اما این الگوریتم بهترین جواب ممکن را نتیجه خواهد داد. به منظور کنترل کیفیت نتیجه خروجی از آماره‌های مختلفی مانند P_value می‌توان استفاده کرد.

۲-۲- مدل قیمت زمین

"اربن‌سیم" از قیمت زمین به عنوان شاخص هماهنگی بین عرضه و تقاضای زمین در مکان‌های مختلف استفاده می‌کند. خریداران با توجه به قیمت زمین، مطلوبیت حاصل از آن و توانایی پرداخت خود، محل موردنظر برای اسکان یا اشتغال را انتخاب می‌کنند. با فرض یکسان بودن بقیه متغیرها، گزینه‌های با قیمت بیشتر برای کسانی که الاستیسیته کمتری نسبت به قیمت دارند جذاب‌تر خواهد بود. از طرف دیگر تغییرات قیمت در ترجیحات سازندگان برای احداث و توسعه کاربری‌ها در نقاط مختلف نیز اثر می‌گذارد. خانواده ها، کارفرمایان و توسعه‌دهندگان تحت تأثیر قیمت‌ها قرار دارند و تنظیمات بازار بر اساس رابطه بین عرضه و تقاضا انجام می‌گیرد. رفتار هرکدام از این عوامل با در نظر گرفتن اطلاعات قیمتی مربوط به دوره شبیه‌سازی قبلی (قیمت سال گذشته) صورت می‌پذیرد. پیش‌بینی قیمت بر اساس مدل رگرسیون و به صورت سالانه انجام می‌پذیرد (وادل، ۲۰۰۲).

۲-۳- مدل توسعه املاک و مستغلات

این مدل به شبیه‌سازی احداث ساختمان‌های جدید برای انواع کاربری‌ها می‌پردازد. پارامترهای این مدل بر اساس اطلاعاتی که از انواع توسعه‌های کاربری زمین در سال‌های

اخیر به مدل داده می‌شود به دست می‌آید. به عنوان مثال اطلاعات مربوط به احداث و توسعه انواع کاربری‌ها در ۱۰ سال اخیر، به همراه سال احداث به مدل داده می‌شود و مدل از این اطلاعات استفاده می‌کند. علاوه بر این کاربر می‌تواند به طور جداگانه به تعریف توسعه‌های کاربری‌های خاص که به طور قطع در آینده اتفاق می‌افتد و ویژگی‌های آن اقدام کند. وظیفه مدل توسعه پیش‌بینی احتمال تجربه یک توسعه در کاربری زمین در هر ناحیه در هر سال شبیه‌سازی و اینکه اگر توسعه‌ای انجام می‌شود آن توسعه در راستای چه نوع کاربری زمینی است، می باشد. همچنین در این مدل می‌توان انواع محدودیت‌های مربوط به توسعه از قبیل ضوابط شهرسازی، محدودیت‌های فیزیکی و جغرافیایی مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و نظایر آن را معرفی کرد تا از توسعه در این قسمت‌های شهر جلوگیری شود (وادل و وانگ، ۲۰۱۰).

٤-۲- مدل تحولات اقتصادی

اشتغال بر اساس اطلاعات موجود و سیستم طبقه‌بندی رایج، توسط کاربر به بخش‌های مختلفی مانند کشاورزی، صنعت، خدمات و... تقسیم می‌شود. پیش‌بینی همفزون اشتغال آینده که ممکن است توسط مجموعه های دولتی و یا برای آن پروژه خاص تهیه شده باشد برای این مدل تعریف می‌گردد تا از آن به عنوان اطلاعات ورودی استفاده کند. مدل تحول اقتصادی وظیفه یکپارچه‌سازی این پیش‌بینی تجمعی با بانک اطلاعاتی نرم‌افزار را دارد تا رشد و یا کاهش میزان اشتغال آینده نسبت به سال گذشته را محاسبه کند. در صورت کاهش اشتغال تعداد شغل‌های موجود در بانک اطلاعاتی را کاهش می‌دهد و در صورت افزایش اشتغال آن را به صف شغل‌هایی که منتظرند در مدل انتخاب محل شغل به موقعیت مکانی مناسب تخصیص یابند، اضافه می‌کند. اگر کاربر فقط پیش‌بینی تجمعی را فراهم کند، سهم هر یک از بخش‌ها (کشاورزی، خدمات و ...) مطابق با سهم وضعیت موجود تعیین می‌گردد. شغل‌هایی که کاهش یافته‌اند باعث خالی شدن موقعیت مکانی خود شده و این موقعیت در اختیار سایر شغل‌ها قرار می‌گیرد تا در مدل انتخاب محل اشتغال، شغل مناسب به آن تخصیص یابد (وادل و وانگ، ۲۰۱۰).

٤-۲- مدل تحولات جمعیتی

این مدل به تغییرات تعداد خانوارها در طول زمان می‌پردازد. الگوریتم مورد استفاده در این مدل مشابه با الگوریتم توضیح داده شده در بخش مدل تحولات اقتصادی هست. در واقعیت این تغییرات نتیجه ترکیبی از عوامل اجتماعی و جمعیتی شامل افزایش سن، ترکیب خانوارها، طلاق، مرگ‌ومیر، تولد و مهاجرت است؛ اما اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی همه این موارد معمولاً موجود نیست و لذا مدل تحول جمعیتی از مقادیر کنترل کلی جمعیت و خانوارها برای مدل کردن این تغییرات استفاده می‌کند. اگر اطلاعات پیش‌بینی تعداد خانوارها به صورت همفزون و بدون توجه به طبقه بندی آن‌ها فراهم باشد، تقسیم‌بندی خانوارهای آینده بر اساس نسبت انواع طبقه خانوار در وضع موجود انجام می‌شود. همانند مدل تحول اقتصادی، خانوارهای اضافه شده در سال جاری به لیست خانوارهایی که باید در مدل انتخاب محل سکونت به مکانی مسکونی تخصیص یابند اضافه می‌شود. فرایند کاهش تعداد خانوارها با حذف خانوارهای موجود به طور تصادفی و اضافه شدن مکان مسکونی آن‌ها به لیست مکان‌های مسکونی قابل اشغال انجام می‌گیرد.

٥-۲- مدل جابه‌جایی اشتغال

جابجایی محل اشتغال و انتخاب محل جدید توسط شرکت‌ها و کارفرمایان صورت می‌پذیرد؛ اما در "اربن‌سیم" از تک‌تک شغل‌ها به صورت منحصر به فرد به عنوان واحد تحلیل استفاده می‌شود. به عبارتی فرض می‌شود که تصمیم برای انتخاب محل هر شغل به صورت منحصر به فرد صورت می‌گیرد و درنتیجه یک ساختمان اداری که مجموعه‌ای از شغل‌ها را شامل می‌شود، جابه‌جا نمی‌شود. مدل جابجایی اشتغال وظیفه پیش‌بینی احتمال تغییر مکان یا ماندن در مکان فعلی شغل‌های مختلف در بخش‌های مختلف اقتصادی را در هر سال از دوره شبیه‌سازی بر عهده دارد. شغل‌هایی که باید جابجا شوند از مجموعه شغل‌های مستقر شده کاسته و مکان استقرار آن‌ها به لیست مکان‌های موجود اضافه می‌شود. سپس این شغل به صف شغل‌های در انتظار مکان اضافه شده تا در مدل انتخاب محل شغل، مکان مناسبی به آن‌ها تخصیص یابد. معمولاً احتمال تغییر مکان شغل‌ها به صورت هم فزون و بر

اساس بخش‌های اقتصادی گوناگون از روی داده‌های سال‌های اخیر استخراج می‌شود (وادل و وانگ، ۲۰۱۰).

٦-۲- مدل جابه‌جایی خانوار

مدل جابجایی خانوار فرمی مشابه مدل جابجایی اشتغال دارد. احتمال جابجایی هر طبقه از خانوار بر اساس ویژگی‌هایی مثل درآمد، سن سرپرست و ... بر اساس روند موجود در سال‌های اخیر به مدل معرفی گشته و مدل با الگوریتمی دقیقاً مشابه با الگوریتم مدل جابجایی اشتغال، خانوارهایی را که باید جابجا شوند مشخص کرده، آن‌ها را به صف خانوارهای ورودی مدل انتخاب محل سکونت اضافه کرده و محل سکونت فعلی آن‌ها را برای انتخاب دیگر خانوارها آزاد می‌کند.

۷-۲- مدل انتخاب محل اشتغال

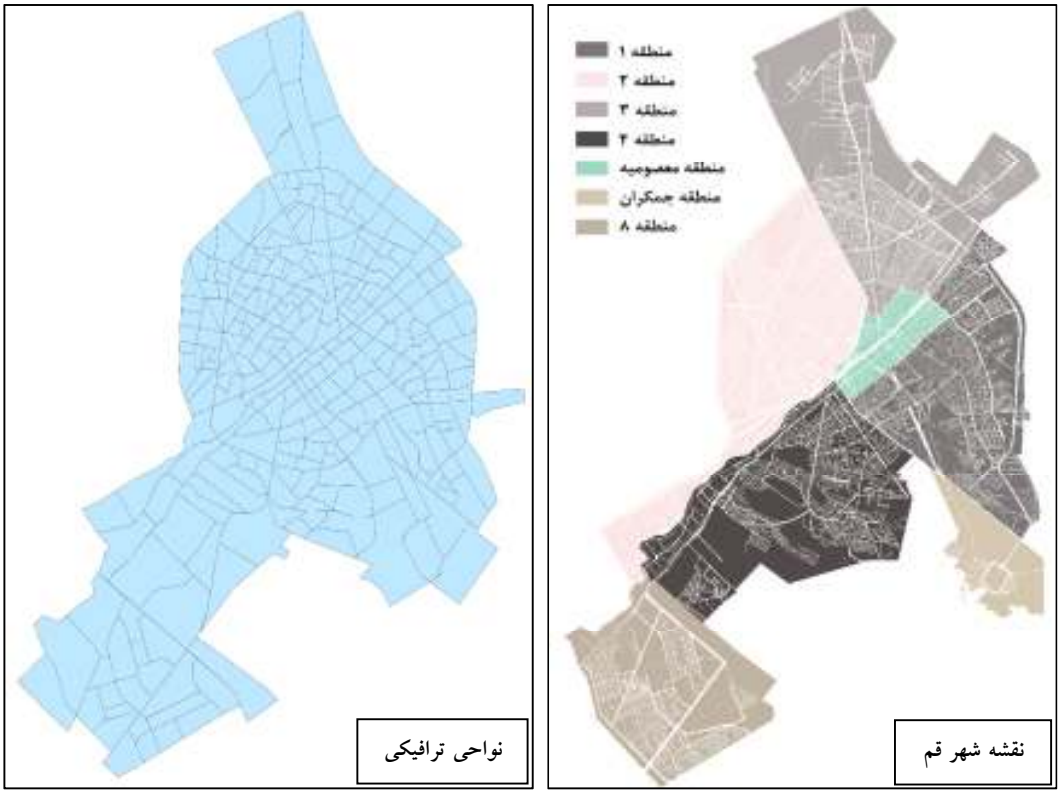
این مدل وظیفه پیش‌بینی احتمال اینکه شغل جدید در سال شبیه‌سازی (از مدل تحول اقتصادی) و یا شغل جابجا شده (از مدل جابجایی اشتغال) مکان خاصی را برای استقرار انتخاب کند، بر عهده دارد. تعداد واحدهای موجود برای هر شغل بر اساس فضای لازم برای هر شغل که معمولاً از اطلاعات وضع موجود استخراج می‌شوند به دست می‌آید. با در نظر گرفتن احتمال اینکه بعضی از مشاغل در واحدهای مسکونی استقرار می‌یابند واحدهای مسکونی هم می‌توانند به عنوان محل استقرار مشاغل انتخاب شوند. پس مجموعه فضاهای موجود برای استقرار مشاغل ترکیبی از فضای غیرمسکونی در هر ناحیه و قسمتی از واحدهای مسکونی ناحیه است. مطالعات پیشین نشان داده است که تخمین مدل با استفاده از نمونه‌ای تصادفی از گزینه‌ها نتایجی یکسان با تخمین مدل با همه گزینه‌ها دارد، لذا به منظور بازدهی بیشتر از روش نمونه‌برداری از گزینه‌ها در این مدل استفاده می‌شود. از یک مدل لوجیت چندجمله‌ای برای محاسبه احتمال اینکه یک شغل به هر یک از گزینه‌های موجود تخصیص یابد استفاده می‌شود تعداد گزینه‌هایی که در این فرایند وارد می‌شوند، می‌تواند توسط کاربر تعیین گردد، ولی به طور پیش‌فرض ۳۰ گزینه به طور تصادفی از میان همه گزینه‌های موجود انتخاب شده و بعد از مقایسه مطلوبیت با ۲۹ گزینه دیگر گزینه نهایی از طریق فرایند مونت‌کارلو انتخاب شده و شغل مربوطه به آن تخصیص می‌یابد.

۸-۲- مدل انتخاب محل سکونت

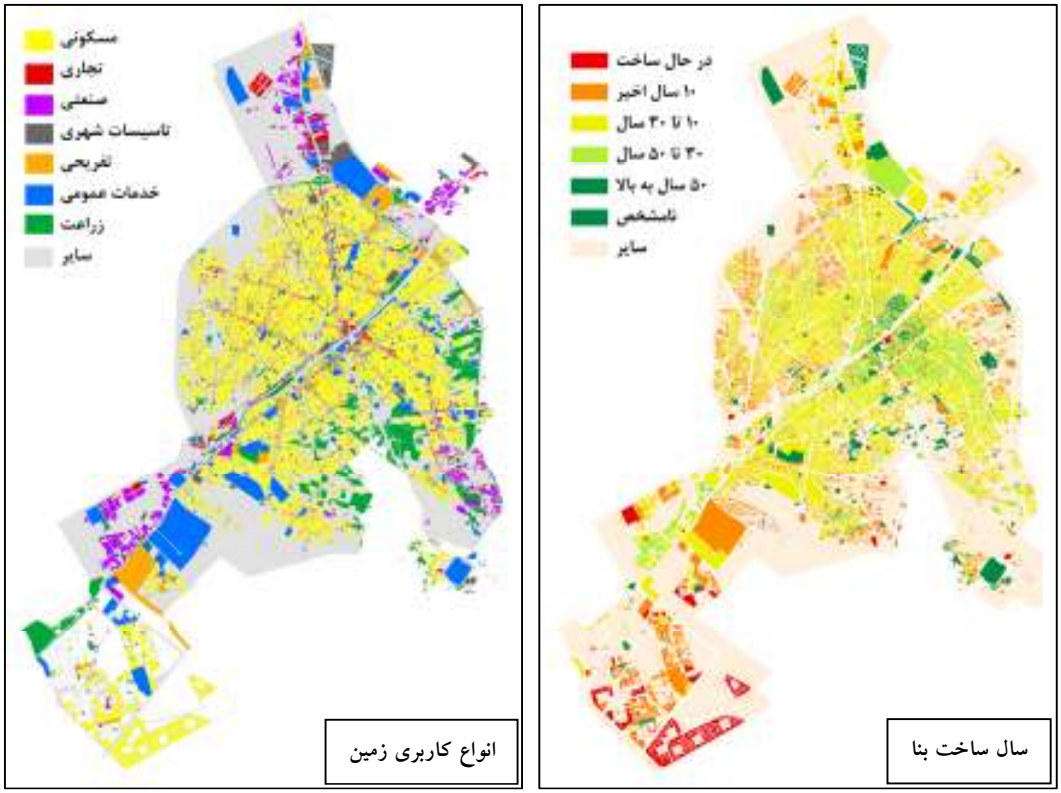
وظیفه این مدل پیش‌بینی احتمال انتخاب یک محل سکونت خاص از سوی خانوارهایی که در سال مدل‌سازی به خانوارهای شهر اضافه شدند (خروجی مدل تحول جمعیتی) و خانوارهایی که تصمیم به جابجایی گرفته‌اند (خروجی مدل جابجایی خانوار) هست. همانند مدل قبلی این مدل هم ساختار لوجیت چندجمله‌ای دارد.

۳- اطلاعات منطقه مورد مطالعه

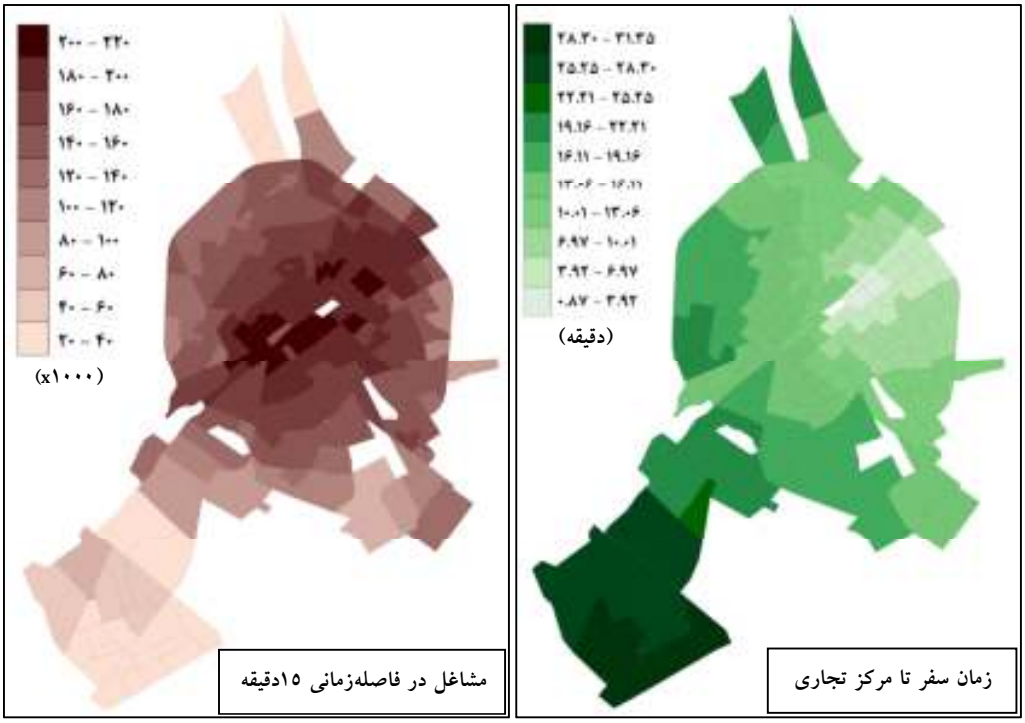
محدوده مورد تجزیه‌وتحلیل در تحقیق شهر قم از کلان‌شهرهای ایران است که در ۱٤۰ کیلومتری جنوب پایتخت ایران واقع شده است. طبق آمار سال ۱۳۹۵، شهر قم تعداد ۱,۲۱٤,۱۷۸ نفر جمعیت دارد که با توجه به این تعداد شهر قم در رتبه هفتمین شهر پرجمعیت ایران قرار دارد. در طی سال‌های گذشته، قم با توسعه اراضی مسکونی و ساخت مسکن و همچنین مهاجرپذیری بسیار بالا، رشد جمعیت سالانه ۲/۳۳ درصد را دارا است که جز بالاترین نرخ رشد جمعیت در ایران است. همچنین از نظر ساختار شهری به دلیل حضور حرم مطهر حضرت معصومه (س) از دیرباز در مرکز شهر قم، مرکز تجاری شهر قدیمی و تمرکز جمعیتی شهر بیشتر در این ناحیه واقع شده است. نقشه شهر قم در شکل (۲) نشان داده شده است. برای تجزیه‌وتحلیل عوامل تعیین‌کننده انتخاب مکان مسکونی برای یک خانوار در قم، منطقه مورد مطالعه به ۲۹۱ ناحیه ترافیکی تقسیم شده است که در شکل (۲) مشاهده می‌شود. هر ناحیه یک متغیر وابسته است. یک بانک اطلاعاتی از خانوارها، مشاغل، ساختمان‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل جمع‌آوری شد تا مدل انتخاب مکان مسکونی قم را توسعه دهد، اگرچه این جمع‌آوری محدودیت‌هایی را در بر داشت. داده‌های خانوار از سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران گرفته شد و به بخش‌های بعد خانوار، سن سرپرست، تعداد فرزندان و تعداد وسایل نقلیه طبقه‌بندی شدند. در بحث درآمد خانوار، از اطلاعات قیمت زمین در محل سکونت و همچنین مالکیت خودرو استفاده شد و با استفاده از بازه‌های درآمدی که در پرسشنامه‌های مبدأ – مقصد آمده بود، تخمینی گسسته از درآمد خانوار در نظر گرفته شد. علاوه بر این، اطلاعات شغلی تهیه شد تا دسترسی خانوارها به مشاغل یک ناحیه خاص محاسبه شود. داده‌های اشتغال در سطح همفزون تمامی مشاغل ایجاد شد.



شکل ۲. نقشه شهر قم و نواحی ترافیکی تعریف شده برای آن

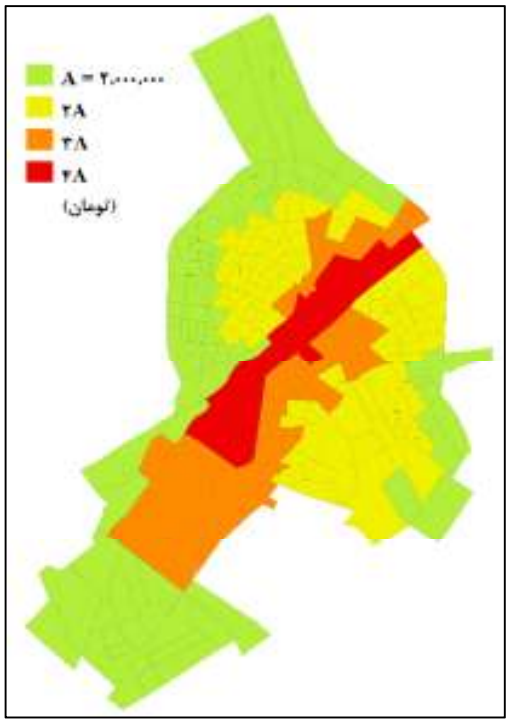


شکل ۳. سال ساخت ساختمان‌ها و انواع کاربری زمین شهر قم



شکل ٤. زمان سفر تا مرکز تجاری شهر و تعداد مشاغل در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای

داده‌های مشاغل و خانوار بر پایه واحد مکانی بلوک آماری منتشر شده است؛ لذا آن‌ها را به نواحی ترافیکی که واحد مکانی تجزیه‌وتحلیل است، همفزون می‌شود. علاوه بر این، سال ساخت ساختمان، طبقه‌بندی کاربری زمین، مساحت ساختمان و مساحت زمین در ناحیه ترافیکی جمع‌آوری شد. برای داده‌ها از نقشه کاداستری که از مؤسسات مختلف قم به دست آمده، استفاده شده است. در شکل (۳) انواع کاربری زمین در نواحی مختلف شهر قم و همچنین سال ساخت ساختمان‌ها مشاهده می‌شود. دسترسی در تعیین مکان‌های مسکونی خانوار یک عامل اساسی است. زمان و هزینه سفر برای اندازه‌گیری میزان دسترسی، از اهمیت بیشتری نسبت به فاصله فیزیکی برخوردار هستند؛ بنابراین، یک مدل تقاضای سفر با استفاده از بانک اطلاعات حمل‌ونقل قم در سال ۱۳۹۵ برای محاسبه مطلوبیت شاخص‌های دسترسی به سیستم تهیه شد. زمان و هزینه سفر اتومبیل‌های شخصی بین نواحی ترافیکی با استفاده از یک مدل انتخاب مد محاسبه شد. برخلاف سایر داده‌ها، این شاخص‌های دسترسی اندازه‌گیری شده در واحد ناحیه ترافیکی بوده و نیازی به تغییر نداشتند. مشاغل موجود در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای و زمان سفر تا مرکز تجاری شهر با استفاده از خروجی دسترسی و زمان سفر ساخته می‌شود که در شکل (٤) مشاهده می‌شود.



شکل ۵. توزیع فضایی قیمت یک مترمربع واحد مسکونی

قیمت املاک در شهر قم بر اساس اطلاعات در سال مذکور، حداقل قیمت یک مترمربع واحد مسکونی در شهر قم ۲ میلیون تومان است. بررسی فضایی قیمت یک مترمربع واحد مسکونی در شهر قم نشان می‌دهد که نواحی مرکزی شهر دارای بالاترین قیمت و حاشیه‌های شهر از کمترین قیمت برخوردارند. شکل (۵) پراکنش فضایی قیمت یک مترمربع واحد مسکونی را در شهر قم نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در مدل‌های لوجیت تنها اختلاف بین مطلوبیت‌ها مهم است ومقادیر قیمت به صورت نسبی در نظر گرفته شده‌اند.

برای ساخت جمعیت مصنوعی اطلاعات اولیه پرسشنامه‌های مبدأ – مقصد، مورد بررسی قرار گرفت و بعد از حذف اطلاعات غیرقابل استفاده و اصلاح و ساماندهی برخی از داده‌ها، اطلاعات جمع‌آوری شده از ٦٦١٤ خانوار قابل استفاده تشخیص داده شد. با توجه به وجود ٣٦٥,١٩٧ خانوار در شهر قم و جمعیت آن، این میزان نمونه معادل ۰/۰۱۸ کل جامعه است. در گام بعدی باید اطلاعات نمونه آماری را به جامعه آماری تعمیم داد. برای استفاده از این الگوریتم به تعداد هر یک از خانوارها به تفکیک بعد در هر یک از نواحی نیاز است. با وجود این اطلاعات می‌توان از الگوریتم IPU برای ساخت جمعیت استفاده کرد. جهت ساخت مصنوعی جمعیت با الگوریتم IPU از نرم‌افزار پاپ‌جن استفاده شد. این نرم‌افزار در سال ۲۰۱۰ میلادی به صورت رایگان و منبع‌باز توسط دانشگاه آریزونا[۱۸] در ایالات‌متحده ارائه شد. هدف این است که تک‌تک این خانوارها و ویژگی‌های آن‌ها به صورت مصنوعی ساخته شود. برای این کار از یک سری ویژگی‌های کنترلی در هر ناحیه استفاده می‌شود. در سطح خانوار از متغیر بعد خانوار و در سطح افراد از متغیرهای گروه سنی، وضعیت اشتغال و جنسیت به عنوان متغیرهای کنترلی استفاده شد. پس از اجرای مدل، پاپ‌جن معیارهای تصویری و آماری برای کنترل کیفیت نتیجه خروجی ارائه داد. شکل (٦) به مقایسه توزیع متغیر خانوار و متغیرهای افراد در کلیه نواحی شهری، در دو حالت مشاهده شده و ساختگی پرداخته است.

همچنین برای هر ناحیه برای ارزیابی کیفیت نتایج خروجی از نظر آماری، از آماره P_value استفاده شد. با توجه به فرض صفر در مورد این مسئله که یکسان بودن توزیع ویژگی‌های جمعیتی در مشاهدات و جامعه ساختگی است، به جز چهار ناحیه ۳۰، ٢٤٦، ۲۵۷ و ۲۹۵ بقیه نواحی با درصد اطمینان ۹۵ درصد مقداری بیشتر از ۰,۰۵ داشته‌اند که نشان‌دهنده کیفیت قابل قبول نتایج خروجی است.

گروه سنی			
درصد خطا	جمعیت مصنوعی	جمعیت واقعی	کد
۱	۴۱۴,۱۹۱	۴۱۰,۷۰۲	۱
۳	۱۳۳,۹۴۵	۱۳۷,۳۹۳	۲
۱	۱۴۵,۲۰۹	۱۴۶,۹۷۷	۳
۱	۱۱۴,۵۶۲	۱۱۵,۲۶۵	۴
۳	۹۴,۵۱۰	۹۱,۴۵۴	۵
۰	۷۶,۶۵۸	۷۶,۷۵۷	۶
۰	۶۳,۸۰۴	۶۳,۵۲۳	۷
۱	۵۲,۸۹۹	۵۳,۴۱۳	۸
۱	۳۸,۴۳۴	۳۸,۸۵۶	۹
۰	۷۹,۹۶۶	۷۹,۸۳۸	۱۰

جنسیت			
درصد خطا	جمعیت مصنوعی	جمعیت واقعی	کد
۱	۶۲۰,۸۳۵	۶۱۵,۶۳۹	۱
۱	۵۹۳,۳۴۳	۵۹۸,۵۳۹	۲

اشتغال			
درصد خطا	جمعیت مصنوعی	جمعیت واقعی	کد
۱	۵۸۰,۴۴۶	۵۷۲,۸۴۷	۱
۱	۶۳۳,۷۳۲	۶۴۱,۳۳۱	۲

شکل ٦. درصد خطای متغیرهای جمعیت مصنوعی ساخته شده نسبت به جمعیت واقعی

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- تخمین مدل‌های انتخاب مکان مسکونی و اشتغال

قبل از تصمیم‌گیری درباره مدل نهایی انتخاب محل سکونت، متغیرهای مختلف بر روی مدل آزمایش شد، مدل‌های مختلفی ساخته شد و دقت نتایج با آماره‌های مربوطه بررسی شد. نکته حائز اهمیت در انتخاب متغیرها این مطلب بود که با اعمال سن سرپرست و سطح درآمد خانوارهای مختلف، تفاوت محسوسی در مقادیر سایر متغیرها حاصل می‌شد، که نشان‌دهنده این است که ترجیحات مکان‌های مسکونی بین گروه‌های سنی و درآمدی متفاوت است. نهایتاً خروجی مدل برتر انتخاب مکان مسکونی همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده است، شامل متغیرهای ارایه شده در جدول (۱) است که از لحاظ آماری در بازه اطمینان مطلوبی قرار دارد.

جدول ۱. گزارش تخمین پارامترهای مدل انتخاب محل سکونت

نام متغیرها (نماد در تابع)	برآورد	خطای استاندارد	درجه اطمینان
متوسط قیمت هر واحد مسکونی (AVU)	۱/۱۳e -٦	۱/۲٦e -٤	۰/۹۰
لگاریتم طبیعی زمان سفر تا مراکز تجاری شهر (CT)	-۰/۳۹٤	۰/۰۲۵	۰/۹۵
لگاریتم طبیعی تعداد مشاغل در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه (JWM)	۵/۵۹۰	۰/۱٦۱	۰/۹۵
لگاریتم طبیعی جمعیت در ناحیه (PZ)	۰/٤۰۷	۰/۰۳۱	۰/۹۵
نسبت قیمت واحد مسکونی به درآمد خانوار (PIR)	-۰/۵۱۸	۰/۰۰٤	۰/۹۵
چگالی مسکونی در ناحیه (RD)	-۱/۵۷۹	۰/۰۲۰	۰/۹۵
تعداد مشاهده‌شده: ٦۰۹۵			
ρ^2 : ۰/٤۲٦	LL (0) : - ۲۰۷۳۰/۲۹۸	LL : -۱۱۸۱۸/٤٦۹	

سرانجام مدل انتخاب مکان مسکونی خانوار، با استفاده از کل نمونه خانوار در قم تخمین زده شد. تمام ضرایب برآورد شده در این مدل به جز قیمت زمین از نظر آماری قابل‌توجه است. در این مدل پارامتر «جمعیت در هر ناحیه» از نظر آماری معنادار و مثبت است، که می‌توان اینچنین توضیح داد که اکثر خانوارهای قم دارای فرزند می‌باشند. خانوارهای دارای فرزند، مکان‌هایی را که تعداد جمعیت بیشتری دارند، ترجیح می‌دهند؛ زیرا جمعیت بیشتر نشانی از غلبه کاربری مسکونی در آن ناحیه است و درنتیجه سطح مطلوب‌تری از ایمنی و امکانات شهری نظیر مدارس، خدمات رفاهی و مراکز خرید و ... را در آن ناحیه می‌توان متصور بود که باعث افزایش مطلوبیت آن ناحیه می‌شوند؛ اما این افزایش جمعیت اگر باعث تراکم بیش از حد ناحیه شود (مانند نواحی متراکم شهرها و مناطقی که انبوه‌سازی باعث تراکم بالای مسکونی می‌شود)، چگالی بیش از حد مسکونی و درنتیجه چگالی بالای فعالیت‌های آن ناحیه باعث کاهش مطلوبیت می‌شود. علامت منفی ضریب «چگالی مسکونی ناحیه» تأکیدی بر وجود این مسئله در شهر قم است. «تعداد مشاغل در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه» یا به عبارتی دسترسی به اشتغال از نظر آماری معنی‌دار و علامت مثبت دارد. این نتیجه حاکی از آن است که فرصت شغلی عامل مهمی در تصمیم‌گیری انتخاب مکان مسکونی خانوار به ویژه برای گروه‌های جوان است. همچنین دسترسی به فرصت‌های شغلی می‌تواند به عنوان یک عامل مهم برای خانوارهای کم درآمد نسبت به خانوارهای پر درآمد در نظر گرفته شود. به این متغیر می‌توان به عنوان حلقه اتصال مدل‌های انتخاب محل سکونت و انتخاب محل اشتغال نگاه کرد. ضریب متغیر «متوسط قیمت هر واحد مسکونی» عددی کوچک ولی مثبت به دست آمده است. در نگاه اول سوالی مطرح است چرا، خریداران منطقاً باید خانه‌های ارزان‌تر را ترجیح دهند. علت این امر را باید در عوامل رفاهی دید. عواملی مانند کیفیت ساخت بنا، مدرن بودن طراحی ساختمان، مناظر و آب و هوای ناحیه مسکونی در انتخاب محل سکونت نقش دارند اما کمی کردن این متغیرها امری مشکل است. لذا این عوامل که باعث افزایش قیمت واحد مسکونی می‌شوند، در فرایند مدل‌سازی خود را در قالب قیمت واحد مسکونی نشان می‌دهند. درنتیجه گروه خانوارهای با درآمد بالا تمایل دارند با وجود قیمت بالای زمین، خود را در محله‌هایی با محیط زندگی بهتر و امکانات رفاهی قرار دهند. در مقابل، گروه کم درآمدتر مکان‌های مسکونی را در مناطقی که قیمت زمین پایین است ترجیح می‌دهد. ضریب متغیر «زمان سفر تا مراکز تجاری شهر» که در ارتباط با دسترسی و سیستم حمل‌ونقل است، علامت منفی دارد که قابل انتظار بود. چراکه خانوارها تمایل به دسترسی بهتر به مراکز تجاری شهر جهت خرید، تفریح و کارهای اداری که مراکز آن معمولاً از سال‌های قبل در مرکز شهر بنا شده است دارند. اثر قیمت بر روی گزینه‌های محل سکونت را می‌توان با «نسبت هزینه مسکن به درآمد» در نظر گرفت و مطابق انتظار مقدار منفی برای این متغیر حاکی از آن است که خانوارها در تمامی گروه‌های سنی و درآمدی ترجیح می‌دهند بخش کمتری از درآمد خود را برای مسکن هزینه کنند. به عبارتی هر چه نسبت قیمت واحد مسکونی به درآمد خانوار کمتر باشد، مطلوبیت آن واحد مسکونی برای خانوار بیشتر خواهد بود.

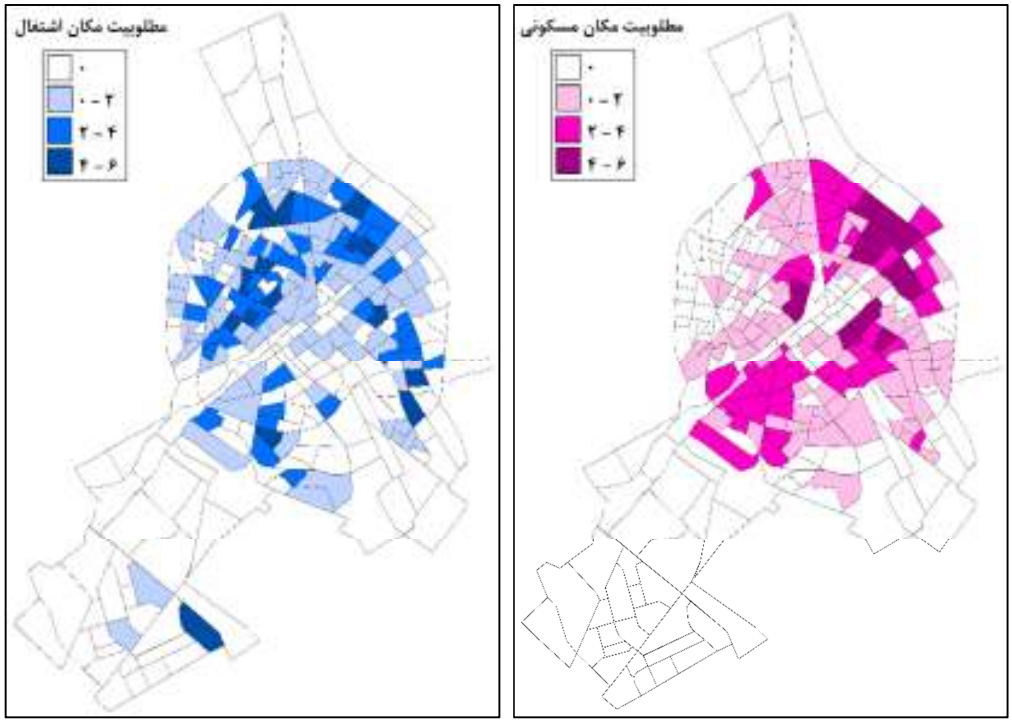
جدول ۲. گزارش تخمین پارامترهای مدل انتخاب محل اشتغال

نام متغیرها (نماد در تابع)	برآورد	خطای استاندارد	درجه اطمینان
لگاریتم طبیعی متوسط درآمد خانوارهای ساکن در ناحیه (AHI)	۰/٤۳۱	۰/۰۱۵	۰/۹۵
لگاریتم طبیعی متوسط قیمت هر واحد (AVU)	-۰/٤۰۵	۰/۰۱٤	۰/۹۵
لگاریتم طبیعی چگالی اشتغال در ناحیه (JD)	۰/۵٦۸	۰/۰۰۵	۰/۹۵
لگاریتم طبیعی تعداد مشاغل در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه (JWM)	۰/۲۲۰	۰/۰۱٤	۰/۹۵
لگاریتم طبیعی سطح کاربری غیرمسکونی (NRSF)	۰/۰۹۱	۰/۰۱۲	۰/۹۵
تعداد شاغلین ساکن در ناحیه (WZ)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۹۵
تعداد مشاهده‌شده: ۳۵۲٦٦			
LL : -۱۰٤۲۳۸/۸٦٦			
LL (0) : - ۱۱۹۹٤٦/٦۲۷			
ρ^2 : ۰/٤۸۳			

مدل انتخاب محل اشتغال نیز الگوریتمی مشابه با مدل انتخاب محل سکونت دارد و وظیفه انتخاب محل اشتغال برای مشاغل اضافه‌شده یا جابجا شده در سال شبیه‌سازی را بر عهده دارد. مشابه بالا برای این مدل نیز از متغیرهای مختلفی استفاده شد و چندین مدل ساخته شد. نهایتاً خروجی مدل برتر انتخاب مکان اشتغال همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، شامل متغیرهای ارایه شده در جدول (۲) است که از لحاظ آماری در بازه اطمینان مطلوبی قرار دارد. سرانجام مدل انتخاب مکان اشتغال خانوار، با استفاده از کل نمونه خانوار درشهر قم تخمین زده شد. علامت مثبت ضریب «متوسط درآمد خانوارهای ساکن در ناحیه» بدین معنی است که هرچه متوسط درآمد خانوارهای ساکن در یک ناحیه بیشتر باشد، مطلوبیت آن ناحیه برای کاربری غیرمسکونی بیشتر خواهد بود. به عبارتی دیگر متوسط درآمد بیشتر ساکنین ناحیه به معنای قدرت پرداخت بیشتر مشتریان و درنتیجه سود بیشتر است. در مورد کاربری‌های صنعتی و معمولاً خدماتی چنین رابطه‌ای برعکس است؛ چراکه همین خانوارهای با درآمد پایین نیروی کار این مشاغل هستند. به هر حال به دلیل کمبود اطلاعات، مشاغل به صورت همفزون مدل شده‌اند و به نظر می‌رسد در این بخش قدرت جهت‌دهی بخش خرده فروشی بیش از بخش‌های صنعتی و خدماتی بوده است. بر اساس نتایج ضریب متغیر «متوسط قیمت هر واحد» عددی منفی به دست آمده است. این را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که کارفرمایان و شاغلین منطقاً باید محل‌هایی ارزان‌تر را برای انتخاب شغل ترجیح دهند. به عبارتی دیگر محل‌هایی که از مرغوبیت مسکونی بالا برخوردار هستند هزینه‌های زیادی را برای انتخاب به عنوان مکان شغل به دنبال دارند که این مطلب صرفه اقتصادی ندارد. متغیرهای «چگالی اشتغال در ناحیه» و «سطح کاربری غیرمسکونی» از نظر آماری معنادار و مثبت هستند. این متغیرها به موضوع انباشتگی مشاغل هم‌رده و تمایل آن‌ها به انتخاب مکان شغل در نزدیکی یکدیگر اشاره دارد. علامت مثبت ضریب متغیر «تعداد مشاغل در فاصله زمانی ۱۵ دقیقه» به معنای تمایل به انتخاب شغلی که در نزدیکی محل سایر مشاغل است. به این متغیر می‌توان به‌عنوان حلقه اتصال مدل‌های انتخاب محل سکونت و انتخاب محل اشتغال نگاه کرد. معنی علامت مثبت متغیر «تعداد شاغلین ساکن در ناحیه» بدین‌صورت است که جمعیت در ناحیه‌ای ساکن و به دنبال محل اشتغال مناسب می‌گردد و محل اشتغال نزدیک‌تر به محل سکونت مطلوبیت بیشتری خواهد داشت.

۲-۳- مطلوبیت و احتمال انتخاب مکان‌های مسکونی

در این تحقیق مکان‌های مسکونی و اشتغال در یک ناحیه ترافیکی با استفاده از تابع مطلوبیت تجسم شده است. بر اساس نتایج برآورد مدل نهایی، از مدل مطلوبیت برای توضیح تصمیمات در مورد انتخاب محل سکونت و اشتغال خانوار بهره گرفته شد. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، نواحی با مطلوبیت بالا در مرکز شهر قم و یا در شمال این شهر (نزدیک به مسیرهای شریانی) توزیع می‌شوند. مدل انتخاب محل سکونت و اشتغال، احتمال پیش‌بینی اینکه یک خانوار یک ناحیه خاص را انتخاب کند، پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۷. مطلوبیت مکان مسکونی و اشتغال در سال ۱۳۹۵ شهر قم

به طور کلی هرچه میزان مطلوبیت یک مکان مسکونی یا شغلی بیشتر باشد، احتمال انتخاب توسط هر خانوار بیشتر است. برای محاسبه احتمال، چند شرط از جمله تعداد واحدهای مسکونی یا شغلی در نظر گرفته شد. به عنوان مثال اگر یک ناحیه واحدهای مسکونی خالی نداشته باشد، اگرچه مطلوبیت محل سکونت آن بسیار زیاد است، احتمال آن به عنوان یک انتخاب مکان مسکونی بسیار پایین خواهد بود؛ بنابراین، لازم است که تعداد واحدهای خالی کاربری مسکونی غیرمسکونی در هر ناحیه محاسبه شود. اگرچه وجود چنین واحدهایی در همه شهرها بدیهی است ولی اطلاعی از میزان دقیق این نرخ در بسیاری از شهرها، حتی در کشورهای توسعه‌یافته نیز وجود ندارد. به عنوان مثال در پروژه‌هایی که در شهرهای بروکسل و پاریس انجام شد از فرض‌های ساده‌ای جهت تعیین این نرخ استفاده شد که در این تحقیق نیز به دلیل رایج بودن این فرض ها، از آن‌ها استفاده شد. نرخ جای خالی برای کاربری مسکونی برابر ۰/۰۵ و برای کاربری غیرمسکونی برابر ۰/۱ در نظر گرفته شد. برای سال‌های شبیه‌سازی نرخ جای خالی در پایان هر سال به‌روز می‌شود. اگر تعداد خانوارها و مشاغل از تعداد واحدها بیشتر باشد، محاسبه احتمال انتخاب مکان مناسب غیرممکن است. درنتیجه نواحی که دارای واحدهای مسکونی خالی هستند، اهداف محاسبه احتمال انتخاب مکان‌های مسکونی بودند. در مقایسه بین الگوهای مطلوبیت و احتمال در انتخاب مکان‌های مسکونی و اشتغال خانوار، این دو الگوی کاملاً متفاوت هستند. مرکز شهر قم دارای مطلوبیت بالایی است اما احتمال محل استقرار در آن بسیار کم است. یکی از دلایل این امر این است که اگرچه این منطقه فرصت مناسبی برای اشتغال و دسترسی خوب فراهم می‌کند اما واحدهای کافی را برای خانوارها فراهم نمی‌کند؛ بنابراین خانوارهایی که می‌خواهند در این مکان زندگی کنند، نمی‌توانند مکان مناسب را در مرکز قم پیدا کنند. بنابراین تفاوت الگوهای مکانی مطلوبیت و احتمال، اجرای سیاست‌های مسکن را نشان می‌دهد که ناحیه می‌تواند مکان خوبی برای توسعه آبادانی یا بازآفرینی شهری باشد.

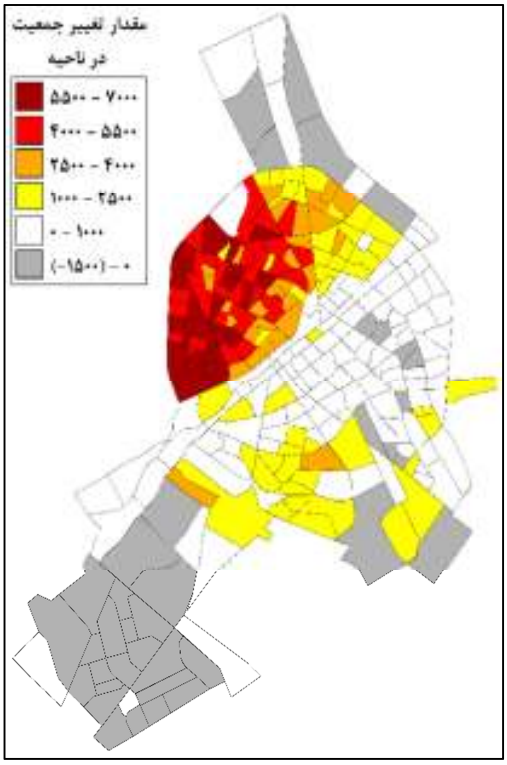
۳-۳- شبیه‌سازی انتخاب‌های محل سکونت

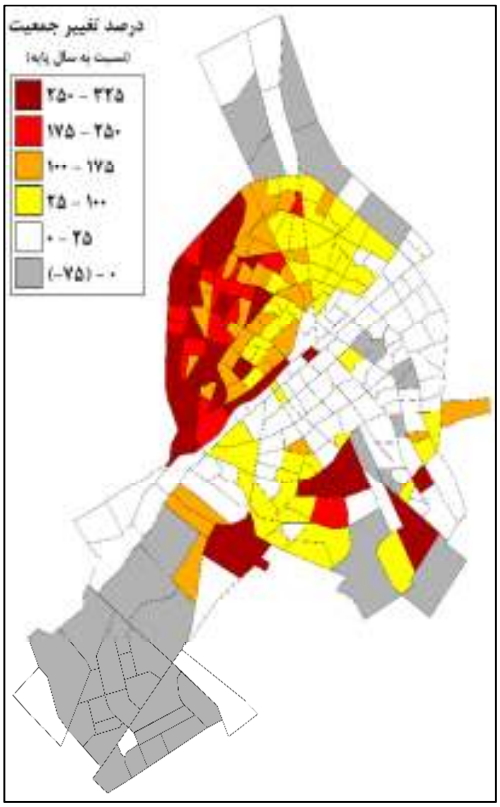
برای پیش‌بینی تغییر مکان‌های مسکونی هر خانوار، از روش انتخاب در مدل انتخاب مکان "اربن‌سیم" استفاده شد. این مدل مطلوبیت هر مکان مسکونی یا شغلی و احتمال انتخاب مکان‌های مسکونی یا شغلی را محاسبه می‌کند. در این فرایند، خانوارها فقط می‌توانند نواحی را که دارای مسکن خالی هستند

انتخاب کنند. با این وجود تعداد گزینه‌ها تعداد کل واحدهای موجود است که یک مجموعه انتخابی بسیار بزرگ را ایجاد می‌کند. در این پژوهش به دلیل تعداد بالای گزینه‌ها، برای هر خانوار یک نمونه تصادفی شامل ۳۰ گزینه از انواع کاربری به منظور اجرای مدل انتخاب شد. در مورد قم، جمعیت در چند دهه گذشته رو به افزایش است؛ بنابراین بر اساس آمار جمعیت در قم و مدل‌های پیش‌بینی تعداد جمعیت، از مدل تحولات جمعیتی و اقتصادی در اربن‌سیم استفاده شد که برای اضافه کردن تعداد ساکنین و شاغلین طراحی شده است. همچنین از مدل جابجایی خانوار و اشتغال که برای تعیین میزان تحرکات خانوارها و شاغلین است، نیز استفاده شد. پس از آن، مکان انتخاب مسکونی خانوارها و مشاغل برای دوره بیست ساله شبیه‌سازی شد و نتایج آن با تغییر واقعی جمعیت و اشتغال در مدت مشابه مقایسه شد.

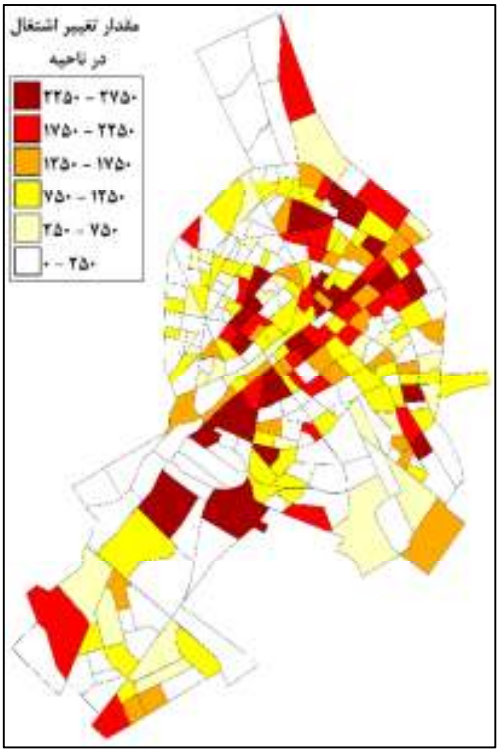
دلیل انتخاب چنین دوره‌های زمانی برای شبیه‌سازی، این است که اطلاعات و داده‌های محدودی برای پیش‌بینی تغییرات موجود بود. با این وجود، این تحقیق می‌تواند یک نقطه شروع برای ایجاد مدل‌هایی که تغییرات مکان مسکونی و اشتغال خانوار را در یک سطح خرد در بازار مسکن محلی در کلان‌شهرهای کشور پیش‌بینی می‌کند، باشد.

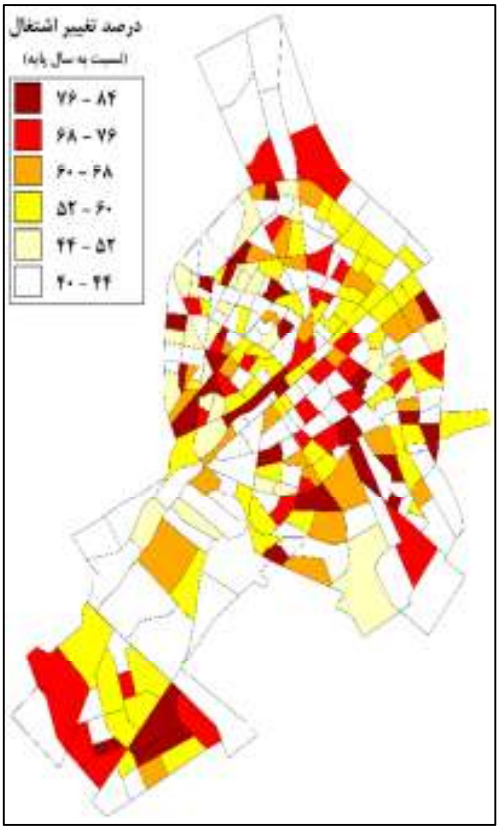
همان‌طور که در شکل (۸) و شکل (۹) مشاهده می‌شود، تعداد اندکی از خانوارهایی که در مرکز شهر قم زندگی می‌کنند، به مناطق دیگر نقل‌مکان کرده‌اند؛ در حالی که بسیاری از خانوارها به محل‌های شمال شرقی شهر (مناطق ۲ و ٦) که دارای آپارتمان‌های تازه ساخته و از لحاظ متراژ معمولاً کمتر از ۹۰ متر است، نقل‌مکان کردند. علاوه بر این نواحی در نزدیکی راه‌های شریانی هستند که این الگوی توضیح می‌دهد که چه تعداد از خانوارها تمایل دارند هنگام انتخاب مکان‌های مسکونی خود، دسترسی خوبی را در نظر بگیرند. هنگام مقایسه الگوهای جابجایی بین خانوارهای پر درآمد و خانوارهای کم درآمد، هر دو گروه درآمدی تمایل دارند به مکان‌هایی منتقل شوند که احتمال بالایی از انتخاب مکان‌های مسکونی دارند؛ اما با این حال، دو گروه درآمدی الگوهای جابجایی متفاوتی را نشان می‌دهند. خانوارهای پردرآمد بیشتر در نواحی نزدیک به مرکز شهر قم توزیع می‌شوند، در حالی که خانوارهای کم درآمد در بخش‌های حاشیه‌ای شهر قم توزیع می‌شوند.





شکل ۸ نحوه پراکندگی جمعیت در نواحی مختلف در سال ۱۴۱۵

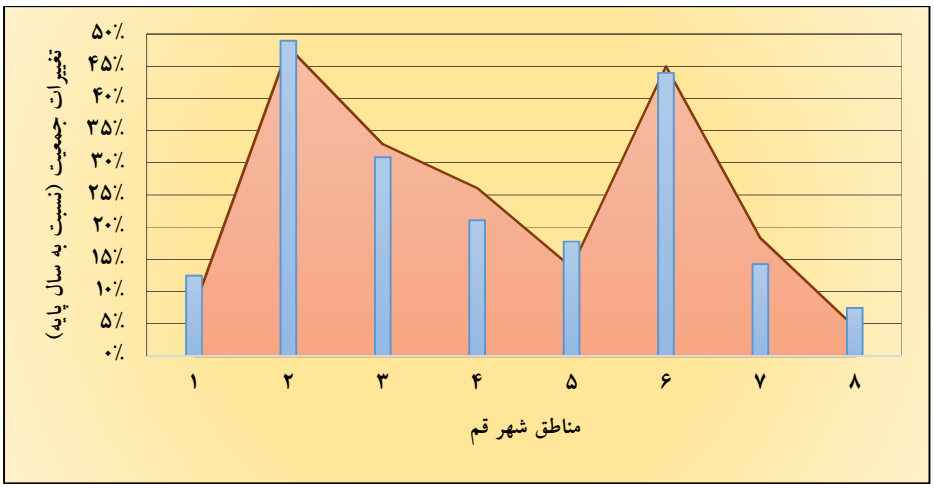




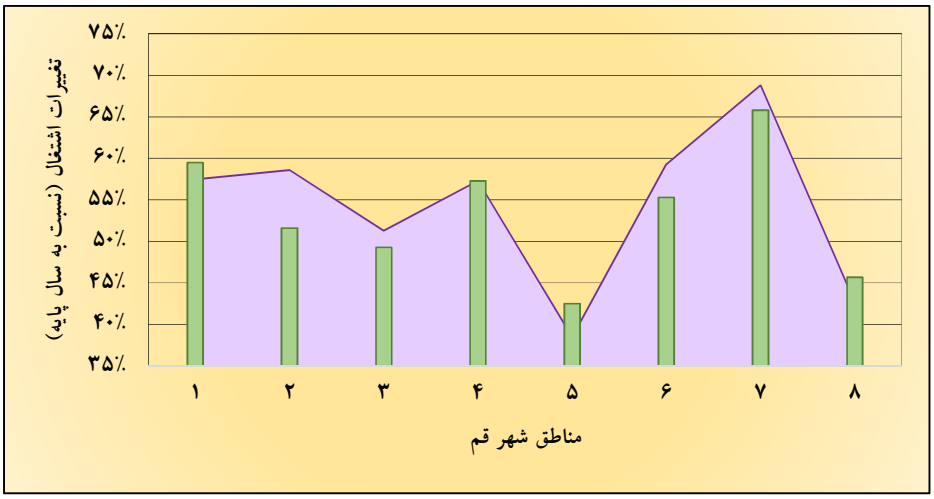
شکل ۹. نحوه پراکندگی اشتغال در نواحی مختلف در سال ۱٤۱۵

همان‌طور که پیش‌تر در نتایج برآورد بیان شد، این موضوع ممکن است با این واقعیت توضیح داده شود که آن‌ها ترجیحات مختلفی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مکان‌های مسکونی دارند. خانوارهای با درآمد بالا دسترسی را در نظر نمی‌گیرند اما در هنگام تصمیم‌گیری در انتخاب مکان قیمت بالای زمین که نشان از امکانات رفاهی است را ترجیح می‌دهند؛ در حالی که خانوارهای کم درآمد اولویت‌هایی برعکسی را در نظر می‌گیرند، که این امر ضرورت توسعه استراتژیک مسکن برای خانوارهای کم درآمد را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تغییرات افزایشی شغل بیشتر در نواحی نزدیک به مرکز رخ می‌دهد که این امر نشان‌دهنده این مطلب است که مرکز تجاری قدیمی شهر که در حوالی حرم مطهر حضرت معصومه (س) است همچنان نیز مطلوبیت بالایی برای مشاغل دارد (به خصوص کاربری تجاری که قالب مشاغل است). دلیل این حفظ نزدیکی با شغل‌های هم‌رده که باعث دسترسی بیشتر، کاهش زمان ارتباطی و رونق بیشتر می‌شود.

برای تأیید مدل، نتایج شبیه‌سازی با تغییرات واقعی جمعیت مقایسه شد. به دلیل کمبود اطلاعات در مورد جمعیت و مشاغل در سطح خرد، تمام خروجی‌های مدل شده بر روی مناطق همفزون می‌شوند. همان‌طور که در شکل (۱۰) و شکل (۱۱) نشان داده شده است، نتایج شبیه‌سازی بسیار شبیه به تغییرات پیش شده توسط مرجع رسمی مرکز آمار ایران است، اگرچه جمعیت تخمین زده شده در برخی مناطق کمی متفاوت از پیش‌بینی مرکز آمار است. همان‌طور که قبلا ذکر شد، شبیه‌سازی به دلیل کمبود اطلاعات مانند عرضه دقیق واحدهای مسکونی جدید، تفکیک انواع مشاغل، ویژگی‌های اقتصادی اجتماعی کامل خانوار (مثل درآمد و قیمت مسکونی) و همچنین فرض ساده برای برخی متغیرها مانند نرخ جای خالی، یکی از توضیحات احتمالی برای اختلافات جزئی است. با این وجود، این نتایج هنوز با درصد اطمینان قابل قبولی پیش‌بینی‌ها را ارائه می‌دهند.



شکل ۱۰. مقایسه نتایج شبیه‌سازی جمعیت با پیش‌بینی سازمان آمار برای قم، ۱۴۱۵-۱۳۹۵



شکل ۱۱. مقایسه نتایج شبیه‌سازی اشتغال با پیش‌بینی سازمان آمار برای قم، ۱۴۱۵-۱۳۹۵

٤- نتایج تحقیق

در این پژوهش متغیرهای مختلفی که در انتخاب محل سکونت و اشتغال نقش داشتند مورد بررسی قرار گرفته و با تمرکز بر نقش سیستم حمل‌ونقل که یکی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار در ادبیات برنامه‌ریزی شهری است، به توضیح الگوی توسعه شهری پرداخته شد. متغیرهایی که تأثیر آن‌ها بر انتخاب محل سکونت و اشتغال در این تحقیق مشخص شده است، شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. زمان سفر تا مرکز تجاری شهر، ۲. قیمت املاک و مستغلات، ۳. متوسط درآمد خانوارهای هر ناحیه، ٤. درآمد خانوار تصمیم‌گیرنده درباره انتخاب محل سکونت، ۵. تراکم مسکونی در ناحیه، ٦. تراکم جمعیتی در هر ناحیه، ۷. تراکم اشتغال در هر ناحیه، ۸. میزان دسترسی به مراکز اشتغال از نواحی مسکونی، ۹. تعداد نیروهای شاغل در هر ناحیه و ۱۰. میزان قابل توسعه و رشد برای هر کاربری. در این پژوهش سعی بر توضیح فرایند انتخاب محل سکونت و اشتغال، با حداکثر دقت ممکن و با اطلاعات در دسترس و منابع مالی و زمانی موجود برای محققین بوده است. با توجه به نسبی بودن این محدودیت‌ها و تجارب به دست آمده در ساخت مدل یکپارچه حمل‌ونقل و کاربری زمین موارد زیر به عنوان پیشنهادهایی جهت توسعه این مدل‌ها ارائه می‌شود:

- جهت دقیق‌تر و نزدیک‌تر شدن نتایج به واقعیت، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی ویژگی‌های اقتصادی – اجتماعی خانوار مانند درآمد، قیمت واحد مسکونی و ... به صورت دقیق و مداوم برای هر سال، در بازه زمانی ۱۰ ساله برداشت شود.
- برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود در صورت وجود منابع کافی می‌تواند در همین چارچوب اقدام به ساخت مدل‌های ناهمفزون با جزئیات بیشتر نمود.

- در صورت امکان استفاده از رویکرد ناهمفزون برای مدل‌های کاربری زمین، پیشنهاد می‌شود برای ساخت مدل‌های حمل‌ونقل نیز از مدل‌های ناهمفزون فعالیت مبنا به جای مدل‌های همفزون چهار مرحله‌ای استفاده شود زیرا تخمین دقیق‌تری از تقاضای آینده در اختیار خواهد بود.
- در تحقیقات بعدی اطلاعات مربوط به مشاغل با تفکیک به بخش‌های مختلف مانند صنعتی، تجاری، اداری و ... تقسیم شوند، زیرا به بهبود دقت مدل‌ها و نتیجه خروجی آن‌ها کمک شایانی خواهد کرد.
- پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده نحوه حمل‌ونقل عمومی برای پیش‌بینی توسعه شهرهای کوچک و متوسط اعمال شود و اثر روند توسعه حمل‌ونقل همگانی و عدم قطعیت آن در مدل اعمال شود.
- در تحلیل عدم قطعیت مدل، برای منعکس کردن متغیرهای اطلاعات ورودی مدل و تغییرات پارامترها، ضریب تغییر آن‌ها، نسبتاً ساده فرض شده است و پیشنهاد می‌شود در آینده مقدار ضریب تغییر را مورد بررسی قرار گیرد تا دقیق‌تر نمایانگر عدم قطعیت اطلاعات ورودی مدل باشد.
- مؤلفه‌های محیطی و تأثیرات آن در انتخاب مکان برای شبیه‌سازی مانند تغییر پوشش زمین، تقاضای آب و ... در تحقیقات آینده لحاظ گردد.
- پیشنهاد می‌شود به جای استفاده از نرم‌افزار جداگانه (پاپ‌جن) برای میکرو شبیه‌سازی فرآیندهای جمعیت شناختی (تغییر خانوار)، به صورت یکپارچه در نرم‌افزار برنامه‌نویسی شود تا امکان بروز خطا به حداقل برسد.

نهایتاً یادآوری این نکته ضروری است که اجرای مدل‌های یکپارچه کاربری زمین و حمل‌ونقل برای پیش‌بینی آینده در این تحقیق با سناریوی عدم انجام کار و حفظ روند موجود و همچنین سیستم موجود حمل‌ونقل صورت گرفته است. بدیهی است که این مدل با همین چارچوب قادر به ارزیابی سایر سناریوها و ارزیابی سیاست‌های مختلف مدیریتی قابل اعمال به محیط شهری هست.

٥- پی‌نوشت‌ها

1- MetroScan
2- ITLUP
3- Waddell
4- Eugene-Springfield
5- Patterson
6- Brussels
7- Mercier
8- Paris
9- MOSART
10- Su
11- Hensher
12- Ma
13- Iterative Proportional Updating
14- Land price model
15- The real state development
16-Economic & Demographic Transition model
17- Household location choice model
18- University of Arizona

٦- مراجع

-Hensher. D and Ellison. R., (2017), "Endogenous treatment of residential location choices in transport and land use models: Introducing the MetroScan framework", Journal of Transport Geography, Vol. 64, pp. 120–131.

-Kockelman. K, Kakaraparthi. S, (2011), "Application of UrbanSim to the Austin, Texas, Region: Integrated-Model Forecasts for the Year 2030", Journal of Urban Planning and Development, Vol. 137, No.3.

-Lochl. M., Axhausen. W., (2010), "Modeling hedonic residential rents for land use and transport simulation while considering spatial effects", The Journal of Transport and Land Use, Vol. 3 No. 2, pp. 39-63.

-Ma. S., Zhang. Y. & Sun. C., (2019), "Optimization and Application of Integrated Land Use and Transportation Model in Small- and Medium-Sized Cities in China", Sustainability, Vol. 11, No. 9.

-Mercier. A., Kryvobokov. M, Bonnafous. A & Bouf D, (2013), "Simulating housing prices with UrbanSim: predictive capacity and sensitivity analysis", Letters in Spatial and Resource Sciences, Vol. 6, pp. 31-44.

-Park. W, (2014), "Analysis of residential location preference factors by characteristics of households in the case of Gyeongbuk households." Journal of the Economic Geographical Society of Korea, Vol. 17, pp. 702–717.

-Patterson. Z, Bierlaire. M, Kryvobokov. M & Marchal F., (2010), "Disaggregate models with aggregate data: Two UrbanSim applications", The Journal of Transport and Land Use, Vol. 3 No. 2, pp. 5-37.

-Su. H, Wu. J & Tan. Y, (2014), "A land use and transportation integration method for land use allocation and transportation strategies in China", Transportation Research Part A, Vol. 69, pp. 329–353.

-Waddell. P., (2002), "UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning", Journal of the American Planning Association, Vol. 68 No. 3, pp. 297-314.

-Waddell. P, Wang. L., Charlton, B & Olsen. A., (2010), "Micro simulating parcel-level land use and activity-based travel", The Journal of Transport and Land Use, Vol. 3 No. 2, pp. 65-84.

Integrated Transportation and Land Use Modeling by Using Simulation Methods (Case Study: Qom)

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Mahmoud Ahmadinejad, Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Navid Kalantari, Ph.D., Grad., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Alireza Najafinegad, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: September 2020-Accepted: January 2021

ABSTRACT
These days, many researchers and planners pay a lot of attention to the mutual relations as a common border between transportation planning models and land use models. The impacts of land use patterns in trip generation and trip distribution are of high significance. Using integrated land use and transportation models causes the possibility for forecasting different areas' development, changes in trips patterns in traffic zones and also provides more precise predictions and reduces errors. These scenarios may contain different control policies, strategic projects and developing infrastructures. Therefore, in this research, a pattern of location choice for living and working with following goals has been provided by using discrete choice model in Urbansim software for Qom city: providing an integrated transportation and land use model regarding land price and people behaviors, analysis of different effective factors in location choice for living and working to predict the changes in locations, calculating the effects of local house pricing policies on transportation. For conducting this research, effective variables have been identified and different social and economic information were gathered from authorities and governmental organizations. At the next step, according to the base year information, the processes of making models and calibration have been done and all land use models and sub models were made. It is followed by evaluating based on unused data and finally presenting a set of integrated models in order to recognizing population and job distribution in the horizon year. Results show that accessibility between traffic zones, economic and social variables such as income, number of people in each family, car ownership and land price are important factors in determining living and working locations in Qom. Furthermore, people in different age groups with different income have various priorities for their living and working locations.

Keywords: Accessibility, Land Use, Location Choice, Discrete Choice Models, Urbansim