

بررسی مدل سازی یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین در شهرها، مورد مطالعه کلانشهر شیراز

حیدر عباسی

دانشجوی دکتری شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پویان شهابیان^۱

استادیار گروه شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳ تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴

چکیده

جدا بودن فرآیند تصمیم‌گیری حمل و نقل و کاربری زمین و مسایل و مشکلات ناشی از آن، از چالش‌های بسیار مهم شهرسازی در ایران می‌باشد. از اثرات جدا بودن فرآیند تصمیم‌گیری برای حمل و نقل و کاربری زمین می‌توان به افزایش مالکیت خودرو، افزایش مسافت سفر، آلودگی صوتی و آلودگی هوا، مسایل و مشکلات زیست محیطی و ... اشاره نمود. با در نظر گرفتن این مسایل مقاله حاضر یافته‌های یک تحقیق تجربی جهت مدل‌سازی یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین را بیان نموده است. در این راستا ابتدا به بررسی فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل و کاربری زمین پرداخته شده و مدل‌های استفاده شده در هر دوره مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین رویکردهای سفر در قالب دو رویکرد مبتنی بر سفر و مبتنی بر فعالیت بیان شده است. مدل اوربانسیم به عنوان مدل مورد مطالعه این مقاله انتخاب شده و بخش‌هایی از مناطق یک و شش کلان شهر شیراز به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است. جهت دستیابی به داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی از سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، مطالعات طرح جامع حمل و نقل شیراز، نقشه‌های GIS طرح تفصیلی شیراز و همچنین پرسشنامه استفاده شده است. تعداد پرسشنامه‌های تکمیل شده، ۳۶۰ پرسشنامه می‌باشد. تحلیل‌ها و مدل‌سازی‌های انجام شده با نرم افزار اوربانسیم در قالب مدل‌های قیمت بازار مسکن، مدل انتخاب مکان خانوارها و مدل انتخاب مکان شرکت بیانگر تاثیر مستقیم متغیر دسترسی پذیری و مساحت بر قیمت واحدهای مسکونی، انتخاب محل سکونت و شرکت (اشتغال) می‌باشد.

کلمات کلیدی: یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین، مدل سازی، اوربانسیم، رویکردهای سفر

مقدمه

از عوامل اصلی رشد شهرهای بزرگ دنیا، بهبود در حرکت است که توسط سیستم حمل و نقل شهری ایجاد شده است. تمرکز فضایی نیز با پیشرفت تکنولوژی ایجاد شده است. با این حال بسیاری از مشکلات شهری از جمله تراکم، آلودگی هوا و بازار کار پراکنده از اثرات حمل و نقل می باشد. بخش حمل و نقل سهم بسیار زیادی در تولید دی اکسید کربن دارد. به ویژه با پیش بینی‌های انجام شده در خصوص افزایش مالکیت خودرو در آینده این سهم افزایش خواهد یافت. اخیراً تحقیقات مربوط به حمل و نقل معطوف به الگوهای توسعه سفرهای شهری پایدار با اعمال نفوذ نوآوری حمل و نقل و تعاملات آن با الگوهای رشد شهری و کاربری زمین است. سرمایه گذاری و نوآوری حمل و نقلی نه تنها موجب تغییر عملکرد شبکه حمل و نقلی می شود بلکه دارای اثرات موج وار در الگوهای سفر خانوارها و فعالیت و توسعه کلی شهر است که می بایست به دقت در پژوهش‌های مربوط به تعامل حمل و نقل و کاربری زمین مورد ارزیابی قرار گیرد. در عین حال غلبه بر محدودیت‌های زیست محیطی تحمیل شده در اثر تغییرات آب و هوایی نیازمند ترکیبی از روش‌ها در مقیاس‌های مختلف است.

تلاش‌ها برای ایجاد و توسعه مدل‌های بزرگ مقیاس شهری در شبیه سازی ارتباطات میان کاربری زمین و حمل و نقل و فعالیت‌های مرتبط در یک منطقه شهری به دهه ۱۹۵۰ برمی گردد. در حالی که نیاز به مدل یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین به خوبی درک شده است، هنوز چارچوبی برای یکپارچه سازی رفتارهای فعالیتی خانوارها با انتخاب محل سکونت آن‌ها، میان الگوی زندگی طولانی مدت و تصمیم گیری‌های جابجایی و حرکتی، انجام نشده است. چارچوب‌های مفهومی در اغلب مدل‌های فعالیت محور عمدتاً به مدل سازی رفتار سفر و تقاضای سفر پرداخته و تحلیل‌های مربوط به محل سکونت و کاربری زمین در این چارچوب‌ها مغفول مانده است.

زمین حمل کننده تولید و زندگی بشریت است و تغییر ساختار، حالت و پویایی آن، کارکرد کل شهر را تحت تاثیر قرار می دهد. ظرفیت زمین، تشدید استفاده از زمین و پیچیدگی ساختار زمین همگی مواردی هستند که می بایست در برنامه‌ریزی شهری مورد توجه قرار گیرند. حمل و نقل به عنوان اسکلت کارکردی شهر بوده و عمیقاً توسعه پایدار شهر را تحت تاثیر قرار می دهد. از این رو یکپارچه سازی توسعه حمل و نقل و کاربری زمین، مورد تمرکز و توجه برنامه‌ریزان شهری است (Ma et al., 2019:6).

به طور سنتی اغلب مدل‌های کاربری زمین، ارتباط بین حمل و نقل و کاربری زمین را به صورت جداگانه و اغلب در قالب دسترسی پذیری مطالعه می کنند. در مطالعات اخیر، دسترسی پذیری عمدتاً محدود به دسترسی به محل اشتغال و سفرهای کاری، شده است. این در حالی است که دسترسی به محل‌های دیگر غیر از اشتغال، از عوامل موثر بر انتخاب محل سکونت است. بنابراین یک روش مبتنی بر فعالیت در تلاش برای تغییر الگوهای سفر و سکونت در راستای استفاده از حمل و نقل هوشمند و تغییر محدودیت‌های انرژی و محیطی در الگوهای توسعه و کاربری زمین در آینده ضروری است.

مساله اصلی تحقیق حاضر را می توان جدا بودن فرآیند تصمیم گیری در خصوص سیستم های حمل و نقل و کاربری زمین و پراکندگی بازار کار، افزایش مالکیت و استفاده از اتومبیل شخصی، افزایش مصرف انرژی و آلودگی هوا و صدا، افزایش مسافت سفرها، افزایش مسایل و مشکلات زیست محیطی و ... در نتیجه آن دانست. بر این اساس و در راستای کشف و تبیین نقش عوامل موثر بر تغییر الگوی رفتار سفر خانوارها، بر اساس مدل یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین، پژوهش حاضر به دنبال مدل سازی یکپارچه سازی سیستم های حمل و نقل و کاربری زمین، در جهت کاهش اثرات منفی تصمیم گیری های حمل و نقلی و کاربری زمین به صورت جداگانه و سنتی و حرکت در چارچوب محورهای توسعه پایدار شهری است.

علاقه به مدل سازی کاربری زمین در دوره های مختلف به شکل های مختلف بوده است.

پس از اوج علاقه در دهه ۱۹۶۰، ۱۹۸۰ و ۲۰۰۰ علاقه مندان به مدل سازی یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین در اوج قرار گرفتند. مدل سازی شهری، از اواخر دهه ۱۹۶۰ و آغاز دهه ۱۹۷۰ و از ایالات متحده به سمت انگلستان اشاعه یافت. در سال ۱۹۷۳، مقاله لی برای مدل های بزرگ مقیاس شهری چاپ شد و مدل های تعاملی حمل و نقل و کاربری زمین را به دلیل برآورده نکردن اهداف مورد انتظار، مورد انتقاد قرار داد و توجه ها را به سمت استفاده از متدهای جایگزین که در پاسخگویی به سوالات مفید اجتماعی، ساده تر و کارتر باشند، سوق داد. نتیجه گیری های او، محققان در زمینه یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین را تحت تاثیر قرار داد و منجر به کاهش فعالیت آنها در این زمینه شد. عقب نشینی علمی در دهه ۱۹۹۰ ممکن است مربوط به بحث در مورد اینکه آیا بازار آزاد، الگوهای کاربری زمین مطلوب را ایجاد می کند یا نه، اتفاق افتاده باشد. حداقل نگرانی های مربوط به اثرات زیست محیطی رشد بی رویه شهرها، منجر به علاقه جدید در مدل سازی یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین شد.

مدل کلان شهری لاوری (۱۹۶۴)، اغلب به عنوان اولین مدل کامپیوتری برای یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین شناخته می شود. لاوری، تئوری تعامل فضایی را با تئوری اقتصاد پایه ترکیب نمود. این مدل ترکیبی از یک نظریه اقتصادی با یک نظریه فضایی در راستای تدوین مدل عملیاتی متعادل برای پیش بینی های برنامه ریزی است (Cordera et al., 2018).

از اواخر دهه ۱۹۷۰ و در طی دهه ۱۹۸۰ تحقیقات در خصوص استفاده از مدل های ^۱ LUTI در راستای توسعه آن ادامه یافت. کار انجام شده در دانشگاه پنسیلوانیا توسط پوتمندر سال ۱۹۸۳، منجر به توسعه مدل یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین (ITLUP^۲) شد که با توسعه مدل لاوری و شکستن مدل به دو قسمت بزرگ شامل (۱) مدل محل سکونت (DRAM) و (۲) مدل محل کار (EMPAL) همراه بود (Lacono et al., 2008).

به طور منطقی می توان گفت که دهه های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ دوره تثبیت مدل های شهری بوده اند. در دهه ۱۹۸۰ پیشرفت های قابل توجهی در زمینه فناوری اطلاعات و داده های دیجیتال اتفاق افتاد که موجب ارائه مدل های یکپارچه کاربری زمین و حمل و نقل با قدرت بیشتر شده است.

^۱ Land Use and Transportation Interaction

^۲ Integrated Transportation and Land use Package

مدل MEPLAN توسعه داده شده توسط اشنکو، کروزر و لیندسی (۱۹۶۹) مدل حمل و نقل و کاربری زمین است که مفهوم اولیه مدل لاری را به کار برده است. این مدل می‌تواند سناریوهای مختلف کاربری زمین و حمل و نقل را شبیه سازی کند. از دیگر مدل‌ها که اصول مدل لاری را به کار برده، مدل TRANUS (de la Barra & Rickaby, 1982) می‌باشد که به شبیه سازی حمل و نقل، کاربری زمین و تعاملات بین آن‌ها در مقیاس شهری و منطقه شهری می‌پردازد.

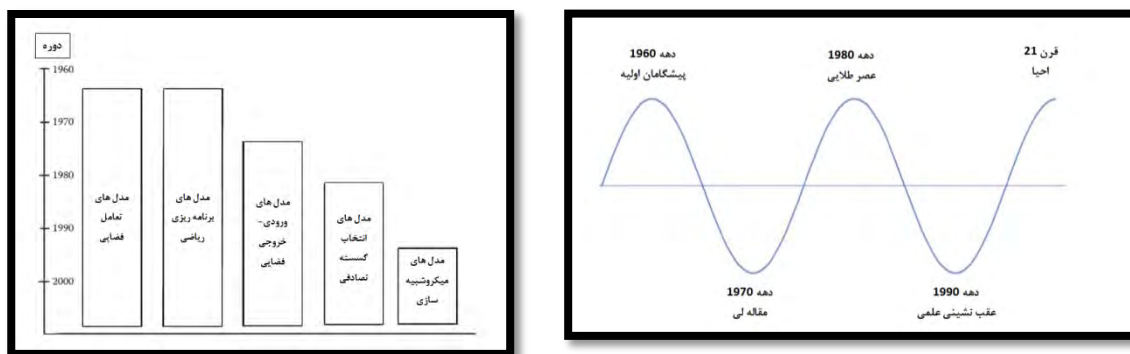
از دهه ۱۹۹۰ به بعد، تعداد مدل‌های تعاملی حمل و نقل و کاربری زمین و کاربردهای آن‌ها افزایش می‌یابد. به طوری که بسیاری از نویسندگان، این دهه را دوران طلایی مدل سازی نامیده‌اند (Jones, 2016). مارتینز (۱۹۹۶) به ایجاد مدل کاربری زمین به نام MUSSA پرداخته که در آن انتخاب مکان بر اساس تعادل استاتیک مدل سازی می‌شود. این مدل بر مبنای بیدرنت که اولین بار توسط آلسو (۱۹۶۴) ارائه شده، توسعه یافته است. در این مدل، مردم به انتخاب مکان‌هایی اقدام می‌کنند که پایین ترین هزینه را برای آن‌ها داشته باشد. در مقابل، فرآیند انتخاب گسسته، که اولین بار توسط فادن (۱۹۷۸) توسعه یافته، قرار دارد که در آن خرید و یا اجاره زمین، بدون تاثیر فوری بر قیمت اتفاق می‌افتد.

مدل PECAS (Hunt & Abraham, 2003) مدل کاربری زمین مبتنی بر بازار می‌باشد که نشان دهنده تعادل تقاضای رقابت برای زمین‌های قابل توسعه به عنوان یک ورودی برای انتخاب مکان خانوار و اشتغال است. DELTA (Simmonds, 1999) مدل اقتصادی-فضایی را با مدل مکان خانوار و اشتغال و مدل مهاجرت طولانی مدت ترکیب می‌کند (Simmonds & Feldman, 2007).

شاید اولین ادغام واقعی مدل‌های میکروشبیه سازی حمل و نقل و کاربری زمین، توسط پاول ودل (۲۰۱۰) برای سانفرانسیسکو انجام شده باشد. در شکل شماره ۱ امواج مختلف توجه به مدل‌های یکپارچه کاربری زمین و حمل و نقل نمایش داده شده است.

کوردرا و ایبیس (۲۰۱۸) مدل‌ها را از نظر دوره ایجاد آن‌ها به سه دوره تقسیم بندی نموده‌اند:

- ۱- مدل‌های نسل اول: این‌ها مدل‌هایی هستند که در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ ظهور یافته‌اند.
 - ۲- مدل‌های نسل دوم: این مدل‌ها در طی دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ ظاهر شده و بر اساس تئوری انتخاب تصادفی از کار مک فادن توسعه یافته‌اند.
 - ۳- مدل‌های نسل سوم: این مدل‌ها از نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ ظهور یافته‌اند. این مدل‌ها عمدتاً به مدل‌های میکروشبیه سازی مشهور هستند. از برجسته ترین مدل‌های شناخته شده در این زمینه مدل URBANSIM می‌باشد که توسط ودل توسعه یافته است.
- در شکل شماره ۲ دسته بندی فوق ارائه شده است.



شکل ۱- امواج توجه به مدل‌های یکپارچه حمل و نقل - تقسیم بندی مدل‌ها بر اساس شکل ۲- دوره‌های زمانی (منبع: Moeckel, 2018) (منبع: Cordera & Ibeas, 2018) و نقل در طول زمان

روش شناسی تحقیق

تحقیق حاضر با روش تحلیلی- توصیفی و مبتنی بر مشاهدات تجربی انجام گرفته است. روش مورد استفاده در این تحقیق، مدل اوربانسیم یا OPUS که توسط تیم آقای پاول ودل توسعه یافته و مدل اصلاح شده اوربانسیم که دسترسی مبتنی بر فرد را جایگزین مدل چهار مرحله‌ای سنتی نموده، می‌باشد. در جمع آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز تحقیق و مدل سازی، از سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، طرح جامع حمل و نقل شیراز، نقشه‌های طرح تفصیلی محدوده‌های مورد مطالعه و همچنین برداشت میدانی بهره برده شده است. در نمونه گیری و تعیین حجم نمونه از متدلوژی استفاده شده در مقاله "determining sample size" که توسط ایزریل در دانشگاه فلوریدا تهیه شده، استفاده شده است. بر این اساس حجم نمونه مورد مطالعه ۳۶۰ خانوار می‌باشد (Israel, 2009).

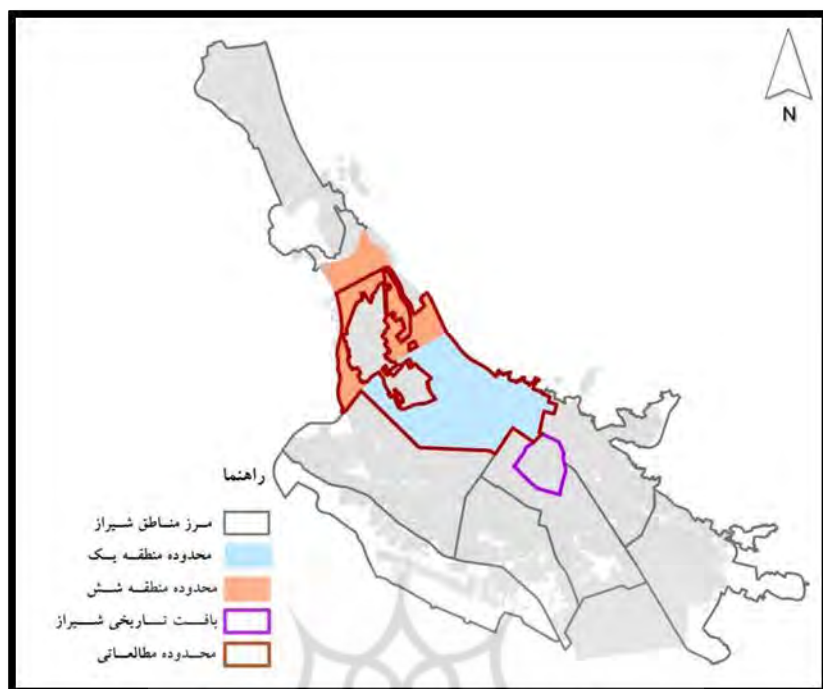
محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی این پژوهش در برگیرنده بخش‌هایی از مناطق یک و شش کلان شهر شیراز به مساحت حدود ۳۰۲۵ هکتار است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت این محدوده ۱۹۷۴۲۰ نفر و تعداد خانوارها ۶۱۵۰۲ خانوار می‌باشد. در شکل شماره ۳، محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است. همچنین در جدول شماره ۱، خصوصیات اقتصادی- اجتماعی، جمعیتی و حمل و نقل محدوده مورد مطالعه در شیراز نمایش داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات اقتصادی- اجتماعی، جمعیتی و حمل و نقل محدوده مورد مطالعه در کلان شهر شیراز

۳۰۲۵	مساحت محدوده، هکتار	جمعیت
۱۹۷۴۲۰	سرشماری سال ۱۳۹۵	
۶۵،۲۶	تراکم جمعیتی، سرشماری سال ۱۳۹۵، نفر در هکتار	
۶۱۵۰۲	خانوار، سرشماری سال ۱۳۹۵	تعداد خانوارها و جمعیت خانوارها
۳،۲۱	بعد خانوار، سرشماری سال ۱۳۹۵	
۵۹۷۱۱	تعداد واحدهای مسکونی، سرشماری سال ۱۳۹۵	
۵۵٪	نرخ مالکیت خانه، سرشماری سال ۱۳۹۵	میانگین درآمد خانوار و سرانه درآمدی هر خانوار
۹۵۲۰	ارزش متوسط واحدهای مسکونی (میلیون ریال)، برداشت میدانی سال ۱۳۹۷	
۵۷،۵	میانگین درآمد خانوار (میلیون ریال)، برداشت میدانی سال ۱۳۹۷	
۳۶،۴	سرانه درآمدی هر خانوار (میلیون ریال)، برداشت میدانی سال ۱۳۹۷	
۵،۵٪	افراد زیر خط فقر، درصد، برداشت میدانی سال ۱۳۹۷	

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۳۹۷ و سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵.



شکل ۳- موقعیت محدوده مطالعاتی در کلان شهر شیراز

ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

مبانی نظری

دو نوع رویکرد در سفر مطرح می باشد:

رویکرد مبتنی بر سفر^۱

رویکرد مبتنی بر سفر، به صورت مدل چهار مرحله‌ای بوده و چارچوب کلی تحلیل سیستم‌های حمل و نقلی که به صورت تقاضای سفر و عملکرد شبکه‌های حمل و نقلی می باشد کاربرد دارد. در واقع فرآیند تقاضا به صورت کاربرد متوالی چهار جزء اصلی مدل (ایجاد سفر، توزیع سفر، انتخاب وسیله سفر و انتخاب مسیر) ارائه می شود که در آن جزء آخری یعنی انتخاب مسیر، به صورت رسمی به صورت یکپارچه با رویه عملکرد شبکه‌های حمل و نقلی می باشد (MCNally & Rindt, 2007).

مک نیلی و ریندت (۲۰۰۷) از محدودیت‌های رویکرد مبتنی بر سفر (مدل چهار مرحله‌ای) به موارد زیر اشاره نموده‌اند:

- نادیده گرفتن سفر به عنوان یک تقاضای مشتق شده از تصمیم‌گیری‌های فعالیتی
- تمرکز بر سفرهای فردی به صورت نادیده گرفتن روابط مکانی و زمانی بین تمامی سفرها و فعالیت‌ها شامل الگوهای فعالیتی فرد
- مشخصات نادرست از مجموعه‌های انتخاب فردی، ناشی از ناتوانی در ایجاد گزینه‌های موجود انتخاب‌های مجزا برای تصمیم‌گیری در محیط محدود

¹ The trip-based approach

- مشخصات ناکافی از روابط متقابل بین سفر و فعالیت و برنامه‌ریزی شامل ارتباط‌های فعالیتی و محدودیت‌های بین فردی

چو، چن و چنگ^۱ (۲۰۱۲) برخی از محدودیت‌های رویکرد مبتنی بر سفر را به صورت موارد زیر برشمرده‌اند:
- رویکرد مبتنی بر سفر، این واقعیت را که تقاضا برای سفر از تقاضای مشارکت در فعالیت مشتق می‌شود را نادیده گرفته است.

- این رویکرد بر روی سفرهای فردی (یا تور) متمرکز شده‌اند، در حالی که ارتباطات فضایی و زمانی را بین سفرها و فعالیت‌های انجام شده توسط افراد را نادیده می‌گیرد.
- این رویکرد در بیان محدودیت‌ها ناتوان هست.

رویکرد مبتنی بر فعالیت^۲

رویکرد فعالیت محور از همان بستر مدل سنتی مبتنی بر سفر به وجود آمده است. سفر یکی از چندین صفات و ویژگی‌های فعالیت است. در رویکرد سنتی، صفات مربوط به فعالیت از جمله وسیله سفر و زمان صرف شده برای سفر جهت دسترسی به یک فعالیت به عنوان صفات سفر در نظر گرفته شده و تاکید بر مدل‌های توصیفی و پیش بینی کنندگی دارد. اصل اساسی در رویکرد فعالیت این است که تصمیم‌های سفر به وسیله مجموعه‌ای از فعالیت‌ها ایجاد شده و نمی‌تواند بر اساس سفرهای فردی تحلیل شود. فعالیت یک خانوار در واقع بیانگر یک بسته از الگوهای افراد خانوار، که نشان دهنده برنامه‌های فعالیتی خانوار است، می‌باشد. طرح ریزی و اجرای برنامه توسط افراد، تولید رفتار آشکار از الگوی فعالیتی افراد، تکمیل می‌شود (MCNally & Rindt, 2007).

رویکردهای مبتنی بر فعالیت اولیه، سفرهای مبتنی بر تور^۳ را قبول می‌کردند. این موضوع نشان دهنده زنجیره بسته از شروع و پایان سفرها در یک مکان پایه برای دریافت خصوصیات انتخابی (به عنوان مثال، زمان، مقصد و وسیله سفر) بین سفرهای مشابه از آن تور است (Davidson et al., 2007). اخیراً تاکیدها به سمت برنامه‌ریزی فعالیتی و رفتار زنجیره‌ای سفر خانوارها می‌باشد. برنامه‌ریزی فعالیتی در تلاش برای ایجاد فرآیندهایی توسط افرادی که یک سری تصمیمات فعالیتی مرتبط و در تعامل با دیگران در یک بازه زمانی مشخص است. در حالی که رویکرد مبتنی بر سفر با مدل‌های تولید سفر شناخته می‌شود. رویکرد مبتنی بر فعالیت بر ایجاد فعالیت‌ها، نه ایجاد سفر، از طریق تجزیه و تحلیل الگوهای رفتاری روزانه و یا چند روزه تاکید دارد (Lin et al., 2009). یکی از ویژگی‌های قابل تشخیص رویکرد مبتنی بر فعالیت، مربوط به یکپارچگی، کمک به کاهش پیچیدگی، افزایش شفافیت و زمان به عنوان چارچوب منسجم است (Rasouli & Timmermans, 2014:51). واحد اصلی تحلیل در این رویکرد، الگوی سفر - فعالیت می‌باشد که نشان دهنده الگوی ظاهری رفتار است و بیانگر یک سفر - فعالیت در یک دوره زمانی، عمدتاً یک روزه، می‌باشد. این الگوهای فعالیتی، اشاره به الگوهای فعالیتی خانوار و از طریق اجرای برنامه‌های

¹ Chu, Chen and Cheng

² The activity-based approach

³ Tour- Based

فعالیت روزانه دارند. برنامه‌های فعالیتی افراد، از تخصیص فعالیت‌های خانوار به افراد خانوار از طریق یک فرآیند تصمیم‌گیری به وجود می‌آید. برنامه‌های فعالیت به عنوان یک برنامه از مشارکت در سفر و فعالیت گرفته می‌شود و پس از برنامه‌ریزی، نتایج به صورت یک الگوی فعالیتی برای فرد خواهد بود (Vaananen, 2017:46). رویکردهای یکپارچه شبیه‌سازی خرد فراهم‌کننده چارچوبی برای مدل‌سازی صریح رفتار خانوارها، نیروها، توسعه دهندگان و مقام‌های برنامه‌ریزی و همچنین اثرات و وابستگی‌های متقابل بین آن‌ها می‌باشد (Wagner and Wegener, 2007; Waddell et al., 2010). این یک گام ضروری برای ادغام تصمیم‌های کاربری زمین و رفتار فعالیت - سفر است.

امروزه تلاش بیشتری برای چارچوب رفتاری فعالیت محور در راستای تکمیل شدن جهت فراهم آوردن یک پایه رفتاری قوی برای توسعه مدلی که در برگیرنده رفتار بلند مدت خانوار با الگوهای فعالیت و سفر باشد، نیاز است. بر اساس گزارش آکادمی ملی علوم آمریکا، به نقل از لی (Li, 2015)، تلاش فعلی مدل‌سازی‌های حمل و نقل، کاربری زمین و فرم شهری نیازمند تغییرات اساسی برای سرمایه‌گذاری بر روی مدل‌های تحلیل فضایی جدید و همچنین مدل‌سازی تغییرات رفتاری القا شده به وسیله فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات جدید است. توسعه و ایجاد چنین مدل‌سازی و همچنین ظرفیت تحلیلی کاری بسیار پیچیده و چند وجهی است. این کار نیاز به تلاش‌های زیاد در جمع‌آوری اطلاعات، تحلیل و استراتژی‌های مدل‌سازی خلاقانه جهت نهادینه کردن بخشی از فرآیندهای تصمیم‌گیری دارد.

رویکرد مبتنی بر فعالیت این واقعیت را نشان می‌دهد که نیازهای سفر جمعیت از نیاز آن‌ها به مشارکت در فعالیت‌هایی که در زمان و فضا پراکنش یافته‌اند، تعیین می‌شود. مدل‌سازی صریح فعالیت‌ها و زنجیره سفر منشعب از آن، اجازه تحلیل عکس‌العمل افراد به سیاست‌های حمل و نقل و کاربری زمین را فراهم می‌آورد. این عکس‌العمل‌ها را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از انتخاب مکان و گزینه‌های سفر در خصوص نحوه اجرای برنامه‌های فعالیتی مشاهده نمود (Liao et al., 2017).

در این رویکرد، درک تعاملات و مکانیسم‌ها از اهمیت بالایی در سازماندهی سازمان فضایی شهری و کم کردن مشکلات حمل و نقل شهری برخوردار است. مدل‌های یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین، تحلیل گران را قادر به پیشگویی عکس‌العمل سیستم به سیاست‌های جدید، توابع ترجیحات، شرایط اقتصادی و سایر سناریوها می‌کند (Ma et al., 2019: 9). یک مدل یکپارچه شهری (مدل یکپارچه حمل و نقل و کاربری زمین) در واقع یک سیستم مدل پیچیده است که در آن حمل و نقل و کاربری زمین در طول زمان همکاری می‌کنند (Miller, 2018:1029).

از مدل‌هایی که رویکرد مبتنی بر فعالیت را به کار می‌برد و امکان بررسی سناریوهای مختلف و همچنین شبیه‌سازی عکس‌العمل سیستم به سیاست‌های جدید و شرایط اقتصادی را در قالب یکپارچه‌سازی حمل و نقل و کاربری زمین فراهم می‌کند، مدل اوربانسیم می‌باشد. اولین هدف این مدل به عنوان یک مدل یکپارچه، در نظر گرفتن "گام پنجم" از مدل "چهار مرحله‌ای" سنتی است. در حالی که مدل چهار مرحله‌ای سنتی اثرات کاربری

زمین (توزیع جمعیت و اشتغال) را بر تقاضای سفر را به صراحت مدل سازی می کند، تاثیر عملکرد سیستم حمل و نقل (به عنوان مثال، زمان سفر) را بر کاربری زمین مدل سازی نمی کند. Urbanism صراحتاً در بر گیرنده این اثر با مدل سازی محل جمعیت و اشتغال به عنوان تابعی از ویژگی‌های سیستم حمل و نقل است. در این راستا یکی از اهداف آن ارائه برآورد بهتر از تقاضای حمل و نقل است. به عنوان یک نتیجه این مدل اجازه می دهد برای این سوال که چگونه عرضه حمل و نقل بر عملکرد سیستم کاربری زمین، شامل اثرات آن بر توزیع اشتغال و جمعیت و در نتیجه تقاضای حمل و نقل در طولانی مدت، تاثیر می گذارد، پاسخی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر می تواند برای مدل سازی اثرات حمل و نقل بر کاربری زمین به کار رود. همچنین امکان مدل سازی اثر کاربری زمین بر سیستم حمل و نقل وجود دارد (Li, 2015). پاول ودل و همکاران (۲۰۱۸) بخشی از وظایف این مدل و دلایل توسعه آن را به صورت زیر بیان می کنند:

- اوربانسیم می تواند اطلاعات مربوط به کاربری زمین را جهت ورود به مدل سفر برای دوره‌های ۱۰ تا ۴۰ سال آینده، در جهت برنامه‌ریزی حمل و نقل منطقه‌ای پیش بینی نماید.

- این مدل می تواند تاثیر آلترناتیوهای سرمایه گذاری بر راه‌ها، زیرساخت‌های حمل و نقلی و سطوح خدمات حمل و نقل بر روی کاربری زمین را در طول افق‌های زمانی بلند مدت پیش بینی نماید.

- اوربانسیم می تواند اثرات تغییرات در قوانین کاربری زمین را بر روی کاربری زمین پیش بینی نماید.

- این مدل می تواند الگوهای توسعه کاربری زمین، که از سرمایه گذاری در حمل و نقل ایجاد شده است را پیش بینی نماید.

- اوربانسیم می تواند تغییرات احتمالی در ساختار جمعیت و ترکیب شهر بر کاربری زمین و الگوهای فضایی خوشه بندی ساکنین از ویژگی‌های اجتماعی مختلف از جمله سن، بعد خانوار و درآمد را پیش بینی نماید.

- این مدل می تواند تاثیرات بالقوه پروژه‌های عمده توسعه (واقعی و فرضی) را بر کاربری زمین و حمل و نقل بررسی نماید.

در خصوص یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین و استفاده از مدل urbanism می توان به مطالعات انجام شده توسط (Sun, 2015)، (Pinjari & Bhat, 2011)، (Acheampong & Silva, 2015) و ... اشاره نمود.

در مدل اصلاح شده این مدل، از مدل‌های قیمت بازار برای واحدهای مسکونی، مدل انتخاب محل خانوارها، مدل انتخاب مکان شرکت یا اشتغال و اندازه گیری دسترسی پذیری استفاده شده است.

مدل قیمت بازار برای واحدهای مسکونی

مدل قیمت بازار برای واحدهای مسکونی، به صورت رابطه شماره ۱، تعریف می شود:

رابطه ۱:

$$\ln P_d = \theta_0 + \theta_{Acc} Acc_f + \theta_{Are} \ln Area_d + \theta_{Age} \ln Age_d + \theta_{House} House_d$$

در این رابطه:

P_d : قیمت واحد مسکونی

Acc_f : دسترسی به محل کار برای نقطه f

$Area_d$: مساحت واحد d

Age_d : سن واحد d + یک سال

$House_d$: ۱ وقتی که واحد d یک خانه است و ۰ زمانی که خانه نیست

- مدل انتخاب محل خانوارها

مدل انتخاب محل خانوارها به صورت رابطه شماره ۲، تعریف می‌شود:
رابطه ۲:

$$V_{hd} = \theta_p P_d + \theta_{Ml}(P_d Ml_h) + \theta_{Hl}(P_d Hl_h) + \theta_{Acc} Acc_f + \theta_{Area} \ln Area_d + \theta_{Age} \ln Age_d + \theta_{Delta} Delta_d + \theta_{UF4} UF4_f$$

V_{hd} : انتخاب سیستماتیک از گزینه d برای خانوار h

P_d : قیمت واحد مسکونی d

Ml_h : ۱ زمانی که درآمد خانوار h بیش از ۵ میلیون تومان است

Hl_h : ۱ زمانی که درآمد خانوار h بیش از ۱۰ میلیون تومان است

Acc_f : دسترسی به محل کار برای نقطه f

$Area_d$: مساحت واحد d

Age_d : سن واحد d + یک سال

$UF4_f$: ۱ زمانی که محل سکونت نزدیک به مرکز شهر باشد و ۰ حالت‌های دیگر

$Delta_d$: حالتی که همه بلوک‌ها چسبندگی دارند

- مدل انتخاب مکان شرکت:

مدل انتخاب مکان شرکت به صورت رابطه شماره ۳، تعریف می‌شود:

رابطه ۳:

$$V_{jb} = \theta_{Accf} Acc_f + \theta_j \frac{J_f}{Area_f} + \theta_{\bar{P}_b} \bar{P}_b + \theta_{lncf} lnc_f + \theta_{freg} Freg_type_f$$

V_{jb} : انتخاب ساختمان در مکان b برای شغل j

Acc_f : دسترسی به محل کار برای نقطه f

J_f : تعداد شغل‌ها در بلوک f (۱۰۰۰ شغل در هر کیلومتر مربع)

$Area_f$: مساحت واحد f

\bar{P}_b : میانگین قیمت هر متر مربع واحد b

lnc_f : میانگین درآمد خانوار در بلوک f (۳,۵ میلیون تومان)

$Freg_type_f$: متغیرهای فرم شهری (بافت مرکزی و بافت با فاصله از بافت مرکزی)

- اندازه‌گیری دسترسی پذیری:

دسترسی پذیری بر اساس انتخاب محل کار با مبدا خانه/ انتخاب وسیله سفر اندازه گیری می شود. این موضوع به یک مکان سکونت اجازه می دهد که دسترسی های مختلفی برای خانوارهای مختلف و بر اساس ویژگی های آنها داشته باشد. با در نظر گرفتن این موارد، احتمال انتخاب محل کار توسط فرد p از مجموعه در دسترس D از بلوک f به صورت رابطه شماره ۴، خواهد بود:

رابطه ۴:

$$P(dest|f) = \frac{\exp(\bar{\mu}V_{(dest|f)})}{\sum_{dest \in D} \exp(\bar{\mu}V_{(dest|f)})}$$

$V_{(dest|f)}$: مطلوبیت سیستماتیک انتخاب محل از بلوک f

همچنین مطلوبیت حداکثری مورد انتظار را می توان به صورت روابط شماره ۵ و ۶ محاسبه نمود:

رابطه ۵:

$$Acc_f^{car} = \frac{l}{\bar{\mu}} \ln \sum_{dest \in D} \exp(\bar{\mu}V_{(dest|f)}^{car})$$

رابطه ۶:

$$Acc_f^{nocar} = \frac{l}{\bar{\mu}} \ln \sum_{dest \in D} \exp(\bar{\mu}V_{(dest|f)}^{nocar})$$

car: شخص حداقل به یک خودرو دسترسی دارد

nocar: شخص به خودرو دسترسی ندارد

یافته های تحقیق

در این بخش با کالیبره کردن مدل برای محدوده مطالعاتی در کلان شهر شیراز، نتایج زیر حاصل شده است:

مدل قیمت بازار برای واحدهای مسکونی در کلان شهر شیراز:

مدل به تخمین مدل هدانیک بر اساس ویژگی های ساکنین پرداخته است. اطلاعات مورد نیاز از طرح جامعه حمل و نقل شیراز، آمار سرشماری سال ۱۳۹۵، شهرداری و ... استخراج شده است. اطلاعات برای مسکن شامل نوع، مساحت، مکان و قیمت می باشد.

تخمین مدل (جدول شماره ۲) نشان دهنده این است که در محدوده مورد مطالعه در کلان شهر شیراز، قیمت مسکن با میزان دسترسی پذیری و محل واقع شدن آن ارتباط مثبت و با سن و قدمت آن، ارتباط منفی دارد. همچنین قیمت مسکن تک خانواری نسبت به سایر واحدها بیشتر است.

جدول ۲- تخمین مدل قیمت هدانیک در مدل اوربانسیم در محدوده مطالعاتی کلان شهر شیراز

	Estimate	Std. Error	t value
Intercept	-۶,۶۷۷	۰,۰۷۷	-۷۷,۴۵۸
Accessibility	۰,۵۶۵	۰,۰۱۷	۵۵,۱۰۲
LnArea	۰,۹۱۴	۰,۰۰۷	۱۲۵,۴۵۲
InAge	-۰,۰۴۸	۰,۰۰۳	-۲۳,۶۷۵
House	۰,۱۵۲	۰,۰۱۴	۸,۱۴۶
N	۱۶۵۳۱		
Adjusted R-square	۰,۶۲۳		

منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۸

مدل انتخاب مکان خانوارها در کلان شهر شیراز:

نتایج حاصل از تخمین مدل انتخاب مکان خانوارها (جدول شماره ۳) در محدوده مورد مطالعه در کلان شهر شیراز، نشان دهنده این است که تصمیم گیرندگان برای انتخاب محل سکونت تمایل دارند واحدهای ارزان و نوساز داشته باشند، در حالی که ترجیح می دهند واحد بزرگتر و با دسترسی بهتر داشته باشند. همچنین دسترسی به مرکز شهر از مزایای نسبی مهم در انتخاب محل سکونت می باشد.

جدول ۳- تخمین مدل انتخاب مکان خانوارها در مدل اوربانیسم در محدوده مطالعاتی کلان شهر شیراز

	Estimate	Std. Error	t value
Price	-۳,۲۱۴	۰,۶۲۱	-۳,۸۸۹
Price-2	۰,۷۵۸	۰,۰۵۴	۱,۹۶۶
Price-3	۱,۱۲۹	۰,۳۴۸	۳,۲۵۱
Longsum	۲,۹۹۶	۱,۰۳۷	۳,۶۶۵
Log-area	۰,۸۸۵	۰,۴۶۰	۱,۶۹۹
Log-age	-۰,۴۵۱	۰,۰۸۲	-۲,۹۸۳
Uf4	۰,۶۹۴	۰,۳۱۹	۱,۵۸۶
LL	۵۲۸,۲۲۹		
Adjusted R-square	۰,۰۵۸		
N	۷۸		

منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۸

مدل تحرک شرکت در کلان شهر شیراز:

در این مدل به تخمین نرخ تولد، جابجایی و مرگ شرکت‌ها در سه گروه شغلی در محدوده مورد مطالعه کلان شهر شیراز پرداخته شده است. بر اساس جدول شماره ۴، شرکت‌هایی که تمایل به جابجایی دارند معمولاً به محلاتی مشابه فرم قبلی انتقال می یابند. با این حال روند کلی بیانگر عدم تمرکز است: بیشتر شرکت‌های جدید و شرکت‌هایی که جابجا می شوند تمایل به انتخاب محلات خارج از مرکز شهر دارند. این روند تمرکز زدایی برای شرکت‌های جدید بیشتر است.

جدول ۴- نرخ جابجایی، تولد و مرگ شرکت‌ها در محدوده مطالعاتی کلان شهر شیراز

	Overall	Primary	Secondary	Tertiary
Staying Rate	۹۳,۵۶٪	۹۳,۴۷٪	۹۲,۷٪	۹۳,۶۵٪
Death Rate	۶,۳۲٪	۶,۸۴٪	۶,۱۲٪	۶,۰۲٪
Moving Rate	۳,۲۷٪	۲,۶٪	۳,۷۸٪	۳,۱۵٪
New born Rate	۸,۹۶٪	۷,۹۲٪	۱۰,۲۱٪	۸,۴۵٪
Moving to Same Urban Form	۶۳,۵۶٪	۷۲,۰۳٪	۶۵,۱۲٪	۶۲,۶۱٪
Moving to Different Urban Form	۳۶,۴۴٪	۲۷,۹۷٪	۳۴,۸۸٪	۳۷,۳۹٪

منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۸

مدل انتخاب محل شرکت در کلان شهر شیراز:

در جدول شماره ۵ به تخمین مدل انتخاب محل شرکت یا اشتغال برای کلیه گروه‌های شغلی اعم از کشاورزی، صنعت و خدمات در محدوده مطالعاتی کلان شهر شیراز پرداخته شده است. نتایج بیانگر این است که شرکت‌ها به دنبال انتخاب مکان‌هایی هستند که فراهم کننده دسترسی خوب، تراکم بالای اشتغال و درآمد ماهیانه بیشتر باشد، در

حالی که کمتر به دنبال مکان‌های با اجاره بهای بالا هستند. در خصوص فرم شهر نیز یک شرکت موجود بیشتر به دنبال انتقال به فرم شهری مشابه می باشد. همچنین محلات خارج از مرکز شهر بیشتر از محلات واقع در مرکز شهر مورد علاقه شرکت‌ها می باشد. این امر بیانگر تمرکززدایی شرکت‌ها از مرکز شهر می باشد.

جدول ۵- تخمین انتخاب محل شرکت در مدل اوربانسیم در محدوده مطالعاتی کلان شهر شیراز

	Estimate	Std. Error	t value
Longsum	۶,۱۸۲	۰,۰۷۶	۸۳,۷۱
Job Density	۰,۰۱۷	۰,۰۰۳	۱۲,۳۰۰
Average Monthly Earning	-۰,۳۰۸	۰,۰۴۶	-۶,۷۵۰
Average Rent	-۱,۵۶۰	۰,۰۴۳	-۴۲,۲۸۰
Moving to the Same Urban Form Type	۱,۵۶۰	۰,۰۱۴	۱۰۱,۶۸۰
Urban Form Type 1	-۹,۱۵۰	۰,۱۰۸	-۸۹,۹۲۰
Urban Form Type 2	-۸,۷۳۶	۰,۱۰۸	-۷۹,۳۶۰
N	۱۲۳۲۱		
Adjusted R-square	۰,۳۲۵		
LL	-۳۵۷۶۰,۰۸۶		

منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجه گیری

در حالی که پیشرفت‌های زیادی در مدل‌های حمل و نقل مبتنی بر فعالیت و تلفیق مدل‌های کاربری زمین با مدل‌های حمل و نقل مبتنی بر سفر اتفاق افتاده است، اما چالش‌های یکپارچه سازی مدل‌های کاربری زمین با مدل‌های حمل و نقل مبتنی بر فعالیت کماکان باقی مانده است. از این رو درک ارتباط رفتاری بین سفر خانوارها و الگوهای فعالیتی از یک طرف و انتخاب‌های بلند مدت از طرف دیگر به منظور بهبود توانایی شبیه سازی اثرات نوآوری حمل و نقل بر توسعه شهری ضروری به نظر می رسد. در همین حال، اخیراً تلاش‌های مدل سازی LUTE در حال حرکت به سمت تجزیه محیط‌های یکپارچه به سیستم مدل سازی توزیع شده است. انتخاب OPUS به عنوان معماری مدل سازی در راستای کاوش استراتژی‌های مختلف جهت ترکیب تعاملات خانوارها و اجزای کلیدی مبتنی بر فعالیت می باشد، که گامی مهم در جهت فرضیات رفتاری از تعاملات حمل و نقل و کاربری زمین در راستای انعکاس پویایی خانوار و اجتماع است. مدل‌های اولیه یکپارچه کاربری زمین و حمل و نقل با نگرش مدل‌های جاذبه ای و کنش متقابل فضایی ساخته می شدند اما به مرور زمان و اهمیت یافتن عوامل متعدد و مختلف اقتصادی- اجتماعی موثر بر ساختار و عملکرد شهری-کلان شهری، استفاده از چارچوب تئوری مطلوبیت تصادفی در ساختار اصلی مدل‌های یکپارچه جدید در درجه اول اهمیت قرار گرفت.

در این راستا و در جهت بررسی بیشتر نقش عوامل موثر بر یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین، به مدل سازی قیمت بازار برای مسکن، انتخاب محل خانوارها و مکان شرکت یا اشتغال برای محدوده مورد مطالعه در کلان شهر شیراز پرداخته شد. نتایج مدل سازی بیانگر ارتباط مستقیم و مثبت مدل‌های مذکور با متغیرهای دسترسی پذیری، مساحت، قدمت و قیمت می باشد. در هر سه مدل فوق علاقه به تمرکززدایی از مرکز شهر شیراز مشهود می

باشد. همچنین نقش دسترسی پذیری در هر کدام از مدل‌ها برجسته بوده و این امر بیانگر ضرورت یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین است.

لازم به ذکر است، مقاله حاضر نتایج حاصل از یک مطالعه تجربی بوده و از مطالعات انجام شده در سایر کشورها پشتیبانی و حمایت می‌کند. نوآوری این پژوهش، مطالعه در شرایط ایران و در کلان شهر شیراز است. توسعه پژوهش‌های این چینی و مطالعه بر روی شهرهای مختلف می‌تواند به تدقیق و تعمیق این حوزه از مطالعات شهری منجر شود و مبنای برنامه‌ریزی و سیاست گذاری در کشور را فراهم آورد.

در مطالعات آتی به الگوی بهینه رفتار سفر با رویکرد مبتنی بر فعالیت با رویکرد یکپارچه سازی حمل و نقل و کاربری زمین پرداخته خواهد شد.

منابع

شهرداری شیراز (۱۳۹۵): طرح جامع حمل و نقل شیراز

شهرداری شیراز (۱۳۹۳): طرح تفصیلی شیراز

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵): سرشماری عمومی نفوس و مسکن

- Acheampong, R. A. and Silva, E. (2015): *Land use-transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions. Journal of Transport and Land Use* 8(3):11-38.
- Alonso, W. (1964): *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent, Publications of the Joint Center for Urban Studies of the Massachusetts Institute of Technology and Harvard University. Cambridge, UK: Harvard University Press.*
- Chu, Z., Cheng, L. and Chen, H. (2012): *A Review of Activity-Based Travel Demand. CICTP 2012 © ASCE 2012.*
- Cordera, R., Ibeas, A. (2018). *A Classification of Land use -Transport Interaction Models. Land use-Transport Interaction Models. Taylor and Francis Group.*
- Cordera, R., Ibeas, A., Dell'olio, L. and Alonso, B. (2018). *State of the Art in Land Use-transport interaction Modelling. Land use- Transport Interaction Models. Taylor and Francis Group.*
- Davidson, W., R. Donnelly, P. Vovsha, J. Freedman, S. Ruegg, J. Hicks, J. Castiglione, and R. Picado. (2007): *Synthesis of first practices and operational research approaches in activity-based travel demand modeling. Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41: 464-488.
- de la Barra, T., and Rickaby, P. A. (1982): *Modelling regional energy-use: a land-use, transport, and energy evaluation model. Environment and Planning B: Planning and Design*, 9(4), 429-443.
- Echenique, M. H., Crowther, D., and Lindsay, W. (1969): *A Spatial Model of Urban Stock and Activity. Regional Studies*, 3, 281-312.
- Hunt, J. D., and Abraham, J. E. (2003): *Design and application of the PECAS land use modelling system. Paper presented at the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Sendai, Japan.*
- Iacono, M., Levinson, D. and El-Geneidy, A. (2008): *Models of transportation and land use change: A guide to the territory. Journal of Planning Literature* 22 (4):323-340.
- Israel, G.D. (2009): *Determining Sample Size. University of Florida. IFAS extension.*
- Jones, J. (2016): *Spatial bias in LUTI models. PhD Thesis, Universite catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.*
- Lee, D. B. (1973): *Requiem for large-scale models. Journal of the American Planning Association* 39 (3):163-178.
- Li, W. (2015): *Planning for Land-use and Transportation Alternatives . MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY.*

- Liao, F., Arentze, T., Moline., Bothe, W. and Timmermans, H. (2017): *Effects of land-use transport scenarios on travel patterns: a multi-state super network application*. *Transportation* 44:1–25.
- Lin, H. Z., H. P. Lo, and X. J. Chen. (2009): *Lifestyle classifications with and without activity-travel patterns*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 43: 626–638.
- Lowry, I. S. (1964): *A Model of Metropolis, Memorandum*. Santa Monica, CA: Rand Corporation.
- Ma, S., Zhang, Y. and Sun, C. (2019): *Optimization and Application of Integrated Land Use and Transportation Model in Small- and Medium-Sized Cities in China*. *Sustainability* 11:1-14.
- Martínez, F. J. (1996): *MUSSA: Land Use Model for Santiago City*. *Transportation Research Record*, 1552, 126–134.
- McNally, M. G., and C. Rindt. (2007): *The Activity-Based Approach*. URL:<http://escholarship.org/uc/item/86h7f5v0>
- Miller, E. J., and Salvini, P. A. (2001): *The Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Microsimulation Modelling System: Description and Current Status*. In D. A. Hensher (Ed.), *Travel Behaviour. Research. The Leading Edge* (pp. 711–724). Amsterdam: Pergamon
- Moeckel, R. (2018): *Integrated Transportation and Land Use Models, A Synthesis of Highway Practice*. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP SYNTHESIS 520
- Pinjari, A. R., and C. R. Bhat. (2011): *Activity-based travel demand analysis*. *A Handbook of Transport Economics* 10: 213–248.
- Putman, S. H. (1983): *Integrated Urban Models. Vol. 1: Research in Planning and Design*. London, UK: Pion.
- Rasouli, S., and H. Timmermans. (2014): *Activity-based models of travel demand: Promises, progress and prospects*. *International Journal of Urban Sciences* 18: 31–60.
- Simmonds, D. C., and Feldman, O. (2007): *Advances in integrated urban/regional land-use/transport modeling using the DELTA package*. Paper presented at the World Conference on Transport Research (WCTR), Berkeley, CA.
- Sun, C.X. (2015): *The Research of Integrated Land Use and Transportation Models Application in Small-and Medium-sized Cities*. Ph.D. Thesis, Chang'an University, Xi'an, China.
- Vaananen, T. (2017): *An activity-based model of travel demand using an open-source simulation framework*. Aalto University, School of Science, Master's Programme in Mathematics and Operations Research.
- Waddell, P., L. Wang, B. Charlton, and A. Olsen. (2010): *Microsimulating parcel-level land use and activity-based travel*. *Journal of Transport and Land Use*, 3(2):65-84.
- Waddell, P., Boeing, G., Gardner, M. and Porter, E. (2018): *An Integrated Pipeline Architecture for Modeling Urban Land Use, Travel Demand, and Traffic Assignment*. Technical report for U.S. Department of Energy SMART Mobility Urban Science Pillar: *Coupling Land Use Models and Network Flow Models*
- Wagner, P. and Wegener, M. (2007): *Urban land use transport and environment models, disP, Vol. 170, No. 3, pp.45- 56*.