مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره‌ی بیست و نهم، پاییز ۱۳۹۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۵/۲۸

صص ۱۶-۱

بررسی تأثیر شدت کاربری زمین بر پایداری زیست‌محیطی حمل‌ونقل در شهر مشهد

فهیمه عبادی‌نیا، دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری-دانشگاه فردوسی مشهد

محمد اجزاء شکوهی*، دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری-دانشگاه فردوسی مشهد

محمدرحیم رهنما، استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری-دانشگاه فردوسی مشهد

امید علی خوارزمی، استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری-دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

شدت کاربری زمین که انواع تراکم‌های شهری را شامل می‌شود، در بسیاری از پژوهش‌ها به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر الگوهای سفر ساکنین شناخته شده است؛ به‌طوری‌که افزایش انواع تراکم‌های جمعیتی، شغلی و مسکونی و کاربری باعث فشردگی بیش‌تر فرم شهر و کوتاه‌تر مسافت طی‌شده با خودروهای شخصی (Vehicle Kilometer Travelled) می‌شود و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده‌های کربنی بخش حمل‌ونقل را در پی خواهد داشت. هدف اول مقاله‌ی حاضر بررسی تأثیرگذاری انواع تراکم بر مسافت سفر خودروهای شخصی است. بدین منظور ۴ نوع تراکم (جمعیت، اشتغال، تراکم مسکونی و تراکم کاربری‌ها) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از ضرایب آنتروپی، جینی، موران و گری میزان تعادل در شدت کاربری زمین بین تراکم‌های نام‌برده مشخص گردید و همبستگی آن‌ها با متغیر وابسته VKT از طریق آزمون همبستگی پیرسون و مدل رگرسیون چندمتغیره تعیین شد. در مرحله‌ی سوم میزان انتشار CO_2 و CO_{2e} خودروهای شخصی به تفکیک مناطق شهر مشهد محاسبه شد و درنهایت رابطه‌ی همبستگی و رگرسیونی بین تراکم‌های شهری هر منطقه موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد رابطه‌ی معناداری بین افزایش شدت کاربری زمین (تراکم) و کاهش VKT برقرار است و بین VKT و انتشار آلاینده‌های کربنی نیز همبستگی معناداری برابر با ۰،۸۴۵ برقرار است. در این میان، تراکم‌های شغلی بیش‌تر از سایر انواع تراکم بر الگوهای سفر ساکنین مشهد نقش دارد. تراکم شغلی دارای ضریب همبستگی ۰/۷۹۰- باVKT است و در مدل رگرسیون چندمتغیره نیز با $R^2=0.751$ بیش‌ترین تأثیر را بر انتشار CO_2 داشته است؛ بنابراین می‌توان با توزیع متعادل‌تر تراکم‌های شغلی در سطح مناطق، مسافت سفرهای با خودرو شخصی را کاهش داد و جهت تقویت الگوهای کم‌کربن تر حمل‌ونقل برنامه‌ریزی کرد.

واژگان کلیدی: شدت کاربری زمین، VKT، ضرایب خودهمبستگی فضایی، آلاینده‌های کربنی، شهر مشهد.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: shokouhim@ferdowsi.um.ac.ir

این مقاله مستخرج از رساله‌ی دکتری تحت عنوان «بررسی تأثیر فرم شهر مشهد بر توسعه‌ی حمل‌ونقل کم‌کربن با رویکرد استراتژیک» می‌باشد.

۱- مقدمه

جامعه‌ی بشری با تهدیدهای جدی و رو به افزایش آب و هوایی و زیست‌محیطی روبه‌رو است. برای مقابله با این مشکلات، بسیاری از کشورها اهداف مختلفی را طبق معاهدات بین‌المللی کیوتو، UNFCCC و اجلاس ریو دنبال می‌کنند و یکی از استراتژی‌های کلیدی برای این منظور، ساخت سکونت‌گاه‌های کم‌کربن و فرم‌های پایدار در مقیاس شهری است. در این میان، نقش سیستم حمل‌ونقل برای ایجاد چنین شهرهایی بسیار اساسی و حائز اهمیت است(Nakamura and Hayashi, 2013: 246). بخش حمل‌ونقل یکی از بزرگ‌ترین منابع تولید گازهای گلخانه‌ای است که بیش‌ترین و سریع‌ترین رشد انتشار را نسبت به دیگر بخش‌ها داشته است(Yan & Crookse, 2009: 658-668). بر اساس برآوردها بخش حمل‌ونقل مسئول بزرگ‌ترین مقدار تولید CO_2 از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۴ بوده است. این مقدار بالغبر بیش از یک‌چهارم CO_2 انتشاریافته در جهان است. در سال ۲۰۰۵ حدود ۲۳ درصد کل انرژی‌های تولیدکننده‌ی CO_2 در بخش حمل‌ونقل صرف شده است و این مقدار با نرخ رشدی بیش از سایر بخش‌ها در حال افزایش است(Knörr & Reuter: 2008)؛ به‌طوری‌که با افزایش تقاضای سفر و استفاده از اتومبیل‌های شخصی پیش‌بینی می‌شود که تولید جهانی CO_2 در بخش حمل‌ونقل از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ به میزان ۵۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت(IEA., 2009 & 2011: 29-113). از کل CO_2 انتشاریافته در بخش حمل‌ونقل، بیش از ۴۰ درصد آن مربوط به حمل‌ونقل درون‌شهری است و با روند شهری شدن فزاینده‌ی جهان، این مقدار بیش‌ازپیش در حال افزایش است.

در این میان، فرم شهر و چگونگی گسترش فضایی آن در هر دو جهت افقی و عمودی، یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در الگوهای سفر ساکنین است که می‌تواند در نوع و میزان استفاده آن‌ها از وسایط نقلیه‌ی شخصی و عمومی و در نتیجه CO_2 حاصل از آن تأثیرگذار باشد و تراکم، یکی از ابعاد اصلی فرم شهری به‌خصوص در فرم شهر فشرده است. تراکم‌های شهری شامل تراکم جمعیت، تراکم مناطق مسکونی و تراکم شغلی به‌علاوه، تراکم خالص و ناخالص نیز در ارتباط با مساحت فضای استفاده‌شده به‌عنوان مخرج در محاسبه ارزش تراکم مورداستفاده قرار می‌گیرد. کوکلمن[1] (۱۹۹۷) اظهار می‌دارد: اهمیت شاخص تراکم به لحاظ محاسباتی در ارتباط با رفتار سفر می‌تواند به‌اندازه‌ای باشد که شاخص تراکم به‌عنوان نماینده و در رأس[2] دیگر شاخص‌های فرم شهری درآید؛ چراکه تراکم، ارتباط منفی کاملاً معناداری را با مصرف انرژی نشان داده است. از سوی دیگر مطالعات اوینگ و کرور (۲۰۱۰) نشان می‌دهد بهترین شاخص برای اندازه‌گیری تأثیر انواع تراکم به‌عنوان متغیرهای مستقل بر میزان مصرف انرژی در سفرهای روزانه، شاخص (VMT[3]) یا (VKT[4]) (سفرهای طی شده با وسیله‌ی نقلیه به مایل یا کیلومتر) است و تأثیر آن به‌قدری بالاست که ضریب همبستگی میان سرانه (VMT) و میزان انتشارCO_2 تقریباً برابر ۱ و ضریب همبستگی میان سرانه (VMT) و انتشار نیترواکسیدها برابر ۰,۷۴ است؛ بنابراین اکثریت قاطع تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی تأثیرات فرم شهری بر میزان مصرف انرژی و انتشار کربن، شاخص (VMT) را به‌عنوان متغیر وابسته به ویژگی‌های کالبدی شهر قرار داده‌اند.

با توجه به مسافت سفر، شواهد روشنی وجود دارد که نشان می‌دهد نواحی شهری متراکم‌تر، متوسط مسافت سفر کم‌تر و VMT کم‌تری خواهد داشت. اگرچه ممکن است تأثیر تراکم در مقایسه با شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی ساکنین کم باشد؛ اما برای نمونه، ارتباط منفی بین تراکم و فاصله‌ی سفر هم برای اتومبیل‌ها و هم برای مسافران حمل‌ونقل عمومی در همه‌ی نواحی شهری ایالات‌متحده‌ی امریکا که دارای تراکم شهری ۱ میلیون سکنه بودند، ثابت شده است(Levinson and kumar, 1997: 147-172). البته همواره وضعیت کشورهای توسعه‌یافته چه به لحاظ الگوهای سفرهای روزانه، ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی و نیز فرم شهری که تراکم نیز جزئی از آن است متفاوت با کشورهای درحال‌توسعه است.

1- Kockelman
2- Proxy
3- vehicle Mile Travel
4- vehicle Kilometer Travel

به همین دلیل مهم‌ترین اهداف مقاله‌ی حاضر این است که بدانیم که در شهر مشهد بین اصلی‌ترین انواع تراکم‌های شهری و VKT هر فرد (مسافت طی‌شده با وسیله‌ی نقلیه شخصی به کیلومتر) چه روابط و همبستگی‌های آماری وجود دارد؟ و کدام‌یک از انواع تراکم می‌تواند بیش‌ترین تأثیر را در کاهش VKT داشته باشد؟ مناطق ۱۵گانه‌ی ترافیکی شهر مشهد به لحاظ انتشار کربن حاصل از تردد خودروهای شخصی چه وضعیتی دارند؟ تراکم‌های شهری تا چه حد می‌تواند بر کاهش میزان CO_2 نقش داشته باشند؟

فرضیه‌های ما بر این اساس است که به نظر می‌رسد بین تراکم‌های شهری و میزان انتشار کربن رابطه‌ی معناداری وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش تراکم، میزان انتشار CO_2 کاهش می‌یابد. هم‌چنین به نظر می‌رسد به دلیل تأثیر زیادی که سفرهای کاری و شغلی در تولید و جذب سفرهای روزانه دارند، افزایش تراکم‌های شغلی نیز بیش‌ترین تأثیر را در کاهش انتشار آلاینده‌های کربنی ایفا می‌کند.

۲- پیشینه تحقیق

بسیاری از مطالعات قبلی نشان می‌دهند که اگر شهرها یا نواحی شهری به سمت فشرده‌تر شدن یا افزایش تراکم حرکت کنند، الگوهای سفر نیز به سمت کاهش سرانه VKT تغییر می‌کند و متعاقباً انتشار آلاینده‌ها کاهش می‌یابد. برای مثال، استید در سال ۲۰۰۱، اطلاعات سفر UK را مورد تحلیل قرار داد و ارتباط منفی را بین تراکم جمعیت و مجموع مسافت سفرهای هفتگی پیدا کرد که این مسافت در نواحی کم‌تراکم می‌تواند تا ۲۵ کیلومتر بیش‌تر شود. با توجه به این‌که این مطالعه در سطح برزن‌های شهری[5] صورت گرفته و نه محدوده‌ی قانونی کل شهر[6]، خود نشان‌دهنده‌ی اهمیت زیاد شاخص تراکم خالص در این‌گونه مطالعات برای توضیح الگوهای سفر است. در لیسبون نیز این ارتباطات در نواحی شهری کم‌تراکم که دارای مسافت بیش‌تری از سفرهای ماشینی هستند، مشاهده شده است(e Silva and de silva, 2005). از طرف دیگر، نیس[7] (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) به این نتیجه رسید که تراکم جمعیت و اشتغال در مرکز شهر هیچ تأثیر مستقیمی در کاهش مسافت سفر ندارد، اگرچه تأثیرات غیرمستقیم آن را نمی‌توان نادیده گرفت. اوینگ[8] (۱۹۹۵) نیز با کنترل مشخصه‌های خانوار هیچ ارتباط قابل‌توجهی بین VKT و تراکم مسکونی پیدا نکرد. نتایج او نشان می‌دهد، برخلاف تراکم مسکونی، تراکم اشتغال در مکان زندگی خانوارها عاملی بسیار تأثیرگذار در کاهش مسافت سفر است. علاوه براین، نوعی ارتباط مثبت غیرقابل‌پیش‌بینی در تحقیق اوینگ وجود دارد که بر اساس آن اگر افزایش تعداد سفرها به دلیل دسترسی بیش‌تر به مکان‌های شغلی باشد، این خود می‌تواند باعث کاهش مسافت سفر شود. کرور و کوکلمن (۱۹۹۷) به‌منظور کنترل تراکم اشتغال یک فاکتور تشدیدساز[9] را محاسبه کردند. آن‌ها با استفاده از VMT به‌عنوان متغیر وابسته، دو مدل رگرسیون چندمتغیره را ایجاد کردند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌داد ارتباط آماری منفی بین تراکم و VMT برای سفرهای غیرکاری وجود دارد و تراکم، تنها بر متغیرهایی مانند نرخ مالکیت خودرو می‌تواند تأثیری غیرمستقیم داشته باشد. فوچیر[10] (۲۰۰۰) نیز ارتباط منفی را بین مسافت سفر و تراکم پیدا کرد و نتیجه گرفت که متوسط مسافت سفر در نواحی کم‌تراکم‌تر ۲/۳ برابر، طولانی‌تر از نواحی متراکم‌تر است(Naess, 2005: 167-257).

اوینگ[11] (۲۰۰۸) در مقاله‌ای با عنوان «ویژگی‌ها، دلایل و تأثیرات رشد پراکنده» نتیجه می‌گیرد که در تراکم‌های جمعیتی بالاتر مصرف انرژی کم‌تر شده و انتشار CO_2 کاهش خواهد یافت، اگرچه تراکم‌های جمعیتی بالاتر به معنای ترافیک بیش‌تر و صرف زمان زیادتری برای سفر است و ناکارآمدی سوخت در چنین حالتی افزایش می‌یابد، اما حتی

5- Ward-level
6- authority-level
7- Naess
8- Ewing
9- intensity factor
10- Fouchier
11- Ewing

بااین‌وجود هنوز سرانه‌ی مصرف سوخت به ازای هر نفر به‌طور اساسی کم‌تر زمانی است که مردم مسافت‌های طولانی را در فرم گسترده و کم‌تراکم شهری رانندگی می‌کنند، به این دلیل که آن‌ها در تراکم جمعیتی بالاتر به میزان بسیار کم‌تری با ماشین‌های شخصی تردد خواهند کرد. علاوه بر تراکم به‌عنوان کلیدی‌ترین عامل، دو عامل تنوع و طراحی نیز ازجمله شاخص‌های اصلی هستند که محور بسیاری از مطالعات بوده است. در مورد تراکم و مصرف انرژی در سفرهای روزانه، نیومن و کنورثی (۱۹۸۹)، ارتباط تصاعدی منفی را بین هر دو عامل تراکم جمعیت و تراکم اشتغال و سرانه‌ی مصرف بنزین برای US و گروهی از شهرهای جهان یافتند. بر این اساس، ازآنجاکه ارتباط غیرخطی است، ممکن است جایی که دارای تراکم جمعیتی کم‌تر از ۱۲ نفر در هکتار باشد، مصرف بنزین افزایش یابد. به همین دلیل، نیومن وکنورثی معتقد بودند باید تراکم کلی شهر به‌عنوان یک شاخص مهم برای کاهش مجموع انرژی مصرفی شهرها در نظر گرفته شود.

جدول ۱: مروری بر مطالعات صورت گرفته در مورد رابطه‌ی بین شدت کاربری زمین و VMT

نویسنده (گان)	عنوان	نمونه موردی	روش تحقیق	متغیرها و نتایج	یافته (های) کلیدی
Barthelomew (2005,2007)	تأثیر برنامه‌ریزی سناریو- مبنا بر کاهش VMT و NO_x	۸۰ برنامه‌ریزی سناریو در بیش از ۵۰ نمونه ناحیه‌ی کلان‌شهری	شبیه‌سازی/ نمونه‌ی موردی	برنامه‌ریزی سناریوهای یک ناحیه	با افزایش تراکم به مقدار ۱۱ درصد،VMT و NOx هر کدام به ترتیب به میزان ۳۲,۲ درصد و ۰۷,۲ درصد کاهش می‌یابد
Glaeser and Kahn(2008)	ارتباط بین توسعه‌ی شهری و انتشار CO_2	۶۶ نمونه ناحیه کلان‌شهری در ایالات‌متحده	رگرسیون	متغیر وابسته: بنزین مصرف‌شده در هر سال. متغیرهای مستقل: لگاریتم (فاصله تا CBD) لگاریتم (وسعت تراکم قطعات)(۱۱۶,۸۵۱ =S.E=β، ۱۷,۲۵) لگاریتم (تراکم وسعت ناحیه‌ی کلان‌شهری)(۳۸,۴ =- β، S.E=۲,۱۲)لگاریتم (درآمد خانوار)(اندازه‌ی خانوار و...) R^2=۰,۳۰	عمدتاً تراکم بیش‌تر باعث کاهش تولید آلایندگی می‌شود
frank and Pivo(1994)	تأثیر تراکم و کاربری ترکیبی بر نحوه‌ی انجام سفر	۱۶۸۰ خانوار در سیاتل/ توکوما	رگرسیون چندمتغیره/ شبیه‌سازی	متغیر وابسته: نحوه‌ی انجام سفر متغیرهای مستقل: ۸ متغیر فرم شهر و ۹ متغیر غیر فرم شهر R^2= ۰,۱۴ تا ۰,۴۳	تعادل مشاغل- مساکن، تراکم و کاربری ترکیبی باعث کاهش استفاده از خودرو شخصی می‌شود
Holtzclaw(1994)	تأثیر تراکم جمعیت و حمل‌ونقل عمومی ترانزیتی بر VMT	۲۸ اجتماع محلی در کالیفرنیا	رگرسیون	تراکم جمعیت دسترسی‌پذیری به حمل‌ونقل عمومی سنگین R^2=۰,۸۳	اگر تراکم جمعیت افزایش باید، مقدار VMT خانوار می‌تواند کاهش یابد.
Newman and Kenworthya (1989)	تأثیر تراکم بر سرانه‌ی مصرف سوخت در خودروها به ازای هر فرد و VMT	۶۳ نمونه‌ی ناحیه‌ی کلان‌شهری در سراسر جهان	همبستگی	تراکم جمعیت (ضریب همبستگی:-۰,۵۷۷۸ (P-value:۰,۰۰۰ تراکم شغلی (-۰,۶۵۷۱، ۰,۰۰۰) تعداد مشاغل مرکز شهر (۰,۵۰۲۷، ۰,۰۰۲) تعداد مشاغل در شهر (-۰,۴۵۷۷، ۰,۰۰۵) متوسط مسافت سفرهای کاری (۰,۷۶۲۰، ۰,۰۰۰)	رابطه‌ی منفی قوی بین تراکم جمعیت و مصرف سوخت
Giuliano and Narayan(2003)	تأثیر تراکم بر VMT	مطالعه بر روی ۲۴۰۳۳ خانوار در US و ۹۶۸۸ خانوار در UK	رگرسیون/ برآورد در چهار سناریو	متغیرهای اجتماعی- اقتصادی: جنس، سن، درآمد و اشتغال متغیرهای فرم شهر: اندازه‌ی MSA و تراکم جمعیت R^2=۰,۱۵۳	تراکم‌های بالاتر، مسافت سفر کم‌تری را تولید می‌کنند

منبع: نگارندگان با استفاده از یافته‌های دیگر پژوهش‌ها

در ایران سابقه بررسی تأثیرات فرم شهری بر حمل‌ونقل و مصرف انرژی و انتشار کربن حاصل از آن بسیار محدود است. براتی و سردره (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «تأثیر شاخص‌های فرم شهری بر میزان استفاده از اتومبیل‌های شخصی و مصرف انرژی در مناطق شهر تهران» نشان دادند که میزان تأثیرگذاری شاخص‌های فرم شهر بر مصرف انرژی در تهران بیش از ۱۰ درصد است. این میزان در سفرهای شغلی به بیش از ۱۵ درصد می‌رسد. با توجه به ضریب همبستگی نزدیک به ۱ که بین شاخص‌های فرم شهر و مسافت طی شده با اتومبیل[۱۲] VDT محاسبه شده است؛ بنابراین فرم شهر می‌تواند تا بیش از ۱۰ درصد در انتشار CO_2 حاصل از حمل‌ونقل تأثیرگذار باشد(براتی و سردره، ۱۳۹۰: ۱۲-۳).

۳- مبانی نظری

هاتون[۱۳] (۱۹۹۷)، چهار مدل مختلف شهر پایدار را شناسایی کرد؛ شهرهای خوداتکا[۱۴]، طراحی مجدد شهرها[۱۵] (RDC)، شهر وابسته به بیرون[۱۶] (EDC) و شهر سهامی منصف[۱۷]. تمامی این چهار مدل بخشی از رویکرد توسعه‌ی پایدار شهری است که در دل خود استراتژی‌های متفاوتی را در رابطه‌ی با ابعاد مختلف پایداری شهری عرضه می‌کند(Williams, 2001: 11-13). از میان این چهار مدل، مدل طراحی مجدد شهرها بر این فرض استوار است که الگوهای رایج توسعه‌ی نواحی شهری به مصرف بی‌رویه و هدر دادن منابع متکی است؛ چراکه طراحی و ساختار این الگوها با فنّاوری‌های ناکارآمد زیست‌محیطی همگام شده است؛ بنابراین، این مدل طراحی مجدد شهرها را به سمت فرم‌های فشرده‌تر، افزایش تراکم و ترکیب کاربری‌ها را پیشنهاد می‌کند که خود باعث کاهش مسافت سفر و افزایش استفاده از وسایط نقلیه‌ی غیرموتوری و انواع حمل‌ونقل عمومی می‌شود. هم‌چنین باعث بهبود طراحی ساختمان‌ها و در نتیجه کاهش مصرف انرژی خواهد شد(Haugthon: 1997: 91). این مدل به‌طور آشکار، بسیاری از فرض‌های اساسی بحث مربوط به شهر فشرده را مطرح می‌کند. اگرچه یک تعریف واحد و جهان‌شمول از فرم توسعه‌ی فشرده شهری وجود ندارد، اما هدف اصلی این فرم شهری این است که مشکلات شهر را با وجود محدودیت‌های خود شهر و در درون آن حل کند و مهم‌ترین دغدغه‌های آن، کاهش فاصله بین محل سکونت و مراکز فعالیت‌های تجاری و صنعتی، تنوع بیش‌تر فعالیت‌های اجتماعی و عملکردی ساکنین، توسعه‌ی مجدد نواحی فرسوده‌ی شهری و ایجاد دسترسی چندگانه به تمام مناطق شهر بر اساس مجاورت بیش‌تر فعالیت‌ها و کاربری‌ها است.

مهم‌ترین طرفداران اصول شهر فشرده(CEC, 1990,Elkin et al., 1991, Jacobs, 1961, Newman and Kenworthy, 1989: 24-37, Hillman, 1996, Holden, 2004: 91-109) از مزایای متعدد زیست‌محیطی و اجتماعی که برآیند فشردگی شهری است، دفاع می‌کنند که می‌توان به مواردی اشاره کرد ازجمله: وابستگی کم‌تر به ماشین، انتشار کم‌تر آلاینده‌ها و کاهش مصرف انرژی، بهبود حمل‌ونقل عمومی، افزایش قابلیت دسترسی، استفاده مجدد از زیرساخت‌های شهر و اراضی قبلاً توسعه یافته، جداسازی مجدد نواحی شهری موجود و باز زنده‌سازی حیات شهری، کیفیت بالای زندگی، حفظ فضاهای سبز و ایجاد محیطی برای بهبود و پیشرفت فعالیت‌های تجاری و بازرگانی(Thomas and cousins, 1996:56, Frey, 1999: 24-25). تدوین دستورالعمل سبز محیط‌زیست شهری نیز در اروپا، یک اقدام مهم در پیشنهاد فرم پایدار شهر بود که توسط کمیسون اروپا در سال ۱۹۹۰ ارائه شد(ECE, 1990) و مفهوم شهر فشرده را به‌عنوان یک نمونه از شهر پایدار برای شهرهای اروپا مطرح کرد. به دنبال آن، چندین نظریه در تلاش برای رسیدن به فرم پایدار شهر پیشنهاد گردید، شامل نوشهرگرایی، توسعه‌ی حمل‌ونقل محور (TOD)، توسعه‌ی کاربری

12- Vehicle Distance Travel
13- Haugthon
14- Self-reliance cities
15- Re-designing Cities
16- Externally dependent City
17- Fair Share City

ترکیبی، رشد هوشمند شهری و غیره. همه‌ی این مفاهیم تلاش دارند که پادارایم جدیدی از ساختار فعلی شهرها بر مبنای فشردگی بیش‌تر و زندگی در تراکم‌های بالاتر ارائه دهند(Newman, 2005: 24-37).

۳- محدوده موردمطالعه

شهر مشهد به‌عنوان دومین کلان‌شهر بزرگ بعد از پایتخت و مرکز استان خراسان رضوی در طی مهروموم‌های اخیر با تقاضای سفر درون‌شهری بالایی مواجه بوده است؛ به‌طوری‌که تعداد سفرهای شهری در یک شبانه‌روز از حدود ۴ میلیون سفر در سال ۱۳۸۵ به ۶ میلیون سفر در سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین ضریب ساعات اوج سفرهای روزانه از ۵/۱۱٪ به ۱۰/۹۴٪ یعنی بیش از دو برابر شده است(هشتمین آمارنامه‌ی حمل‌ونقل شهر مشهد، ۱۳۹۱: ۱۴). سرانه‌ی مالکیت خودرو نیز در مشهد در مدت ۱۰ سال میانگین نرخ رشدی برابر با ۴۷ درصد داشته است؛ به‌گونه‌ای که سرانه‌ی مالکیت خودرو از ۰/۰۵۹ در سال ۷۵ به ۰/۱۲۵ در سال ۸۵ و ۰/۲۲۳ در ۱۰۰۰ در سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است(مهندسین مشاور طرح هفتم، ۱۳۷۸: ۹۹). افزایش استفاده از خودروهای شخصی در سفرهای شهری باعث افزایش ۵۱٪ مصرف بنزین و به‌تبع آن ۴۹٪ آلاینده‌ی Co منواکسیدکربن شده است. این اعداد و ارقام بیانگر اثرات مخرب ماشینی شدن شهر و خسارات جبران‌ناپذیر بر محیط‌زیست شهری و سلامتی شهروندان است(دومین آمارنامه‌ی حمل‌ونقل شهر مشهد، ۱۳۸۴: ۲۵). استفاده روزافزون از خودرو نه‌تنها عامل ۷۰ درصد آلودگی هوای مشهد است، بلکه جاپای بوم‌شناختی وسیعی به لحاظ مصرف سوخت و جذب آلاینده‌ها ایجاد کرده است؛ به‌گونه‌ای که بسیار بیش از ظرفیت زیستی این شهر است.

۴- روش‌شناسی تحقیق

روش تحقیق مقاله‌ی حاضر مبتنی بر راهبرد کمّی و روش توصیفی-تحلیلی است. در این مقاله برای تحلیل رفتار سفر ساکنین و میزان تأثیرگذاری آن بر انتشار آلاینده‌ها از متغیر وابسته VKT(مسافت طی‌شده با وسیله‌ی نقلیه شخصی به کیلومتر) استفاده شده است. دلیل انتخاب VKT به‌عنوان متغیر وابسته از میان سایر متغیرهای توصیف‌کننده‌ی الگوهای سفر به این دلیل است که این متغیر بالاترین ضریب همبستگی (نزدیک به ۱) با انتشار CO_2 نشان داده است. هم‌چنین متغیرهای تراکم‌های شهری مانند (تراکم جمعیت، تراکم اشتغال ساکن و اشتغال غیر ساکن و تراکم بلوک‌های مسکونی و تراکم کاربری‌ها) که بیان‌کننده‌ی شدت کاربری زمین هستند، به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. داده‌ی موردنیاز برای سنجش VKT با استفاده از تحلیل نتایج آمارگیری مبدأ – مقصد خانوار سال ۱۳۹۰ در شهر مشهد انجام شد. این آمارگیری توسط سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد در سطح شهر و با حجم نمونه‌ای نزدیک به ۲۰۰۰ نفر بر اساس مناطق ۱۵گانه‌ی ترافیکی جمع‌آوری گردید. با دسترسی به نتایج این آمارگیری و اندازه‌گیری میانگین مسافت مبدأ-مقصد خودروهای شخصی هر منطقه مقدار VKT برای هر منطقه به دست آمد.

مدل‌های کمّی که در تعیین شاخص‌های فرم شهر استفاده‌شده است شامل: آنتروپی، جینی، گری و موران است که به‌اختصار هر یک را شرح می‌دهیم:

جدول ۲: روش‌های کمّی مورداستفاده در تحلیل شاخص‌های فرم شهر

روش	فرمول	توضیحات
آنتروپی	$\sum_{i=1}^{N}(PDEN_i * \log(\frac{1}{PDEN_i}) / \log(N)$	ضریب بین ۰ و ۱ است. ۰ توزیع کاملاً ناعادلانه و ۱ توزیع کاملاً عادلانه. در این رابطه DEN_i تراکم منطقه‌ی i و Nتعداد مناطق است.
جینی	$Gini=0.5\sum_{i=1}^{n}\|Xi - yi\|$	ضریب بین ۰ و ۱ است. ۰ توزیع کاملاً عادلانه و ۱ توزیع کاملاً ناعادلانه در این رابطه N تعداد مناطق، X_i نسبت وسعت منطقه‌ی I به کل وسعت مناطق مختلف و Y_i نسبت جمعیت یا اشتغال منطقه‌ی i از کل مناطق مختلف
موران	$Moran=\frac{N\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij}(x_i-x)(x_j-x)}{(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij})(x_i-x)^2}$	ضریب بین ۱+ و ۱- است. ۱+ الگوی کاملاً تک‌قطبی ۰ تجمع تصادفی یا چندقطبی ۱-الگوی شطرنجی در این رابطه N تعداد مناطق، X_i جمعیت یا اشتغال منطقه‌ی i، X_j جمعیت یا اشتغال منطقه‌ی j، X متوسط جمعیت یا اشتغال و W_{ij} وزن بین مناطق i و j را مشخص می‌کند.
گری	$Geary=\frac{(N-1)[\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij}(x_i-x_j)^2]}{2(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij})\sum_{i=1}^{N}(x_i-x)^2}$	ضریب بین ۰ و ۲ تنظیم می‌شود. مقدار پایین‌تر یعنی تجمع بیش‌تر و مقدار بالاتر بیانگر پراکنش بیش‌تر است. در این رابطه N تعداد نواحی، X_i جمعیت یا اشتغال منطقه‌ی i، X متوسط جمعیت یا اشتغال و W_{ij} وزن بین مناطق i و jرا مشخص می‌کند.

سپس انواع تراکم‌های شهری با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی و با استفاده از نرم‌افزار GIS برای تحلیل‌های آماری آماده‌سازی شد. نتایج به‌صورت ضرایب همبستگی، R square و رگرسیون چندمتغیره ارائه گردید. در مرحله‌ی آخر با استفاده از فرمول استانداردشده‌ی اروپا میزان تولید CO_2و CO_{2e} هر منطقه بر مبنای متوسط سرانه‌ی VKT و مصرف سوخت برآورد گردید و مجدداً در رابطه‌ی آماری قرار گرفت.

لازم به ذکر است که CO_{2e} به‌عنوان مهم‌ترین عامل تشکیل‌دهنده‌ی گازهای گلخانه‌ای (به همراه متان و اکسید نیتروژن) به فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه‌ی ۱

$$CO2e= CO2 + 25 \times CH4+298 \times N2O$$

البته برای محاسبه‌ی مقادیر کربن در هر لیتر بنزین و یا در هر کیلومتر، از استانداردهای محاسبه‌شده‌ی اروپا در این زمینه استفاده گردید که برای هر خودرو شخصی به میزان ۰,۴۱ کیلوگرم CO_{2e} در هر لیتر برابر است با:

رابطه‌ی ۲

$$CO2e=0.41kg\ CO2e\ /\ litr$$

که CO_2 مستقیم و غیرمستقیم آن در هر کیلومتر برابر است با:

رابطه‌ی ۳

$$Direct\ emittion\ CO2=186g/km$$
$$Indirect\ emittion\ CO2=33g/km$$

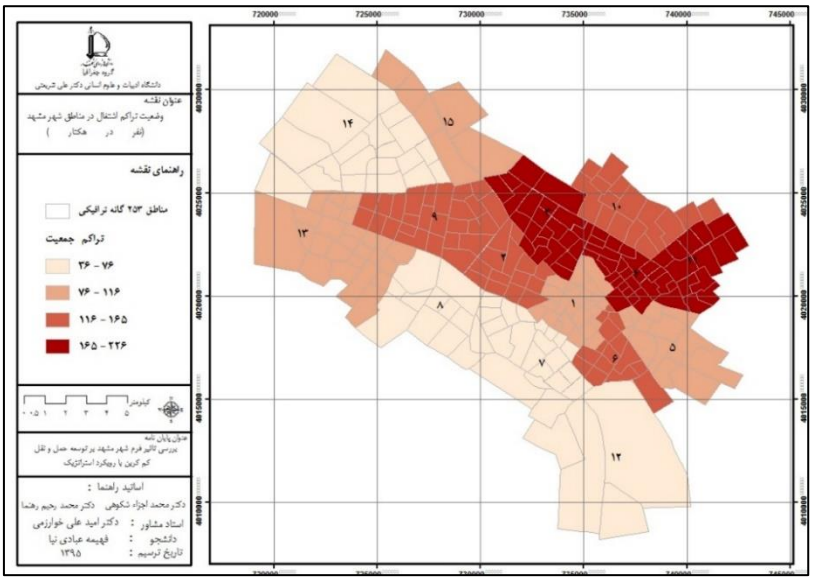
۵- یافته‌های تحقیق

وضعیت شدت کاربری زمین در شهر مشهد که با ضرایب آنتروپی، جینی، گری و موران بررسی شده است. بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده، نابرابری و ناهماهنگی در توزیع جمعیت و اشتغال وجود دارد و اگرچه با مقایسه‌ی ضرایب در دوره‌های قبل مشخص است که تراکم در سطح شهر رو به افزایش نسبی است و شهر به سمت چندهسته‌ای شدن میل می‌کند، اما نحوه‌ی پراکنش آن برنامه‌ریزی‌شده نیست. درمجموع مسافت سفرهای درون‌شهری و خصوصاً سفرهای کاری به دلیل تمرکز و تجمع اشتغال در نواحی مشخص و توزیع نامناسب در سطح شهر بالاست. ضرایب حاصل از آن برای شهر مشهد به شرح جدول زیر است:

جدول ۳: ضرایب نهایی محاسبه شده برای تراکم جمعیت

شاخص	متغیر	روش	ضرایب
شدت کاربری زمین	تراکم جمعیت	آنتروپی	۰/۹۳۲
		جینی	۰/۲۴
		موران	-۰/۰۷
		گری	۱/۲۹

ازنظر توزیع تراکم جمعیت نیز در شهر نوعی عدم تعادل مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که تراکم ناخالص جمعیتی از ۲۵ تا ۱۵۴ نفر در هکتار متغیر است. متوسط تراکم مسکونی شهر معادل ۳۴۰ نفر در هکتار برآورد شده است. درحالی‌که تراکم خالص مسکونی در نواحی شمال و شمال شرقی بین ۴۳۵ تا ۵۱۴ نفر در هکتار است؛ بنابراین پهنه‌ی شمال شرقی با بیشترین تراکم جمعیتی مواجه است. ازاین‌رو می‌توان گفت رشد جمعیت در مناطق مختلف شهر نامتعادل است. در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۵ این رشد در مناطق مرکزی ۰,۷۵ و در پهنه‌ی شمال غربی شهر ۷,۷ درصد بوده است. سطح اشباع جمعیتی شهر که معرّف نسبت جمعیت به ظرفیت است، نیز حاکی از آن است که هیچ‌کدام از نواحی اشباع جمعیتی در حومه‌ی شهر مشهد قرار ندارند؛ لذا اسکان روزافزون جمعیت در ناحیه‌های دورتادور شهر قابل پیش‌بینی است.



شکل ۱: وضعیت توزیع تراکم‌های جمعیتی در شهر مشهد

منبع (نگارندگان با استفاده از داده‌های سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد[۱۸]، ۱۳۸۹: ۹)

۱۸- تحلیل آمار و اطلاعات اجتماعی و اقتصادی، مسائل کاربری زمین

تحلیل‌های ما برای شهر مشهد نیز نشان می‌دهد که مناطق شهری با تراکم بالای ۱۰۰ نفر در هکتار VKT به میزان ۲٫۵ تا ۴ کیلومتر کم‌تر از تراکم‌های زیر ۱۰۰ نفر در هکتار است. تنها استثنا در این خصوص منطقه‌ی مرکزی شهر است که علیرغم تراکم پایین جمعیت ساکن، مسافت سفر کمی نیز دارد. البته دلایل زیادی را می‌توان در این امر تأثیرگذار دانست؛ عواملی چون محدودیت تردد خودروها و محدودیت‌های پارکینگ، طرح ترافیک و دسترسی قوی به وسایل حمل‌ونقل عمومی در این محدوده‌ی و هم‌چنین تمرکز کاربری‌های تجاری و مشکلات ساخت‌وساز در این منطقه که باعث شده است رشد جمعیت پایین و حتی طی دو دهه‌ی اخیر رشد جمعیت در بعضی قطاع‌ها نظیر قطاع ۲ منفی باشد. درمجموع می‌توان مناطق شهر مشهد را در ۴ گروه تقسیم‌بندی کرد که در جدول زیر مشاهده می‌کنید.

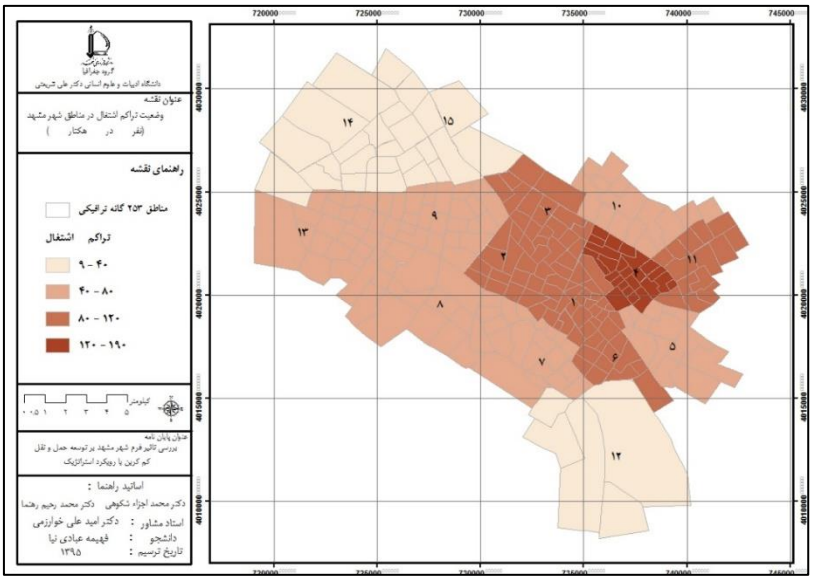
جدول ۴: تفکیک چهارگانه‌ی مناطق ترافیکی شهر بر مبنای متوسط مسافت خودروهای شخصی و متوسط تراکم جمعیتی

مناطق ۱۵ گانه‌ی ترافیکی		متوسط (VKT)	متوسط تراکم (نفر در هکتار)
مرکزی	۱، ۲، ۴، ۶	۶	۱۴۰
کمربند مرکزی	۳، ۵، ۷	۶/۷	۱۱۸
حاشیه‌ی قدیم	۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲	۷/۸	۱۰۹
حاشیه‌ی جدید	۱۳، ۱۴، ۱۵	۹/۲	۷۸

منبع (نگارندگان با اقتباس از مهندسین مشاور طرح هفتم در طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد)

یافته‌ها نشان می‌دهد با کاهش تراکم از سمت مناطق مرکزی به سمت حاشیه، متوسط مسافت سفر افراد افزایش می‌یابد. در مورد متغیر تراکم جمعیت، ضریب همبستگی ۰٫۵۵۷- و P- value=0.02 به‌دست‌آمده حاکی از آن است که "ارتباط غیرمستقیم معناداری بین افزایش تراکم مناطق و کاهش مسافت سفر خودروهای شخصی در سطح معناداری ۰٫۰۵ وجود دارد".

علاوه بر تراکم جمعیت، تراکم اشتغال نیز در کاهش VKT بسیار تأثیرگذار است. این متغیر می‌تواند مناطق تولید سفرهای شغلی را از مناطق جذب سفرها به‌خوبی تفکیک کند و از طریق آن، تأثیری را که بر روی متغیر وابسته VKT (متوسط مسافت طی شده با وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی) می‌گذارد، روشن نماید. همان‌طور که در نقشه مشخص است، عموماً مناطق مرکزی شهر بیش‌ترین تعداد مشاغل را داشته و ساکنین آن دارای کم‌ترین مسافت سفر هستند؛ درصورتی‌که در مقایسه با آن، مناطق غرب و شمال غرب در گروه مناطق تولیدکننده‌ی سفر به شمار می‌آیند و ساکنین آن مسافت بیش‌تری از سفرهای شغلی را با استفاده از خودروی شخصی طی می‌کنند.



شکل ۲: وضعیت توزیع تراکم‌های اشتغال در شهر مشهد

(منبع: نگارندگان با استفاده از داده‌های سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد[۱۹]، ۱۳۸۹: ۹)

جدول ۵: ضرایب نهایی محاسبه‌شده برای تراکم اشتغال

شاخص	متغیر	روش	ضرایب
شدت کاربری زمین	تراکم اشتغال	آنتروپی	۰/۹۳۳
		جینی	۰/۲۷
		موران	-۰/۱۱
		گری	۱/۲۶

منبع: نویسندگان

آزمون آماری پیرسون نیز که در جدول زیر آمده است، "ضریب همبستگی کاملاً معناداری ۰,۷۹- (P- value=0.00) را بین این دو متغیر در سطح معناداری ۰,۰۱ نشان داده است".

سومین نوع شدت کاربری زمین که مستقیماً با بافت شهری در ارتباط است، تراکم و میزان ریزدانگی بلوک‌های ساختمانی است. در این خصوص باید گفت که رابطه‌ی کاملاً معناداری (ضریب همبستگی=۰,۶۵۶ و P-value= 0.008)، بین تراکم بلوک‌های مسکونی در هر منطقه و مسافت سفر با وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی ساکنین آن منطقه برقرار است؛ به‌طوری‌که با افزایش تراکم بلوک‌های مسکونی در مسافت سفر به‌طور محسوسی نسبت به مناطق دیگر کاهش‌یافته است، درحالی‌که در مناطقی که تراکم بلوک‌های مسکونی کم‌تری دارند VKT افزایش یافته است.

و درنهایت چهارمین نوع تراکم موردبررسی، تراکم کاربری‌های ترکیبی است. درمجموع، اعداد به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پخش شش کاربری (اداری، آموزشی، تجاری، تولیدی، خدماتی، درمانی) در سطح مناطق ۱۵ گانه ترافیکی شهر مشهد مناسب بوده است و آنتروپی کل برای مشهد ۰,۸۴ است (کم‌ترین مقدار متعلق به منطقه‌ی ۸ با عدد ۰,۶۶ و بیش‌ترین مقدار متعلق به منطقه‌ی ۹ با عدد ۰,۹۶)؛ اما نکته‌ی حائز اهمیت این است که رقم به‌دست‌آمده از آنتروپی شانون به این معنا نیست که از ظرفیت بالقوه‌ی کاربری ترکیبی در مشهد استفاده شده است. برای مثال در مورد کاربری ترکیبی تک ساختمانی، کاربری تجاری-مسکونی با ۴,۱۵ درصد و تجاری-مسکونی-اداری با ۰,۶ درصد کاربری‌های

۱۹- تحلیل آمار و اطلاعات اجتماعی و اقتصادی، مسائل کاربری زمین

ترکیبی وضع موجود شهر را تشکیل می‌دهند که درمجموع، سرانه‌ی ۱,۲۶ مترمربع کاربری ترکیبی در این شهر را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در الگوی کاربری ترکیبی، تراکم‌های بالاتر تشویق می‌گردد، تراکم شهری مشهد مقدار پایینی است که با کاربری ترکیبی هماهنگی کم‌تری دارد. هم‌چنین اراضی بایر با ۳۴,۴ درصد و حمل‌ونقل و پارکینگ با ۰,۵۹ درصد، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد از مساحت کل کاربری‌های شهر مشهد را شامل می‌شوند. این ارقام وضعیت مناسبی را نشان نمی‌دهد؛ زیرا مقدار زیاد اراضی بایر در شهر نشان می‌دهد که شهر به‌صورت پیوسته رشد نکرده و ظرفیت‌های زیادی دارد که به‌صورت بلااستفاده باقی مانده است؛ اما با این ظرفیت‌های موجود، به زمین‌های اطراف دست‌اندازی شده و درواقع، اراضی به هدر رفته است. مقادیر پایین کاربری حمل‌ونقل نیز بیانگر مساعد نبودن وضعیت حمل‌ونقل و دسترسی در شهر است که به‌عنوان عاملی منفی در پایداری شهری نگریسته می‌شود. علاوه بر این، به لحاظ تنوع و ترکیب کاربری‌ها مشهد وضعیت مطلوبی دارد، اما کیفیت کاربری ترکیبی در سطح شهر یکسان نیست؛ به همین دلیل افراد ممکن است برای برخورداری از بخشی از نیازهای خود فواصل طولانی‌تری را طی کنند.

جدول ۶: مراحل محاسبه‌ی آنتروپی تراکم کاربری ترکیبی در سطح مناطق ترافیکی شهر مشهد

مناطق ترافیکی	مساحت ساخته‌شده (هکتار)	$PDEN_i$	$Log(1/PDEN_i)$	$PDEN_i * Log(1/PDEN_i)$	Log(N)	
۱	۱۵۶	۰/۰۴۱۲	۱/۳۷۴	۰/۰۵۷۹	۰/۰۴۹۳	۰/۷۸۸۸
۲	۱۴۴/۴	۰/۰۳۸۲	۱/۴۱۷	۰/۰۵۴۲	۰/۰۴۶۰	۰/۸۴۶۱
۳	۱۸۹/۸	۰/۰۵۱۳	۱/۲۸۹	۰/۰۶۶۲	۰/۰۵۶۲	۰/۹۲۷۰
۴	۹۴/۴	۰/۰۲۵۵	۱/۵۹۲	۰/۰۴۰۶	۰/۰۳۴۵	۰/۹۴۳۳
۵	۱۱۵/۷	۰/۰۳۱۳	۱/۵۰۴	۰/۰۴۷۰	۰/۰۴۰۰	۰/۹۴
۶	۹۴/۴	۰/۰۲۵۸	۱/۵۸۸	۰/۰۴۰۹	۰/۰۳۴۸	۰/۸۸۷۰
۷	۱۰۱/۳	۰/۰۲۷۴	۱/۵۶۲	۰/۰۴۲۸	۰/۰۳۶۴	۰/۸۸۵۰
۸	۶۲۴/۱	۰/۱۶۸	۰/۷۷۲	۰/۱۳۰۴	۰/۱۱۰۸	۰/۶۶۸۷
۹	۱۳۲/۹	۰/۰۳۵۹	۱/۴۴۴	۰/۰۵۱۹	۰/۰۴۴۱	۰/۹۶۶۳
۱۰	۴۶/۲	۰/۰۱۲۵	۱/۹۰۲	۰/۰۲۳۷	۰/۰۲۰۲	۰/۹۱۸۳
۱۱	۵۵	۰/۰۱۴۸	۱/۸۲۶	۰/۰۲۷۲	۰/۰۲۳۱	۰/۹۴۵۰
۱۲	۱۰۸/۴	۰/۲۹۳	۰/۵۳۲	۰/۱۵۶۲	۰/۱۳۲۸	۰/۷۴۶۲
۱۳	۲۵۹/۷	۰/۰۷۰	۱/۱۵۳	۰/۰۸۱۰	۰/۰۶۸۸	۰/۸۴۶۳
۱۴	۳۸۵/۸	۰/۱۰۴	۰/۹۸۱	۰/۱۰۲۴	۰/۰۸۷۰	۰/۷۲۹۶
۱۵	۲۱۵	۰/۰۵۸	۱/۲۳۵	۰/۰۷۱۸	۰/۰۶۱۰	۰/۹۰۴۳
∑	۳۶۹۸			۱/۱۷۶۰	۰/۸۴۵۸	۰/۸۴۵

منبع: نگارندگان

نتایج همبستگی میان این متغیر با متغیر وابسته VKT نشان می‌دهد که ارتباط معناداری بین افزایش تنوع کاربری‌ها (جدا از ترکیبی بودن یا نبودن کاربری‌ها) یک منطقه و کاهش مسافت سفر با وسیله‌ی نقلیه‌ی شخصی وجود دارد؛ به‌نحوی‌که این ارتباط برای شهر مشهد در سطح معناداری ۰,۰۵ برابر با ضریب همبستگی ۰,۵۵۲- (P- value=۰,۰۳) است.

به‌منظور سنجش تأثیری که هر یک از متغیرهای مستقل شدت کاربری زمین شامل: تراکم جمعیت، تراکم اشتغال، تراکم مسکونی و تراکم کاربری‌ها برVKT می‌گذارد از مدل رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. نتایج جدول ANOVA نشان می‌دهد که مدل در سطح معناداری ۰,۰۵ کاملاً معنادار است، ولی تنها ۲ متغیر تراکم اشتغال و تراکم کاربری‌های مختلط در مدل رگرسیون معنادار هستند. متغیر مستقل تراکم اشتغال با ضریب ۰,۷۲۹- =Beta در سطح معناداری ۰,۰۱ بیش‌ترین تأثیر را بر VKT دارد پس‌ازآن تراکم کاربری‌ها مختلط با ضریب ۰,۴۸۲- =Beta در مدل رگرسیونی ما تأثیرگذار است. از (R^2 =0.652 تعدیل‌شده) می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای تراکم شهری (به‌تنهایی و بدون

مقایسه با سایر متغیرهای فرم شهر) می‌تواند ۶۵ درصد بر VKT (مسافت سفر با خودرو شخصی به کیلومتر) تأثیرگذار باشد.

جدول ۷: ضرایب رگرسیون چندمتغیره برای مقادیر تأثیرگذاری متغیرهای تراکم

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	15.060	2.658		5.666	.000
	Pop density	.010	.009	.393	1.151	.277
	Employment density	-.039	.012	-.729	-3.133	.011
	Block density	-1.164	1.724	-.209	-.675	.515
	Land use density	-7.360	3.457	-.482	-2.129	.059
R^2	0.751					
Ajusted R^2	0.652					
F	7.56(sig.0.005[b])					
a. Dependent Variable: vkt						

منبع: یافته‌های پژوهش

درنهایت اقدام به محاسبه‌ی میزان کربن انتشاریافته به تفکیک مناطق ۱۵گانه‌ی ترافیکی نمودیم و با استفاده از ضرایب تأثیر به‌دست‌آمده از معادله‌ی رگرسیون چندگانه میزان کاهش کربن آن را در صورت افزایش تراکم محاسبه کردیم.

میزان انتشار (CO_2) و (CO_{2e}) خودروهای شخصی با استفاده‌ی متوسط میزان مصرف سوخت هر خودرو با توجه به مسافت طی‌شده در روز و با توجه به مقادیر زیر محاسبه گردید:

(۱) تعداد خودروهای شخصی موجود در هر منطقه

(۲) مسافت سفرهای با خودرو شخصی در هر منطقه به کیلومتر (VKT)

(۳) میزان انتشار کربن از هر وسیله‌ی نقلیه (CO_2) و (CO_{2e}) در هر کیلومتر

جدول ۸: مقادیر مربوط به محاسبه‌ی آلاینده‌های کربن در هر منطقه به ترتیب مراحل از راست.

مناطق ترافیکی	تعداد خودرو	VKTسرانه	مجموع VKT	مصرف بنزین لیتر در روز	Co_2 مستقیم تن در روز	Co_2غیرمستقیم تن در روز	CO_{2e} تن در روز
منطقه‌ی ۱	۲۷۱۵۴	۵/۹	۱۶۶۲۸۵	۱۴۹۶۶	۳۰/۹	۵/۴	۶۸/۱
منطقه‌ی ۲	۴۰۷۲۸	۶/۵	۲۶۴۷۳۲	۲۳۸۲۶	۴۹/۲	۸/۷	۱۰۸/۵
منطقه‌ی ۳	۹۲۸۱۲	۶/۸	۶۳۱۱۲۱	۵۶۸۰۱	۱۱۷/۳	۲۰/۸	۲۵۸/۷
منطقه‌ی ۴	۸۷۷۵۸	۶/۱	۵۳۵۳۲۳	۴۸۱۷۹	۹۹/۵	۱۷/۶	۲۱۹/۴
منطقه‌ی ۵	۵۲۶۰۴	۷/۵	۳۹۴۵۳۰	۳۵۵۰۸	۷۳/۳	۱۳	۱۶۱/۷
منطقه‌ی ۶	۵۰۵۳۹	۵/۸	۲۹۳۱۲۶	۲۶۳۸۱	۵۴/۵	۹/۶	۱۲۰/۱
منطقه‌ی ۷	۴۵۵۲۰	۶	۲۷۳۱۲۰	۲۴۵۸۰	۵۰/۸	۹	۱۱۱/۹
منطقه‌ی ۸	۶۷۰۸۰	۹	۶۰۳۷۲۰	۵۴۳۳۴	۱۱۲/۲	۱۹/۹	۲۴۷/۵
منطقه‌ی ۹	۱۰۳۱۲۱	۷/۵	۷۷۳۴۰۷	۶۹۶۰۷	۱۴۳/۸	۲۵/۵	۳۱۷
منطقه‌ی ۱۰	۵۱۱۶۷	۷/۲	۳۶۸۴۰۲	۳۳۱۵۶	۶۸/۵	۱۲/۱	۱۵۱
منطقه‌ی ۱۱	۵۸۴۱۶	۶/۵	۳۷۹۷۰۴	۳۴۱۷۳	۷۰/۶	۱۲/۵	۱۵۶/۶

منطقه‌ی ۱۲	۵۸۰۷۳	۹	۵۲۲۶۵۷	۴۷۰۳۹	۹۷/۲	۱۷/۲	۲۱۴/۲
منطقه‌ی ۱۳	۱۱۲۶۴۴	۹	۱۰۱۳۷۹۶	۹۱۲۴۲	۱۱۸/۵	۳۳/۴	۴۱۵/۶
منطقه‌ی ۱۴	۱۲۲۰۸۵	۱۰	۱۲۲۰۸۵۰	۱۰۹۸۷۶	۲۲۷	۴۰/۲	۵۰۰/۵
منطقه‌ی ۱۵	۳۳۳۹۵	۸/۸	۲۹۳۷۷۶	۲۶۴۴۹	۵۴/۶	۹/۶	۱۲۰/۴
مجموع	۱۰۰۴۱۲۶	-	۷۷۳۴۶۵۲	۶۹۶۱۱۹	۱۴۳۸/۶	۲۵۵/۲	۳۱۷۱/۲

منبع: یافته‌های پژوهش

یافته‌های جدول فوق به همراه سایر آزمون‌های همبستگی و رگرسیون که موردبحث قرار گرفت، نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان انتشار آلاینده‌های کربنی مربوط به مناطقی است که ازنظر شدت کاربری زمین در وضعیت مطلوبی قرار ندارند. این مناطق درعین‌حال وابستگی بیش‌تری به اتومبیل شخصی نشان می‌دهند و چون در تراکم‌های پایین دسترسی به امکانات، مشاغل و خدمات کم‌تر است، استفاده از خودروی شهری و مسافت طی‌شده توسط آن‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه آلاینده‌ی بیش‌تری تولید می‌شود. ازآنجاکه طبق جدول زیر همبستگی قوی بین تولید کربن و مسافت زیر برای شهر مشهد به‌دست‌آمده است؛ بنابراین در صورت کاهش مسافت سفر از طریق افزایش تراکم می‌توان تأثیرات مثبتی در جهت رویکرد حمل‌ونقل کم‌کربن اعمال کرد.

جدول ۹: رابطه‌ی خطی پیرسون بین دو متغیر VKT و Co_2

Correlations			
		vkt	Co_2
vkt	Pearson Correlation	1	.845**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	15	15
Co_2	Pearson Correlation	.845**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	15	15
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

منبع: یافته‌های پژوهش

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

حمل‌ونقل یکی از بزرگ‌ترین منابع تولید گازهای گلخانه‌ای است که بیش‌ترین و سریع‌ترین رشد انتشار را نسبت به دیگر بخش‌ها داشته است. بخش حمل‌ونقل مسئول تولید بیش از یک‌چهارم CO_2 انتشاریافته در جهان است؛و با رشد روزافزون تقاضای سفر و استفاده از اتومبیل‌های شخصی، تولید جهانی CO_2 بیش‌ازپیش در حال افزایش است. در این میان راه‌کارهای بسیاری برای کاهش مصرف سوخت و کنترل هر چه بیش‌تر تولید آلاینده‌های کربنی ارائه شده است که در حیطه‌ی برنامه‌ریزی شهری تأکید بر روی راه‌هایی است که بتواند از طریق کاستن مسافت‌های درون‌شهری باعث کاهش انتشار آلاینده‌ها شود. یکی از مطرح‌ترین راه‌ها اعمال تغییراتی در فرم شهر است؛ به‌طوری‌که بتوان به درجه‌ای از فشردگی در شهر دست یافت که ساکنین بتوانند نیازهای معیشتی، خدماتی و شغلی خود را در فواصل کوتاه‌تری برآورده سازند. در این میان افزایش شدت کاربری زمین (تراکم) از اساسی‌ترین پیشنهادهای ارائه‌شده در پژوهش‌هاست. در این مقاله، بررسی برای شهر مشهد چهار نوع تراکم‌های جمعیتی، تراکم شغلی و تراکم بلوک‌های ساختمانی و تراکم کاربری‌های ترکیبی درنظر گرفته شد که درنهایت مشخص شد اگرچه هر چهار نوع تراکم به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۵۷۷-، ۰/۷۹۰- و ۰/۶۵۶- و ۰,۵۵۲- دارای ارتباط خطی با مسافت طی‌شده خودروهای شخصی (VKT) است، ولی تنها ۲ متغیر تراکم اشتغال غیرساکن و تراکم بلوک‌های مسکونی در مدل رگرسیون معنادار هستند. متغیر مستقل تراکم اشتغال غیرساکن با ضریب Beta=-0.658 در سطح معناداری ۰,۰۰۳ بیش‌ترین تأثیر را بر VKT دارد پس‌ازآن، تراکم بلوک‌های مسکونی با ضریب Beta= -۰,۱۴۸- در مدل رگرسیونی ما تأثیرگذار است. از R^2=0.639 می‌توان نتیجه گرفت

که متغیرهای تراکم شهری (به‌تنهایی و بدون مقایسه با سایر متغیرهای فرم شهر) می‌تواند ۶۳ درصد بر VKT(مسافت سفر با خودرو شخصی به کیلومتر) تأثیرگذار باشد. درنهایت اقدام به محاسبه‌ی میزان کربن انتشاریافته به تفکیک مناطق ۱۵گانه‌ی ترافیکی نمودیم و با استفاده از ضرایب تأثیر به‌دست‌آمده از معادله‌ی رگرسیون چندگانه، میزان کاهش کربن آن را در صورت افزایش تراکم محاسبه کردیم. همان‌طور که گفته شد، پژوهش‌ها نشان داده است که بین VKTو تولید CO_2 همبستگی نزدیک به ۱ وجود دارد. در مورد شهر مشهد نیز میزان این همبستگی برابر با ۰,۸۴۵ است (رجوع شود به جدول ۹).

این کاهش کربن در معادله‌ی رگرسیون تنها متأثر از سفرهای شغلی است و دیگر انواع تراکم‌های شهری معنادار نشدند. این نشان می‌دهد رویکرد کم کربن به حمل‌ونقل شهر مشهد در حیطه‌ی تراکم‌های شهری باید با تأکید بر تراکم‌های شغلی باشد؛ چراکه سفرهای شغلی سهم بیش‌تری از سفرهای شخصی را نسبت به دیگر اهداف سفر به خود اختصاص داده‌اند و از طرفی توزیع مشاغل در سطح شهر متعادل نیست. پیشنهادهایی که در این خصوص ارائه می‌شود شامل:

۱. افزایش سطح تراکم‌های جمعیتی و اشتغال در مناطق کم‌تراکم و رساندن به سطح متوسط تراکم‌های موجود در شهر؛

۲. اجرای سیاست‌های بازدارنده‌ی ساخت‌وساز و جلوگیری از توسعه‌ی افقی شهر از طریق وضع مقررات کاربری زمین مانند ایجاد کمربندهای ممنوعه؛

۳. کاهش تقاضای سفر از طریق تقویت و ایجاد مؤسسات و نهادهای اجتماعی-فرهنگی و مراکز آموزشی و خدماتی در هر ناحیه‌ی شهری برای تأمین کلیه‌ی نیازها در همان ناحیه؛

۴. تقویت توسعه‌ی کریدوری شهری با تأکید بر ایجاد گره‌گاه‌های جمعیتی و اشتغال در شعاع دسترسی سیستم حمل‌ونقل عمومی حمایت از نوسازی، ساخت‌وساز و توسعه‌ی مجدد مناطق در محدوده‌های شهری؛

۵. افزایش تنوع کاربری‌ها و تراکم‌های شهری به‌خصوص در شعاع عملکردی سیستم حمل‌ونقل عمومی در جهت توسعه‌ی TODها در شهر.

در حوزه‌ی مذکور برای غنی‌تر شدن پژوهش‌ها لازم است تحقیقات بیش‌تری در زمینه‌ی چگونگی نحوه‌ی افزایش تراکم و مشخص کردن مناطقی که با افزایش شدت کاربری زمین می‌توانند بیش‌ترین بازدهی و بهترین عملکرد را برای کاهش VKT داشته باشند، انجام شود و هم‌چنین به نقش تعیین‌کننده‌ی عواملی چون مکان‌گزینی مجدد مراکز اشتغال و تقویت هسته‌های جمعیتی و خدماتی ثانویه در شهر پرداخته شود که خود می‌تواند به توزیع فضایی متعادل‌تر تراکم کمک کند.

۷- منابع

۱. براتی، ناصر، سردره، علی‌اکبر (۱۳۹۲). تأثیر شاخص‌های فرم شهری بر میزان استفاده از اتومبیل شخصی و مصرف انرژی در مناطق شهر تهران، مجله‌ی باغ نظر، شماره‌ی ۲۶، صص ۱۲-۳.

۲. سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد (۱۳۸۴). دومین آمارنامه‌ی حمل‌ونقل شهر مشهد.

۳. سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد (۱۳۹۱). هشتمین آمارنامه‌ی حمل‌ونقل شهر مشهد.

۴. مهندسین مشاور طرح هفتم (۱۳۸۷). ساخت، پرداخت و اعتبارسنجی مدل‌های برآورد میزان مالکیت خودرو، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل مشهد.

5. Barrett, J., Scott, A., & Vallack, H. (2001). The ecological footprint of passenger transport in Merseyside. Stockholm Environment Institute, York, available from www. mersyeside. org/pdf/EFofPassengerTransport.pdf.

6. Bartholomew, K. (2005). Integrating Land Use Issues into Transportation Planning: Scenario Planning-Summary Report.

7. Bartholomew, K. (2007). Land use-transportation scenario planning: promise and reality. Transportation, 34(4), 397-412.

8. Breheny, M. (1996). Centrists, decentrists and compromisers: views on the future of urban form. The compact city: A sustainable urban form, 13-35.

9. Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2(3), 199-219.

10. Chambers, N., & Lewis, K. (2001). Ecological footprint analysis: towards a sustainability indicator for business. Association of Chartered Certified Accountants.

11. Chi, G., & Stone Jr, B. (2005). Sustainable transport planning: estimating the ecological footprint of vehicle travel in future years. Journal of urban planning and development, 131(3), 170-180.

12. Commission of the European Communities. (1990). Green paper on the urban environment (Vol. 12902). Office for Official Publications of the European Communities.

13. e Silva, J. D. A., & da Silva, F. N. (2005). New insights about the relation between modal split and urban density: the Lisbon Metropolitan Area case study revisited. WIT Transactions on The Built Environment, 77.

14. Elkin, T., McLaren, D., & Hillman, M. (1991). Reviving the City: towards sustainable urban development. Friends of the Earth Trust.

15. Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the built environment: a meta-analysis. Journal of the American planning association, 76(3), 265-294.

16. Fouchier, V. (2000). The case of Paris Region, and its urban density and mobility: What do we know? What can we do?. Compact Cities and Sustainable Development: A critical assessment of policies and plans from an international point perspective, 241-250.

17. Frank, L. D., & Pivo, G. (1994). Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit, and walking. Transportation research record, 1466, 44-52.

18. Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development. Journal of urban economics, 67(3), 404-418.

19. Haughton, G. (1997). Developing sustainable urban development models. Cities, 14(4), 189-195.

20. Hillman, M. (1996) In Favour of the Compact City. In Jenks, M, Burton, E. & Williams, K. (Eds.) the Compact City: a sustainable Urban Form? London, E & FN Spon, 36-44.

21. Holden, E. (2004). Ecological footprints and sustainable urban form. Journal of Housing and the Built Environment, 19(1), 91-109.

22. Holtzclaw, J. (1994). Using residential patterns and transit to decrease auto dependence and costs (Vol. 11). San Francisco, CA: Natural Resources Defense Council.

23. IEA (2009) World Energy Outlook - 2009. Paris: International Energy Agency.

24. International Energy Agency (IEA). 2011. Transport energy and CO2- Moving toward

25. Jacobs, J. (1961) The Death and Life of Great American Cities, New York, Vintage Books/ Random House.

26. Knörr, W., & Reuter, C. (2008). EcoTransIT: Ecological transport information tool. Environmental Methodology and Data.

27. Kockelman, K. (1997). Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: evidence from San Francisco Bay Area. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1607), 116-125.

28. Levinson, D. M., & Kumar, A. (1997). Density and the journey to work. Growth and change, 28(2), 147-172.

29. Naess, P. (2005). Residential location affects travel behavior—but how and why? The case of Copenhagen metropolitan area. Progress in Planning, 63(2), 167-257.

30. Nakamura, K., & Hayashi, Y. (2013). Strategies and instruments for low-carbon urban transport: an international review on trends and effects. Transport Policy, 29, 264-274.

31. Newman, M. (2005) the Compact City Fallacy. Planning Education and Research, 25 (1), 11-26.

32. Newman, P. W., & Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of US cities with a global survey. Journal of the american planning association, 55(1), 24-37.

33. Stead, D. (2001). Relationships between land use, socioeconomic factors, and travel patterns in Britain. Environment and Planning B: Planning and Design, 28(4), 499-528.

34. sustainability. Retrieved from www.iea.org /workshop/ cop/ cop15/ Fulton_ IEA_Day.pdf.

35. Thomas, L., & Cousins, W. (1996). The compact city: a successful, desirable and achievable urban form. The compact city: A sustainable urban form, 53-65.

36. Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). Our ecological footprint: reducing human impact on the earth (No. 9). New Society Publishers.

37. Yan, X., & Crookes, R. J. (2009). Reduction potentials of energy demand and GHG emissions in China's road transport sector. Energy Policy, 37(2), 658-668.

38. Zamba, A., & Hadjibiros, K. (2007, September). Estimating the ecological footprint of vehicles in the city of Athens. In Proc. 10th Int. Conf. on Environmental Science and Technology, University of the Aegean, Rhodes (pp. 1638-1645).

39. Zhang, Y., & Guindon, B. (2006). Using satellite remote sensing to survey transport-related urban sustainability: Part 1: Methodologies for indicator quantification. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(3), 149-164