juep.net

رابطه غیرخطی تراکم شهری و مصرف سرانه بنزین: شواهد پانلی از ۸۰ شهرستان ایران در سه دسته شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ

محمدهادی قاسمی[۱]، سیدرضا میرنظامی[۲]

[۱]کارشناس ارشد دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

[۲] دانشیار دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران (نویسنده مسئول: srmirnezami@sharif.edu)

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:1405-05-28

تاریخ بازنگری: 1405-07-10

تاریخ پذیرش: 1405-07-27

چکیده

در اقتصادهای نفتی دارای یارانه سوخت، پایین‌بودن هزینه استفاده از خودروی شخصی ممکن است رابطه متعارف میان تراکم شهری و مصرف بنزین را تضعیف کند. پژوهش حاضر رابطه تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین را با استفاده از یک پانل متوازن شامل ۸۰ شهرستان ایران و ۸۰۰ مشاهده شهرستان‌ـسال طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ بررسی می‌کند. برای این منظور، داده‌های ثبت‌شده فروش بنزین با اطلاعات جمعیتی، اقتصادی و حمل‌ونقلی تلفیق و مدل‌های خطی و غیرخطی با اثرات ثابت شهرستان و سال و خطاهای استاندارد خوشه‌بندی‌شده برآورد شدند. همچنین، ناهمگنی این رابطه میان شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ از طریق برهم‌کنش اندازه شهرستان با اجزای خطی و درجه‌دوم تراکم آزمون شد. نتایج مدل خطی نشان می‌دهد که افزایش یک‌درصدی تراکم جمعیت، پس از کنترل سایر عوامل، به‌طور متوسط با کاهش حدود ۰٫۵۶ درصدی مصرف سرانه بنزین همراه است. اگرچه، مدل غیرخطی نشان می‌دهد که شدت این رابطه ثابت نبوده و با افزایش تراکم، منفی‌تر می‌شود. در دامنه مشترک تراکم، کشش‌های برآوردشده برای شهرستان‌های کوچک از ۰٫۸۳۲- تا ۰٫۹۴۹-، برای شهرستان‌های متوسط از ۰٫۳۸۳- تا ۰٫۷۳۴- و برای شهرستان‌های بزرگ از ۰٫۸۲۴- تا ۰٫۹۱۳- تغییر می‌کنند و همگی معنادارند. برآیند یافته‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های توسعه متراکم باید متناسب با سطح اولیه تراکم و ساختار فضایی هر شهرستان و در هماهنگی با دسترسی به اشتغال، خدمات و حمل‌ونقل عمومی طراحی شوند.

واژگان کلیدی: اثرات ثابت، اندازه شهرستان، ایران، تراکم جمعیت شهری، داده‌های پانلی، مصرف سرانه بنزین

juep.net

juep.net

۱.مقدمه

شهرنشینی سریع و گسترش فضایی شهرها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، به یکی از عوامل مهم افزایش تقاضای انرژی در بخش حمل‌ونقل تبدیل شده است. مصرف بنزین شهری علاوه بر ویژگی‌های جمعیتی و تقاضای سفر، می‌تواند تحت‌تأثیر ساختار فضایی شهر، تراکم جمعیت، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی و قیمت سوخت قرار گیرد (Bento et al., 2005; Ewing & Cervero, 2001). گسترش افقی شهرها معمولاً با افزایش فاصله میان محل سکونت، اشتغال و خدمات شهری همراه است و می‌تواند وابستگی خانوارها به خودروهای شخصی و در نتیجه مصرف سوخت را افزایش دهد. از این منظر، بررسی رابطه میان تراکم جمعیت شهر و مصرف انرژی حمل‌ونقل، برای طراحی سیاست‌های پایدار شهری و کنترل پیامدهای زیست‌محیطی اهمیت اساسی دارد.

ایران به دلیل ترکیب خاصی از شهرنشینی سریع، گسترش فیزیکی شهرها و سیاست‌های بلندمدت یارانه‌ای در بازار انرژی، نمونه‌ای مهم برای مطالعه این رابطه به شمار می‌رود. براساس نتایج سرشماری‌های عمومی نفوس و مسکن، جمعیت شهری ایران از حدود ۲۶٫۸ میلیون نفر در سال ۱۳۶۵ به ۵۹٫۱ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ (Statistical Center of Iran, 1986, 2016) افزایش یافته است. روندی که هم‌زمان با توسعه بسیاری از شهرها و افزایش نیاز به جابه‌جایی‌های روزانه همراه بوده است. در چنین شرایطی، قیمت پایین بنزین و دسترسی گسترده به سوخت‌های فسیلی می‌تواند بخشی از سازوکارهای متعارف اثرگذاری تراکم جمعیت شهری بر مصرف انرژی را تغییر دهد؛ زیرا هزینه پایین استفاده از خودرو شخصی ممکن است انگیزه خانوارها برای کاهش سفرهای خودرویی یا استفاده از شیوه‌های جایگزین حمل‌ونقل را تضعیف کند.

بخش عمده‌ای از شواهد تجربی موجود که در ادامه به تفصیل به آن اشاره می‌شود؛ نشان می‌دهد که گسترش افقی شهرها از طریق افزایش وابستگی به خودروهای شخصی، کاهش کارایی حمل‌ونقل عمومی و افزایش طول سفرها، مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل خانوار را افزایش می‌دهد. با این حال، یافته‌های برخی مطالعات جدید در کشورهای در حال توسعه، نشان داده‌اند که این رابطه می‌تواند بسته به ساختار نهادی، الگوی سرمایه‌گذاری در حمل‌ونقل عمومی و ویژگی‌های اقتصادی هر کشور متفاوت باشد. بنابراین، نمی‌توان انتظار داشت رابطه میان تراکم جمعیت، گسترش شهری و مصرف انرژی حمل‌ونقل در همه کشورها یکسان باشد. این مسئله ضرورت انجام مطالعات بومی را، به‌ویژه در کشورهایی که با قیمت پایین انرژی و سیاست‌های یارانه‌ای مواجه هستند؛ برجسته می‌سازد.

در ایران، اقتصاد و فرایند توسعه شهری از درآمدهای نفتی تأثیر پذیرفته است. در همین حال، تداوم یارانه انرژی و پایین نگه‌داشتن قیمت بنزین، با افزایش تقاضا و مصرف بنزین همراه بوده و از طریق تقویت جذابیت استفاده از خودروی شخصی، بر حجم سفرهای خودرویی و استفاده از حمل‌ونقل عمومی اثر گذاشته است (Houri Jafari & Baratimalayeri, 2008; Mirzamohammadi et al., 2012; Pilehvar, 2021). اگرچه هدف اصلی یارانه‌های انرژی افزایش رفاه اجتماعی و کاهش هزینه‌های خانوار بوده است اما پایین نگه‌داشتن هزینه نهایی استفاده از خودرو می‌تواند انگیزه کاهش رانندگی، انتخاب خودروهای کم‌مصرف یا استفاده از شیوه‌های جایگزین حمل‌ونقل را تضعیف کند (He & Kim, 2024). از سوی دیگر، سیاست‌های حمل‌ونقل، معمولا از شهری به شهر دیگر و از کشوری به کشور دیگر متفاوت هستند؛ زیرا الگوهای سفر مردم در این شهرها و کشورها به دلیل تفاوت در زمینه‌های مختلف اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی، متفاوت است (Heidarpour & Jaberi, 2021). در نتیجه، ایران بستری مناسب برای بررسی

juep.net

این پرسش است که آیا افزایش تراکم جمعیت شهری، در شرایط وجود بنزین یارانه‌ای، همچنان می‌تواند به کاهش مصرف سرانه بنزین منجر شود یا خیر.

این پژوهش با تمرکز بر رابطه میان تراکم جمعیت شهری و مصرف بنزین در شهرهای ایران، تلاش می‌کند به این پرسش پاسخ دهد که سازوکار متعارف کاهش مصرف سوخت در شهرهای متراکم، تا چه اندازه در بستر نهادی و قیمتی ایران برقرار است. برای این منظور، مطالعه حاضر از داده‌های مشاهده‌شده و اداری مصرف بنزین در سطح شهرستان، برگرفته از جایگاه‌های سوخت شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی، در کنار داده‌های جمعیتی، اقتصادی و زیرساختی استفاده می‌کند. به‌کارگیری داده‌های پانلی مربوط به ۸۰ شهر ایران طی یک دوره ۱۰ ساله، امکان کنترل تفاوت‌های ثابت میان شهرها و روندهای مشترک زمانی را فراهم می‌سازد و با تقسیم‌بندی این شهرها براساس جمعیت به سه دسته کلی شهرهای بزرگ، متوسط و کوچک، تصویری دقیق‌تر از رابطه حاکم میان تراکم جمعیت شهری و مصرف بنزین ارائه می‌دهد. وجه تمایز اصلی این پژوهش در بررسی این رابطه در یک اقتصاد نفتی دارای یارانه گسترده سوخت، استفاده از داده‌های پانل و مستقیم مصرف بنزین به جای شاخص‌های جانشین و واسطه‌ای و ارائه شواهدی برای سیاست‌گذاری هم‌زمان در حوزه مدیریت انرژی و برنامه‌ریزی شهری است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند برای ایران و سایر کشورهای در حال توسعه دارای انرژی ارزان، در طراحی سیاست‌های کاهش مصرف سوخت، کنترل گسترش افقی و تقویت حمل‌ونقل پایدار شهری مفید باشد.

۲.مرور ادبیات

۱.۲.تراکم شهری و مصرف انرژی حمل‌ونقل

رابطه میان فرم شهری و تقاضای حمل‌ونقل از موضوعات اصلی اقتصاد شهری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌باشد. نحوه استقرار جمعیت و فعالیت‌ها، توزیع مکانی اشتغال و خدمات، ساختار شبکه معابر و میزان دسترسی به حمل‌ونقل عمومی می‌توانند بر طول سفر، انتخاب شیوه سفر، مالکیت خودرو و در نهایت مصرف انرژی حمل‌ونقل اثر بگذارند که در ادامه به تفصیل به آن اشاره خواهد شد. در یک مطالعات تجربی نشان داده شده است که ویژگی‌های محیط ساخته‌شده بیش از آنکه تعداد سفرها را تغییر دهند؛ بر طول سفر، انتخاب شیوه حمل‌ونقل و مسافت پیموده‌شده با خودرو اثر می‌گذارند (Ewing & Cervero, 2001). در موردی دیگر نیز با بررسی ۱۱۴ منطقه شهری در ایالات متحده نشان دادند که تمرکز جمعیت، توازن میان اشتغال و سکونت، شکل شهر، تراکم شبکه راه و عرضه حمل‌ونقل عمومی با انتخاب شیوه سفر و مسافت سالانه پیموده‌شده خانوار ارتباط دارند (Bento et al., 2005). این یافته‌ها نشان می‌دهند که تراکم جمعیت باید در کنار سایر ویژگی‌های فضایی، اقتصادی و حمل‌ونقلی بررسی شود.

از نخستین مطالعاتی که به‌طور مستقیم رابطه تراکم شهری و مصرف انرژی حمل‌ونقل را بررسی کرد؛ با استفاده از داده‌های مقطعی ۳۲ شهر جهان، رابطه‌ای منفی میان تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین گزارش کرد. بر اساس این نتیجه، شهرهای متراکم‌تر به دلیل کوتاه‌تر بودن فاصله فعالیت‌ها و برخورداری از شرایط مناسب‌تر برای حمل‌ونقل عمومی و شیوه‌های غیرخودرویی، مصرف سرانه بنزین کمتری دارند (Newman & Kenworthy, 1989). با این حال، در پژوهشی دیگر با بازتحلیل همان داده‌ها و استفاده از روش تحلیل چندمتغیره کوپلات (Co-Plot)، نشان دادند که تراکم کلی شهری به‌تنهایی نمی‌تواند تفاوت مصرف انرژی میان شهرها

را توضیح دهد. از دیدگاه آنان، رابطه تراکم و مصرف انرژی باید همراه با ساختار حمل‌ونقل، ویژگی‌های اقتصادی و سایر ابعاد فرم شهری تحلیل شود (Mindali et al., 2004).

مطالعات مبتنی بر داده‌های خانوار نیز عموماً از وجود رابطه منفی میان تراکم و استفاده از خودرو حمایت می‌کنند. در یک مورد از آن با استفاده از اطلاعات خانوارهای کالیفرنیا نشان دادند که کاهش تراکم مسکونی با افزایش مسافت سالانه پیموده‌شده و مصرف سوخت خانوار همراه است (Brownstone & Golob, 2009). در موردی دیگر نیز با بررسی خانوارهای ساکن در مناطق شهری ایالات متحده دریافت که خانوارهای ساکن در مناطق پرتراکم‌تر، پس از کنترل درآمد، قیمت بنزین، ویژگی‌های خانوار، عرضه حمل‌ونقل عمومی، تراکم شبکه آزادراهی و ازدحام، به‌طور متوسط بنزین کمتری مصرف می‌کنند. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که افزایش تراکم شبکه آزادراهی و ازدحام با مصرف بیشتر بنزین همراه است؛ درحالی‌که دسترسی و عرضه حمل‌ونقل عمومی با کاهش مصرف ارتباط دارد (Su, 2011). همچنین در پژوهشی دیگر نیز نشان می‌دهد که در مطالعات شهری و ملی، هرچند اندازه و جهت روابط می‌تواند برحسب سطح تحلیل و ویژگی‌های نمونه متفاوت باشد؛ تراکم جمعیت غالباً با سطوح پایین‌تر مصرف انرژی حمل‌ونقل و انتشار آلاینده‌ها همراه بوده است (Liddle, 2014).

یکی از چارچوب‌های مهم برای توضیح این رابطه در پژوهشی بررسی شد که مصرف سرانه سوخت را به سه جزء مالکیت خودرو، مسافت پیموده‌شده سالانه هر خودرو و مصرف سوخت به ازای هر کیلومتر تجزیه کردند. نتایج مطالعه ۸۴ منطقه شهری در کشورهای مختلف نشان داد که تراکم می‌تواند از طریق کاهش نیاز به مالکیت خودرو، کوتاه‌ترشدن سفرها و افزایش امکان استفاده از حمل‌ونقل عمومی، مصرف سوخت را کاهش دهد (Karathodorou et al., 2010). بااین‌حال، تراکم بالا ممکن است از طریق افزایش توقف و حرکت‌های مکرر ناشی از ازدحام، کارایی مصرف سوخت در هر کیلومتر را کاهش دهد. بنابراین، سازوکارهای ناشی از افزایش تراکم همگی هم‌جهت نیستند و اثر نهایی آن به برآیند تغییرات مالکیت خودرو، مسافت سفر، انتخاب شیوه سفر و شرایط ترافیکی بستگی دارد.

شواهد کشورهای درحال‌توسعه نیز نشان می‌دهد که رابطه فرم شهری و مصرف انرژی لزوماً از یک الگوی جهان‌شمول پیروی نمی‌کند. در یکی از پژوهش‌های این حوزه دریافتند که گسترش شهری در چین الزاماً باعث افزایش مصرف انرژی حمل‌ونقل خانوار نشده است. آنان این نتیجه را به توسعه هم‌زمان حمل‌ونقل عمومی و نقش آن در کاهش وابستگی به خودروی شخصی نسبت می‌دهند (Yang et al., 2024). این یافته نشان می‌دهد که پیامدهای انرژی فرم شهری به زمینه نهادی، میزان توسعه حمل‌ونقل عمومی و الگوی مالکیت و استفاده از خودرو بستگی دارد و نمی‌توان نتایج شهرهای کشورهای توسعه‌یافته را بدون توجه به این تفاوت‌ها به کشورهای درحال‌توسعه تعمیم داد.

شواهد تجربی ایران در این زمینه محدودتر است اما در مطالعه‌ای با استفاده از اطلاعات خانوارهای ساکن در نواحی ترافیکی شهر قزوین، رابطه شاخص‌های فرم شهری و رفتار سفر را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد تراکم جمعیت با مسافت پیموده‌شده با خودروی شخصی رابطه منفی دارد درحالی‌که افزایش فاصله از مرکز شهر با افزایش مسافت پیموده‌شده خانوار همراه است (Ghorbani & Salaripour, 2022). این مطالعه شواهدی درباره رابطه تراکم و استفاده از خودرو در یکی از شهرهای ایران فراهم می‌کند؛ با این حال، مصرف بنزین را مستقیماً اندازه‌گیری نمی‌کند و به یک شهر و یک مقطع زمانی محدود است.

در مجموع، مطالعات پیشین نشان می‌دهند که افزایش تراکم غالباً با کاهش مصرف بنزین، مسافت پیموده‌شده و وابستگی به خودرو همراه است اما شدت و حتی جهت این رابطه ممکن است تحت‌تأثیر ساختار فضایی شهر، شبکه حمل‌ونقل، ازدحام، مالکیت خودرو و زمینه اقتصادی و نهادی قرار گیرد. بخش عمده مطالعات موجود یا مقطعی هستند یا بر داده‌های خانوار و یک شهر مشخص تمرکز دارند. در ایران نیز شواهد اندکی درباره رابطه تراکم جمعیت و مصرف واقعی بنزین در مجموعه‌ای از شهرستان‌ها و در طول زمان وجود دارد. افزون بر این، در مطالعات مرورشده، تفاوت این رابطه میان شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ به‌طور مستقیم و در قالب یک مدل واحد آزمون نشده است.

۲.۲.نقش عوامل اقتصادی و حمل‌ونقلی

مصرف بنزین فقط تابع تراکم یا فرم شهری نبوده و متغیرهای اقتصادی، جمعیتی و حمل‌ونقلی نیز در توضیح آن اهمیت دارند. قیمت سوخت یکی از متغیرهای متعارف در مدل‌های تقاضای بنزین است. نتایج سو (۲۰۱۱) از وجود کشش منفی قیمت بنزین حمایت می‌کند و لیدل (۲۰۱۴) نیز نشان می‌دهد که قیمت انرژی و سطح درآمد از عوامل متداول در مطالعات مصرف انرژی حمل‌ونقل هستند. در ایران، پایین نگه‌داشتن قیمت بنزین و تولید گسترده خودروهای دارای فناوری متعارف از عوامل مؤثر بر رشد تقاضای بنزین شناخته شده‌اند (Jafari & Baratimalayeri, 2008). بااین‌حال، از آنجا که قیمت رسمی بنزین در هر سال برای تمام شهرستان‌های ایران یکسان است اما این متغیر در پژوهش حاضر بیشتر بخشی از زمینه نهادی و شوک‌های مشترک سالانه محسوب می‌شود و اثر مستقل آن در مدل اصلی دارای اثرات ثابت سال قابل شناسایی نمی‌باشد.

درآمد خانوار می‌تواند از طریق افزایش مالکیت خودرو، تعداد سفرها و مسافت پیموده‌شده بر مصرف بنزین اثر بگذارد. نتایج برواستون و گلوب (۲۰۰۹) و سو (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که مصرف و استفاده از خودرو با درآمد خانوار ارتباط دارد. مالکیت خودرو نیز هم یکی از تعیین‌کننده‌های مستقیم ظرفیت مصرف بنزین و هم یکی از سازوکارهای احتمالی انتقال اثر فرم شهری به مصرف سوخت است. مطالعات بنتو و همکاران (۲۰۰۵) و کاراتودورو و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهند که ویژگی‌های فضایی شهر می‌توانند تعداد خودروهای در اختیار خانوار و میزان استفاده از آنها را تحت‌تأثیر قرار دهند.

دسترسی به حمل‌ونقل عمومی نیز می‌تواند وابستگی به خودروی شخصی را کاهش دهد بطوریکه در پژوهش بنتو و همکاران (۲۰۰۵) نشان داده شده است که افزایش عرضه خطوط ریلی با کاهش احتمال استفاده از خودرو برای سفر کاری ارتباط دارد. در مطالعه سو (۲۰۱۱)، دسترسی و عرضه حمل‌ونقل عمومی با مصرف کمتر بنزین خانوار همراه بود و کاراتودورو و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که شبکه گسترده حمل‌ونقل عمومی می‌تواند نیاز به مالکیت و استفاده از خودرو را کاهش دهد. ازاین‌رو، تفاوت شهرستان‌ها از نظر درآمد، مالکیت خودرو، اشتغال و دسترسی به قطار شهری باید در بررسی رابطه تراکم و مصرف بنزین مورد توجه قرار گیرد.

۳.۲.چارچوب نظری و جایگاه پژوهش حاضر

گسترش و پراکندگی شهری مفاهیمی چندبعدی هستند و نمی‌توان آنها را صرفاً با یک شاخص اندازه‌گیری کرد. در یک پژوهش جامع که مفهوم پراکندگی شهری را بطور کامل بررسی کرده بود این مفهوم را بر مبنای ابعادی مانند تراکم، پیوستگی، تمرکز، خوشه‌بندی، مرکزیت (تک‌مرکزی یا چندمرکزی بودن)، اختلاط کاربری و مجاورت تعریف می‌کنند (Galster et al., 2001). بنابراین،

تراکم جمعیت تنها یکی از ابعاد فرم شهری است و نباید معادل کامل گسترش افقی یا پراکندگی شهری در نظر گرفته شود اما با این حال، تراکم به دلیل امکان اندازه‌گیری و مقایسه آن میان واحدهای جغرافیایی و در طول زمان، یکی از شاخص‌های رایج در مطالعات فرم شهری، رفتار سفر و مصرف انرژی است (Brownstone & Golob, 2009).

بر مبنای ادبیات مرورشده، تراکم جمعیت می‌تواند از چند مسیر بر مصرف سرانه بنزین اثر بگذارد. افزایش تراکم معمولاً فاصله میان محل سکونت، اشتغال و خدمات را کاهش می‌دهد؛ امکان تأمین کارآمدتر حمل‌ونقل عمومی را افزایش می‌دهد و شرایط مساعدتری برای پیاده‌روی و سایر شیوه‌های غیرخودرویی فراهم می‌کند. این تغییرات می‌توانند مالکیت خودرو، مسافت پیموده‌شده و مصرف بنزین را کاهش دهند. در مقابل، تراکم ممکن است با افزایش ازدحام و رانندگی همراه با توقف و حرکت مکرر، مصرف سوخت در هر کیلومتر را افزایش دهد. ازاین‌رو، اگرچه انتظار اولیه آن است که تراکم بیشتر با مصرف سرانه بنزین کمتر همراه باشد، وجود سازوکارهای متعارض به این معناست که شدت و جهت رابطه الزاماً در تمام سطوح تراکم ثابت نمی‌باشد. این استدلال، بررسی هم‌زمان شکل خطی و غیرخطی رابطه را توجیه می‌کند.

همچنین انتظار نمی‌رود رابطه تراکم و مصرف بنزین در تمام شهرستان‌ها یکسان باشد. شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ می‌توانند از نظر تمرکز اشتغال و خدمات، طول سفر، سطح ازدحام، مالکیت خودرو و دسترسی به حمل‌ونقل عمومی تفاوت داشته باشند. شواهد نشان می‌دهد که اثر تراکم به ویژگی‌های اقتصادی، فضایی و حمل‌ونقلی بستگی دارد (Mindali et al., 2004; Karathodorou et al., 2010; Su, 2011; Yang et al., 2024). با این حال، مطالعات موجود این ناهمگنی را مستقیماً در قالب مقایسه منحنی تراکم و مصرف بنزین میان سه گروه جمعیتی شهرهای کوچک، متوسط و بزرگ بررسی نکرده‌اند. بنابراین، تقسیم‌بندی جمعیتی در مطالعه حاضر یک ابزار تحلیلی برای آزمون ناهمگنی رابطه است.

بر این اساس، پژوهش حاضر دو انتظار اصلی را بررسی می‌کند. نخست، رابطه میان تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین ممکن است غیرخطی باشد؛ به‌گونه‌ای که کشش مصرف بنزین نسبت به تراکم در سطوح مختلف تراکم مقدار ثابتی نداشته باشد. دوم، شکل و شیب این رابطه ممکن است میان شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ متفاوت باشد. برای بررسی این انتظارات، از داده‌های پانلی ۸۰ شهرستان ایران طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ استفاده می‌شود و رابطه تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین، پس از کنترل تفاوت‌های ثابت شهرستانی، شوک‌های مشترک سالانه و متغیرهای اقتصادی و حمل‌ونقلی دارای تغییرات شهرستان–سال، برآورد می‌شود. سپس با استفاده از برهم‌کنش گروه‌های اندازه شهرستان با اجزای خطی و درجه دوم تراکم، تفاوت منحنی‌های سه گروه و اثرات حاشیه‌ای تراکم در دامنه مشترک آنها ارزیابی می‌شود.

نوآوری پژوهش حاضر در سه زمینه است. نخست، برخلاف بخش مهمی از مطالعات داخلی که رفتار سفر یا مسافت پیموده‌شده را بررسی کرده‌اند، در این مطالعه از داده‌های ثبت‌شده مصرف بنزین استفاده می‌شود. دوم، ساختار پانلی داده‌ها امکان کنترل ویژگی‌های ثابت و مشاهده‌نشده شهرستان‌ها و شوک‌های مشترک سالانه را فراهم می‌کند. سوم، با برآورد یک مدل غیرخطی دارای برهم‌کنش‌های گروهی، ناهمگنی رابطه تراکم و مصرف سرانه بنزین میان شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ به‌صورت رسمی آزمون می‌شود.

۳.داده و روش‌شناسی

۱.۳.داده‌ها و متغیرها

این پژوهش از داده‌های پانلی ۸۰ شهر ایران طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ استفاده می‌کند. داده‌های مصرف بنزین از آمار رسمی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران و سایر داده‌های جمعیتی، اقتصادی و زیرساختی از منابع رسمی مرتبط گردآوری شده‌اند.

در ساختار جغرافیایی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، کشور به «مناطق پخش» و «نواحی پخش» تقسیم شده است. محدوده مناطق پخش عموماً با تقسیمات استانی و محدوده نواحی پخش عموماً با تقسیمات شهرستانی همخوانی دارد؛ با این حال، این انطباق در همه موارد دقیق و یک‌به‌یک نمی‌باشد. به‌منظور هم‌تراز کردن سطح جغرافیایی متغیرها، نقشه مناطق و نواحی پخش با نقشه رسمی تقسیمات استانی و شهرستانی کشور تطبیق داده شد و تنها نواحی پخشی به عنوان نمونه انتخاب شدند که محدوده آن‌ها به‌طور دقیق با محدوده یک شهرستان منطبق بود. معیار دوم ورود به نمونه، دسترسی به مجموعه کامل و سازگار داده‌های مصرف بنزین، تراکم جمعیت و متغیرهای کنترلی که در ادامه معرفی می‌شوند طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ بود و در آخر نیز به علت قیمت یارانه‌ای بنزین و احتمال قاچاق آن در شهرهای مرزی، شهرستان‌های مرزی از مطالعه این پژوهش حذف شدند. در نهایت، از میان ۴۸۳ شهرستان، ۸۰ شهرستان واجد هر سه معیار انطباق جغرافیایی و کفایت داده‌ای بودند و در نمونه نهایی قرار گرفتند. بر این اساس، واحد تحلیل پژوهش «شهرستان-سال» است و مجموعه‌داده نهایی یک پنل متوازن شامل ۸۰ شهرستان در ۱۰ سال و در مجموع ۸۰۰ مشاهده شهرستان-سال را تشکیل می‌دهد.

متغیر وابسته پژوهش، لگاریتم طبیعی مصرف سرانه سالانه بنزین در هر شهرستان است. داده‌های خام مصرف بنزین در سطح جایگاه سوخت و به تفکیک بخش‌ها و نواحی پخش در دسترس بوده است. برای تبدیل این اطلاعات به داده‌های قابل استفاده در سطح شهرستان، ابتدا مقدار مصرف ثبت‌شده تمام جایگاه‌های سوخت واقع در هر ناحیه پخش، در هر سال، با یکدیگر جمع شد. همان‌گونه که در بخش انتخاب نمونه توضیح داده شد؛ تنها نواحی پخشی وارد مطالعه شدند که محدوده جغرافیایی آنها به‌طور دقیق با محدوده یک شهرستان انطباق داشت. ازاین‌رو، تجمیع اطلاعات جایگاه‌ها در سطح ناحیه پخش، امکان تبدیل داده‌های مصرف بنزین به سطح شهرستان—سال و تطبیق مکانی آن با اطلاعات جمعیت، تراکم و سایر متغیرهای پژوهش را فراهم کرد. داده‌های جمعیت شهری نیز از سرشماری‌های عمومی نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران استخراج شد. جمعیت سال‌های بین دو سرشماری با روش درون‌یابی خطی و جمعیت سال‌های پس از ۱۳۹۵ با ادامه خطی روند مشاهده‌شده میان دو سرشماری برآورد شد. بنابراین، جمعیت استفاده‌شده در این پژوهش بیانگر مجموع جمعیت شهرهای واقع در هر شهرستان است و جمعیت روستایی شهرستان را شامل نمی‌شود. این متغیر به‌طور مشترک در محاسبه مصرف سرانه بنزین و تراکم جمعیت شهری به کار رفته است.

متغیر مستقل اصلی، لگاریتم تراکم جمعیت شهری است. از آنجا که هر شهرستان ممکن است شامل چند شهر باشد ابتدا جمعیت شهری تمام شهرهای واقع در هر شهرستان با یکدیگر جمع شد. همچنین، مساحت محدوده کالبدی تمام شهرهای همان شهرستان تجمیع گردید. تراکم جمعیت شهری شهرستان از تقسیم مجموع جمعیت شهری بر مجموع مساحت محدوده‌های کالبدی شهرهای واقع در آن شهرستان به دست آمد. اطلاعات مربوط شهرهای موجود در هر شهرستان با استفاده از داده‌های فصلنامه‌های آماری، متلق به مرکز آمار ایران، استخراج و به مساحت محدوده کالبدی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تاریخی و ابزار اندازه‌گیری مساحت در Google Earth ترسیم و محاسبه شد. بررسی تطبیقی تصاویر تاریخی نشان داد که طی دوره مطالعه، مرز بیرونی محدوده کالبدی شهرهای نمونه تغییر محسوسی نداشته و توسعه ساختمانی عمدتاً در اراضی خالی و فضاهای باز واقع درون محدوده‌های

موجود صورت گرفته است. این الگوی رشد در ادبیات با عنوان توسعه میان‌افزا شناخته می‌شود و معنای آن ساخت‌وساز جدید در فضاهای خالی درون گستره شهری پیشین، بدون توسعه منفصل یا گسترش محسوس مرز بیرونی شهر می‌باشد (Ugalde-Monzalvo, 2024). بر این اساس، مساحت محدوده کالبدی هر شهر طی دوره مطالعه ثابت در نظر گرفته شد و تغییرات سالانه تراکم عمدتاً ناشی از تغییر جمعیت شهری است. درنهایت جمعیت تمام شهرهای موجود در یک شهرستان به محدوده مساحت کالبدی شهرهای آن شهرستان تقسیم شده و متغیر مستقل را می‌سازد.

علاوه بر تراکم جمعیت، مجموعه‌ای از متغیرهای کنترلی دارای تغییرات مکانی و زمانی شامل لگاریتم میانگین درآمد واقعی خانوار، درصد مالکیت خودرو، نرخ اشتغال و وجود قطار شهری در مدل اصلی وارد شده‌اند. اطلاعات درآمد خانوار، مالکیت خودرو و نرخ اشتغال از داده‌های طرح هزینه و درآمد خانوار، موسسه مرکز آمار ایران، استخراج و در سطح شهرستان تجمیع شده‌اند. داده‌های خام این طرح به شکل نمونه‌گیری شده تصادفی بوده و براساس ارقام خام اعلامی خروجی مدنظر ذکر شده محاسبه و به‌کار گرفته شده است. متغیر قطار شهری نیز به‌صورت مجازی تعریف شده است؛ به‌گونه‌ای که برای شهرستان‌هایی که در سال مورد نظر دارای سامانه فعال قطار شهری بوده‌اند مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. متغیرهای قیمت واقعی بنزین و تولید ناخالص داخلی واقعی کشور تنها در بعد زمانی تغییر می‌کنند. ازاین‌رو، ضرایب مستقل آنها در مدل اصلی دارای اثرات ثابت سال قابل شناسایی نبوده و این دو متغیر صرفاً در برآوردهای حساسیت فاقد اثرات ثابت سال استفاده شده‌اند.

جدول ۱- تعریف متغیرها و منابع داده

متغیر	تعریف	منبع داده
log_GasCap	لگاریتم سرانه مصرف بنزین	شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران
log_Density	لگاریتم تراکم جمعیت شهری	مرکز آمار ایران و تصاویر ماهواره‌ای
GasCPI	قیمت واقعی بنزین	قیمت رسمی بنزین و شاخص CPI
logIncCPI	لگاریتم میانگین درآمد واقعی خانوار	طرح هزینه و درآمد خانوار و شاخص CPI
Car	درصد خانوارهای دارای خودروی شخصی	طرح هزینه و درآمد خانوار
Emp	نرخ اشتغال شهری	طرح هزینه و درآمد خانوار
Age	میانگین سن خانوار	طرح هزینه و درآمد خانوار
Metro	متغیر دامی وجود قطار شهری	داده‌های رسمی شهری و حمل‌ونقل عمومی
agg_gdp	تولید ناخالص داخلی واقعی کشور	بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران

با توجه به اینکه داده‌های مصرف بنزین بر اساس فروش ثبت‌شده در جایگاه‌های واقع در هر ناحیه پخش گزارش می‌شوند؛ این متغیر به‌عنوان شاخصی از مصرف/فروش بنزین ثبت‌شده در سطح شهر/شهرستان تفسیر می‌شود. بنابراین، برای کاهش ناهمخوانی مکانی میان متغیرها، تمامی داده‌های جمعیتی، اقتصادی و زیرساختی تا حد امکان در همان سطح جغرافیایی تجمیع شده‌اند.

همچنین درنهایت به‌منظور بررسی ناهمگنی رابطه تراکم جمعیت و مصرف سرانه بنزین برحسب اندازه شهر، شهرهای نمونه براساس جمعیت شهری سال ۱۳۹۵ برگرفته از سرشماری نفوس‌ومسکن در سه گروه طبقه‌بندی شدند. استفاده از جمعیت یک سال ثابت، موجب می‌شود عضویت شهرها در گروه‌های جمعیتی طی دوره پانلی تغییر نکند و به همین منظور شهرهای دارای جمعیت کمتر از

۱۰۰ هزار نفر در گروه شهرهای کوچک، شهرهای دارای جمعیت ۱۰۰ تا ۵۰۰ هزار نفر در گروه شهرهای متوسط و شهرهای دارای جمعیت بیش از ۵۰۰ هزار نفر در گروه شهرهای بزرگ قرار گرفتند. این طبقه‌بندی براساس گسست‌های مشاهده‌شده در توزیع جمعیت شهرهای نمونه انجام شد که به‌ترتیب شامل ۳۸، ۳۵ و ۷ شهر در هر دسته قرار گرفته است. این ۸۰ شهرستان نمونه به تفصیل شامل آبادان، آباده، ابرکوه، اردستان، اردکان، ازنا، استهبان، اسدآباد، اصفهان، اقلید، الیگودرز، امیدیه، اندیمشک، اهواز، ایذه، بافق، برازجان، بردسکن، بروجن، بستان‌آباد، بهار، بهبهان، بوشهر، بوکان، بوئین، بیجار، پلدختر، تاکستان، تبریز، تفت، تکاب، تهران، تویسرکان، خرمبید، خرمشهر، خواف، داراب، دامغان، درود، دز، دهدشت، دهگلان، دیواندره، رامهرمز، سراب، سقز، سمیرم، سنقر، سنندج، سیرجان، شبستر، شهربابک، شهرضا، شهرکرد، شوش، شوشتر، شیراز، فریمان، فسا، فیروزآباد، قروه، کرج، کنگاور، گچساران، لرد، لنگان، مبارک، مراغه، مرند، مسجدسلیمان، مشهد، ملایر، ملکان، مهاباد، میاندوآب، میانه، نقده، نهاوند، نهبندان و یاسوج می‌باشد. لازم به ذکر است که این گروه‌بندی یک تعریف عملیاتی برای نمونه پژوهش حاضر است تا باعث شود نتایج حاصل در سطح خردتری مشاهده شود و لزوماً معادل طبقه‌بندی رسمی شهرهای ایران نمی‌باشد.

جدول ۲- تقسیم‌بندی شهرستان‌های پژوهش

گروه	معیار جمعیتی	تعداد شهرستان	تعداد مشاهده
کوچک	کمتر از ۱۰۰ هزار نفر	۳۸	۳۸۰
متوسط	۱۰۰ تا ۵۰۰ هزار نفر	۳۵	۳۵۰
بزرگ	بیشتر از ۵۰۰ هزار نفر	۷	۷۰

۲.۳.آمار توصیفی

پیش از برآورد مدل، آمار توصیفی متغیرهای اصلی محاسبه شده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که شهرهای نمونه از نظر مصرف سرانه بنزین، تراکم جمعیت، درآمد خانوار و مالکیت خودرو تفاوت قابل‌توجهی دارند. آمار کل نمونه نشان می‌دهد میانگین لگاریتم مصرف سرانه بنزین و لگاریتم تراکم جمعیت به‌ترتیب ۶.۱۶۸ و ۸.۵۷۰ است. دامنه نسبتاً گسترده این دو متغیر و همچنین پراکندگی درآمد، مالکیت خودرو و اشتغال، از وجود تفاوت‌های توصیفی قابل‌توجه میان شهرهای نمونه حکایت دارد. این تفاوت‌ها استفاده از داده‌های پانلی و کنترل اثرات ثابت شهر را برای در نظر گرفتن ویژگی‌های ثابت و مشاهده‌نشده هر شهر توجیه می‌کند. همچنین، تغییرات زمانی قیمت واقعی بنزین و شرایط کلان اقتصادی، ضرورت کنترل شوک‌ها و روندهای مشترک سالانه را نشان می‌دهد.

جدول ۳- خلاصه آماری کل نمونه

متغیر	تعداد مشاهده	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
log_GasCap	۸۰۰	۶.۱۶۸۰۸۶	۰.۳۵۳۲۸۵	۵.۲۲۶۹۰۸	۷.۸۰۳۹۰۶
log_Density	۸۰۰	۸.۵۶۹۸۸۴	۰.۴۵۴۲۲۲	۷.۱۸۵۳۸۷	۱۰.۰۸۳۷۲
sqlogDensity	۸۰۰	۷۳.۶۴۸۹۸	۷.۷۴۰۳۴۵	۵۱.۶۲۹۷۹	۱۰۱.۶۸۱۵
GasCPI	۸۰۰	۹.۵۴۲۵۲۶	۲.۷۳۱۲۱۶	۴.۶۸۶۰۳۶	۱۴.۷۷۱۰۵
logIncCPI	۸۰۰	۱۴.۰۲۷۶	۰.۳۱۲۰۴۱	۱۳.۰۰۸۲۵	۱۶.۲۷۰۹۴
Car	۸۰۰	۴۵.۰۵۱۹۵	۱۵.۲۲۷۴۶	۰	۹۱.۶۶۶۶
Emp	۸۰۰	۳۷.۲۰۴۴۳	۵.۴۱۰۹۶۶	۲۳.۵۲۹۴۱	۷۰

juep.net

Metro	۸۰۰	۰.۰۶	۰.۲۳۷۶۳۵	۰	۱
agg_gdp	۸۰۰	۱۳.۶۵۶۸	۰.۷۹۵۰۶۷	۱۲.۶۱۱	۱۵.۱۵۴

آمار تفکیکی در جدول ۴ نشان می‌دهد میانگین لگاریتم تراکم از ۸.۴۰۵ در شهرهای کوچک به ۸.۶۴۲ در شهرهای متوسط و ۹.۱۰۲ در شهرهای بزرگ افزایش می‌یابد. در مقابل، میانگین لگاریتم مصرف سرانه بنزین در شهرهای کوچک برابر با ۶.۳۱۲ است و در شهرهای متوسط و بزرگ به‌ترتیب به ۶.۰۴۵ و ۶.۰۰۵ کاهش می‌یابد. بنابراین، در سطح توصیفی، گروه‌های دارای میانگین تراکم بیشتر از میانگین مصرف سرانه بنزین کمتری برخوردارند. بااین‌حال، این مقایسه خام نمی‌تواند اثر سایر ویژگی‌های شهری، تفاوت‌های ثابت میان شهرها یا تحولات زمانی را کنترل کند و نباید به‌عنوان شواهد یک رابطه علّی تفسیر شود.

جدول ۴- خلاصه آماری به تفکیک دسته‌بندی شهرها

متغیر	دسته شهری	تعداد مشاهده	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
log_GasCap	کوچک	۳۸۰	۶.۳۱۱۵	۰.۳۸۷	۵.۵۵۱	۷.۸۰۴
log_Density		۳۸۰	۸.۴۰۵۲	۰.۴۶۸	۷.۱۸۵	۹.۲۴۵
logIncCPI		۳۸۰	۱۳.۹۷۵	۰.۳۳۴	۱۳.۰۱	۱۶.۲۷
Car		۳۸۰	۴۵.۳۱۲	۱۶.۵۷	۰	۹۱.۶۶
Emp		۳۸۰	۳۸.۲۹۹	۶.۰۷۲	۲۳.۹۴	۷۰
Metro		۳۸۰	۰	۰	۰	۰
log_GasCap	متوسط	۳۵۰	۶.۰۴۵	۰.۲۶۸	۵.۲۲۶	۶.۷۴۹
log_Density		۳۵۰	۸.۶۴۲	۰.۳۰۹	۷.۲۹۶	۹.۴۴۲
logIncCPI		۳۵۰	۱۴.۰۵	۰.۲۹۲	۱۳.۲۴	۱۵.۲۳
Car		۳۵۰	۴۳.۵۱	۱۴.۴۴	۵	۸۱.۸۱۸
Emp		۳۵۰	۳۵.۷۸	۴.۶۲۵	۲۳.۵۳	۵۰
Metro		۳۵۰	۰	۰	۰	۰
log_GasCap	بزرگ	۷۰	۶.۰۰۵	۰.۲۰۵	۵.۵۱۴	۶.۴۳۱
log_Density		۷۰	۹.۱۰۲	۰.۴۸۴	۸.۳۱۳	۱۰.۰۸۳
logIncCPI		۷۰	۱۴.۲۰۰	۰.۱۷۷	۱۳.۸۹۱	۱۴.۶۲۴
Car		۷۰	۵۱.۳۱۳	۸.۳۲۷	۱۰.۹۷۰	۶۵.۹۹۴
Emp		۷۰	۳۸.۳۶۵	۳.۱۷۵	۳۰.۹۹۱	۴۶.۲۳۵
Metro		۷۰	۰.۶۸۵۷	۰.۴۶۷	۰	۱

سایر متغیرها نیز تفاوت‌هایی میان گروه‌ها نشان می‌دهند. میانگین لگاریتم درآمد واقعی و مالکیت خودرو در شهرهای بزرگ بیشتر است. همچنین، متغیر قطار شهری در گروه شهرهای کوچک و متوسط میانگین صفر دارد، درحالی‌که میانگین آن در گروه شهرهای بزرگ ۰.۶۸۶ است. این تفاوت بیانگر تمرکز سامانه‌های قطار شهری در شهرهای بزرگ نمونه است. بااین‌حال، آمار توصیفی به‌تنهایی مشخص نمی‌کند که رابطه تراکم و مصرف بنزین پس از کنترل سایر عوامل در سه گروه متفاوت است یا خیر. این موضوع در ادامه با مدل‌های اثرات ثابت، برهم‌کنش اندازه شهر و تراکم و آزمون‌های مشترک ضرایب بررسی می‌شود.

juep.net

۳.۳.مدل اقتصادسنجی

راهبرد تجربی پژوهش در سه مرحله تنظیم شده است. در مرحله نخست، رابطه متوسط میان تراکم جمعیت و مصرف سرانه بنزین در کل نمونه با استفاده از مدل خطی اثرات ثابت دوطرفه برآورد می‌شود. در مرحله دوم، برای بررسی احتمال تغییر شیب رابطه در سطوح مختلف تراکم، جمله درجه‌دوم لگاریتم تراکم به مدل افزوده می‌شود. در مرحله سوم، به‌منظور آزمون اینکه آیا شکل و شیب این رابطه در شهرهای کوچک، متوسط و بزرگ متفاوت است، اجزای خطی و درجه‌دوم تراکم با متغیرهای گروه اندازه شهر برهم‌کنش داده می‌شوند. تفاوت منحنی‌های سه گروه با آزمون‌های مشترک والد و تفاوت شیب‌ها با محاسبه و مقایسه اثرات حاشیه‌ای در دامنه مشترک تراکم ارزیابی می‌شود. بنابراین، هر یک از مدل‌های زیر مستقیماً به یکی از اهداف پژوهش پاسخ می‌دهد.

مطالعات تجربی مرتبط با مصرف بنزین و انرژی حمل‌ونقل، معمولاً مصرف سوخت را تابعی از ویژگی‌های فضایی شهر، متغیرهای اقتصادی و جمعیتی، مالکیت خودرو و زیرساخت‌های حمل‌ونقل در نظر می‌گیرند. در این پژوهش نیز با تکیه بر همین چارچوب، رابطه میان تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین با استفاده از داده‌های پانلی شهرهای ایران بررسی می‌شود. با توجه به اینکه داده‌ها شامل مشاهده‌های مکرر برای ۸۰ شهر طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ هستند، مدل پایه با استفاده از اثرات ثابت دوطرفه برآورد می‌شود تا تفاوت‌های ثابت میان شهرها و شوک‌های مشترک سالانه کنترل شوند. مدل پایه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\log_GasCap_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \log_Density_{it} + \alpha_2 z_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \qquad (1)$$

که در آن (i) نشان‌دهنده شهر و (t) نشان‌دهنده سال است. متغیر $\log_GasCap_{it}$ لگاریتم سرانه مصرف بنزین، $\log_Density_{it}$ لگاریتم تراکم جمعیت شهری و z_{it} برداری از متغیرهای کنترلی اقتصادی، جمعیتی و زیرساختی دارای تغییرات شهر-سال است. همچنین، μ_i اثرات ثابت شهر و γ_t اثرات ثابت سال را نشان می‌دهد. جمله نیز ε_{it} خطای تصادفی مدل است.

اثرات ثابت شهر، ویژگی‌های مشاهده‌نشده و ثابت در طول زمان مانند موقعیت جغرافیایی، الگوی تاریخی توسعه شهر، ساختار پایدار شبکه شهری و فرهنگ استفاده از خودرو را کنترل می‌کند. اثرات ثابت سال نیز شوک‌ها و روندهای مشترک سالانه، مانند تغییرات سیاستی، تورم عمومی، شرایط کلان اقتصادی و تحولات مشترک بازار سوخت را در نظر می‌گیرد. ضریب اصلی مورد توجه، α_1 است که کشش مصرف سرانه بنزین نسبت به تراکم جمعیت شهری را پس از کنترل این عوامل نشان می‌دهد. برای بررسی احتمال غیرخطی بودن رابطه میان تراکم جمعیت و مصرف بنزین، مدل گسترش‌یافته زیر نیز برآورد می‌شود:

$$\log_GasCap_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \log_Density_{it} + \alpha_2 (\log_Density_{it})^2 + \alpha_3 z_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \qquad (2)$$

در این مدل، معناداری و علامت ضرایب α_1 و α_2 نشان می‌دهد که آیا رابطه میان تراکم جمعیت و مصرف بنزین خطی است یا الگویی غیرخطی دارد. در صورتی که α_1 مثبت و α_2 منفی باشد؛ رابطه از نوع سهموی معکوس خواهد بود. اعتبار این الگو در بخش نتایج با بررسی نقطه بازگشت، قرار گرفتن آن در دامنه مشاهده‌شده تراکم و محاسبه شیب‌های حاشیه‌ای در سطوح مختلف تراکم ارزیابی می‌شود.

در مدل اصلی، متغیرهایی که فقط در طول زمان تغییر می‌کنند و بین شهرها تفاوت مکانی ندارند؛ مانند قیمت واقعی بنزین و تولید ناخالص داخلی واقعی کشور، به‌طور مستقل در کنار اثرات ثابت سال قابل شناسایی نیستند؛ زیرا اثر آن‌ها توسط اثرات ثابت سال جذب می‌شود. بنابراین، این متغیرها در مدل‌های جایگزین یا آزمون‌های پایداری بدون اثرات ثابت سال بررسی می‌شوند. تمامی

برآوردها با خطاهای استاندارد مقاوم خوشه‌بندی‌شده در سطح شهر انجام می‌شود تا همبستگی درون‌شهری و ناهمسانی واریانس احتمالی کنترل شود.

همچنین برای بررسی ناهمگنی رابطه تراکم و مصرف سرانه بنزین برحسب اندازه شهر، مدل غیرخطی پایه با برهم‌کنش متغیرهای گروه اندازه شهر و اجزای خطی و درجه دوم لگاریتم تراکم گسترش یافت. شهرهای کوچک به‌عنوان گروه مرجع در نظر گرفته شدند. از آنجا که عضویت در گروه اندازه شهر طی دوره مطالعه ثابت است؛ اثر مستقل متغیرهای گروهی توسط اثرات ثابت شهر جذب می‌شود اما برهم‌کنش گروه‌ها با تراکم، به دلیل تغییرات زمانی تراکم، قابل شناسایی است. لازم به اشاره است که استفاده از یک مدل تجمیعی دارای برهم‌کنش، ضمن حفظ تمام مشاهدات نمونه، امکان آزمون رسمی تفاوت منحنی‌های گروهی را فراهم می‌کند.

$$\log_GasCap_{it} = \beta_i + \lambda_t + \alpha_1 \log_Density_{it} + \alpha_2 (\log_Density_{it})^2 + \delta_1(Medium_i \times \log_Density_{it}) + \delta_2(Large_i \times \log_Density_{it}) + \theta_1(Medium_i \times \log_Density^2_{it}) + \theta_2(Large_i \times \log_Density^2_{it}) + \gamma z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

که در آن $\log_Density_{it}$ لگاریتم تراکم شهر i در سال t، $Medium_i$ متغیر مجازی شهر متوسط و $Large_i$ متغیر مجازی شهر بزرگ است. شهرهای کوچک گروه مرجع مدل هستند؛ بنابراین، برای شهرهای کوچک هر دو متغیر $Medium_i$ و $Large_i$ برابر صفر است. همچنین، Z_{it} بردار متغیرهای کنترلی شامل لگاریتم درآمد واقعی خانوار، مالکیت خودرو، نرخ اشتغال و وجود قطار شهری است. β_i اثر ثابت شهر و λ_t اثر ثابت سال را نشان می‌دهد. به دلیل وجود جمله درجه‌دوم و برهم‌کنش‌های گروهی دسته‌های مختلف شهری، ضرایب خام مدل مستقیماً بیانگر اثر تراکم نیستند. به همین دلیل اثر حاشیه‌ای تراکم برای هر گروه از مشتق معادله نسبت به لگاریتم تراکم به دست می‌آید:

$$ME_S(D) = \alpha_1 + 2\alpha_2 D \quad (4)$$

$$ME_M(D) = (\alpha_1 + \delta_1) + 2(\alpha_2 + \theta_1) D \quad (5)$$

$$ME_L(D) = (\alpha_1 + \delta_2) + 2(\alpha_2 + \theta_2) D \quad (6)$$

از آنجا که متغیر وابسته و تراکم هر دو به‌صورت لگاریتم طبیعی وارد مدل شده‌اند، اثرهای حاشیه‌ای فوق به‌صورت کشش تفسیر می‌شوند. به بیان دیگر، هر اثر حاشیه‌ای درصد تغییر برآوردشده در مصرف سرانه بنزین در برابر یک درصد تغییر در تراکم جمعیت را در سطح معینی از تراکم نشان می‌دهد.

دامنه لگاریتم تراکم در سه گروه کاملاً یکسان نمی‌باشد. دامنه مشترک مشاهده‌شده برای هر سه گروه تقریباً از ۸.۳۱۴ تا ۹.۲۴۵ است. برای اجتناب از مقایسه‌های متکی بر برون‌یابی، اثرهای حاشیه‌ای در مقادیر ۸.۴، ۸.۶، ۸.۸ و ۹ از لگاریتم تراکم محاسبه شدند. این نقاط درون دامنه مشاهده‌شده هر سه گروه قرار دارند و امکان مقایسه کشش‌های گروهی در سطوح یکسانی از تراکم را فراهم می‌کنند.

۴.تحلیل و نتایج

۱.۴.نتایج رگرسیون پایه

juep.net

جدول ۵ نتایج برآورد مدل‌های پایه خطی و غیرخطی رابطه میان تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین را نشان می‌دهد. در ستون‌های (۱) و (۲)، رابطه خطی میان لگاریتم تراکم جمعیت و لگاریتم مصرف سرانه بنزین بررسی شده است. در ستون‌های (۳) و (۴)، برای بررسی احتمال غیرخطی بودن این رابطه، مربع لگاریتم تراکم نیز به مدل افزوده شده است. تمام مشخصات شامل اثرات ثابت شهر هستند. در ستون‌های (۲) و (۴)، اثرات ثابت سال نیز کنترل شده‌اند و ازاین‌رو، این دو ستون مشخصات اصلی پژوهش به شمار می‌روند. در ستون‌های (۱) و (۳)، اثرات ثابت سال حذف شده و متغیرهای ملی شامل قیمت واقعی بنزین، وقفه یک‌ساله قیمت واقعی بنزین و تولید ناخالص داخلی واقعی کشور وارد مدل شده‌اند.

جدول ۵- نتایج رگرسیون پایه معادلات ۱ و ۲

	(۱) log_GasCap	(۲) log_GasCap	(۳) log_GasCap	(۴) log_GasCap
log_Density	-۰.۲۶۲*	-۰.۵۵۷***	۲.۹۶۵***	۲.۷۴۲***
	(۰.۱۴۰)	(۰.۲۰۳)	(۰.۶۵۲)	(۰.۸۰۶)
GasCPI	-۰.۰۰۳۳۲***		-۰.۰۰۳۴۱***	
	(۰.۰۰۱۲۰)		(۰.۰۰۱۱۷)	
L.GasCPI	-۰.۰۳۰۶***		-۰.۰۳۰۴***	
	(۰.۰۰۱۱۴)		(۰.۰۰۱۱۲)	
logIncCPI	-۰.۰۷۰۴***	-۰.۰۲۲۰	-۰.۰۷۰۸***	-۰.۰۲۱۴
	(۰.۰۲۴۴)	(۰.۰۱۸۶)	(۰.۰۲۳۸)	(۰.۰۱۸۴)
Car	۰.۰۰۰۶۶۱*	-۰.۰۰۰۲۵۷	۰.۰۰۰۷۰۲**	-۰.۰۰۰۲۲۱
	(۰.۰۰۰۳۷۷)	(۰.۰۰۰۳۲۲)	(۰.۰۰۰۳۳۹)	(۰.۰۰۰۳۱۴)
Emp	-۰.۰۰۰۵۱۸	-۰.۰۰۱۱۷	-۰.۰۰۰۲۶۷	-۰.۰۰۰۹۷۵
	(۰.۰۰۰۹۴۲)	(۰.۰۰۰۸۴۷)	(۰.۰۰۰۹۰۳)	(۰.۰۰۰۸۲۵)
Metro	-۰.۱۲۴*	-۰.۱۳۱***	-۰.۰۳۷۳	-۰.۰۴۸۰*
	(۰.۰۶۷۷)	(۰.۰۴۵۸)	(۰.۰۳۴۵)	(۰.۰۲۵۸)
agg_gdp	۰.۰۵۶۴***		۰.۰۵۸۱***	
	(۰.۰۰۹۴۰)		(۰.۰۰۹۷۷)	
sqlogDensity			-۰.۱۹۱***	-۰.۱۹۳***
			(۰.۰۴۰۵)	(۰.۰۴۴۵)
اثر ثابت شهر	بله	بله	بله	بله
اثر ثابت سال	خیر	بله	خیر	بله
مشاهدات	۷۲۰	۸۰۰	۷۲۰	۸۰۰
Within R-squared	۰.۵۹۸	۰.۶۷۵	۰.۶۱۶	۰.۶۹۷

متغیر وابسته در همه ستون‌ها لگاریتم مصرف سرانه بنزین است. خطاهای استاندارد خوشه‌بندی‌شده در سطح شهر در پرانتز گزارش شده‌اند.

* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

نتایج مدل خطی در ستون (۲) نشان می‌دهد که ضریب لگاریتم تراکم جمعیت برابر با ۰.۵۵۷- و در سطح یک درصد معنادار است. از آنجا که متغیر وابسته و تراکم هر دو به‌صورت لگاریتمی وارد مدل شده‌اند، این ضریب به‌صورت کشش تفسیر می‌شود. بنابراین،

juep.net

پس از کنترل تفاوت‌های ثابت میان شهرها، شوک‌های مشترک سالانه و سایر متغیرهای مدل، افزایش یک‌درصدی تراکم جمعیت شهری به‌طور متوسط با کاهش حدود ۰٫۵۶ درصدی مصرف سرانه بنزین همراه است.

بااین‌حال، نتایج مدل غیرخطی اصلی در ستون (۴) نشان می‌دهد که نمی‌توان رابطه تراکم و مصرف بنزین را با یک کشش ثابت در تمام سطوح تراکم توضیح داد. ضریب جزء خطی تراکم مثبت و ضریب جمله درجه‌دوم آن منفی است و هر دو از نظر آماری معنادار هستند. علامت منفی جمله درجه‌دوم نشان می‌دهد که شیب رابطه با افزایش تراکم منفی‌تر می‌شود. به دلیل وجود جمله درجه‌دوم، ضرایب ۲.۷۴۲ و ۰.۱۹۳- نباید به‌تنهایی به‌عنوان اثر تراکم تفسیر شوند و تفسیر اقتصادی مدل باید بر اساس مشتق معادله و اثرهای حاشیه‌ای انجام شود.

در ستون‌های (۱) و (۳)، ضرایب قیمت واقعی بنزین و وقفه یک‌ساله آن منفی و در سطح یک درصد معنادارند. این جهت با منطق تقاضای سوخت سازگار است؛ بااین‌حال، این متغیرها فقط در بعد زمانی تغییر می‌کنند و تفاوتی میان شهرها ندارند. ازاین‌رو، در مدل‌های دارای اثرات ثابت سال به‌طور مستقل قابل‌شناسایی نیستند و توسط متغیرهای مجازی سال جذب می‌شوند. به همین دلیل، ستون‌های (۲) و (۴) مبنای اصلی تحلیل رابطه تراکم و مصرف سرانه بنزین قرار می‌گیرند و ستون‌های (۱) و (۳) به‌عنوان مشخصات جایگزین تفسیر می‌شوند.

۲.۴.ناهمگنی رابطه تراکم و مصرف بنزین برحسب اندازه شهر

برای بررسی اینکه آیا رابطه تراکم و مصرف سرانه بنزین در شهرهای کوچک، متوسط و بزرگ یکسان است؛ شهرها بر اساس جمعیت سرشماری سال ۱۳۹۵ طبقه‌بندی شدند. شهرهای دارای جمعیت کمتر از ۱۰۰ هزار نفر در گروه شهرهای کوچک، شهرهای دارای جمعیت ۱۰۰ تا ۵۰۰ هزار نفر در گروه شهرهای متوسط و شهرهای دارای جمعیت بیش از ۵۰۰ هزار نفر در گروه شهرهای بزرگ قرار گرفتند. بر این اساس، نمونه شامل ۳۸ شهر کوچک، ۳۵ شهر متوسط و ۷ شهر بزرگ است که به‌ترتیب ۳۸۰، ۳۵۰ و ۷۰ مشاهده شهر-سال را تشکیل می‌دهند.

عضویت هر شهر در این گروه‌ها برای تمام سال‌های دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ ثابت نگه داشته شد. شهرهای کوچک گروه مرجع مدل هستند؛ بنابراین، ضریب اصلی لگاریتم تراکم در مدل خطی شیب شهرهای کوچک را نشان می‌دهد و ضرایب برهم‌کنش شهرهای متوسط و بزرگ، تفاوت شیب آن‌ها با شهرهای کوچک هستند. در مدل غیرخطی نیز ضرایب برهم‌کنش، تفاوت اجزای خطی و درجه‌دوم منحنی شهرهای متوسط و بزرگ با منحنی گروه مرجع را نشان می‌دهند.

به دلیل ثابت بودن عضویت گروهی در طول زمان، اثر مستقل متغیرهای مجازی شهر متوسط و بزرگ توسط اثرات ثابت شهر جذب شده است. حذف این ضرایب ناشی از هم‌خطی کامل با اثرات ثابت شهری است و به همین دلیل خللی در برآورد برهم‌کنش گروه‌ها با تراکم ایجاد نمی‌کند.

جدول ۶- ناهمگنی رابطه تراکم و مصرف سرانه بنزین برحسب اندازه شهر

متغیر	مدل خطی گروهی (۱)	مدل غیرخطی گروهی (۲)
log_Density; شهر کوچک	-۰.۷۳۵***	۰.۸۱۱
	(۰.۱۴۳)	(۰.۹۶۹)

juep.net

log_Density × شهر متوسط	۰.۳۵۰*	۳.۷۱۵***
	(۰.۱۸۳)	(۱.۲۳۸)
log_Density × شهر بزرگ	-۰.۲۱۲*	-۰.۳۹۰
	(۰.۱۲۴)	(۲.۰۲۱)
log_Density²; شهر کوچک	-	-۰.۰۹۷۸
		(۰.۰۶۰۲)
log_Density² × شهر متوسط	-	-۰.۱۹۴۴**
		(۰.۰۷۶۲)
log_Density² × شهر بزرگ	-	۰.۰۲۳۷
		(۰.۱۱۳۱)
logIncCPI	-۰.۰۲۲۵	-۰.۰۲۱۳
	(۰.۰۱۸۷)	(۰.۰۱۸۷)
Car	-۰.۰۰۰۴۵۱	-۰.۰۰۰۳۱۸
	(۰.۰۰۰۳۱۳)	(۰.۰۰۰۲۹۸)
Emp	-۰.۰۰۱۶۵**	-۰.۰۰۱۳۹*
	(۰.۰۰۰۸۱۹)	۰.۰۰۰۷۸۸
Metro	-۰.۰۵۴۵***	-۰.۰۵۳۵***
	(۰.۰۱۸۱)	(۰.۰۱۹۱)
اثر ثابت شهر	بله	بله
اثر ثابت سال	بله	بله
مشاهدات	۸۰۰	۸۰۰
تعداد شهرها	۸۰	۸۰
ضریب تعیین درون‌گروهی	۰.۶۹۲	۰.۷۱۴
آزمون مشترک ناهمگنی (F)	۴.۱۸	۶.۵۵
آزمون ناهمگنی (p) مقدار	۰.۰۱۸۷	۰.۰۰۰۱

شهرهای کوچک گروه مرجع هستند. ضرایب مستقل شهرهای متوسط و بزرگ به دلیل هم‌خطی با اثرات ثابت شهر از مدل حذف شده‌اند. خطاهای استاندارد خوشه‌بندی‌شده در سطح شهر در پرانتز گزارش شده‌اند. * p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

در مدل خطی گروهی، ضریب لگاریتم تراکم برای شهرهای کوچک برابر با ۰.۷۳۵- است. بنابراین، در این گروه، افزایش یک‌درصدی تراکم با کاهش تقریبی ۰.۷۴ درصدی مصرف سرانه بنزین همراه است. ضریب برهم‌کنش شهر متوسط و تراکم برابر با ۰.۳۵۰ است؛ ازاین‌رو، شیب ضمنی شهرهای متوسط از جمع ضریب گروه مرجع و ضریب برهم‌کنش به دست می‌آید. بنابراین، کشش خطی ضمنی در شهرهای متوسط حدود ۰.۳۹- است و شدت رابطه منفی در این گروه کمتر از شهرهای کوچک برآورد می‌شود. به همین ترتیب شیب ضمنی شهرهای بزرگ و به تعبیری کشش خطی ضمنی شهرهای بزرگ برابر با ۰.۹۴۷- است.

برای ارزیابی رسمی ناهمگنی، چهار ضریب برهم‌کنش مدل غیرخطی به‌طور هم‌زمان آزمون شدند. نتیجه آزمون والد نشان می‌دهد که فرض یکسان بودن کامل منحنی رابطه در سه گروه رد می‌شود.

$$F(4,79) = 6.55 \quad \text{Prob} > F = 0.001 \qquad (7)$$

آزمون‌های دوتایی منحنی‌ها نشان می‌دهد که منحنی شهرهای متوسط با شهرهای کوچک تفاوت معناداری دارد. در مقابل، فرض برابری منحنی شهرهای بزرگ و کوچک رد نمی‌شود. مقایسه شهرهای متوسط و بزرگ نیز در سطح پنج درصد معنادار نبوده هرچند

juep.net

در سطح ده درصد شواهد ضعیفی از تفاوت میان آن‌ها وجود دارد. این مجموعه نتایج نشان می‌دهد که ناهمگنی کلی عمدتاً از تفاوت شهرهای متوسط با شهرهای کوچک ناشی می‌شود. از نتایج نمی‌توان استنباط کرد که هر سه گروه به‌طور قطعی و در تمام ابعاد با یکدیگر متفاوت‌اند. همچنین، عدم رد تفاوت شهرهای بزرگ و کوچک به معنی اثبات یکسان بودن کامل آن‌ها نمی‌باشد؛ به‌ویژه آنکه گروه شهرهای بزرگ تنها شامل هفت شهر است و تعداد محدود خوشه‌ها در این گروه توان آزمون تفاوت را کاهش می‌دهد.

برای بررسی ضرورت حفظ ساختار غیرخطی، ضرایب مربوط به تمام جملات درجه‌دوم به‌طور مشترک آزمون شدند. نتیجه آزمون فرض صفر حذف این جملات را رد می‌کند. بنابراین، حذف اجزای درجه‌دوم و تحمیل یک رابطه خطی واحد بر داده‌ها توجیه‌پذیر نیست و تفسیر نتایج باید بر مدل غیرخطی و اثرهای حاشیه‌ای آن استوار باشد.

$$F(3,79) = 11.21 \quad Prob > F = 0.001 \qquad (8)$$

در میان متغیرهای کنترلی، ضریب درآمد واقعی خانوار و مالکیت خودرو در دو مدل گروهی از نظر آماری معنادار نمی‌باشد. ضریب Metroنرخ اشتغال در مدل خطی در سطح پنج درصد و در مدل غیرخطی در سطح ده درصد منفی و معنادار است. ضریب متغیر نیز در هر دو مشخصات منفی و در سطح یک درصد معنادار است. بااین‌حال، این ضرایب روابط شرطی هستند و به‌ویژه درباره قطار شهری، به دلیل تعداد محدود شهرهای دارای قطار شهری و تغییرات زمانی اندک این متغیر، نباید به‌صورت اثر علّی تفسیر شوند.

۳.۴.اثرات حاشیه‌ای تراکم جمعیت برحسب اندازه شهر

دامنه لگاریتم تراکم در سه گروه کاملاً یکسان نمی‌باشد. دامنه مشترک مشاهده‌شده برای هر سه گروه تقریباً از ۸.۳۱۴ تا ۹.۲۴۶ است. برای جلوگیری از برون‌یابی و مقایسه گروه‌ها در سطوح یکسانی از تراکم، اثرهای حاشیه‌ای در مقادیر ۸.۴، ۸.۶، ۸.۸ و ۹ محاسبه شدند که این چهار مقدار در دامنه مشاهده‌شده هر سه گروه قرار دارند.

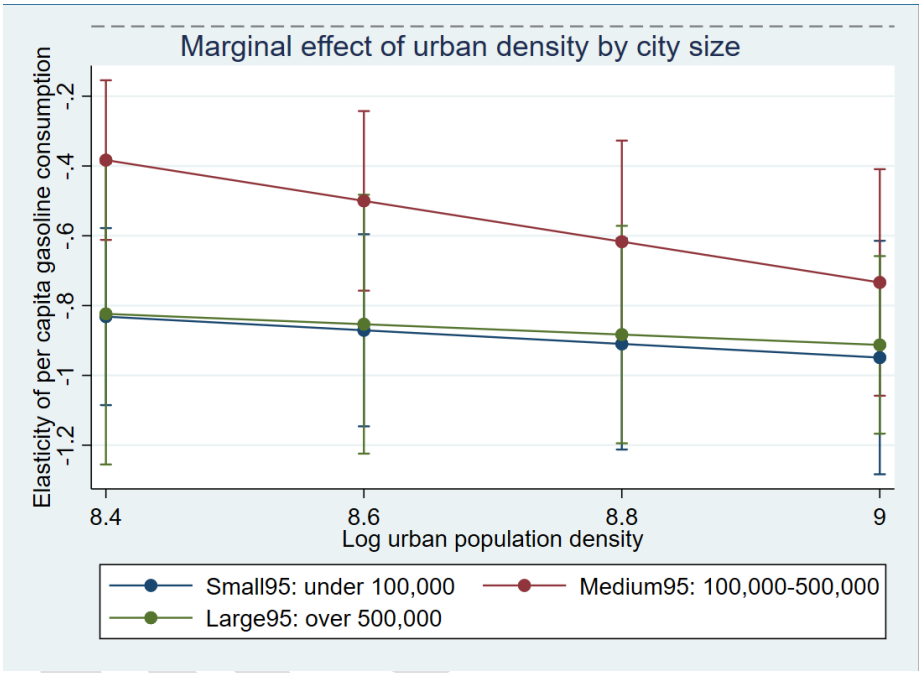
جدول ۷- اثرهای حاشیه‌ای تراکم جمعیت بر مصرف سرانه بنزین برحسب اندازه شهر

شهرهای بزرگ	شهرهای متوسط	شهرهای کوچک	لگاریتم تراکم
-۰.۸۲۴***	-۰.۳۸۳***	-۰.۸۳۲***	۸.۴
(۰.۲۲۰)	(۰.۱۱۷)	(۰.۱۲۹)	
-۰.۸۵۳***	-۰.۵۰۰***	-۰.۸۷۱***	۸.۶
(۰.۱۸۹)	(۰.۱۳۱)	(۰.۱۴۰)	
-۰.۸۸۳***	-۰.۶۱۷***	-۰.۹۱۰***	۸.۸
(۰.۱۵۹)	(۰.۱۴۷)	(۰.۱۵۴)	
-۰.۹۱۳***	-۰.۷۳۴***	-۰.۹۴۹***	۹.۰
(۰.۱۳۰)	(۰.۱۶۶)	(۰.۱۷۱)	

اعداد جدول کشش مصرف سرانه بنزین نسبت به تراکم جمعیت را نشان می‌دهند. خطاهای استاندارد مبتنی بر روش دلتا و خوشه‌بندی‌شده در سطح شهر در پرانتز گزارش شده‌اند. اثر شهر متوسط در سطح ۸.۴ دارای (p=0.001) و سایر اثرها دارای (p<0.001) هستند. $p<0.01$ ***

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر حاشیه‌ای تراکم در تمام سطوح بررسی‌شده و برای هر سه گروه منفی و از نظر آماری معنادار است. این نتایج سه نکته را نشان می‌دهند. نخست، در دامنه مشترک تراکم، افزایش تراکم در هر سه گروه با کاهش مصرف سرانه بنزین همراه است. دوم، شدت این رابطه با افزایش تراکم بیشتر می‌شود. سوم، الگوی به‌دست‌آمده از یک رتبه‌بندی ساده و یکنواخت

کوچک-متوسط-بزرگ حمایت نمی‌کند. شهرهای کوچک و بزرگ کشش‌های نسبتاً نزدیک به یکدیگر دارند، درحالی‌که کشش شهرهای متوسط، به‌ویژه در سطوح پایین‌تر تراکم، کمتر منفی است. با حرکت از تراکم ۸.۴ به ۹، فاصله کشش شهرهای متوسط با دو گروه دیگر کاهش می‌یابد.



شکل ۱- اثر حاشیه‌ای تراکم جمعیت بر مصرف سرانه بنزین برحسب اندازه شهر با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

نقاط، کشش برآوردشده مصرف سرانه بنزین نسبت به تراکم را نشان می‌دهند و خطوط عمودی بیانگر فاصله اطمینان ۹۵ درصد هستند. خط افقی صفر برای تشخیص جهت و معناداری اثرها رسم شده است.

۴.۴.آزمون‌های پایداری

برای بررسی حساسیت یافته‌های اصلی نسبت به نحوه کنترل تحولات زمانی و ترکیب نمونه، مدل غیرخطی تحت چند مشخصات جایگزین برآورد شد. ستون (۱) مدل پایه با اثرات ثابت شهر و سال را نشان می‌دهد. در ستون (۲)، اثرات ثابت سال با قیمت واقعی بنزین، وقفه یک‌ساله آن و تولید ناخالص داخلی واقعی کشور جایگزین شده‌اند. در ستون (۳)، علاوه بر این متغیرهای کلان، یک روند زمانی خطی نیز وارد مدل شده است و در ستون (۴)، تهران از نمونه حذف شده است.

جدول ۸- آزمون‌های پایداری نتایج

(۱)	(۲)	(۳)	(۴)
مدل اصلی	قیمت سوخت و GDP	روند زمانی خطی	حذف تهران

juep.net

log_Density	۲.۷۴۲***	۲.۹۶۵***	۳.۰۳۵***	۲.۶۶۱***
	(۰.۸۰۶)	(۰.۶۵۲)	(۰.۷۸۱)	(۰.۸۳۹)
sqlogDensity	-۰.۱۹۳***	-۰.۱۹۱***	-۰.۲۱۰***	-۰.۱۸۸***
	(۰.۰۴۴۵)	(۰.۰۴۰۵)	(۰.۰۴۴۸)	(۰.۰۴۶۲)
logIncCPI	-۰.۰۲۱۴	-۰.۰۷۰۸***	-۰.۰۲۵۷	-۰.۰۲۰۶
	(۰.۰۱۸۴)	(۰.۰۲۳۸)	(۰.۰۱۹۷)	(۰.۰۱۸۳)
Car	-۰.۰۰۰۲۲۱	۰.۰۰۰۷۰۲**	-۰.۰۰۰۰۸۱۳	-۰.۰۰۰۲۴۹
	(۰.۰۰۰۳۱۴)	(۰.۰۰۰۳۳۹)	(۰.۰۰۰۲۸۰)	(۰.۰۰۰۳۱۶)
Emp	-۰.۰۰۰۹۷۵	-۰.۰۰۰۲۶۷	-۰.۰۰۱۱۲	-۰.۰۰۰۹۴۴
	(۰.۰۰۰۸۲۵)	(۰.۰۰۰۹۰۳)	(۰.۰۰۰۸)	(۰.۰۰۰۸۲۶)
Metro	-۰.۰۴۸۰*	-۰.۰۳۷۳	-۰.۰۳۶۴	-۰.۰۵۰۵*
	(۰.۰۲۵۸)	(۰.۰۳۴۵)	(۰.۰۲۸۶)	(۰.۰۲۵۹)
year			۰.۰۲۸۶***	
			(۰.۰۰۲۹۱)	
GasCPI		-۰.۰۰۳۴۱***	-۰.۰۰۶۹۶***	
		(۰.۰۰۱۱۷)	(۰.۰۰۱۰۵)	
L.GasCPI		-۰.۰۳۰۴***	-۰.۰۳۱۶***	
		(۰.۰۰۱۱۲)	(۰.۰۰۱۱۴)	
agg_gdp		۰.۰۵۸۱***	-۰.۰۱۴۱***	
		(۰.۰۰۷۹۹)	(۰.۰۰۴۲۰)	
مشاهدات	۸۰۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰
Within R-squared	۰.۶۹۷	۰.۶۱۶	۰.۶۷۸	۰.۶۹۹
اثرات ثابت شهر	بله	بله	بله	بله
اثرات ثابت سال	بله	خیر	خیر	بله
قیمت بنزین و GDP	خیر	بله	بله	خیر
روند زمانی خطی	خیر	خیر	بله	خیر
نمونه	کامل	کامل	کامل	بدون تهران

خطاهای استاندارد خوشه‌بندی‌شده در سطح شهر در پرانتز گزارش شده‌اند. * p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که ضرایب متغیرهای اصلی در تمام مشخصات پایدار باقی می‌مانند. ضریب log_Density در همه ستون‌ها مثبت، در محدوده ۲.۶۶۱ تا ۳.۰۳۵، و در سطح یک درصد معنادار است. همچنین، ضریب sqlogDensity در همه مدل‌ها منفی، در محدوده ۰.۱۸۸- تا ۰.۲۱۰-، و در سطح یک درصد معنادار باقی می‌ماند. حذف تهران نیز تغییر محسوسی در اندازه ضرایب اصلی یا ضریب تعیین درون‌گروهی ایجاد نمی‌کند. بنابراین، شکل غیرخطی و مقعر رابطه میان تراکم جمعیت و مصرف سرانه بنزین نسبت به کنترل‌های زمانی جایگزین و حذف تهران پایدار است.

در مدل‌های فاقد اثرات ثابت سال، ضرایب قیمت واقعی بنزین و وقفه آن منفی و معنادار هستند که با منطق تقاضای سوخت سازگار است. با این حال، ضرایب برخی متغیرهای کنترلی نسبت به مشخصات مدل حساس‌ترند. ازاین‌رو، هدف اصلی جدول بررسی پایداری ضرایب تراکم و جمله مربعی آن است.

juep.net

۵.جمع‌بندی

۱.۵.بحث

یافته اصلی پژوهش آن است که رابطه تراکم جمعیت شهری و مصرف سرانه بنزین در شهرستان‌های ایران منفی، اما غیرخطی است. مدل خطی نشان می‌دهد افزایش یک‌درصدی تراکم به‌طور متوسط با کاهش حدود ۰٫۵۶ درصدی مصرف سرانه بنزین همراه است اما، شدت این رابطه با افزایش تراکم بیشتر می‌شود. پایداری این الگو در مشخصات زمانی جایگزین و پس از حذف تهران نیز نشان می‌دهد که نتیجه اصلی به حضور پایتخت یا یک نحوه خاص کنترل تحولات زمانی وابسته نمی‌باشد.

جهت رابطه با یافته‌های نیومن و کنورثی (۱۹۸۹)، براونستون و گلوب (۲۰۰۹)، کاراتودورو و همکاران (۲۰۱۰) و سو (۲۰۱۱) هم‌سو است که تراکم بیشتر را با کاهش مالکیت خودرو، مسافت پیموده‌شده و مصرف سوخت مرتبط می‌دانند. تفاوت روش پژوهش حاضر در استفاده از مصرف ثبت‌شده بنزین و داده‌های پانلی است؛ بنابراین، ضرایب بیش از آنکه تفاوت مقطعی شهرستان‌های متراکم و کم‌تراکم را نشان دهند؛ رابطه تغییر تراکم هر شهرستان با تغییر مصرف آن را در طول زمان منعکس می‌کنند.

نوآوری دیگر پژوهش، آزمون این رابطه میان شهرستان‌های کوچک، متوسط و بزرگ است. فرض یکسان‌بودن منحنی سه گروه رد می‌شود اما تفاوت عمدتاً میان شهرستان‌های متوسط و کوچک مشاهده می‌شود و نتایج از یک رتبه‌بندی یکنواخت براساس اندازه شهرستان حمایت نمی‌کند. ضعیف‌تر بودن اثر تراکم در شهرستان‌های متوسط، به‌ویژه در سطوح پایین‌تر تراکم، ممکن است ناشی از همراه نبودن افزایش تراکم با تمرکز اشتغال و خدمات، اختلاط کاربری یا حمل‌ونقل عمومی باشد. این نتیجه با دیدگاه میندالی و همکاران (۲۰۰۴) درباره ناکافی‌بودن تراکم به‌تنهایی برای توضیح مصرف انرژی سازگار است.

ضرایب قطار شهری و قیمت بنزین در جهت مورد انتظار قرار دارند اما محدودیت تغییرات زمانی قطار شهری و جذب قیمت ملی بنزین توسط اثرات ثابت سال، مانع تفسیر علّی آن‌ها می‌باشد. نتایج اصلی نیز روابطی شرطی را نشان می‌دهند زیرا علیت معکوس، سایر ابعاد فرم شهری، فروش سوخت به غیرساکنان و تعداد اندک شهرستان‌های بزرگ می‌توانند بر برآوردها اثر بگذارند.

۲.۵.دلالت‌های سیاستی

یافته‌ها از تفاوت رابطه تراکم جمعیت و مصرف بنزین میان گروه‌های شهری حمایت می‌کنند اما یک رتبه‌بندی ساده از شهرستان کوچک به بزرگ به دست نمی‌دهند. به همین جهت، گروه‌بندی جمعیتی باید برای تشخیص مسئله اصلی هر گروه به کار رود.

شهرستان‌های کوچک کمترین میانگین تراکم جمعیت و بیشترین میانگین مصرف سرانه بنزین را دارند اما اثر حاشیه‌ای تراکم در دامنه مشترک برای آنها قوی و نزدیک به شهرستان‌های بزرگ است. بنابراین، دلالت اصلی برای این گروه جلوگیری از انتقال رشد جمعیت و ساخت‌وساز به توسعه‌های منفصل پیرامونی و هدایت آن به ظرفیت‌های خالی درون محدوده موجود است. با فرض وجود شبکه پایه حمل‌ونقل عمومی شامل اتوبوس، مینی‌بوس و تاکسی، اولویت حمل‌ونقلی می‌تواند بازتنظیم مسیر و زمان‌بندی همین خدمات برای اتصال محلات به مراکز اصلی اشتغال و خدمات باشد.

شهرستان‌های متوسط الگوی متفاوتی دارند. در سطح لگاریتم تراکم ۸٫۴، کشش این گروه ۰٫۳۸۳- است که از شهرستان‌های کوچک و بزرگ ضعیف‌تر است اما در سطح ۹ به ۰٫۷۳۴- می‌رسد. بنابراین، افزایش تراکم ساختمانی پراکنده یا افزودن واحدهای مسکونی

به‌تنهایی برای این گروه سیاست مؤثری محسوب نمی‌شود. اولویت مرکزی باید تمرکز توسعه جدید در محورهای پیوسته‌ای باشد که هم‌زمان به اشتغال، خدمات و شبکه موجود حمل‌ونقل عمومی دسترسی دارند. در این شهرستان‌ها، صدور مجوز برای توسعه‌های بزرگ پیرامونی باید به ارزیابی دسترسی و برنامه تقویت ظرفیت و تواتر خدمات عمومی موجود در شهر مشروط شود.

شهرستان‌های بزرگ بالاترین میانگین تراکم و پایین‌ترین میانگین مصرف سرانه بنزین را دارند و اثر حاشیه‌ای تراکم در آنها همچنان منفی و قوی است. با این وجود، میانگین مالکیت خودرو در این گروه از دو گروه دیگر بیشتر است و قطار شهری نیز عمدتاً در همین شهرستان‌ها متمرکز شده است. ازاین‌رو، اولویت اصلی هدایت توسعه به حوزه دسترسی ایستگاه‌های فعال و افزایش بهره‌وری شبکه موجود از طریق هماهنگی خطوط تغذیه‌کننده، کاهش زمان انتظار، یکپارچگی بلیت و مدیریت پارکینگ در مراکز پرتردد است.

در سطح ملی، ضرایب منفی قیمت واقعی بنزین و وقفه آن نشان می‌دهد سیاست فضایی باید با اصلاح تدریجی و قابل پیش‌بینی قیمت سوخت تکمیل شود. این اصلاح باید با حمایت هدفمند از خانوارهای آسیب‌پذیر و تأمین منابع بهره‌برداری حمل‌ونقل عمومی همراه باشد تا همچنان دسترسی‌پذیری افراد به سطوح مختلف شهر همراه باشد.

۳.۵.محدودیت‌ها و مسیرهای پژوهشی آینده

این پژوهش با چند محدودیت همراه است. نخست، داده مصرف بنزین بر اساس فروش ثبت‌شده در جایگاه‌های هر ناحیه پخش است و ممکن است بخشی از مصرف خودروهای عبوری، سفرهای بین‌شهری یا فعالیت‌های خارج از محدوده شهری را نیز شامل شود؛ ازاین‌رو، این متغیر معادل دقیق مصرف بنزین خانوارهای ساکن شهرستان نمی‌باشد.

دوم، برخی متغیرهای اقتصادی و اجتماعی از طرح هزینه و درآمد خانوار استخراج و در سطح شهر تجمیع شده‌اند و ممکن است در شهرهای کوچک‌تر با خطای نمونه‌گیری همراه باشند.

علاوه بر این، مدل اثرات ثابت شهر و سال اگرچه ناهمگنی ثابت میان شهرها و شوک‌های مشترک زمانی را کنترل می‌کند اما احتمال درون‌زایی ناشی از عوامل زمان‌متغیر و رابطه دوسویه میان تراکم و مصرف بنزین را به‌طور کامل برطرف نمی‌کند.

پژوهش‌های آینده می‌توانند از داده‌های دقیق سفر و انواع مختلف سوخت، روش‌های متغیر ابزاری یا طراحی‌های شبه‌آزمایشی و مدل‌های فضایی استفاده کنند. بررسی جداگانه شهرهای دارای ساختارهای متفاوت حمل‌ونقل عمومی نیز می‌تواند درک دقیق‌تری از شرایطی فراهم کند که در آن تراکم شهری به کاهش مصرف بنزین منجر می‌شود.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان برابر بوده است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی یا غیرمالی دریافت نکرده است. در فرایند ترجمه نسخه انگلیسی مقاله از زبان فارسی به زبان انگلیسی و ویرایش متن علمی نگارش شده، از ابزار هوش مصنوعی (Gen-AI) استفاده شده است. نویسندگان متن نهایی را بررسی و تأیید کرده‌اند و مسئولیت کامل محتوای مقاله را بر عهده دارند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافعی در انجام پژوهش وجود ندارد.

منابع

Bento, A. M., Cropper, M. L., Mobarak, A. M., & Vinha, K. (2005). The effects of urban spatial structure on travel demand in the United States. *The Review of Economics and Statistics, 87*(3), 466–478. https://doi.org/10.1162/00346530546382 92

Brownstone, D., & Golob, T. F. (2009). The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. *Journal of Urban Economics, 65*(1), 91–98. https://doi.org/10.1016/j.jue.2008.09.002

Ewing, R., & Cervero, R. (2001). Travel and the built environment: A synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1780*(1), 87–114. https://doi.org/10.3141/1780-10

Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., & Freihage, J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate, 12*(4), 681–717. https://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521426

Ghorbani, F., Salaripour, A (2022). Investigating the relationship between urban form and energy consumption in urban settlements (Case study: Qazvin city). *Journal of Urban and Regional Development Planning*, 7 (20). 115-143. https:// doi.org/10.22054/urdp.2022.65476.1406 *[In Persian]*

He, H., & Kim, C. (2024). *Vehicle and fuel taxation for transport demand management: Learnings from the literature through a development lens* (Policy Research Working Paper No. 10647). World Bank. https://doi.org/10.1596/1813-9450-10647

Heidarpour A, Jaberi R. (2022). Sustainable transportation in Iran; Measurement and analysis of related indicators. *Urban Economics and Planning*, 2(4): 247-264. https://doi.org/10.22034/UE.2022.02.04.01 *[In Persian]*

Houri Jafari, H., & Baratimalayeri, A. (2008). The crisis of gasoline consumption in the Iran's transportation sector. *Energy Policy, 36*(7), 2536–2543. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.014

Karathodorou, N., Graham, D. J., & Noland, R. B. (2010). Estimating the effect of urban density on fuel demand. *Energy Economics, 32*(1), 86–92. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.05.005

Liddle, B. (2014). Impact of population, age structure, and urbanization on carbon emissions/energy consumption: Evidence from macro-level, cross-country analyses. *Population and Environment, 35*(3), 286–304. https://doi.org/10.1007/s11111-013-0198-4

Mindali, O., Raveh, A., & Salomon, I. (2004). Urban density and energy consumption: A new look at old statistics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38*(2), 143–162. https://doi.org/10.1016/j.tra.2003.10.004

Mirzamohammadi, S., Ghaderi, F., & Jadidi Ardakani, M. (2012). Assessing the effects of removing of energy subsidies on urban passenger transportation within the city of Tehran based on a system dynamics approach. *Management Science Letters*, 2(6), 2125–2134. https://doi.org/10.5267/j.msl.2012.06.006

Newman, P. W. G., & Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities. *Journal of the American Planning Association, 55*(1), 24–37. https://doi.org/10.1080/01944368908975398

Pilehvar, A. A. (2021). Spatial-geographical analysis of urbanization in Iran. *Humanities and Social Sciences Communications, 8*, Article 63. https://doi.org/10.1057/s41599-021-00741-w

Statistical Center of Iran. (1986, 2011, 2016). *1986, 2011 & 2016 National Population and Housing Census.* https://amar.org.ir/population-and-housing-census *[In Persian]*

Statistical Center of Iran. (2013–2022). *Household Expenditure and Income Survey (HEIS), Iranian years 1392–1401: Urban household microdata, questionnaires, and data dictionaries*. https://amar.org.ir/cost-and-income *[In Persian]*

Su, Q. (2011). The effect of population density, road network density, and congestion on household gasoline consumption in U.S. urban areas. *Energy Economics, 33*(3), 445–452. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.11.005

Ugalde-Monzalvo M (2024) Sustainable urban growth patterns based on environmental fitness. *Front. Sustain. Cities* 6:1382180. https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1382180

Yang, X., Liu, J., & Li, M. (2024). Transportation energy consumption decreases despite urban sprawl: Evidence from Chinese household survey. *Cities, 146*, Article 104738. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104738