ارزیابی ردپای کربن ناشی از خودروهای شخصی در سفرهای بین شهری (مورد شناسی: مازندران مرکزی)

صدیقه لطفی * **(استاد گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه مازندران، ایران)**
مجتبی شهابی شهمیری (دانشجوی دکترای شهرسازی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران)
فرزانه ابراهیم پور (کارشناس ارشد شهرسازی، دانشگاه تهران، ایران)

تاریخ دریافت: ۲ مهر ۱۳۹۷
تاریخ پذیرش: ۱۸ فروردین ۱۳۹۸
صفحات: ۲۲-۱



چکیده

به موازات تغییر سیستم‌های شهری از سطح درون‌شهری به مقیاس‌های بین شهری می‌توان انتظار داشت، بسیاری از مسائلی که در مقیاس شهر خود را بروز می‌دادند، امروزه در سطح منطقه پدید آیند. یکی از مرتبط‌ترین مسائل در این راستا، تغییر در سازمان فضایی منطقه‌ای و الگوهای جابه‌جایی و به‌تبع هزینه‌های اجتماعی سفر با خودروهای شخصی است. یکی از مهم‌ترین هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌های ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌ویژه دی‌اکسیدکربن به‌عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای وابسته‌به فعالیت انسانی است. بر این اساس، مقالهٔ حاضر سعی دارد با محاسبهٔ ردپای کربن و هزینه‌های اجتماعی ناشی از کربن در سفرهای بین شهری منطقهٔ مازندران مرکزی، تبعات اهمال و نادیده‌گرفتن این امر را در طول زمان روشن کند. روش‌شناسی پژوهش براساس روش پیشنهادی IPCC و بهره‌گیری از فاکتورهای انتشار دپارتمان محیط زیست، تغذیه و امور روستایی کشور انگلستان انجام شده است. علاوه‌بر این، برای تبدیل هزینهٔ اجتماعی کربن به‌صورت مالی از برآوردهای بانک‌های مهم دنیا نظیر بانک توسعهٔ آسیایی و بانک جهانی بهره گرفته‌شده‌است. همچنین با استفاده از آمار سازمان حمل‌ونقل و راهداری جاده‌های کشور، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، هزینه‌های اجتماعی آن و میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن با اجرای سیاست‌هایی نظیرِ راه‌اندازی حمل‌ونقل سامانهٔ حمل‌ونقل ریلی سبک، سامانه اتوبوس‌های تندرو، جایگزینی سوخت و کاشت درختان در محورهای بین شهری منطقهٔ آمل- بابل- قائمشهر و ساری محاسبه شد. نتایج پژوهش در مازندران مرکزی نشان می‌دهد، به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ از جابه‌جایی مردم و کالا حدود ۲۲۳، ۲۷۰ و ۳۶۵ هزار تُن دی‌اکسیدکربن تولید شده‌است که هزینهٔ اجتماعی آن را می‌توان حدود ۱۲/۵ تا ۱۸/۶ میلیون دلار برآورد کرد. محاسبهٔ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، سناریوهای پیشنهادی در منطقه نشان می‌دهد؛ به‌ترتیب LRT، جایگزینی خودروهای هیبریدی با خودروهای بنزینی، BRT و جایگزینی خودروهای گازسوز با سوخت بنزین می‌توانند بیشترین تاثیر را بر کاهش کربن و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن داشته باشند. با این همه استفاده از سیاست‌های ترکیبی و مکمل کارایی آن‌ها را افزایش می‌دهد. علاوه‌بر این، طراحی و کاشت درختان در محورهای بین شهری و جنگل‌کاری‌های شهری نیز می‌تواند مکمل گزینه‌های بالا باشد. با این وجود، هیچ‌یک از شهرهای استان به‌تنهایی قادر به تأمین هزینه‌های طراحی، ساخت و راه‌اندازی زیرساخت‌های حمل‌ونقل سامانهٔ حمل‌ونقل عمومی نخواهند بود؛ ازاین‌رو هم‌افزایی و همکاری این شهرها برای اجرای این سیاست‌ها ضروری است.

کلید واژه‌ها:
ردپای کربن، هزینهٔ اجتماعی، منطقهٔ چندمرکزی، تغییرات اقلیمی.

* نویسنده مسئول: دکتر صدیقه لطفی
پست الکترونیک: s.lotfi@umz.ac.ir

مقدمه

گزارش‌های بین‌المللی در زمینهٔ تغییرات اقلیمی، دلیل اصلی گرم‌شدن کرهٔ زمین، افزایش سطح آب دریا و ذوب‌شدن یخچال‌های طبیعی را انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی اعلام کردند (IPCC, 2014). شهرها به‌عنوان یکی از مصرف‌کنندگان و انتشاردهندگان کلان گازهای گلخانه‌ای، در تغییرات اقلیمی و پیامدهای بلندمدت متعاقب آن نقش بسزایی دارند (Banister, 2011; Li et al, 2016). در میان گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای وابسته‌به فعالیت انسانی است که حدود ۶۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد (WMO, 2013). براساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۴، حدود ۲۳ درصد از انتشار جهانی گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از فعالیت‌های مربوط به بخش حمل‌ونقل می‌شود. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، این سهم به حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. در این میان، بنابر نتایج برخی از مطالعات، بخش حمل‌ونقل سریع‌ترین رشد را در بخش مصرف انرژی دارد (Alkhathlan & Javid, 2015; Walmsley et al, 2015)؛ ازاین‌رو، پیش‌بینی می‌شود که مهم‌ترین معیار برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در زمینهٔ توسعهٔ شهری، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از فعالیت‌های بخش حمل‌ونقل است (Gösslinga and Cohenc, 2014).

در طول زمان، هشدارهای جهانی و نتایج مطالعات علمی مختلف سبب شده‌است که کشورهای مختلف اقداماتی را برای مواجهه با مصرف انرژی فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای متعاقب آن با رهبری اتحادیه اروپا به عهده بگیرند (Lorenzoni and Pidgeon, 2006; Schreurs and Tiberghien, 2007; Biesbroek et al., 2010). در حالی که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت بخش‌های دیگر، به‌طور کلی در حال کاهش بوده است، بخش حمل‌ونقل تا سال ۲۰۰۸ همچنان به رشد خود ادامه داد و سپس رشد آن کاهش یافت. دلیل این کاهش اساساً به‌واسطهٔ افزایش کارایی خودروهای مسافربری و رشد کندتر در جابه‌جایی‌هاست. حمل‌ونقل همچنان با انتشار حدود یک‌چهارم از گازهای گلخانه‌ای اروپا، دومین بخش در صنایع انرژی است (EC, 2015). حمل‌ونقل شهری حدود یک‌چهارم از انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش حمل‌ونقل و حدود ۴۰ درصد از کل انتشار دی‌اکسیدکربن شهری را به خودش اختصاص داده است (Glaeser and Kahn, 2010).

سیاست‌هایی که هدفشان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از فعالیت‌های بخش حمل‌ونقل است، می‌توان به‌طور کلی در دو رویکرد مختلف درنظر گرفت (Albalate et al, 2015). رویکرد نخست بر عرضه تمرکز می‌کنند و تلاش دارند تا کارایی انرژی وسایل نقلیه را ارتقا دهند. هدف این رویکرد، کاهش محتوای کربن انرژی مصرفی و گسترش سیستم حمل‌ونقل هوشمند است (Bell, 2006; Demissie et al, 2013). رویکرد دوم، بر طرفِ تقاضا تأکید می‌کند و هدف آن جهت‌گیری دوبارهٔ تقاضا، الگوهای سفر و تغییر گرایش از وسایل نقلیهٔ خصوصی به‌سوی استفاده از حمل‌ونقل عمومی است. تاکنون، سیاست‌های حمل‌ونقل اغلب بر طرفِ عرضه به ضرر معیارهای طراحی‌شده برای تأثیر بر رفتارهای سفر تمرکز کرده‌اند (Anable and Bristow, 2007). بر این اساس، همچنان مطالعات اندکی هستند که بر رویکرد دوم تمرکز کنند (Libardo and Nocera, 2008).

همچنین، در حالی که مباحث امروزین بر روی تغییر سیستم‌های شهری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از سطح درون‌شهری به مقیاس‌های بین شهری انتقال یافته‌اند؛ به‌علت پیشرفت فناوری‌های ارتباطی و حمل‌ونقلی، اغلب پیوندهای عملکردی مهمی در سطوحی بالاتر از شهر «سنتی» شکل گرفته‌اند (Van Oort et al, 2010)؛

درنتیجه، پسکرانهٔ شهرهای مختلف شروع به همپوشانی می‌کنند. مناطق کلان‌شهری اهمیت خود را به‌عنوان یک «سیستم شهری روزانه» عملکردی مستقل از دست می‌دهند و می‌توانند در عوض، به‌عنوان بخشی از یک شبکهٔ شهری درک شوند (Burger et al, 2014). این تغییر مهم فضایی چالش‌های بسیار مبهمی را برای محققان و به همان اندازه تصمیم‌سازان به‌وجود می‌آورد (Scott, 2001: 813؛ اسدی و زبردست، ۱۳۸۹)؛ به‌طوری که می‌توان انتظار داشت بسیاری از مسائلی که در مقیاس شهر، خود را بروز می‌دادند، امروزه در سطح منطقه پدید آیند.

یکی از مرتبط‌ترین مسائل در این راستا، تغییر در سازمان فضایی منطقه‌ای و الگوهای جابه‌جایی و به‌تبع هزینه‌های اجتماعی سفر با خودروهای شخصی- شامل عنصر خصوصی (سوخت و زمان سفر) و عناصر بیرونی (مانند آلودگی هوا)- است. در حالی که عنصر اول بر وسیلهٔ نقلیه مسافر مستقیماً تأثیر می‌گذارد، عنصر دوم بر رفاه کل جامعه مؤثر واقع می‌شود و در تصمیمات شخصی در این باره لحاظ نمی‌شود (Cirilli & Veneri, 2014: 1998). در این راستا، اغلب مطالعاتی که در این زمینه در ایران (پژویان و مقیمی‌نیا، ۱۳۸۵؛ هادی زنوز و همکاران، ۱۳۹۰؛ کیانی و همکاران، ۱۳۹۳) یا در خارج از کشور (Bulkeley and Betsill, 2005; Jabareen, 2006) صورت گرفته، بر روی مقیاس شهر تمرکز کرده و کمتر در مقیاسی منطقه‌ای به بررسی آن پرداخته‌اند (Cirilli and Veneri, 2014). همچنین، در حالی که مطالعات پیشین در کشور (اصفهانیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱)، بر روی کلان‌شهرهایی تمرکز کردند که داده‌های شاخص‌های کیفیت هوا در دسترس است، این پژوهش با استفاده از داده‌های جریانی سازمان حمل‌ونقل و راهداری جاده‌های کشور و با اتکا به روش‌های شاخص ردپای کربن، به محاسبهٔ مستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از خودروهای شخصی و پیامدهای آن خواهد پرداخت. بر این اساس، مقالهٔ حاضر در پی آن است با محاسبهٔ ردپای کربن و هزینه‌های اجتماعی ناشی از کربن در سفرهای بین شهری منطقهٔ مازندران مرکزی در یک دورهٔ ده ساله، ضرورت نگرشی همکارانه و منطقه‌ای را در سیاستگذاری‌های حمل‌ونقل در درون این منطقهٔ خاص نشان دهد و تبعات اهمال و نادیده‌گرفتن این امر را در طول زمان روشن کند. حضور مستمر این منطقه، در طرح‌ها و اسناد برنامه‌ریزی در مقیاس ملی و منطقه‌ای، به‌عنوان یک منطقهٔ شهری یکپارچه و فرضیات مطرح‌شده برخی مطالعات در این زمینه (لطفی، ۱۳۸۷: ۶۳؛ زبردست و شهابی، ۱۳۹۲: ۵۳)، این منطقه را به‌عنوان مورد پژوهی این مطالعه توجیه می‌کند.

چارچوب نظری

الف- مروری بر مطالعات

در دههٔ قبل، بسیاری از محققان تخمین‌هایی را از انتشار گازهای گلخانه‌ای و معادل آن ناشی از مصرف انرژی حمل‌ونقل در سفرهای آونگی فراهم کردند (Wang et al, 2014). بخشی از این مطالعات سعی داشتند تا پیوند میان متغیرهای فرم شهری مانند اندازهٔ شهر، تراکم و مصرف انرژی حمل‌ونقل و انتشار گازهای گلخانه‌ای را بیابند (Riou et al, 2012)؛ به‌عنوان مثال کار نیومن و کنورثی (۱۹۸۹) بر روی کاربری زمین و سفرهای موتوری، پیوند معکوسی را میان تراکم جمعیت، مصرف انرژی حمل‌ونقل شهری در ۳۲ شهر اصلی جهان نشان داد. چندین سال، سیاست‌گذاران اروپایی و آمریکایی در انتخاب‌هایشان تحت‌تأثیر این یافته‌ها بودند (Van de Coevering and Schwanen, 2006). اخیراً این یافته‌ها بسیار مورد انتقاد قرار گرفته و بسیاری از مطالعات تأکید کردند که چطور افزایش در تراکم شهری عموماً به ذخیرهٔ انرژی

کمک نمی‌کند؛ زیرا پیوندی مستقیم با تراکم شهری و ازدحام دارد (Doi and Kii, 2012: 62-70).

شاخهٔ دوم، اثرات اشکال شهری مختلف را بر روی جابه‌جایی سفر به‌لحاظ مسافت، زمان و سهم وسایل نقلیه و انتشار مصرف سوخت و گازهای گلخانه‌ای تحلیل می‌کنند. این مطالعات بسیاری از نواحی شهری مختلف مانند: نیویورک (Transportation Alternatives, 2008)، مونترال (Zahabi et al, 2012: 967)، فلاندرز (Boussauw and Witlox, 2009: 581))، هنگ‌کنگ (Loo and Chow, 2011: 553)، وین (Hartl, 2013: 120)، بارسلونا (Garcia-Sierra and Van den Bergh, 2014: 114) و ۱۱۱ منطقهٔ شهری ایتالیا (Cirilli and Veneri, 2014: 1994)، ۱۰ شهر بزرگ ایتالیا (Caponio et al, 2015: 200) و شی آن و بنگلور (Wang et al, 2017: 940) مورد مطالعه قرار دادند.

پس از مطالعهٔ همیلتون (۱۹۸۲)، بسیاری از محققان به علت سفرهای آونگی اضافه، شروع به بحث دربارهٔ انتشار دی‌اکسیدکربن کردند (به‌نقل‌از: Murphy, 2009). سفرهای آونگی اضافه، مسافت بیشتری است که از تفاوت بین میانگین واقعی سفر و کمترین میانگین سفر حاصل از آرایش فضایی محل کار و سکونت به‌دست آید (Ma & Banister, 2006).

وجه مشترک میان اکثریت این مطالعات استفاده از داده‌های سرشماری برای تخمین سفرهای آونگی است. فواصل طی شده و عوامل انتشار اغلب تعمیم‌یافته‌اند؛ به‌عنوان مثال دوجاردین و همکارانش (۱۰۵۷ :۲۰۱۲) بیان کردند که ضعف اصلی دربارهٔ استفاده از داده‌های سرشماری در مورد سفرهای آونگی کار این است که سفرهای دیگر با اهداف دیگر را نادیده می‌گیرد. با این وجود، سفرهای آونگی کاری و تحصیلی به‌علت ماهیت تکراری و سیستماتیک‌شان سازمان‌یافته‌ترین سفرهای آونگی هستند. علاوه‌بر این، این اهداف سفر بالاترین میانگین زمانی را در بین سفرهای دیگر نشان می‌دهند (Loo, and Chow, 2008) که منجر به مصرف انرژیِ بیشتر از میانگین مسافت سفر با اهداف دیگر می‌شود.

همچنین، دانشگاه‌ها و نهادها، از طریق بررسی‌های جزئی‌تر، سعی دارند تا انتشار مرتبط با سفرهای آونگی را تخمین بزنند؛ با این وجود، از داده‌های میانگین عوامل انتشار حمل‌ونقل با سطح بالایی از تجمع استفاده می‌کنند (Mathez et al, 2013).

کربن فوت پرینت، از مفهوم ردپای اکولوژیک که معیاری برای تقاضای انسان در اکوسیستم‌های مختلف است، ریشه می‌گیرد. ردپای کربن، به‌طور گسترده‌ای برای سنجش پیامدهای فعالیت‌های انسانی بر پدیده گرم‌شدن کره زمین استفاده شده‌است (Stiglitz et al, 2010). با این وجود، تعاریف مختلف و بسیار گسترده‌ای از ردپای کرین وجود دارد که بیشتر این مفاهیم، آن را انتشار مستقیم یا غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسان تعریف کرده‌اند که همهٔ منابع مرتبط شامل مصرف و تولید را دربرمی‌گیرد (Wiedmann & Minx, 2008; Ozawa-Meida, 2013; Abdul Sukor et al, 2017: 1).

برای محاسبهٔ هزینه‌های جانبی اثرات گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل در بزرگراه‌ها، به دو نوع اطلاعات نیاز است؛ نخست، داده‌هایی که به مصرف انرژی حمل‌ونقل در بزرگراه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای متناظر آن مربوط می‌شود و دوم، اطلاعاتی که برای محاسبهٔ میزان هزینه‌های اجتماعی و اقتصادی ناشی از هر واحد انتشار گازهای گلخانه‌ای لازم است که اصطلاحاً آن را تبدیل پولی خسارات اکولوژیکی، سلامت انسانی، کشاورزی، مواد خام و اکوسیستم می‌نامند (Chu & Pan, 2017: 2).

در ادبیات موضوع، معمولاً برای محاسبهٔ انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل جاده‌ای از دو رویکرد استفاده می‌شود؛ رویکرد نخست، مبتنی‌بر نظارت و کنترل جریان‌های ترافیکی است. کشورهای

توسعه‌یافته از روش‌های نوین و فناوری‌های شناسایی مختلفی برای نظارت بر جریان‌های ترافیکی استفاده می‌کنند. برنامه‌های اطلاعاتی پیوسته با تجهیزات خودکار برای ثبت پیوستهٔ توزیع و تغییر جریان‌های ترافیک طراحی شده‌اند که از طریق آن داده‌های موثق دوره‌ای کوتاه‌مدت -هفته، روز، ساعت- گردآوری می‌شوند. رویکرد دوم، از ثبت وسایل نقلیه موتوری برای محاسبهٔ انتشار گازهای گلخانه‌ای حمل‌ونقل جاده‌ای استفاده می‌کند. مزیت این رویکرد، سادگی آن است. نوع وسیله نقلیه، استانداردهای انتشار و مسافت سالانه‌ای که طی می‌شود، نقش مهمی در تعیین دقت محاسبات انتشار بازی می‌کنند. این رویکرد، به اطلاعات دقیق و به‌روز و مفروضات دقیق دربارهٔ مسافت سالانه نیاز دارد. اکثر کشورهای اروپایی و برخی از کشورهای آسیایی و آفریقایی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل جاده‌ای، از برنامهٔ کامپیوتر مانند مدل کوپرت (COPERT) استفاده می‌کنند. کوپرت مدلی است که توسط آژانس محیط زیست اروپا توسعه یافته است. بیست‌ودو کشور اتحادیه اروپا از این مدل برای محاسبهٔ انتشار حمل‌ونقل جاده‌ای استفاده می‌کنند (Ntziachristos et al, 2009). مدل کوپرت به داده‌های تعداد وسایل نقلیه براساس نوع، سوخت و استانداردهای انتشار نیاز دارد. اگرچه مطالعات مختلفی از این مدل در مقیاس‌های شهری، منطقه‌ای و ملی استفاده کردند (Borge et al, 2012; Lang et al, 2012)، با این وجود، ارزیابی مسافت طی‌شده سالانه بدون بررسی‌های گسترده می‌تواند دشوار باشد و آن را به رویکرد پیچیده‌تری بدل کند (Kholod et al., 2016: 306).

بحث‌های عمومی و دانشگاهی زیادی در ارتباط با هزینهٔ اجتماعی کربن وجود دارد (Havranek et al, 2015, Guivarch et al, 2016; Tol, 2017). اثر جانبی یا عوارض جانبی زمانی به‌وجود می‌آید که فعالیت یک شخص بر رفاه شخص بی‌طرف یا شخص سوم اثر بگذارد، بدون آنکه هیچ دریافت یا پرداختی برای جبران آن انجام شود. اگر فعالیت فرد نخست برای شخص سوم زیان‌بار باشد، آن را اثر جانبی منفی گویند (Mankiw, 2014: 239).

مهم‌ترین مفهوم اقتصادی منحصربه‌فرد در اقتصاد تغییرات اقلیمی، هزینهٔ اجتماعی کربن است. این اصطلاح هزینه‌های اقتصادی ناشی از انتشار دی‌اکسیدکربن یا معادلش را در نظر می‌گیرد. به بیانی دقیق‌تر، این مفهوم تغییر در ارزش محاسبه‌نشدهٔ رفاه اقتصادی از واحد اضافی انتشار دی‌اکسیدکربن یا معادل آن است (Tol, 2011). هزینهٔ اجتماعی کربن به ابزاری محوری در سیاست‌های تغییرات اقلیمی به‌خصوص تعیین سیاست‌های تنظیمی که به انتشار گاز گلخانه‌ای مربوط می‌شود، بدل شده‌است (Nordhaus, 2017: 229-239). محاسبهٔ هزینه‌های اجتماعی کربن، مشوق‌های مناسبی را در اختیار کاربران و مسافران حمل‌ونقل قرار می‌دهد. زمانی که مالیات‌ها و هزینهٔ سرانهٔ خدمات با هزینه‌ها برابر باشد، به جامعه فشار می‌آورد و کاربران حمل‌ونقل ناچار خواهند بود تا این هزینه‌ها را در تصمیمات خود لحاظ کنند. این امر زمانی برای آن‌ها سودمند خواهد بود که کاربران حمل‌ونقل رفتارهای خود را اعم از نوع وسیله نقلیه، بهره‌برداری از وسایل نقلیه، مد حمل‌ونقل یا حتی میزان کلی وسیله نقلیه را تغییر دهند (CE Delf, 2011: 15).

به طور کلی، دو رویکرد مختلف در ارتباط با محاسبهٔ هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌های ناشی از حمل‌ونقل وجود دارد؛ رویکرد نخست، از پایین به بالاست. در این فرایند ابتدا میزان انتشار، گسترش، غلظت، پیامدهای منفی آن محاسبه شده و سپس هزینه‌های آن به صورت مالی و پولی تبدیل می‌شود (Bickel, 2006). رویکرد دوم، با فرایند از بالا به پایین، هزینه‌های

مستقیم درمان و سلامت را که منجر به مرگ و میر یا گسترش آن می‌شود، در نظر می‌گیرد و سپس سهم هریک از مدهای حمل‌ونقل را در این هزینه‌ها مشخص می‌کند. نمونهٔ این مطالعات در کشورهای اتریش، سوئیس و فرانسه صورت گرفته است (WHO 1999a-d به نقل از CE Delf, 2011: 34). این مطالعه، به‌دلیل دشواری در دسترسی به اطلاعات و تکیه بر یکی از هزینه‌های اجتماعی در رویکرد دوم، از رویکرد پایین به بالا استفاده کرده است.

ب- نظریهٔ پشتیبان برنامه‌ریزی

با توجه به ارتباط بین چندمرکزیتی و پایداری محیطی، برخی از نویسندگان توسعهٔ چندمرکزی را به‌عنوان میانه‌ای برای سازمان فضایی نواحی تک‌مرکزی/فشرده و نواحی پراکنده عنوان می‌کنند (Camagni et al, 2002: 52؛ به‌نقل‌از: Veneri, 2010: 411). از نظر آن‌ها، این مدل می‌تواند به مناطق این اجازه را بدهد که از مزایای گسترش فضایی بهره‌مند شوند، بدون اینکه هزینه‌ای را برای توسعهٔ پراکنده که در ادبیات به آن اشاره شده، بپردازند. حتی به‌لحاظ ترافیک، توسعهٔ چندمرکزی می‌تواند فواصل کوتاه‌تر، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و به‌دنبال آن الگوی جابه‌جایی پایدارتری را به‌لحاظ زمان و انتشار آلودگی تسهیل کند (Veneri, 2010).

هنوز در ادبیات نظری، پایه محکمی در ارتباط با نقش و اثرات ساختار فضایی چندمرکزی بر روی الگوهای سفر در سطح منطقه، بنا نشده‌است (Aguilera, 2005; Schwanen et al, 2002). برخی از صاحب‌نظران (Gordon and Wong, 1985; Tsai, 2001) عنوان می‌کنند که چندمرکزیتی اثرات قابل‌ملاحظه‌ای بر روی الگوهای جابه‌جایی ایجاد می‌کند.

نواحی چندمرکزی می‌توانند به رقابت‌پذیری ناشی از حمل‌ونقل انبوه کمک کنند (Susilo and Maat, 2007) و منجر به کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی و ناپایدارتر (اتومبیل، موتورسیکلت و غیره) شود. مراکز فرعی، در واقع سطح حداقل را برای تأمین یک سیستم حمل‌ونقل عمومی رقابتی ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، استفاده از حمل‌ونقل انبوه، به تبعیت از الگوهای جابه‌جایی آونگی افزایش می‌یابد که یکی از ویژگی‌های مناطق کلان‌شهری چندمرکزی است (Susilo and Maat, 2007: 606).

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر هدف، پژوهشی کاربردی و از نظر ماهیت و روش کار، پژوهشی توصیفی-تحلیلی خواهد بود. با توجه به گستردگی موضوع و کمبود داده‌های لازم در این زمینه، قلمرو پژوهش به منطقهٔ کلان‌شهری چندمرکزی مازندران و بر روی هزینه‌های انتشار کربن ناشی از تردد خودروها اکتفا کرده است. محاسبهٔ هزینه‌های بیرونی معمولاً براساس رویکردهای پایین به بالاست که شرایط ترافیکی خاص را در منطقهٔ مطالعه، موردنظر قرار می‌دهد؛ در حالی که رویکردهای بالا به پایین داده‌های ملی را در نظر می‌گیرند (Maibach et al, 2008). در رویکردهای پایین به بالا، ابتدا میزان انتشار و خسارت‌ها (در اینجا همان میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و اثرات آن بر سلامت، اکوسیستم و پیامدهای کالبدی و غیره) روشن می‌شود، سپس براساس فرضیات، هزینه‌ها به‌صورت مالی بیان می‌شوند؛ بنابراین، نتایج رویکرد پایین به بالا، می‌تواند امکان ارزیابی تأثیر ابزارهای اقتصادی مانند مالیات محیطی یا عوارض ازدحام را برای کاهش اثرات بیرونی میان گروه‌های مختلف مردم و استفاده‌کننده از وسایل نقلیه را فراهم کند (Miyoshi & Mason, 2013: 138). در این راستا، پژوهش حاضر از رویکرد پایین به بالا استفاده کرده است. شرایط ترافیکی نیز می‌تواند بسته به داده‌های مطالعه و در دسترس، میزان تردد هریک از خودروها و میزان مصرف سوخت هریک از آن‌ها، ویژگی‌های مسیر، تأخیرهای ترافیکی، سرعت خودروها

و غیره درنظر گرفته شود. منظور از شرایط ترافیکی خاص در این مطالعه، محورهای مورد پژوهی، طول مسیرها و تعداد ترددات ترافیکی برحسب سواری و وانت است.

الف- روش‌شناسی

روش‌شناسی پژوهش براساس روش پیشنهادی IPCC و بهره‌گیری از فاکتورهای انتشار دپارتمان محیط زیست، تغذیه و امور روستایی کشور انگلستان است. برای محاسبهٔ هزینه‌های انتشار کربن در منطقه ناشی از ترددات جاده‌ای، در گام نخست اطلاعاتی در خصوص منبع انتشاردهنده ارائه می‌شود. داده‌های جریانی از آمارهای ترددشماری مکانیزه بین شهرهای اصلی محدودهٔ مورد نظر- آمل، بابل، قائمشهر و ساری- مربوط به سازمان حمل‌ونقل و راهداری جاده‌های کشور در سال ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ استخراج شده ست. از آنجا که هدف پژوهش بر روی سفرهای بین شهری در خود منطقه تمرکز دارد، میزان ترددات خودروهای سواری و وانت را برای جابه‌جایی مسافر و کالا در نظر گرفته است.

در مرحلهٔ بعدی، متوسط انتشار دی‌اکسیدکربن با توجه به مصرف سوخت به ازای هر واحد سوخت خودروهای مختلف (به‌طور متوسط)، مشخص محاسبه می‌شود (جداول ۱ و ۲) و در مرحلهٔ سوم، با استفاده از جدول ارزش‌گذاری مالی، خسارات زیست‌محیطی ناشی از دی‌اکسیدکربن ایجادشده، هزینهٔ نهایی انتشار دی‌اکسیدکربن کل ترددات به‌طور میانگین براساس سال ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ به‌صورت پولی تبدیل می‌شود. برای محاسبهٔ هزینه‌های اجتماعی کربن و پیش‌بینی آن در آینده، از برآوردهای مالی بانک‌های مختلف توسعه در دنیا بهره گرفته شده‌است (جدول ۳). در نهایت گزینه‌های مختلف براساس اثرگذاری آن‌ها به‌لحاظ میزان انتشار و هزینه‌های اجتماعی محاسبه می‌شود. محورهای مورد بررسی و طول محورها در شکل شمارهٔ ۱ نشان داده شدند. فرمول‌های به‌کار رفته در این تحقیق عبارت‌اند از: (Defra, 2016):

۱) میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از ترددات جاده‌ای:

CE_y: میزان انتشار دی‌اکسیدکربن؛

$$CE_y = \sum_{ij} (TF_{yij} \times EF_{CO2e} \times d_{ij})$$

TF_{yij}:تعداد سفرهای سواری و وانت از مبدأ i به مقصد j؛

EF_{CO2e}: عامل انتشار میزان دی‌اکسیدکربن معادل برای خودروهای سواری، وانت و تاکسی برحسب کیلومتر طی‌شده برای انواع سوخت؛

d_{ij}: فاصلهٔ میان i و j.

۲) میزان انتشار برای انواع BRT و LRT:

$$BE_y = \sum_{ij} (P_{yij} \times EF_{CO2e} \times d_{ij})$$

BE_y: میزان انتشار دی‌اکسیدکربن؛

P_{yij}: تعداد مسافران حمل‌شده از مبدأ i به مقصد j؛

EF_{CO2e}: میانگین عامل انتشار میزان دی‌اکسیدکربن معادل برای انواع اتوبوس BRT با سوخت‌های متفاوت و LRT برحسب کیلومتر طی‌شده؛

d_{ij}: فاصلهٔ میان i و j.

۳) میزان اثرگذاری و کاهش انتشار برای سناریوهای مختلف LRT و BRT:

$$ER_y = CE_y - BE_y$$

ER_y: کاهش انتشار در سال y برحسب CO_2e؛

CE_y: میزان انتشار تاکسی یا سواری؛

BE_y: میزان انتشار BRTیا LRT.

جدول ۱. عامل انتشار انواع خودروهای سواری و وانت بر حسب واحد(کیلوگرم به ازای هر کیلومتر)

خودروها	بنزین	هیبریدی	CNG
کوچک	۰/۱۶۰	۰/۱۱۰	–
متوسط	۰/۲۰۰	۰/۱۲۰	۰/۱۶۳
بزرگ	۰/۲۹۴	۰/۱۷۸	۰/۲۴۰
میانگین	۰/۱۹۱	۰/۱۳۲	۰/۱۷۹

(منبع:Defra, 2016)

جدول ۲. عامل انتشار انواع وسایل حمل‌ونقل عمومی بر حسب واحد

خودروها	مسافر به ازای هر کیلومتر	به ازای هر کیلومتر
تاکسی	۰/۱۶۲	۰/۲۲۸
LRT	۰/۰۵۳۶	–
اتوبوس محلی	۰/۰۱۱۹	–
برقی		۰/۰۶۱
هیبریدی		۰/۱۰۱
هیبریدی شارژی		۰/۱۰۲
بیومتان		۰/۰۳
بنزینی- برقی		۰/۱۱۶

(منبع: Defra, 2016; LowCVP, 2016)

جدول ۳. قیمت کربن و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۳۹ براساس قیمت‌گذاری بانک‌های مختلف توسعه

منابع	دلار به‌ازای هر تن CO_2e		رشد سالانه (٪)
ADB[1]	سال ۲۰۱۹	سال ۲۰۳۹	۲
EBRD	۳۸/۵	۵۷/۲	۲
EIB[2]	۴۷/۴	۷۰/۵	–
WB[3]	۴۸/۶	۹۸/۷	۲/۲۵
IFC[4]	۸۳/۶-۴۱/۸	۱۳۰/۴-۶۵/۲	–
ADB[5]	۳۲/۶	۵۷/۹	۲

(منبع: نگارندگان با اقتباس از Vivid Economics, 2018)

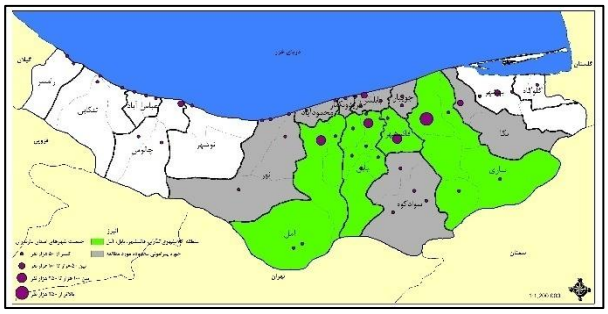
۱- بانک توسعهٔ آسیایی
۲- بانک سرمایه‌گذاری اروپایی
۳- بانک جهانی
۴- مؤسسهٔ مالی بین‌المللی
۵- بانک توسعهٔ آسیایی

ب- معرفی محدودهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ موردنظر در این مطالعه، مجموعه‌ای متشکل از چهار شهرستان، در بخش جلگه‌ای و مرکزی استان مازندران است که به طور کریدوری از شرق به غرب، از شهرهای ساری، قائمشهر، بابل و آمل عبور می‌کند. در طول چهار دههٔ اخیر، این منطقه در اکثر اسناد سیاسی و برنامه‌ریزی فرادست، از طرح بهره‌وری سرزمین توسط مشاوران ستیران، طرح کالبدی ملی، طرح منطقه‌ای گیلان-مازندران تا طرح پایه مقدماتی آمایش سرزمین همواره به‌عنوان یک منطقهٔ شهری و سیستمی نسبتاً یکپارچه تعریف شده است.

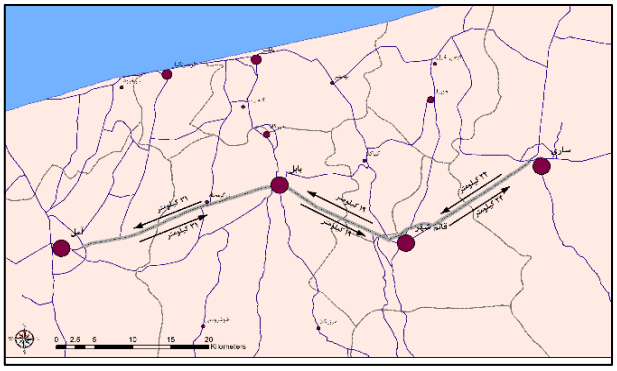
به‌علاوه، بررسی ویژگی‌های جغرافیای فیزیکی منطقه، حاکی از وجود پیش‌شرط‌های لازم در یک منطقهٔ شهری چندمرکزی است؛ به‌طوری که بخش‌های مرکزی استان با خلق زمینه‌های ارتباطی در پیرامون هسته‌های اصلی چهارگانه، فواصل زمانی و فیزیکی مناسبی را برای شکل‌گیری یک خوشهٔ منطقه‌ای به وجود می‌آورند. به‌همین ترتیب، مجاورت فضایی، به‌عنوان عاملی که شبکهٔ روابط محلی شکل گرفته را بین بازیگران اقتصادی و سیاسی منطقه پیچیده‌تر می‌کند، قدرت پیوند و تعاملات فضایی بین شهری را در طول زمان بین مراکز شهری قوّت بخشیده است. تا آنجا که آستانهٔ تقاضای مراکز شهری مهم استان به یکدیگر پیوند خورده و همبستگی عملکردی فعالیت و سکونت را در این منطقه موجب شد. پیامد این امر شکل‌گیری یک نظام یکپارچهٔ فضایی- عملکردی ارگانیک است (زبردست و شهابی، ۱۳۹۲).

نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهد، شدت پیوند چهار شهر اصلی منطقهٔ شهری مازندران مرکزی در طول سه دههٔ اخیر افزایش یافته است. فواصل اندک میان مراکز زیستی، در روند توسعه، موجب همبستگی فضایی-عملکردی منطقه شده و رفته‌رفته تمایل به ساختاری با آرایش شهری چندمرکزی در مقیاس‌های بالاتر را به‌وجود آورده است (داداش‌پور و دیگران، ۱۳۹۴).



شکل ۱. محدودهٔ مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)



شکل ۲. محورهای مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

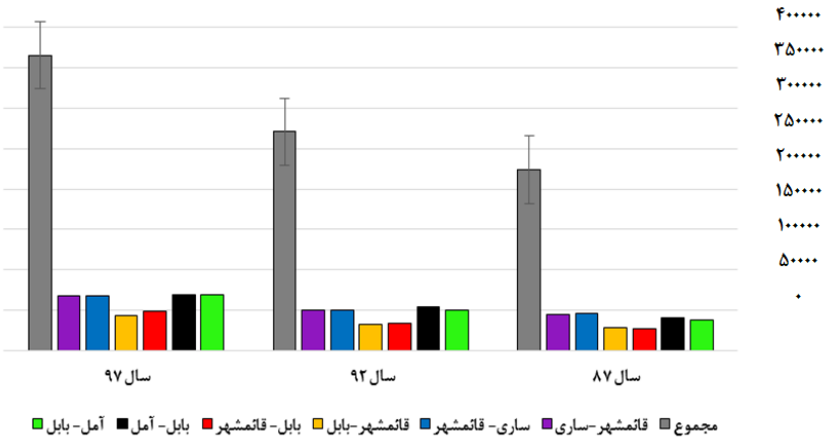
تحلیل یافته‌ها

- سنجش کربن و هزینهٔ اجتماعی آن

یکی از اهداف اصلی پژوهش حاضر بررسی هزینه‌های اجتماعی آلودگی هوا ناشی از جابه‌جایی مسافر و کالا در فواصل میان چهار شهر اصلی منطقهٔ کلان‌شهری مازندران مرکزی است. دلیل اصلی انتخاب جاده‌های بین شهری، ضرورت نگرشی منطقه‌ای برای پاسخ به مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. هزینهٔ اجتماعی، هزینه‌ای است که اثرات مخرب یا سوء یک آلاینده یا فعالیت را بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان برآورد می‌کند. به بیان دیگر، به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از

انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران کند، هزینهٔ تخریب یا هزینهٔ اجتماعی گفته می‌شود. برای محاسبهٔ هزینه‌های تخریب نیاز به کمّی‌کردن اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثرپذیر (انسانی و طبیعی) است (ترازنامهٔ انرژی سال ۱۳۹۱، ۱۳۹۲: ۵۷).

محاسبات این بخش براساس داده‌های سازمان حمل‌ونقل و راهداری جاده‌های کشور در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ و آمار منتشره از سوی دپارتمان محیط زیست، تغذیه و امور روستایی کشور انگلستان صورت گرفته‌است. نتایج این بخش نشان می‌دهند، در سال ۱۳۸۷، تنها از تردد سواری و وانت در محورهای اصلی بین چهار شهر بزرگ استان مازندران، حدود ۲۲۳,۹۴۰ تُن دی‌اکسیدکربن منتشر شده است. این میزان به‌ترتیب در دوره‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۳۹۷، با افزایش حجم ترافیک حدود ۲۱ و ۳۵ درصد رشد کرده‌است. در صورت ادامهٔ این روند و عدم‌پاسخگویی مناسب به آن، تا سال ۱۴۱۰ این رقم می‌تواند به دوبرابر خود در سال افزایش یابد. علاوه‌بر این، بیشترین حجم آلایندگی در بین محورها با توجه به مسافت و حجم ترددات به محورهای ساری- قائمشهر و بالعکس بازمی‌گردد؛ ازاین‌رو می‌توانند در اولویت سیاست‌ها قرار گیرند.

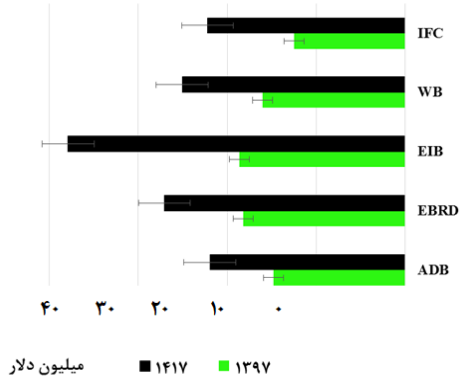


شکل ۳. حجم کربن ناشی از وسایل نقلیه در محورهای اصلی بین شهری مجموعه شهری آمل- بابل- قائمشهر- ساری (برحسب تُن)

ارائهٔ پیامدهای منفی انتشار دی‌اکسیدکربن و تغییرات اقلیمی به‌صورت مالی، امکان مقایسهٔ هزینه سیاست‌های مختلف اقلیمی را نسبت‌به سیاست‌های دیگر مانند آموزش، سلامت عمومی یا کیفیت هوای شهری فراهم می‌کند. به‌علاوه باید هزینه‌های اجتماعی انتشار دی‌اکسیدکربن را در محاسبهٔ هزینهٔ فرصت احداث یا عدم‌احداث آزادراه‌ها و وسایل حمل‌ونقل عمومی بین شهری درنظر گرفت.

در سال‌های اخیر، سازمان‌های زیادی از قیمت‌گذاری کربن به‌عنوان ابزاری برای کاهش خطرات مالی ناشی از تغییرات اقلیمی، کشف فرصت‌های شغلی جدید و آمادگی برای گذار به سوی اقتصاد کم کربن استفاده می‌کنند. در این میان بانک‌های توسعه ازجمله سازمان‌هایی هستند که هزینهٔ اجتماعی کربن را به‌عنوان بخشی از تحلیل‌های اقتصادی پروژه‌ها در بخش‌های انرژی و حمل‌ونقل با تمرکز بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام می‌دهند (جدول ۳).

براساس گزارش‌های تدوین‌شده توسط این بانک‌ها، هزینه‌های اجتماعی دی‌اکسیدکربن ناشی از جابه‌جایی مسافر و کالا در سال ۱۳۹۷ بین ۱۲,۵ تا ۱۸,۶ میلیون دلار پیش‌بینی شده‌است که این میزان تا بیست سال آینده با فرض ثابت‌ماندن همین مقدار دی‌اکسیدکربن می‌تواند از ۲۱,۹ تا ۳۷ میلیون دلار افزایش یابد (شکل ۴).



شکل ۴- نموداربرآورد و پیش‌بینی هزینه‌های کربن ناشی از وسایل نقلیه در سال ۱۳۹۷ و ۱۴۱۷
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

- کاهش کربن از طریق سناریوهای مختلف

الف- راه‌اندازی سامانهٔ اتوبوس تندرو (BRT)

بی.آر.تی یک مد حمل و نقلی نسبتاً جدید محسوب می‌شود که از اوایل دههٔ ۱۹۹۰ مقبولیت گسترده‌ای میان کشورهای درحال‌توسعه یافته است. تا پایان سال ۲۰۱۶، حدود ۲۰۷ شهر در سرتاسر جهان اشکال مختلف BRT را به‌کار گرفتند. کوریتیبا، بوگاتا، گوانژو، جاکارتا، استانبول و تهران به‌عنوان نمونه‌های برجستهٔ این سیاست به شمار می‌آیند. آمریکای لاتین به‌عنوان مرکز اصلی جنبش جهانی BRT شناخته می‌شود (Cervero, 2013)؛ به‌طوری که بیش از ۶۰ شهر، با استفاده از این سامانه حدود ۲۰ میلیون نفر را در روز جابه‌جا می‌کنند؛ این در حالی است که ۳۴ شهر در برزیل، ۱۲ شهر در مکزیک، ۷ شهر در کلمبیا شبکه‌های BRT را در سطح منطقه گسترش داده‌اند.

هم‌اکنون بیش از ۵۰ شهر در اروپا به‌طور متوسط در روز به ۲ میلیون نفر خدمات ارائه می‌دهند. در آمریکا این عدد به ۱۸ شهر و حدود نیم میلیون نفر در روز می‌رسد. به عقیدهٔ سرورو (۲۰۱۳: ۱۹)، BRT به‌دلیل استفاده از سوخت‌های پاک‌تر دی‌اکسیدکربن کمتری نسبت‌به قطارهای سبک شهری انتشار می‌دهد. سرورو و موراکامی (۲۰۱۰) نیز معتقدند، BRT می‌تواند با جذب خودروهای شخصی پیشین، طول جابه‌جایی و سطح انتشار را کاهش می‌دهند. به‌علاوه بوبک و همکارانش (۲۰۱۴) عنوان می‌کنند یک سامانهٔ حمل‌ونقل عمومی یکپارچه می‌تواند با جذب حجم مسافران بیشتر به انتشار کمتر کمک کنند. حال سؤال اینجاست، اگر BRT در منطقه راه‌اندازی و اجرا شود، احتمالاً چه تأثیری بر کاهش انتشار کربن خواهد گذاشت؟ برای پاسخ به این سؤال ابتدا باید میزان جابه‌جایی مسافر توسط وسایل حمل‌ونقل عمومی را تخمین زد. مهم‌ترین وسیلهٔ حمل‌ونقل عمومی در بین چهار شهر آمل، بابل، قائمشهر و ساری سواری‌های کرایه‌ای هستند که روزانه حدود ۳۷۲۷۵ نفر را به‌طور متوسط جابه‌جا می‌کنند (جدول ۵). بدین ترتیب با توجه به آمارهای سازمان حمل‌ونقل و راهداری جاده‌های مازندران (جدول ۴) دربارهٔ متوسط سرنشینان سواری کرایه در مازندران (۳/۴ نفر)، حدود ۱۰۰۵۱ سفر در مورد پژوهی متعلق‌به این سواری‌هاست. بر این اساس، فرض می‌شود که در بهترین صورت سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو بتواند همهٔ این مسافران را با توجه به قیمت ارزان‌تر، ترافیک کمتر و زمان نسبتاً برابر به‌سوی خود جذب کند. بر پایهٔ فاکتور عامل انتشار دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر مسافر، سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو می‌تواند در سال، حدود ۲۸۳۴۸ تُن یا ۲۶/۴٪ از حجم دی‌اکسیدکربن منتشره از جابه‌جایی مسافر در منطقهٔ شهری مازندران مرکزی بکاهد (شکل ۵).

جدول ۴. متوسط سرنشینان انواع وسایل نقلیه

وسیله نقلیه	مینی‌بوس	سواری کرایه	سواری شخصی مسافربر	سواری شخصی
متوسط سرنشین	۱۲	۳,۴	۲,۹	۲,۲

(منبع: سازمان حمل‌ونقل و راهداری جاده‌های کشور، ۱۳۹۶)

جدول ۵. میانگین جریان‌های روزانه مسافر بین مراکز اصلی با استفاده از حمل‌ونقل عمومی در مجموعه شهری آمل-بابل-قائمشهر-ساری

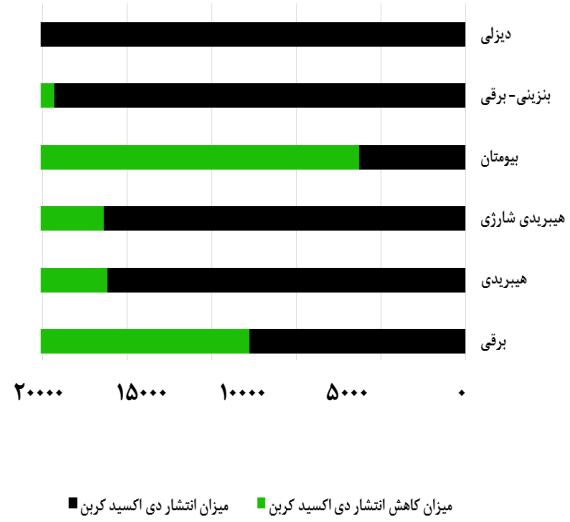
	آمل		بابل		قائمشهر		ساری	
	سفر	مسافر	سفر	مسافر	سفر	مسافر	سفر	مسافر
آمل	۰	۰	۱۲۰۸	۴۱۰۹	۴۵۳	۱۵۴۰	۴۶۵	۱۵۸۴
بابل	۱۲۶۳	۴۲۶۹	۰	۰	۱۲۴۵	۳۹۳۸	۱۲۰۶	۴۱۰۳
قائمشهر	۵۱۱	۱۷۳۸	۱۳۰۷	۴۴۴۴	۰	۰	۱۰۸۶	۳۶۹۶
ساری	۴۲۶	۱۴۵۲	۹۵۰	۳۲۳۴	۹۳۱	۳۱۶۸	۰	۰

(منبع: نتایج نظرسنجی از پایانه‌های مسافربری توسط نگارندگان- تابستان ۱۳۹۷)

استفاده از اتوبوس‌های مختلف در راه‌اندازی سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو، تأثیر بسزایی در میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌کند. بیشترین میزان کاهش در بین انواع اتوبوس‌ها، استفاده از سوخت بیومتان خواهد بود که می‌تواند تا ۸۱ درصد باعث کاهش انتشار نسبت‌به تاکسی‌های کنونی باشد. پس از آن به‌ترتیب اتوبوس‌های برقی (۶۲/۵٪)، هیبریدی (۳۸٪)، هیبریدی شارژی (۳۷/۴٪) و بنزینی- برقی (۲۸/۸٪) بهترین عملکرد را از نظر انتشار خواهند داشت. حال اگر راه‌اندازی سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو بتواند علاوه‌بر جایگزین‌شدن با تاکسی‌ها، ۵ درصد از خودروهای شخصی نیز در هر محور بکاهد، با توجه به ۲,۲ متوسط سرنشینان سواری شخصی، می‌تواند در سال تنها با به‌کارگیری اتبوس‌های دیزلی حدود ۹۰۱۰ تُن دیگر از حجم انتشار کم کند. برگردان این عدد به‌صورت مالی، رقمی بالغبر یک میلیون و ۲۱۷ هزار دلار در سال است. این میزان کاهش به‌ترتیب برای اتوبوس‌های بیومتان، برقی و هیبریدی نسبت‌به اتوبوس‌های دیزلی حدود ٪۷۵، ۴۹٪ و ۱۶٪ بیشتر خواهد بود. با این وجود، استفاده از هریک از این اتوبوس‌ها نیاز به زیرساخت‌های ویژه‌ای دارد که در توجیه فنی و اقتصادی گزینه‌های مختلف تأثیر خواهد گذاشت که نیازمند پژوهش‌های دقیق‌تری است.



شکل ۵. مقایسهٔ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن انواع اتوبوس‌های مختلف و تاکسی بر مبنای مسافران روزانه در مورد پژوهی



شکل ۶. مقایسهٔ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن انواع اتوبوس‌های مختلف در صورت جذب ۵ درصد از سفرهای روزانهٔ سواری‌های شخصی

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

ب- راه‌اندازه سامانهٔ ریل سبک شهری (LRT)

محققان زیادی در حال حاضر اعتقاد دارند، اجرا و راه‌اندازی حمل‌ونقل ریلی سبک می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی (Lin and Du, 2017: 121)،کاهش آلاینده‌های شهری (Guo & Chen, 2018: 13) و بهبود محیط‌جوّی‌شهر شود (Andrade & D'Agosto, 2016: 1). با فرض جذب ۳۷۳۰۳ نفر مسافر روزانه از سواری‌های کرایه و بر پایهٔ فاکتور عامل انتشار کربن به‌ازای هر مسافر توسط LRT، میزان انتشار روزانهٔ کربن برای هریک از محورها محاسبه شد. همان‌طور که از جدول ۶ پیداست، در محورهایی که از تردد بیشتری برخوردارند، میزان تأثیرگذاری LRT بر کاهش انتشار کربن نیز بیشتر است. درمجموع حمل‌ونقل ریلی سبک می‌تواند در سال حدود ۵۰ هزار تُن از انتشار کربن بکاهد یا آن را حداقل با داده‌های سال ۱۳۹۷ به یک‌سوم تقلیل دهد. اگر به‌صورت مشابه با BRT، این سامانه نیز بتواند تنها ۵ درصد از سفرها با خودروی شخصی را جذب کند، ۲۲۸۸۷ تُن دیگر از میزان انتشار می‌کاهد. این امر می‌تواند در سال بیش از ۲ میلیون و ۳۷۶ هزار دلار از هزینه‌های اجتماعی حمل‌ونقل کم کند. بر این اساس، نتایج این بخش، یافته‌های مطالعات انجام‌شده را تأیید می‌کند.

اگرچه بسیاری از صاحب‌نظران از توسعهٔ LRT در شهرهای متوسط به دلایل فنی و اقتصادی مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری و حفاظت بالا، نبود بودجه کافی و فضای عمومی شهری محدود اجتناب می‌شود (Henry, 2004; Karttunen et al, 2010)، اما نتایج این بخش نشان می‌دهد فارغ از فرصت‌های اقتصادی، اجرای آن به‌مراتب می‌تواند از بسیاری از هزینه‌های اجتماعی محیطی در سال‌های آتی جلوگیری کند.

جدول ۶. مقایسهٔ انتشار کربن گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل عمومی در مورد پژوهی

	آمل			بابل			قائمشهر			ساری		
	تاکسی	BRT	LRT	تاکسی	BRT	LRT	تاکسی	BRT	LRT	تاکسی	BRT	LRT
آمل	–	–	–	۲۰۷۴۵	۱۵۲۶۸	۶۸۳۱	۱۲۵۴۰	۹۲۲۹	۴۱۳۰	۱۸۸۳۲	۱۳۸۶۰	۶۲۰۱
بابل	۲۲۲۴۸	۱۶۳۷۴	۷۳۲۶	–	–	–	۱۲۱۸۶	۸۹۶۸	۴۰۱۳	۲۸۰۶۵	۲۰۶۵۵	۹۲۴۲
قائمشهر	۱۴۴۳۶	۱۰۶۲۴	۴۷۵۴	۱۳۷۵۱	۱۰۱۲۰	۴۵۲۸	–	–	–	۱۳۸۴۴	۱۰۱۸۹	۴۵۵۹
ساری	۱۷۲۶۳	۱۲۷۰۵	۵۶۸۵	۲۱۵۹۴	۱۵۸۹۳	۷۱۱۱	۱۱۳۵۱	۸۳۵۴	۳۷۳۸	–	–	–

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

جدول ۷. مقایسهٔ کاهش انتشار کربن گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل عمومی در مورد پژوهی با جذب ۵ درصد سفرهای شخصی

	آمل			بابل			قائمشهر			ساری		
	سواری	BRT	LRT	سواری	BRT	LRT	سواری	BRT	LRT	سواری	BRT	LRT
آمل	–	–	–	۲۰۷۴۵	۱۵۲۶۸	۶۸۳۱	۱۲۵۴۰	۹۲۲۹	۴۱۳۰	۱۸۸۳۲	۱۳۸۶۰	۶۲۰۱
بابل	۲۲۲۴۸	۱۶۳۷۴	۷۳۲۶	–	–	–	۱۲۱۸۶	۸۹۶۸	۴۰۱۳	۲۸۰۶۵	۲۰۶۵۵	۹۲۴۲
قائمشهر	۱۴۴۳۶	۱۰۶۲۴	۴۷۵۴	۱۳۷۵۱	۱۰۱۲۰	۴۵۲۸	–	–	–	۱۳۸۴۴	۱۰۱۸۹	۴۵۵۹
ساری	۱۷۲۶۳	۱۲۷۰۵	۵۶۸۵	۲۱۵۹۴	۱۵۸۹۳	۷۱۱۱	۱۱۳۵۱	۸۳۵۴	۳۷۳۸	–	–	–

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

ج- کاشت و ترسیب گیاهان

بر کسی پوشیده نیست که درختان می‌توانند دی‌اکسیدکربن را جذب کنند. با این وجود، با افزایش روند گرم‌شدن کره زمین، تغییرات اقلیمی و بحران‌های زیست‌محیطی شهرها مانند آلودگی هوا، مطالعات زیادی در سال‌های اخیر بر روی میزان جذب هریک از گونه‌های مختلف گیاهان، عوامل تأثیرگذار بر آن و طراحی آن‌ها متمرکز شده‌اند؛ ازاین‌رو، یکی از راهبردهای کاهش کربن ناشی از حمل‌ونقل خودروها شخصی می‌تواند، کاشت درختان در محورهای بین شهری باشد. بررسی این تحقیقات نشان می‌دهد به‌طور متوسط، هر درخت قادر است سالانه حدود ۰٫۰۲۱۷ متریک تُن یا ۴۸ lb کربن ترسیب کند. بر این اساس، اگر فاصلهٔ شهرهای آمل و ساری و طول بزرگراه‌های بین آن‌ها حدود ۷۳ کیلومتر در نظر گرفته شود، با فاصلهٔ حدود ۳ متر بین درختان، می‌توان حدود ۱۰۵ تُن در سال دی‌اکسیدکربن جذب کرد. قاعدتاً با افزایش ردیف کاشت درختان می‌توان این مقدار را با کارایی بیشتر به بیش از سه برابر رساند. این گزینه اگرچه ممکن است راه‌حلی نهایی برای کاهش انتشار به‌شمار نیاید، اما در کنار پیامدهای مثبت محیطی، روانی و زیبایی‌شناختی که ایجاد می‌کند، قطعاً یک آلترناتیو اجرایی و مکمل در کنار گزینه‌های دیگر است.

د- تعویض سوخت CNG

استفاده از نسل‌های جدید انرژی به‌خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر از سیاست‌های دیگری است که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه کربن اجرا می‌شود؛ به‌عنوان مثال، محققان نشان می‌دهند خودروهای برقی شارژی و هیبریدی می‌توانند تأثیر بسزایی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشند، اما نمی‌توانند راه‌حل تمام‌عیار محسوب شوند؛ چون خود این خودروها نیاز به انرژی برق دارند که خود یکی از منابع اصلی انتشار است؛ بنابراین موفقیت عملی این سوخت‌ها برای دستیابی به کاهش هزینه‌ها و انتشار، تا حد زیادی به بیشینه‌کردن استفاده از منبع انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز دارد. نکتهٔ مهم دیگر،

کاهش هزینه‌ها برای رواج در بازار است؛ به‌طوری که علاوه‌بر کاهش پیامدهای محیطی، مشتریان نیز قادر به پرداخت هزینه‌های آن باشند. در این پژوهش دو سوخت رایج دیگر به‌عنوان جایگزینی بهتر برای خودروهای بنزینی در نظرگرفته شدند. در این راستا، براساس گزارش دپارتمان محیط زیست، تغذیه و امور روستایی انگلستان، به‌ترتیب عامل انتشار سوخت CNG و هیبریدی به‌طور متوسط حدود ۰,۱۷۹ و ۰,۱۳۲ کیلوگرم به‌ازای هر کیلومتر فرض شده است. با این فرض که تمام خودروها از سوخت‌های CNG استفاده کنند، این سوخت می‌تواند حداکثر حدود ۲۲۷۶۳,۳ تُن در سال از انتشار کربن بیشتر جلوگیری کند؛ اما این اثرگذاری برای خودروها و سوخت‌های هیبریدی به‌مراتب پایین‌تر است. چنان که خودروهای هیبریدی بتوانند نیمی از این خودروهایی را که در منطقه تردد می‌کنند، تشکیل دهند، میزان انتشار در سال حدود ۵۱۲۹۹,۹ تُن کاهش می‌یابد؛ این رقم بدین معناست که می‌توان در سال حدود یک میلیون و ۶۷۲ هزار دلار از هزینه‌های اجتماعی سیستم حمل‌ونقل کاست.

.

جدول ۸. مقایسهٔ میزان انتشار کربن برای خودروهای بنزینی، گازسوز و هیبریدی براساس ترددات در منطقه

محورها	بنزین	٪۱۰۰CNG	٪۵۰CNG	٪۱۰۰ هیبریدی	٪۵۰ هیبریدی
ساری- قائمشهر	۶۹۳۳۷۷۶۴	۶۳۶۵۶۰۴۷	۶۵۷۷۰۳۶۶	۴۶۸۰۱۶۵۰	۵۷۳۴۳۱۶۷
قائمشهر-ساری	۶۸۴۲۴۷۲۸	۶۳۲۴۸۵۲۷	۶۵۳۴۹۳۱۰	۴۶۵۰۲۰۳۰	۵۶۹۷۶۰۶۲
بابل- آمل	۴۸۴۶۰۵۵۴	۶۴۱۶۲۴۴۹	۶۶۲۹۳۵۸۸	۴۷۱۷۳۹۷۰	۵۷۷۹۹۳۴۸
آمل-بابل	۴۳۸۷۳۰۹۶	۶۵۰۱۸۶۱۲	۶۷۱۷۸۱۸۸	۴۷۸۰۳۴۴۴	۵۸۵۷۰۶۰۴
بابل- قائمشهر	۶۷۸۸۴۶۸۵	۴۵۴۴۱۸۷۴	۴۶۹۵۱۲۱۳	۳۳۴۱۰۰۹۶	۴۰۹۳۵۳۲۵
قائمشهر-بابل	۶۷۴۵۰۰۹۵	۴۱۱۴۰۱۷۵	۴۲۵۰۶۶۳۵	۳۰۲۴۷۳۷۱	۴۲۵۰۶۶۳۵
مجموع (کیلوگرم)	۳۶۵۴۳۰۹۲۲	۳۴۲۶۶۷۶۸۴	۳۵۴۰۴۹۳۰۳	۲۵۱۹۳۸۵۶۲	۳۱۴۱۳۱۱۴۴
مجموع (تُن)	۳۶۵۴۳۰,۹	۳۴۲۶۶۷,۶	۳۵۴۰۴۹,۳	۲۵۱۹۳۸,۵	۳۱۴۱۳۱,۱

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

بحث و نتیجه‌گیری

با پیشرفت فناوری‌های ارتباطی و حمل‌ونقلی، بسیاری از شهرها استقلال خود را به‌عنوان یک منطقهٔ شهری عملکردی از دست دادند. در این حالت با همپوشانی پسکرانه‌های شهری و گسترش یکپارچگی فضایی- عملکردی شهرها، بسیاری از مسائلی که تا پیش از این به مقیاس شهری مرتبط می‌شدند، به مسائلی منطقه‌ای بدل شدند که باید در مقیاسی بالاتر دنبال شوند. یکی از این مسائل، الگوهای جابه‌جایی و پیامدهای محیطی افزایش سفرهای بین شهری ناشی از تغییر سیستم‌های شهری و منطقه‌ای است.

با توجه به اینکه دی‌اکسیدکربن، یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی است و با نظر به مطالعاتی که بخش حمل‌ونقل را یکی از مهم‌ترین انتشاردهندگان دی‌اکسیدکربن در توسعهٔ شهری نشان داده‌اند، پژوهش حاضر سعی دارد تا با بررسی ردپای کربن ناشی از جابه‌جایی مسافر و کالا و هزینه‌های اجتماعی متعاقب آن در شهرهای اصلی منطقهٔ مازندران مرکزی، توجه را از حمل‌ونقل در سطح شهر به سوی منطقه معطوف کند. محاسبهٔ ردپای کربن و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن می‌تواند با مقایسهٔ هزینهٔ فرصت سیاست‌هایی مربوط به بخش عرضه و تقاضا، مدهای خصوصی و عمومی و

رویکردهای فضایی و غیرفضایی به سیاست‌گذاران بخش حمل‌ونقل کمک کند.

بررسی ردپای کربن در جابه‌جایی کالا و مردم در چهار شهر اصلی مازندران مرکزی نشان می‌دهد، محورهای قائمشهر و ساری بیشترین حجم ترددات و به‌تبع بیشترین سطح از انتشار را به خود اختصاص می‌دهند؛ بنابراین باید در اولویت سیاست‌های فضایی و غیرفضایی برای کاهش توسعهٔ شهری کم کربن قرار گیرند. همچنین حجم بالای انتشار (حدود ۳۶۵ هزار تُن کربن در یک سال) ناشی از الگوی سفر در منطقه‌ای چندمرکزی و هزینه‌های متعاقب آن (حدود ۱۲ تا ۱۸ میلیون دلار در سال ۱۳۹۷) و رشد ۲ درصدی هزینه‌های آن (۲۱ تا ۳۷ میلیون دلار در سال ۱۴۱۷) در بازهٔ زمانی ۲۰ سال، اجرای سیاست‌های غیرفضایی، مبتنی‌بر خدمات حمل‌ونقل عمومی و مدیریت جابه‌جایی و تقاضا و پیگیری آن در سطح منطقه را توجیه می‌کند.

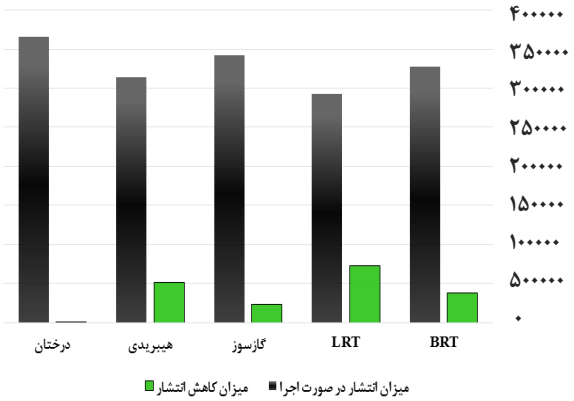
اگرچه برخی محققان مانند تسای[1] (۲۰۰۵) و ونری[2] (۲۰۱۰) معتقدند مناطق چندمرکزی به‌دلیل نزدیکی میان محل کار و سکونت، اثرات محیطی مؤثری دارند؛ یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج مطالعات ونری و بورگلاسی[3] (۲۰۱۰) را مبنی‌بر اینکه ساختار فضایی چندمرکزی به‌تنهایی، یک ابزار مؤثر برای دستیابی به اهدافی مانند پایداری محیطی نیست، تأیید می‌کند. همچنین اگرچه مطالعهٔ حاضر با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های استانی، تک‌موردی است، اما می‌تواند تا حدودی نتایج سیرلی و ونری (۲۰۱۴) را مبنی‌بر انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در مناطق چندمرکزی نسبت‌به الگوهای پراکنده‌تر، تقویت کند.

با این وجود، حجم بالای سفرهای آونگی با خودرو شخصی میان شهرهای مناطق چندمرکزی مانند مازندران مرکزی، همان‌طور که می‌تواند با انتشار گازهای گلخانه‌ای تهدیدی برای محیط زیست باشد، می‌تواند به‌عنوان فرصتی برای ایجاد زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی انبوه در جهت پیامدهای منفی آن تلقی شود؛ بنابراین، اجتناب از افزایش سریع خودروهای شخصی، اجرای الگوهای توسعهٔ حمل‌ونقل محور در مراحل اولیهٔ توسعهٔ زمین و ایجاد خدمات حمل‌ونقل عمومی پیشرو در سطح منطقه از مواردی هستند که می‌توانند در کاهش انتشار کربن ناشی از سفرهای آونگی و بین شهری مهم باشند. همچنین ایجاد مشوّق‌ها و مالیات‌ها نیز می‌توانند با کاهش استفاده از خودروهای تک‌سرنشین یا شخصی در کاهش انتشار مفید و سودمند باشد. به‌نظر می‌رسد ساخت حمل‌ونقل ریلی یا خطوط سریع اتوبوس در فواصل بین شهری همراه با استفاده از خطوط دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی در مراکز روستایی، کلید توسعهٔ شهری کم‌کربن در مازندران هستند.

مقایسهٔ سناریوهای پیشنهادی در منطقه نشان می‌دهد (شکل ۷)، به‌ترتیب راه‌اندازی حمل‌ونقل سامانهٔ حمل‌ونقل ریلی سبک، جایگزینی خودروهای هیبریدی با خودروهای بنزینی، راه‌اندازی سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو و جایگزینی خودروهای گازسوز با سوخت بنزین می‌توانند بیشترین تأثیر را بر کاهش کربن و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن داشته باشند. اگرچه ترکیب سیاست‌ها می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش انتشار داشته باشد؛ به‌عنوان مثال استفاده از اتوبوس‌هایی با سوخت‌های بیومتان، هیبریدی و غیره، می‌تواند کارایی سامانهٔ اتوبوس‌های تندرو را به‌شدت افزایش دهد. علاوه‌بر این طراحی و کاشت درختان در محورهای بین شهری و جنگل‌کاری‌های شهری نیز می‌تواند مکمل گزینه‌های بالا باشد. با این وجود، هیچ یک از شهرهای

1-Tsai
2-Veneri
3-Burgalassi

استان به‌تنهایی قادر به تأمین هزینه‌های طراحی، ساخت و راه‌اندازی زیرساخت‌های سامانهٔ حمل‌ونقل عمومی نخواهند بود؛ ازاین‌رو هم‌افزایی و همکاری این شهرها برای اجرای این سیاست‌ها ضروری است. برنامه‌ریزان باید پیش از هر چیز هزینه‌ها و مزایای اجتماعی و شخصی گزینه‌ها و الگوهای توسعهٔ شهری را مورد بررسی قرار دهند؛ امری که در کشور حداقل در سطح منطقه کمتر به آن پرداخته شده است. از این منظر مطالعهٔ حاضر می‌تواند نقطهٔ شروع مناسبی برای بحث در این باره باشد.



شکل ۷. مقایسهٔ میزان اثرگذاری سناریوهای مختلف در کاهش انتشار

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۸)

برای تکمیل نتایج حاصل از این پژوهش و فراتر رفتن از مباحثی که دربارهٔ انتشار کربن ناشی از سفرهای بین شهری مطرح شد، باید دستور کاری پژوهشی برای فهم بهتر و کاربست نظری و تجربی آن در کشور ارائه شود. تابه‌حال اغلب مطالعاتی که بر روی روابط فرم و انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گرفتند، در مقیاس شهر تمرکز کردند. بر این اساس مطالعاتی که بر سطوح بالاتر- منطقه‌ای- تمرکز کنند می‌توانند درک برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران را در راستای کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای ارتقا دهند. در همین راستا، ضرورت نگرشی همکارانه در مقیاسی فراتر از سطوح سنتی شهر و در سطح بین شهری روشن می‌شود. در حالی که اغلب سیاست‌هایی که در زمینهٔ هم‌افزایی و همکاری‌های بین شهری صورت گرفته، بر بهبود موقعیت رقابتی منطقه و اهداف اقتصادی تأکید دارند. مطالعاتی که بتوانند چارچوب مناسبی و دستورکاری راهبردی و سیاسی را برای شروع همکاری‌های بین شهری در راستای اهداف محیط زیستی آماده کنند، می‌توانند گام مهمی در بهبود برنامه‌ریزی و حکمروایی چندسطحی و درک ارزش پذیرش یک رویکرد منطقه‌ای در برنامه‌ریزی و عمل در کشور بردارند.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر محصول طرح پژوهشی از محل اعتبارات ویژه پژوهشی (گرنت) دانشگاه مازندران به شماره (۹۶/۰۴/۲۷ ص ۹۶ تاریخ ۹۶/۰۴/۲۷) می باشد. بدین وسیله از بخش معاونت محترم پژوهشی دانشگاه مازندران تشکر و قدردانی می شود.

منابع

اسدی، ایرج؛ زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۹). گونه‌شناسی مناطق شهر- بنیاد در مطالعات شهری و منطقه‌ای: با نظری بر واکاوی مفهوم مجموعه شهری در ایران، هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دانشگاه تهران، شمارهٔ ۴۳، صص ۳۰-۱۷.

اصفهانیان، وحید؛ مؤمنی، محمودرضا؛ ماهوتچی سعید، کامران؛ اشرفی، خسرو. (۱۳۹۲). برآورد هزینه‌های خارجی ناشی از آلودگی هوای کلان‌شهر تهران، دومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.

پژویان،جمشید؛ مقیمی‌نیا، علی. (۱۳۸۵). ارزیابی اقتصادی و سیاست‌های کنترل آلودگی هوا ناشی از حمل‌ونقل (مورد: تهران)، آینده‌پژوهی مدیریت، دانشگاه آزاد واحد تحقیقات، شمارهٔ ۶۸، صص ۱۳-۲۴.

ترازنامهٔ انرژی سال ۱۳۹۱. (۱۳۹۲). تهران: وزارت نیرو. معاونت امور برق و انرژی.

خوش‌اخلاق، رحمان؛ ستوده‌نیا، مرضیه. (۱۳۹۱). هزینه‌های آلودگی هوا در شهر یزد، پژوهشنامهٔ اقتصاد انرژی ایران، دانشگاه علامه طباطبایی، سال اول، شمارهٔ ۴ صص ۴۳-۶۶.

داداش‌پور، هاشم؛ حق‌جو، محمدرضا؛ شهابی شهمیری، مجتبی. (۱۳۹۴). گونه‌شناسی سیر تکوینی منطقه شهری چند مرکزی مازندران مرکزی، پژوهش‌های دانش زمین، دانشگاه شهید بهشتی، سال ششم، شمارهٔ ۱۲، صص ۵۱-۶۳.

زبردست، اسفندیار؛ شهابی شهمیری، مجتبی. (۱۳۹۲). سنجش چند مرکزیتی مجموعه‌های شهری کشور (مطالعهٔ موردی: آمل، بابل، قائمشهر و ساری)، فصلنامهٔ مطالعات شهری، سال سوم، شمارهٔ ۸، صص ۴۷-۵۸.

کیانی، غلامحسین؛ یاری، فاطمه؛ امیری، هادی. (۱۳۹۳). برآورد هزینه‌های مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا در اصفهان، محیط‌شناسی، سال چهلم، شمارهٔ ۱، صص ۲۴۷-۲۵۴.

لطفی، صدیقه. (۱۳۸۷). ارزیابی تغییر و توزیع سکونتگاه‌های شهری استان مازندران براساس قاعدهٔ رتبه-اندازه، زایش یک مگالاپلیس منطقه‌ای. پژوهشنامهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران. شمارهٔ ۲. صص ۷۶-۶۱.

هادی‌زنوز، بهروز؛ زراءنژاد، منصور؛ طایی، حسن؛ خداپناه، مسعود. (۱۳۹۰). پیامدهای بیرونی حمل‌ونقل با خودرو شخصی در شهر تهران، فصلنامهٔ اقتصاد مقداری، دانشگاه شهید چمران اهواز، سال هشتم، شمارهٔ ۲، صص ۵۱-۷۷.

Abdul Sukor, N.S., Basri, N.K., Hassan, S. A. (2017). Carbon Footprint Reduction in Transportation Activity by Emphasizing the Usage of Public Bus Services among Adolescents, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Aguilera, A. (2005). Growth in commuting distances in French polycentric metropolitan areas: Paris, Lyon and Marseille. Urban Studies 42, pp. 1537-1547.

Albalate, D., Bel, G., Fageda, X. (2015). When supply travels far beyond demand: Causes of oversupply in Spain's transport infrastructure. Transport Policy, 41: pp. 80– 89.

Alkhathlan, K., Javid, M. (2015). Carbon emissions and oil consumption in Saudi Arabia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48: pp. 105–111.

Anable, J., Bristow, A.L. (2007). Transport and climate change: Supporting document to the CfIT report. Commission for Integrated Transport.

Andrade, C. E. S. D., & D'Agosto, M. D. A. (2016). The role of rail transit systems in reducing energy and carbon dioxide emissions: The case of the city of Rio de Janeiro. Sustainability, 8(2), 150. https://doi.org/10.3390/su8020150

Banister, D. (2011). Cities, mobility and climate change. Journal of Transport Geography, 19: pp. 1538–1546.

Bell, M.C. (2006). Environmental factors in intelligent transport systems. IEE Proceedings: Intelligent Transport Systems, 153 (2): pp. 113–128.

Bickel, P. (2006). Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), Deliverable D6: Case Study Results Stuttgart: IER, University of Stuttgart.

Biesbroek, G.R., Swart, R.J., Carter, T.R., Cowan, C., Henrichs, T., Mela H., Morecroft, M.D., Rey, D. (2010). Europe adapts to climate change: Comparing National Adaptation Strategies. Global Environmental Change, 20(3): pp. 440-450.

Borge, R., de Miguel, I., de la Paz, D., Lumbreras, J., Pérez, J., Rodríguez, E. (2012). Comparison of road traffic emission models in Madrid (Spain). Atmospheric Environment. 62: pp. 461–471.

Boussauw, K., Witlox, F. (2009). Introducing a commute energy performance index for Flanders. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 43 (5): pp. 580-591.

Bulkeley, H., Betsill, M.M. (2005). Rethinking sustainable cities: Multilevel governance and the urban politics of climate change. Environmental Politics, 14, 1: pp. 42–63.

Burger, M.J., Meijers, E.J., Van Oort, F. G. (2014).Multiple Perspectives on Functional Coherence: Heterogeneity and Multiplexity in the Randstad. Journal of Economic and Social Geography (TESG) 105: pp. 444–464.

Camagni, R., Gibelli, M. C., and Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. Environmental Economics, 40:199–216. 40, pp. 199–216.

Caponio, G., Mascolo, G., Mummolo, G., Mossa, G., Digiesi, S. (2015). Commuting carbon dioxide (CO2) emissions: a study of ten Italian metropolitan cities, XX Summer School

Gösslinga, S., Cohenc, S. (2014). Why sustainable transport policies will fail: EU climate policy in the light of transport taboos. Journal of Transport Geography, 39: pp. 197–207.

Gordon, P. and Wong, H. L. (1985). The cost of urban sprawl: some new evidence. Environment and Planning A 17, pp. 661-666.

Guivarch, C., Méjean, A., Pottier, A., Fleurbaey, M. (2016). Social cost of carbon: Global duty. Science, 6278: pp. 1160-1161

Guo, S. & Chen, L (2018) Can urban rail transit systems alleviate air pollution? Empirical evidence from Beijing, growth and change, Wiley Online Library. DOI: 10.1111/grow.12266.

Hartl, G. (2013). City rhythms of commuter traffic. Decarbonisation of commuting in Vienna. In Proceedings of the International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Development.

Havranek, T., Irsova, Z., Janda, K. & Zilberman, D. (2015). Selective Reporting and the Social Cost of Carbon. Energy Economics, 51: pp. 394-406.

Henry, L. (2004). Rapid streetcar: Rescaling design and cost for more affordable light rail transit. Proceedings of the Rail Transit Conference, Miami, FL.

IPCC. 2014. Climate Change (2014): Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jabareen, Y.R. (2006). Sustainable urban forms: their typologies, models, and concepts. Journal of planning education and research, 26, 1: pp. 38–52.

Karttunen, J., Hilmola, O.-P., & Saranen, J. (2010). Evaluating Light Rail as a short distance passenger transportation solution in a midsized town. World Review of Intermodal Transportation Research, 3, 121-136.

Kholod, N., Evans, M., Gusev, E., Yua, S., Malyshev, V., Tretyakova, S., Barinov. A., (2016). A methodology for calculating transport emissions in cities with limited traffic data: Case study of diesel particulates and black carbon emissions in Murmansk, Science of the Total Environment, 547: 305–313.

Lang, J., Cheng, S., Wei, W., Zhou, Y., Wei, X., Chen, D. (2012). A study on the trends of vehicular emissions in the Beijing–Tianjin–Hebei "Francesco Turco" - Industrial Systems Engineering..

CE Delft. (2011).External Costs of Transport in Europe, Update Study for 2008, Commissioned by International Union of Railways UIC. Delft.

Cervero, R. (2013). Bus Rapid Transit (BRT). An Efficient and Competitive Mode of Public Transport, 20th ACEA Scientific Advisory Group Report.

Cervero, R., Murakami, J., (2010). Effects of built environments on vehicle miles traveled: evidence from 370 US urbanized areas. Environ. Plann. 42, 400–418.

Chu, C., Pan, F. (2017). Study on highway transportation greenhouse effect external cost estimation in China, 2nd International Conference on Advances in Energy Resources and Environment Engineering, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 59.

Cirilli, A., Veneri, P. (2014). Spatial Structure and Carbon Dioxide (CO2) Emissions Due to Commuting: An Analysis of Italian Urban Areas. Regional Studies, 48 (12): pp. 1993-2005.

Defra (Department for Environment, Food & Rural Affairs). (2016). Greenhouse gas reporting - Conversion factors 2012. UK Government: Department for Environment, Food & Rural Affairs.

Demissie, M.G., de Almeida Correia, G.H., Bento, C. (2013). Intelligent road traffic status detection system through cellular networks handover information: Anexploratory study. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 32: pp. 76–88.

Doi, K., Kii, M. (2012). Looking at sustainable urban mobility through a cross-assessment model within the framework of land-use and transport integration. IATSS Research, 35 (2), 62-70.

EC, European Commission. (2015). Strategies for a sustainable mobility of the European commuters. Project E-COSMOS.

Garcia-Sierra, M., Van den Bergh, J.C.J.M. (2014). Policy mix to reduce greenhouse gas emissions of commuting: A study for Barcelona, Spain. Travel Behaviour and Society, 1(3): pp. 113-126.

Glaeser E.L., Kahn M.E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. Journal of Urban Economics, 67, 3: pp. 404-418.

of Sciences of the United States of America, 114: pp. 1518–1523.

Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Samaras, Z., (2009). COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model. Information Technologies in Environmental Engineering,

Ozawa-Meida, L., Brockway, P., Letten, K., Davies, J., Fleming, P. (2013). Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. Journal of Cleaner Production, 56: pp. 185-198.

Dujardin, S., Pirart, F., Brévers, F., Marique, A.F., Teller, J. (2012). Home-to-work commuting, urban form and potential energy savings: A local scale approach to regional statistics. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46 (7): pp. 1054–1065.

Riou, S., Gaigné, C., Thisse, J.-F. (2012). Are compact cities environmentally friendly?. Journal of Urban Economics, 72 (2-3): pp. 123-136.

Schreurs, M.A., Tiberghien, Y. (2007). Multi-Level Reinforcement: Explaining European Union Leadership in Climate Change. Mitigation Global Environmental Politics 7(4): pp. 19–46.

Schwanen, T. and Dijst, M.J. (2002). Travel-time ratios for visits to the workplace: the relationship between commuting time and work duration. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 36: 573-592.

Scott, A.J. (2001). Globalisation and the rise of city-regions. European Planning Studies, 9: pp. 813-826.

Stiglitz, J., Sen, A., Fitoussi, J. P. (2010). Mis-Measuring Our Lives the Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress (New York: The New Press)

Susilo, Y. O. and Maat, K. (2007). The influence of built environment to the trends in commuting journeys in Netherlands. Transportation 34, pp. 589-609.

Tsai, Y.-H., (2001). Travel-efficient urban form: a nationwide study on small metropolitan areas. In Dissertation. University of Michigan, Ann Arbor, MI.

Tol R.S. J. (2017). The Private Benefit of Carbon and its Social Cost, Working Paper Series No. 07, University of Sussex.

Tol, R. S. J. (2011). The Social Cost of Carbon. Annual Review of Resource Economics, 3: pp. 419-443.

(BTH) region, China. Atmospheric Environment. 62: pp. 605–614.

Li, J., Lo, K., Zhang, P., Guo, M. (2016). Consumer Travel Behaviors and Transport Carbon Emissions: A Comparative Study of Commercial Centers in Shenyang, China. Energies, 765.

Libardo, A., Nocera, S. (2008). Transportation Elasticity for the Analysis of Italian Transportation Demand on a Regional Scale. Traffic Engineering and Control,

Lin, B., & Du, Z. (2017). Can urban rail transit curb automobile energy consumption? Energy Policy, 105, 120–127.

https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.038

Loo, P.Y.,Chow, S.Y. (2011). Jobs-Housing balance in an era of population decentralization: An analytical framework and a case study. Journal of Transport Geography, 19 (4): pp. 552–562.

Lorenzoni, I., Pidgeon, N.F. (2006). Public views on climate change: European and USA perspectives. Climatic Change, 77 (1): pp. 73–95.

Esposito, G., Hayes, D. (2016). Low Emission Bus Guide. Low Carbon Vehicle Partnership.

Ma, K.R., Banister, D. (2006). Excess commuting: A critical review. Transport Reviews, 26 (6): pp. 749-767.

Mankiw, N. G. (2014). Principles of Microeconomics, Nashville, Southwestern College Publishing.

Mathez, A., Manaugh, K., Chakour, V., El-Geneidy, A., Hatzopoulou, M. (2013). How can we alter our carbon footprint? Estimating GHG emissions based on travel survey information. Transportation, 40(1): pp. 131-149.

Maibach, M., Schreyer, D., Sutter, D., van Essen, H., Boon, B., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B., Bak, M., (2008). Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector-IMPACT D1. Version 1.1, CE Delft. The Netherlands.

Murphy, E. (2009). Excess commuting and modal choice. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 43 (8): pp. 735-743.

Miyoshi, C. Mason, K. (2013)The damage cost of carbon dioxide emissions produced by passengers on airport surface access: The case of Manchester Airport. Journal of Transport Geography. 28, 137–143.

Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. Proceedings of the National Academy

Emissions: An Empirical Analysis of Beijing, China. Sustainability, 6(7): pp. 4558–4579.

Wang, Y., Yang, L., Han, S., Li, C., Ramachandra, T. V. (2017). Urban CO2 emissions in Xi'an and Bangalore by commuters: implications for controlling urban transportation carbon dioxide emissions in developing countries, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 22: pp. 993–1019.

WHO, (2012). IARC: diesel engine exhaust carcinogenic. Press release, 12 June 2012 (Available: http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf, accessed 22 February 2013).

Wiedmann, T., Minx, J. (2008). A definition of 'Carbon Footprint' Ecological Economics Research Trends (New York: Nova Science Publishers Hauppauge)

WMO. (2013). WMO greenhouse gas bulletin. World Meteorological Organization, Geneva.

Zahabi, S.A.H., Miranda-Moreno, L., Patterson, Z., Barla, P., Harding, C. (2012). Transportation Greenhouse Gas Emissions and its Relationship with Urban Form, Transit Accessibility and Emerging Green Technologies: A Montreal Case Study. Procedia Social and Behavioral Sciences, 54 (4): pp. 966–978.

Transportation Alternatives. (2008). Rolling Carbon: Greenhouse Gas Emissions from Commuting in New York City.

Van de Coevering, P., Schwanen, T. (2006). Re-evaluating the impact of urban form on travel patterns in Europe and North-America. Transport Policy, 13(3): pp. 229-239.

Van Oort, F.G., Burger, M.J. and Raspe, O., (2010). On the economic foundation of the urban network paradigm. Spatial integration, functional integration and urban complementarities within the Dutch Randstad. Urban Studies, 47: pp. 725-748.

Veneri, Paolo. (2010). Urban Polycentricity and the Costs of Commuting: Evidence from Italian Metropolitan Areas, Growth and Change, Wiley Blackwell, 41(3), pages 403-429, September.

Veneri, Paolo & Burgalassi, David, (2010). "Questioning polycentric development and its effects: issues of definition and measurement for the Italian NUTS 2 Regions," MPRA Paper 26410, University Library of Munich, Germany

Walmsley, M.R.W., Walmsley, T.G., Atkins, M.J., Kamp, P.J.J., Neale, J.R., Chand, A. (2015). Carbon emissions pinch analysis for emissions reductions in the New Zealand transport sector through to 2050. Energy, 92: pp. 569–576.

Wang, Y., Hayashi, Y., Chen, J., Li, Q. (2014). Changing Urban Form and Transport CO2