



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از ترافیک شهری: مطالعه موردی شهر همدان

کامران شایسته<sup>۱</sup>، شیوا غریبی<sup>۱\*</sup>، بهناز عطائیان<sup>۲</sup>

۱- گروه محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

تاریخ دریافت:

۹۹/۱۱/۲۱

تاریخ ویرایش:

۹۹/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش:

۹۹/۱۲/۲۶

تاریخ انتشار:

۹۹/۱۲/۲۷

زمینه و هدف: حمل‌ونقل به‌عنوان یکی از بخش‌های مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی سهم عمده‌ای در انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  دارد که به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل گرمایش جهانی شناخته شده‌اند. از طرفی، ازدحام با کاهش سرعت و تکرار توقف-حرکت وسیله نقلیه منجر به مصرف سوخت و صرف زمان سفر بیشتر و در نتیجه انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای می‌گردد. از این‌رو، هدف از این پژوهش معرفی شاخص ازدحام جهت تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای در معابر شهری است.

روش بررسی: ابتدا، وضعیت جریان ترافیک در خیابان‌های اصلی شهر همدان در طول مردادماه ۱۳۹۸ به‌صورت پیوسته و در ۸ بازه زمانی ۸ صبح تا ۱۲ شب پایش و نقشه میانگین ازدحام تهیه شد. سپس، مساحت و ضریب وزنی هر معبر براساس مدل تخصیص ترافیک به‌دست آمد و براساس سهم انتشار  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  در بخش حمل‌ونقل شهر همدان حاصل از ترازنامه انرژی، سرانه تولید و میزان انتشار سالانه  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  در هر معبر برآورد شد.

یافته‌ها: براساس نتایج، میزان انتشار  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  از بخش حمل‌ونقل به‌ترتیب  $776000 \text{ ton}$  و  $396 \text{ ton}$  است. بزرگراه امام خمینی ( $29166 \text{ ton CO}_2$ ) به دلیل سرعت و عرض معبر بیشتر و خیابان میرزاده عشقی ( $24453 \text{ ton CO}_2$ ) به دلیل وضعیت توقف-حرکت خودروها تولیدکننده بیشترین مقدار کربن هستند.

نتیجه‌گیری: تطابق شاخص ازدحام با مدل تخصیص ترافیک می‌تواند جهت برآورد میزان آلودگی‌های ترافیک شهری مورد استفاده قرار گیرد و به دلیل نرخ رشد بالای گازهای  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$ ، مدیریت و کاهش انتشار گازها و افزایش فضای سبز جهت ترسیب کربن ضرورت دارد.

واژگان کلیدی: سوخت فسیلی، ازدحام، حمل‌ونقل، دی‌اکسید کربن، متان

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Shiva\_Gharibi@yahoo.com

## مقدمه

بیش از ۷۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در مناطق شهری تولید می‌شوند (۱). سهم انتشار گازهای دی‌اکسید کربن، متان اکسید نیتروژن و سایر گازها به ترتیب ۷۲، ۱۸، ۹ و ۱ درصد است (۲). انتشار کربن به شکل CO<sub>2</sub> یکی از عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی روندی افزایشی داشته است (۳). بخش حمل‌ونقل نیز به‌عنوان یکی از مهمترین بخش‌های مصرف‌کننده سوخت (۴) اصلی‌ترین عامل گرمایش جهانی است (۵) و حمل‌ونقل شهری نیز به مراتب دارای سهم عمده‌ای در انتشار این گازها (۶) از جمله دی‌اکسید کربن، به‌عنوان بیشترین گاز گلخانه‌ای منتشره، است (۷). انتشارات وسایل نقلیه مهمترین منبع CO<sub>2</sub> اتمسفری در مناطق شهری به شمار می‌روند (۸) به‌طوری‌که در مقیاس جهانی تقریباً نیمی از مصرف سوخت‌های فسیلی به بخش حمل‌ونقل اختصاص دارد (۹). در ایران نیز هر سال حدود ۲۵ درصد از انرژی کشور در بخش حمل‌ونقل مصرف می‌شود که منجر به انتشار گازهای آلاینده از جمله CO<sub>2</sub> می‌گردد (۱۰). براساس ترازنامه انرژی، حجم گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در ایران روندی فزاینده داشته و براساس پیش‌بینی، در سال ۲۰۳۰ به ۱۷۳۲ میلیون تن دی‌اکسید کربن معادل خواهد رسید، اما با اجرای سناریوهای سیاست‌گذاری می‌توان این مقدار را کاهش داد (۱۱). از طرفی ازدحام (Congestion) در بخش حمل‌ونقل به معنای بدتر شدن شرایط ترافیکی روان و یکنواخت در نتیجه افزایش تقاضا برای سفر و یا کاهش ظرفیت حرکت ترافیکی است (۱۲) که منجر به اثرات منفی قابل توجهی بر کیفیت هوا به‌ویژه در جاده‌های شلوغ و تقاطع‌ها می‌شود (۱۳). براساس تعریفی دیگر، ازدحام شرایطی است که در آن نرخ جریان وسایل نقلیه بیشتر از گنجایش جاده (۱۴) و یا زمان سفر بیشتر از مدت زمان لازم برای عبور از طول خیابان در شرایط جریان آزاد سفر است. در شرایط

ازدحام سرعت وسایل نقلیه به‌طور قابل توجهی کاهش و رانندگی با تناوب و تکرار توقف-حرکت (Stop-and-Go) همراه است که این حالت منجر به مصرف بیشتر سوخت و صرف زمان سفر بیشتر (۱۵) و در نتیجه انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای می‌گردد (۱۳). ازدحام منجر به افزایش زمان سفر، مصرف سوخت بیشتر و در نتیجه افزایش آلودگی و هزینه‌های اجتماعی می‌شود (۱۳) که مهمترین رویکرد مستقیم کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای، کاهش ازدحام و حجم ترافیک است (۱۶) و جهت تحلیل رابطه بین جریان ترافیک و انتشارات کربن قابل استفاده است (۱۷، ۱۸) به طوری‌که به‌عنوان مهمترین عامل اثرگذار بر انتشار کربن شناخته می‌شود (۱۶). عمده‌ترین شاخص‌های ازدحام شامل زمان و میانگین سرعت در طول سفر، نسبت زمان مازاد سفر به میانگین زمان سفر، زمان کل عدم توقف وسیله نقلیه (۱۹) تعداد وسایل نقلیه، تصادفات و پارک حاشیه‌ای است (۲۰). از دیدگاه Hemmerle و همکاران (۲۱) الگوهای جریان ترافیک تحت تاثیر شرایط وسایل نقلیه منفرد هستند و کارکرد هر وسیله نقلیه نیز در ارتباط با مصرف سوخت و انتشار کربن است. Choudhary و همکاران (۲۲) نیز همبستگی بالای میزان مصرف سوخت با الگوهای جریان ترافیکی را عنوان کردند. سایر عوامل تاثیرگذار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل رفتار راننده، تغییرات دنده، شیب جاده، بار مفید خودرو، دمای محیط، عمر خودرو و استفاده از قطعات یدک‌کش است (۷). در شرایط ترافیکی توقف-حرکت تعداد حوادث افزایش و سرعت وسیله نقلیه کاهش می‌یابد (۲۳) و در شرایط ازدحام، وسایل نقلیه زمان بیشتری را در جاده به‌صورت درجا صرف می‌کنند و تحت شتاب‌گیری و کاهش شتاب بیشتری قرار می‌گیرند که هر دو ارتباط مستقیمی با میزان انتشار کربن دارند (۲۴). به‌طوری‌که، انتشار کربن در جریان ترافیکی پرازدحام ۱۰-۲۰۰ درصد بیشتر از شرایط ترافیکی روان است (۱۶). از طرفی دیگر، ضریب انتشار کربن وابسته به سرعت وسیله

## مواد و روش‌ها

- روش محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای از منبع متحرک رویکردهای محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع متحرک وابسته به در دسترس بودن داده‌ها است (۱۳). رویکرد اول براساس سنجش مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه در ضریب انتشار است (۷، ۲۴). رویکرد دوم بر اساس میزان مصرف سوخت (۱۳) و رویکرد سوم بر اساس ضرب تعداد و نوع خودروها در مقدار دی‌اکسید کربن منتشرشده است (۳۱). در رویکرد چهارم، به دلیل غیرعملی بودن اندازه‌گیری میزان انتشار واقعی هر خودروی منفرد (۷، ۲۴)، متحرک بودن منبع تولید و عدم آمار تعداد خودروهای موجود در هر معبر از شاخص جریان ترافیک، میانگین فاکتور انتشار دی‌اکسید کربن و مشخصات شبکه معبر به‌عنوان شاخصی از میزان تولید کربن توسط استفاده می‌شود (۷). در رویکرد پنجم از شاخص ازدحام به‌عنوان یک پارامتری برای پویایی وسیله نقلیه و انتشار گازهای گلخانه‌ای (۷) استفاده می‌شود. در این مطالعه از رویکرد پنجم استفاده می‌شود که میزان سهم هر معبر در تولید  $CO_2$  براساس مدل تخصیص ترافیک و سهم حمل‌ونقل شهر در مصرف انرژی بر اساس ترازنامه هیدروکربوری کشور تخمین زده می‌شود.

### - مدل تخصیص ترافیک

هر سامانه حمل‌ونقل دارای دو بعد عرضه (شبکه خیابانی، سامانه حمل‌ونقل عمومی و فناوری حمل‌ونقل و غیره) و تقاضا (حجم ترافیک و یا تعداد وسایل نقلیه مختلف در خیابان‌ها) است (معادله ۱). در این رابطه،  $F$  تابعی از عرضه و تقاضای سیستم حمل‌ونقل،  $L$  زمان سفر در خیابان‌های یک شبکه،  $S$  خیابان‌های درون‌شهری و  $V$  تعداد وسایل نقلیه در شبکه است. مدل تخصیص ترافیک اطلاعات زیادی از عملکرد سیستم حمل‌ونقل شهری از جمله حجم ترافیک، زمان سفر، سرعت، مصرف سوخت، میزان آلاینده‌های وسایل نقلیه در هر شبکه خیابانی، همچنین حجم مسافریین حمل‌ونقل همگانی و تعداد مسافریین سوار

نقلیه است (۲۵)؛ به طوری که، میزان انتشار حاصل از مصرف سوخت با سرعت  $45 \text{ km/h}$  (میانگین سرعت در منطقه شهری) به دلیل ایجاد ازدحام تقریباً ۴۰ درصد است (۲۶). مصرف سوخت نیز دارای ارتباط نزدیکی با انتشار دی‌اکسید کربن است (۱۶، ۲۱) که بسته به کیفیت سوخت، نوع جاده، شرایط آب و هوایی و نوع خودروها، میزان مصرف سوخت و انتشار کربن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۸).

سهم انتشار کربن از بخش حمل‌ونقل شهری به دلیل متحرک بودن منبع تولید بسیار مبهم و در مطالعات داخلی نادیده گرفته شده است. اما مطالعات داخلی متعددی به بررسی میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در شهر زنجان (۶)؛ بررسی آلاینده‌های خروجی از آگزوز اتومبیل‌های شهر کرمانشاه و تاثیر آن بر سلامت انسان (۲۷)؛ تعیین سهم انتشار گازهای منتشرشده از خودروها در محیط بسته پارکینگ (۲۸)، ارزیابی انتشار ردپای کربن و ارتباط آن با مصرف انرژی در میدان نفتی یادآوران استان خوزستان (۲۹)، کمی‌سازی رابطه بین انتشار گاز دی‌اکسید کربن با بعد فشردگی شکل شهر (۳۰) پرداخته‌اند. اکثر مطالعات صورت گرفته براساس اندازه‌گیری میدانی انجام شده است، اما در این پژوهش تلاش بر آن است که با معرفی شاخص ازدحام میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از ترافیک شهری را تخمین زد زیرا به دلیل پیچیدگی متغیرهای مؤثر بر انتشار کربن حاصل از ترافیک از جمله سرعت و نوع خودرو، شرایط جاده، آب و هوا و نوع سوخت مصرفی، معرفی شاخص ازدحام به همراه مدل تخصیص ترافیک می‌تواند به‌عنوان شاخصی کارآمد و نماینده متغیرهای ذکر شده در میزان انتشار سالانه کربن جهت برنامه‌های مدیریتی استفاده شود و در نهایت می‌توان اقدام به نقشه‌سازی میزان انتشار گازها در محدوده مطالعاتی نمود. بنابراین مطالعه حاضر از نظیر موضوعی، هدف، روش تحقیق کاملاً جدید و دارای نوآوری و موضوعی کاربردی است.

خیابان‌های اصلی، بلوارها و بزرگراه‌های شهر انتخاب و مشخصات آنها ثبت شد. گام ۲) تهیه نقشه میانگین ازدحام ترافیکی شهر: جهت پایش وضعیت جریان ترافیک در خیابان‌های اصلی شهر همدان از برنامه نقشه زنده زمین (Live Earth Map) استفاده شد که ترافیک را براساس سرعت مجاز در سه گروه سنگین (کد ۱؛ رنگ قرمز؛ سرعت کمتر از  $40/2 \text{ km/h}$ ، متوسط (کد ۲؛ رنگ نارنجی؛ سرعت  $40/2-80/46 \text{ km/h}$ ) و سریع (کد ۳؛ رنگ سبز؛ سرعت بالاتر از  $80/46 \text{ km/h}$ ) طبقه‌بندی کرده و نشان‌دهنده ازدحام خودروها در هر معبر است. در ابتدا، تمام معابر اصلی شهر (۱۰۳ خیابان) شماره‌گذاری شد. سپس وضعیت جریان ترافیک در این خیابان‌ها در مرداد ماه به صورت پیوسته، در ۸ بازه زمانی ۹-۷، ۱۱-۹، ۱۳-۱۱، ۱۱-۱۳، ۱۳-۱۵، ۱۷-۱۵، ۱۹-۱۷، ۲۱-۱۹ و ۲۳-۲۱ در طول روزهای هفته پایش و در نهایت ۲۴۸ تصویر ترافیکی از شهر (هر روز ۸ تصویر در طول ۳۱ روز مردادماه) براساس نقشه زنده زمین تهیه شد. به هر یک از معابر در تمام ۲۵۲ تصویر براساس جریان ترافیک کد ۱ تا ۳ اختصاص داده و میانگین‌گیری شد. میانگین کدهای به‌دست آمده برای

و پیاده شده در هر ایستگاه ارائه می‌دهد. مدل در محیط EMME (نرم‌افزار برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک در مقیاس شهری، ملی، منطقه‌ای) ساخته شده است.

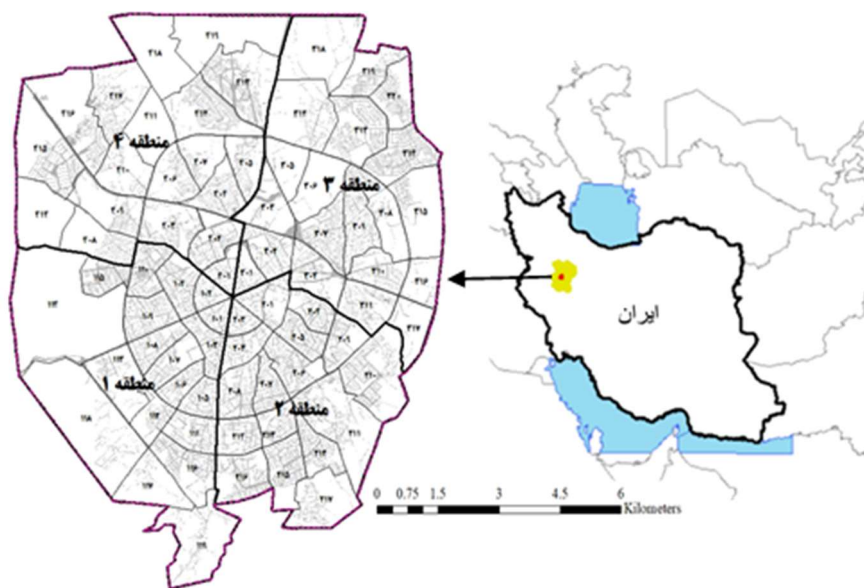
#### منطقه مطالعاتی

شهر همدان به‌عنوان مرکز استان در ناحیه میانی شهرستان همدان و در گستره‌ای به مساحت حدود  $74 \text{ km}^2$  معادل ۳۶ درصد از مساحت کل شهرستان و دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه شمالی است. این شهر با جمعیتی بالاتر از ۵۵۴ هزار نفر به‌عنوان پانزدهمین شهر پرجمعیت ایران به‌شمار می‌آید. منطقه مورد مطالعه براساس منطقه بندی سازمان آمار و برنامه‌ریزی شهرداری همدان به ۴ منطقه، ۷۵ محله و ۲۰ منطقه ترافیکی تقسیم‌بندی می‌گردد (شکل ۱).

$$L = F(S.V) \quad (1)$$

#### منابع داده‌ها و نحوه محاسبات

مراحل کار در چندین گام انجام شد. گام ۱) تهیه شبکه معابر اصلی: براساس طرح جامع تفصیلی شهر همدان،



شکل ۱- موقعیت شهر همدان، مرزبندی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۶۰۰۰۰ از سازمان آمار و برنامه‌ریزی شهرداری همدان

(۳)

$$CO_2 \text{ Emission}_{98, Iran} = CO_2 \text{ Emission}_{94} * GR$$

میزان  $CO_2$  منتشر شده: سهم شهر همدان از انتشار  $CO_2$  در بخش حمل و نقل براساس نرخ رشد جمعیت تا سال ۱۳۹۸ به دست می آید. براساس معادله ۴،  $CO_2$   $Emission_{98, Hamadan}$  سهم شهر همدان از  $CO_2$  ناشی از بخش حمل و نقل برای سال ۱۳۹۸؛  $P$  جمعیت ایران و همدان و  $CO_2 \text{ Emission}_{98, Iran}$  سهم کل کشور از انتشار  $CO_2$  ناشی از بخش حمل و نقل برای سال ۱۳۹۸ و  $P_{gr}$  نرخ رشد جمعیت است.

$$CO_2 \text{ Emission}_{98, Hamadan} \quad (۴)$$

$$= \frac{P_{Hamadan(98)}}{P_{Iran(98)}} \times CO_2 \text{ Emission}_{98, Iran}$$

$$P_{Hamadan(98)} = P_{Hamadan(94)} / P_{gr}$$

گام ۶) تعیین میزان انتشار سالانه  $CO_2$  در هر معبر: با استفاده از مدل تخصیص ترافیک موجود در مطالعات طرح جامع حمل و نقل و ترافیک شهر همدان، میزان تقاضای ازدحام برآورد شده در سال ۱۳۹۸ برآورد می گردد. براساس معادله ۵ میزان انتشار سالانه  $CO_2$  در هر معبر به دست می آید.  $A$  مساحت هر معبر برحسب  $ER, m^2$  ضریب وزنی هر معبر براساس میانگین ازدحام آن جاده (ضریب معبر با ازدحام رنگ سبز برابر با ۰/۵، رنگ زرد ۱/۵ و رنگ قرمز ۲ است که در مدل تخصیص ترافیک به دست آمده است) و  $CO_2 \text{ Emission}_{98, Hamadan}$  سهم شهر انتشار  $CO_2$  در بخش حمل و نقل شهر همدان است (این ضریب ۷۷۴۹۹۳ برآورد شده است).

$$D_t = CO_2 \text{ Emissions (per road)} \quad (۵)$$

$$= \frac{A \times ER}{SUM ER} \times CO_2 \text{ Emission}_{98, Hamadan}$$

میزان انتشار  $CH_4$  نیز برای هر معبر مطابق معادله ۶ به دست آمد. در این معادله و براساس ترازنامه انرژی

هر معبر مجدداً در سه گروه طبقه بندی گردید. گام ۳) محاسبه انتشار گازهای گلخانه ای از احتراق سوخت: جهت محاسبه میزان انتشار آلاینده های کربن از داده ها و روابط موجود در ترازنامه انرژی کشور طبق استاندارد IPCC، استفاده شد. در این روش از ضرایب میانگین انتشار در هر یک از زیر بخش های انرژی (مصرف کننده سوخت و تولید کننده آلاینده) استفاده و این ضرایب در میزان مصرف هر یک از حامل های سوختی در آن زیر بخش ضرب می شود (معادله ۲). در این معادله براساس ترازنامه هیدروکربوری کشوری سال ۱۳۹۶،  $Emissions_{GHG, fuel}$  میزان انتشار وزنی گاز گلخانه ای برای نوع سوخت برحسب Gg (معادل ۱۰۰۰ ton)،  $Fuel \text{ Combustion}_{fuel}$  میزان سوخت مصرف شده در زیر بخش مورد نظر برحسب واحد انرژی و  $E.F_{GHG, fuel}$  ضریب انتشار آلاینده گازهای گلخانه ای برای نوع سوخت برحسب kg واحد انرژی است.

$$CO_2 \text{ Emissions}_{GHG, fuel} \quad (۲)$$

$$= Fuel \text{ Combustion}_{fuel} * EF_{GHG, fuel}$$

گام ۴) تعیین سرانه انتشار  $CO_2$  از احتراق سوخت: میزان انتشار  $CO_2$  در سال ۱۳۹۸ در ایران براساس معادله ۳ به دست می آید. در این معادله،  $CO_2 \text{ Emission}_{98, Iran}$  میزان انتشار گاز  $CO_2$  در سال ۱۳۹۸ از بخش حمل و نقل،  $CO_2 \text{ Emission}_{94, Iran}$  میزان انتشار  $CO_2$  در سال ۹۴ و  $GR$  میانگین رشد ۱۰ ساله انتشار  $CO_2$  از بخش حمل و نقل است (در ۱۰ سال اخیر برابر ۱/۶ درصد است). سرانه انتشار  $CO_2$  از بخش حمل و نقل بر اساس جمعیت ایران در سال ۱۳۹۸ برآورد می شود (براساس آخرین آمار ترازنامه انرژی کشور در سال ۱۳۹۴، میزان انتشار  $CO_2$  در بخش حمل و نقل در ایران معادل  $109371000 \text{ ton/year}$  (معادل  $109371 \text{ Gg/year}$ ) است.

گام ۵) تعیین سهم بخش حمل و نقل شهر همدان از

گام ۷) تحلیل ناحیه‌ای سهم آلودگی کربن در محله بندی شهر: به‌منظور تحلیل فضایی و بررسی آماری سهم محله بندی شهر همدان از کربن حاصل از ترافیک از ابزار تحلیل ناحیه‌ای (Zonal Statistics) و آماره میانگین برای هر واحد استفاده شد.

### یافته‌ها

در شکل ۲ (بالا) نمونه‌هایی از تصاویر ترافیکی ساعت‌های مختلف براساس برنامه پایش ترافیک و در شکل ۲ (پایین) نمونه‌هایی از وضعیت ترافیک در واقعیت نشان داده شده است. براساس نتایج کدبندی و میانگین‌گیری تصاویر ساعتی ترافیک معابر شهری همدان، ساعت‌های اوج ترافیک در روزهای کاری، آخر هفته و میانگین کل هفته در جدول ۱ نشان داده شده است.

کشور در سال ۱۳۹۴،  $CH_4$  Emission 98.Iran میزان انتشار گاز  $CH_4$  در سال ۱۳۹۸ از بخش حمل‌ونقل،  $CH_4$  Emission 94.Iran میزان انتشار  $CH_4$  در سال ۱۳۹۴ (برابر با ۴۹۱۴۰ ton/year) و GR میانگین رشد ۱۰ ساله انتشار  $CH_4$  از بخش حمل‌ونقل است که برای ۱۰ سال اخیر برابر ۴/۵ درصد است.

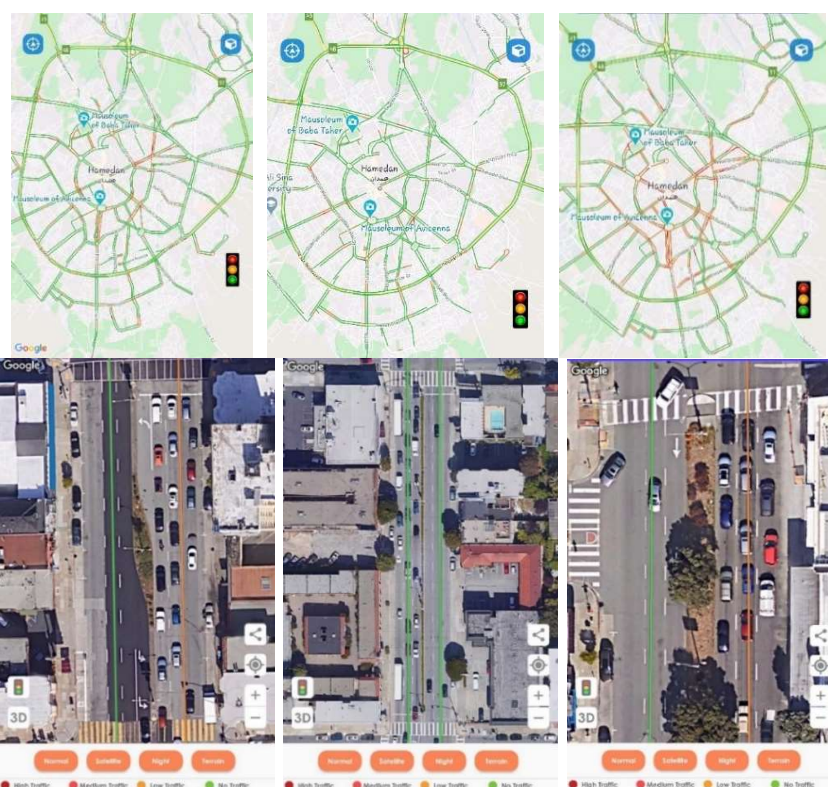
(۶)

$$CH_4 \text{ Emission}_{98.Iran} = CH_4 \text{ Emission}_{94} * (Q^4)$$

$$CH_4 \text{ Emission}_{98.Hamadan} = \frac{P_{Hamadan(98)}}{P_{Iran(98)}} \times CH_4 \text{ Emission}_{98.Iran}$$

$$P_{Hamadan(98)} = P_{Hamadan(95)} / (GR^3)$$

$$D_t = CH_4 \text{ Emissions (per road)} = \frac{A \times ER}{SUM ER} \times CH_4 \text{ Emission}_{98.Hamadan}$$



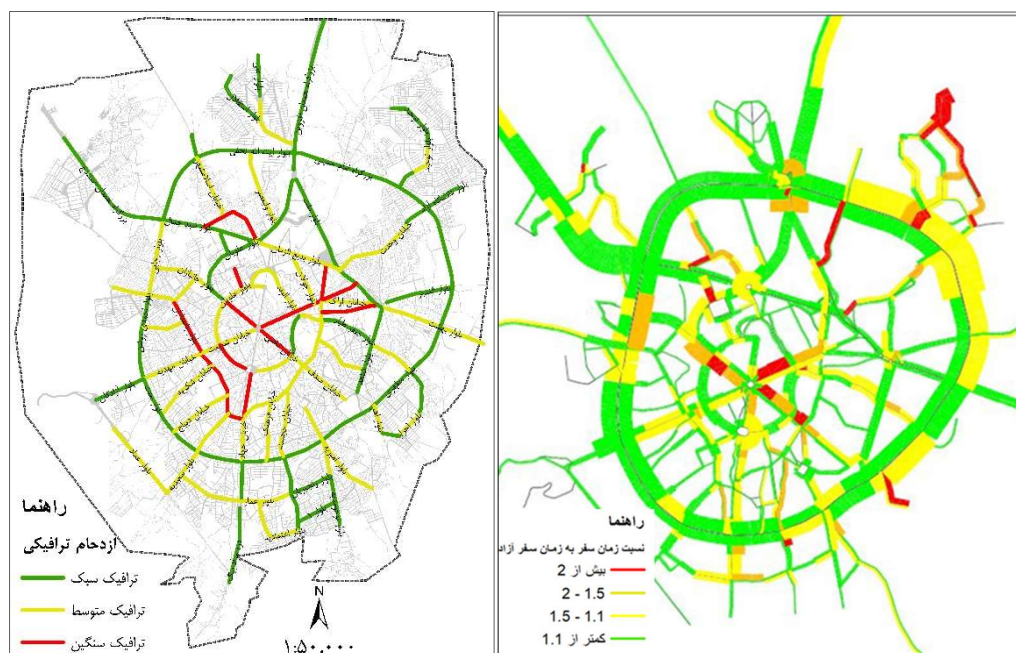
شکل ۲- ازدحام در خیابان‌های همدان در ساعات مختلف (بالا)؛ نمایی از جریان ترافیک (پایین)

(مجموع تمام وسایل نقلیه برحسب وسیله نقلیه همسنگ سواری) در کمان‌ها به صورت عرض کمان و متناسب با حجم جریان و چگونگی حرکت به صورت رنگ‌های مختلف است. چگونگی حرکت برحسب نسبت زمان سفر به زمان سفر آزاد (یعنی زمان سفر زمانی که حجم ترافیک صفر است) در هر کمان تعریف می‌شود. حرکت‌های روان، آرام، کند و بحرانی به ترتیب، مربوط به حالاتی می‌شوند که این نسب کمتر از  $1/10$  (سبز)،  $1/5-1/10$  (زرد)،  $2-1/5$  (نارنجی)، و بیشتر از  $2$  (رنگ سبز) (شکل ۳، چپ) است.

نقشه نهایی میانگین ازدحام ترافیکی در محدوده شهر همدان نیز در (شکل ۳، چپ) نشان داده شده است. معابر سبز دارای ترافیک سبک، رنگ زرد نشان‌دهنده ترافیک متوسط و رنگ قرمز نشان‌دهنده ترافیک سنگین است که مقایسه آن با مدل تخصیص ترافیک حاصل از طرح جامع ترافیک و حمل‌ونقل شهر همدان (شکل ۳، راست) جهت اعتبارسنجی قابل استفاده است. در مدل تخصیص ترافیک حجم ترافیک همسنگ سواری و چگونگی حرکت در شبکه خیابانی شهر همدان نشان داده شده است. به طوری که حجم ترافیک

جدول ۱- ساعات‌های اوج ترافیک در شهر همدان

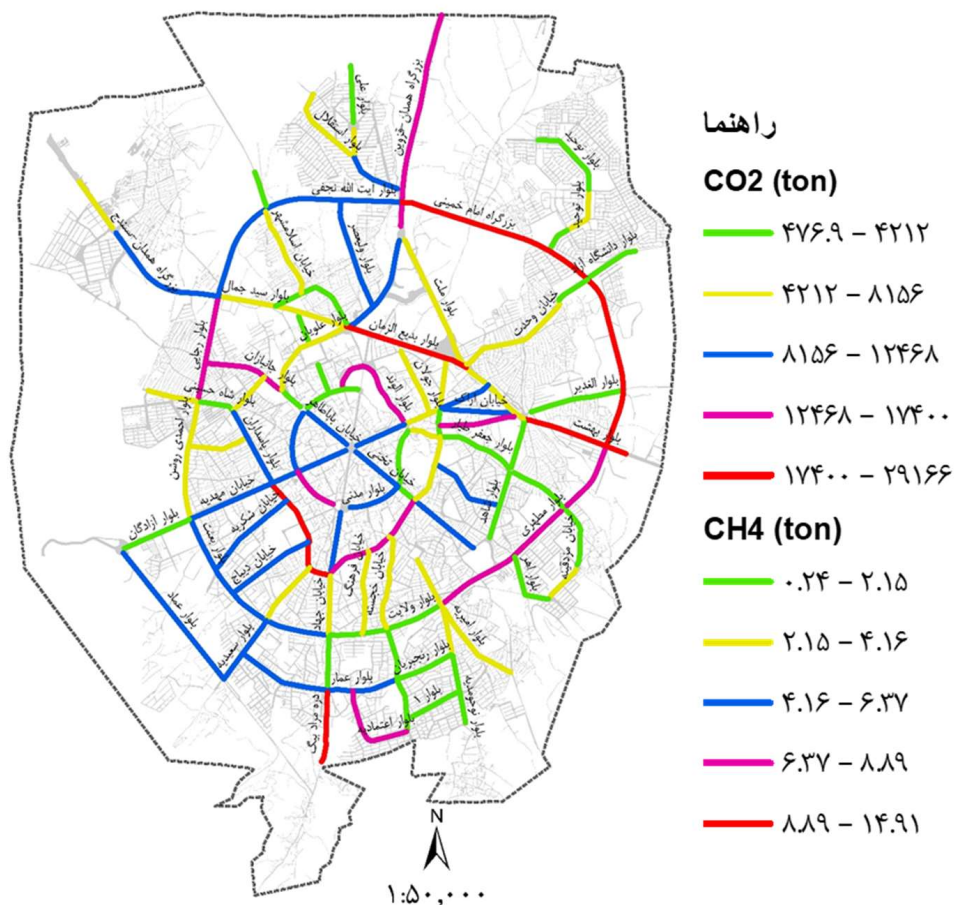
روزهای کاری	روزهای آخر هفته	میانگین کل هفته
۷-۹ صبح	۹-۱۱ صبح	۹-۱۱ صبح
۱۲-۱۴ ظهر	۲۰-۲۲ شب	۱۲-۱۴ ظهر
۱۸-۱۶ بعد از ظهر	-	۱۸-۲۰ بعد از ظهر
۲۰-۲۲ شب	-	۲۲-۲۰ شب



شکل ۳- نقشه نهایی میانگین ازدحام در خیابان‌های همدان در روزهای کل هفته (چپ)؛ حجم ترافیک همسنگ سواری و چگونگی حرکت آنها براساس مدل تخصیص در شبکه خیابانی شهر همدان (راست)

براساس نتایج، میزان انتشار  $CO_2$  از بخش حمل‌ونقل در ایران در سال ۱۳۹۴ معادل  $109371000 \text{ ton/year}$  بوده است که با میانگین رشد ۱۰ ساله انتشار  $CO_2$  برابر ۱/۶ درصدی، میزان انتشار از این بخش در سال ۱۳۹۸ به  $116540269 \text{ ton/year}$  رسیده است. سرانه انتشار  $CO_2$  در بخش حمل‌ونقل نیز  $6498 \text{ kg}$  به ازای هر فرد به‌دست آمد. همچنین، جمعیت همدان در سال ۱۳۹۵ براساس آخرین سرشماری  $554406$  نفر شمارش گردید که در چند سال اخیر با نرخ رشد منفی ۰/۲ درصدی برای سال ۱۳۹۸ حدود  $551093$  نفر (جمعیت  $CO_2$  منتشر شده از بخش حمل‌ونقل نیز در شهر همدان در سال

۱۳۹۸ حدود  $776000 \text{ ton/year}$  برآورد شد. براساس ضریب وزنی تخصیص داده شده در مدل تخصیص به هر معبر و همچنین مساحت معبر و در نظر گرفتن میانگین ازدحام هر معبر براساس نقشه میانگین ازدحام معابر، میزان انتشار  $CO_2$  به تفکیک هر معبر به‌دست آمد. سهم انتشار  $CH_4$  از بخش حمل‌ونقل نیز در شهر همدان  $397 \text{ ton}$  در سال ۱۳۹۸ برآورد شد (در ایران سهم بخش حمل‌ونقل از انتشار متان حدود  $59569 \text{ ton}$  در سال ۱۳۹۸ بوده است). در شکل ۴ نقشه نهایی میزان  $CO_2$  و  $CH_4$  منتشرشده توسط معابر برحسب  $\text{ton/year}$  براساس مساحت معابر، ضریب وزنی آلودگی هر معبر و وضعیت ازدحام آن به‌صورت طبقات ۵ گانه نشان داده

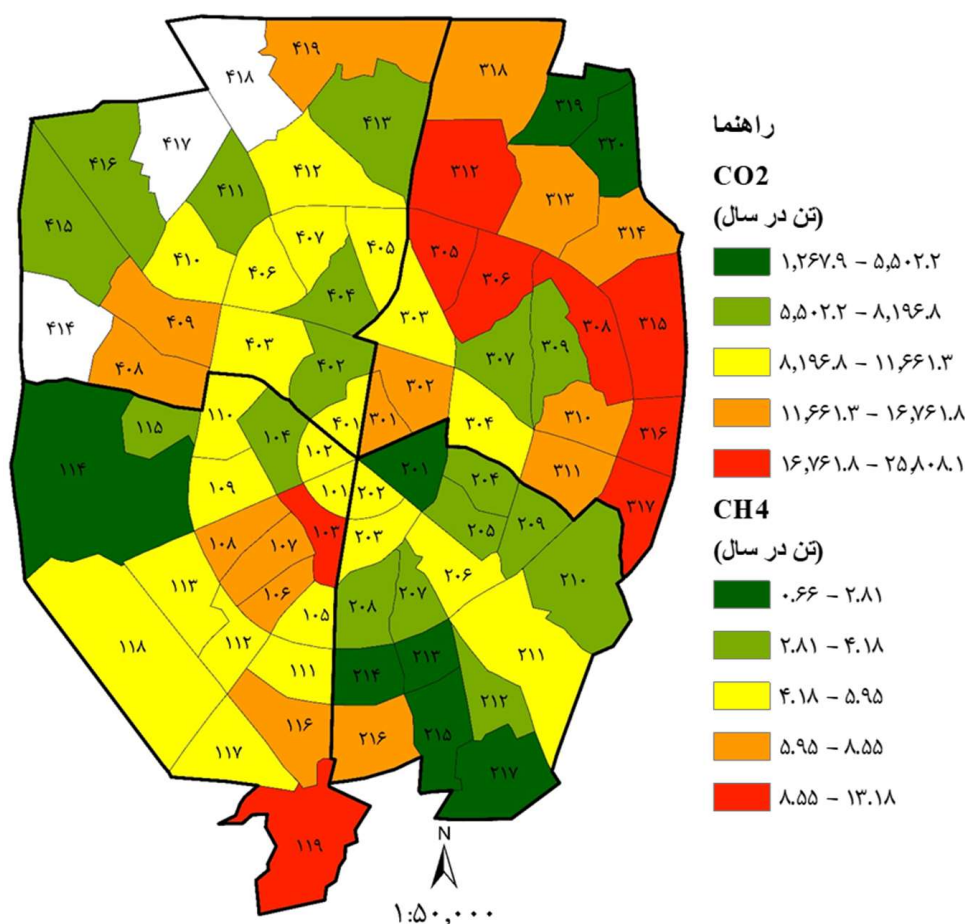


شکل ۴- میزان انتشار دی‌اکسید کربن و متان در شبکه معابر شهری همدان

است که این مقدار برای  $\text{CO}_2$  از ۱۲۶۸-۲۵۸۰۸ ton و برای  $\text{CH}_4$  از ۰/۶۵-۱۳/۱۸ ton در سال ۱۳۹۸ برای هر محله متغیر است. براساس نتایج تحلیل مکانی، بیشترین سهم انتشار دی اکسید کربن مربوط به محله ۳۱۶ با ۲۵۸۰۸ ton و کمترین میزان انتشار  $\text{CO}_2$  از بخش حمل و نقل مربوط به محله ۲۱۷ با تولید  $\text{CO}_2$  ۱۲۶۸ ton است. بیشترین و کمترین میزان سهم انتشار  $\text{CH}_4$  نیز به ترتیب برابر با ۱۳/۱۷ ton/year (محله ۳۱۶) و ۰/۶۵ ton/year (محله ۲۱۷) که نسبت به دی اکسید کربن دارای سهم کمتری است. نواحی ۴۱۷، ۴۱۸ و ۴۱۴ به دلیل عدم وجود جاده‌های اصلی و فرعی آسفالت‌ه فاقد انتشار کربن هستند.

شده است که رنگ سبز دارای کمترین میزان آلودگی کربن و رنگ قرمز دارای بالاترین بار آلودگی کربن است. براساس نتایج، ۴۱ خیابان دارای ضریب وزنی ۰/۵، ۴۸ خیابان ضریب وزنی ۱/۵ و ۱۳ خیابان دارای ضریب وزنی ۲/۵ هستند. بیشترین بار آلودگی  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  مربوط به بزرگراه امام خمینی ( $\text{CO}_2$  ۲۹۱۶۶ ton/year و  $\text{CH}_4$  ۱۴/۹ ton/year) و کمترین مقدار مربوط به بلوار دانشگاه آزاد ( $\text{CO}_2$  ۴۷۷ ton/year و  $\text{CH}_4$  ۰/۲۴) است.

نتایج تحلیل ناحیه‌ای براساس آماره میانگین و سهم هر محله از انتشار  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  منتشره از شبکه حمل و نقل نیز برحسب ton/year در شکل ۵ نشان داده شده



شکل ۵- تحلیل ناحیه‌ای میزان دی اکسید کربن و متان منتشره از معابر جاده‌ای بر حسب ton/year

## بحث

براساس گزارش هیدروکربوری کشور (۱۳۹۶) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای  $\text{CH}_4$ ،  $\text{SO}_2$ ،  $\text{PM}$ ،  $\text{NO}_2$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{HC}$  و  $\text{CO}_2$  در سال ۱۳۹۴ در بخش حمل‌ونقل به ترتیب ۴۹، ۹۷، ۲۷۲، ۱۷۴۰، ۲۰۱۱، ۲۰۶۷ و ۱۰۹۳۷۱ هزار تن در سال بوده که سهم این گازها در میان بخش‌های مختلف (خانگی-تجاری، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی، نیروگاه و پالایشگاه) نیز به ترتیب ۸۱/۹، ۱۸/۶، ۸۵/۷، ۶۸/۱، ۹۴/۳ و ۲۱/۳ درصد است که در طول ده سال اخیر نیز میزان تولید این گازها در بخش حمل‌ونقل به ترتیب دارای رشد ۴/۹، ۰/۴، ۰/۲، ۰/۵۹، ۰/۶، ۱/۶ درصدی بوده است. گازهای گلخانه‌ای  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  دارای میانگین رشد بیشتری نسبت به سایر گازها در بخش حمل‌ونقل هستند؛ لذا بررسی این دو گاز حائز اهمیت است. براساس تصاویر ترافیکی شهر همدان، بیشترین ازدحام ترافیکی در روزهای کاری هفته مربوط به ساعت ۹-۷ صبح است که این ترافیک صبحگاهی مربوط به مدارس و شروع ادارات است. همچنین پایان ساعات کاری مدارس و ادارات نیز در ساعات ۱۲-۱۴ بالاترین بار ترافیکی را دارد. میزان انتشار  $\text{CO}_2$  از بخش حمل‌ونقل به ترتیب برای کل ایران و شهر همدان به ترتیب  $116540269 \text{ ton/year}$  و  $776000 \text{ ton/year}$  برآورد شده است. سهم بخش حمل‌ونقل در انتشار کل دی‌اکسید کربن ۲۳ درصد است که از این مقدار ترافیک جاده‌ای مسئولیت تقریباً سه چهارم این انتشارات را بر عهده دارد (۴). در این پژوهش نیز میزان انتشار دی‌اکسید کربن در بخش حمل‌ونقل ۳۴ درصد است. نتایج پژوهش Nasrollahi و همکار که جهت تخمین آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه عمومی درون شهری با مراجعه به سازمان تاکسیرانی و اتوبوسرانی شهرستان یزد و همچنین مراجعه میدانی در بین رانندگان جمع‌آوری شده است نشان می‌دهد که تنها تردد وسایل نقلیه عمومی در شهرستان یزد باعث انتشار سالانه  $68934 \text{ ton}$  دی‌اکسید کربن در سال ۱۳۹۸ می‌گردد (۳۲) که در این پژوهش

برای کل وسایل نقلیه موجود در شهر همدان  $776000 \text{ ton}$  در سال برآورد شده است. میزان انتشار  $\text{CH}_4$  نیز به ترتیب  $59569 \text{ ton/year}$  و  $397 \text{ ton/year}$  برای کل ایران و شهر همدان است که در مقایسه با میزان انتشار دی‌اکسید کربن بسیار ناچیز است. در شبکه جاده‌ای مناطق شهری، جابجایی تعداد زیادی وسیله نقلیه منجر به انتشار حجم انبوهی از گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا می‌شود. مناطق شهری حجم نامتناسبی از انتشارات حاصل از ترافیک جاده‌ای را در مقایسه با اندازه جغرافیایی آنها تولید می‌کنند که نیازمند تلاش بی‌وقفه جهت کاهش میزان این انتشارات است (۷). براساس میانگین ازدحام به دست آمده از هر جاده و همچنین مدل تخصیص، به هر یک از معابر ضریب وزنی تخصیص داده شد؛ به طوری که معابر دارای ازدحام کم و حرکت روان (رنگ ازدحام سبز) دارای ضریب وزنی ۰/۵، حرکت کند (رنگ ازدحام زرد) دارای ضریب وزنی ۱/۵ و حرکت بحرانی (رنگ ازدحام قرمز) دارای ضریب وزنی ۲/۵ است. بر این اساس، بزرگراه امام خمینی و خیابان میرزاده عشقی تولیدکننده بیشترین میزان  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  هستند. در سایر مطالعات از جمله Alzard و همکاران جهت برآورد گازهای گلخانه‌ای منتشره از جاده از مدل‌سازی تنها در دو خیابان اصلی و یک خیابان فرعی صورت گرفته است که طبق نتایج آنها میزان انتشار گاز گلخانه‌ای از  $76 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2\text{/y}$  برای خیابان‌های فرعی تا  $1100 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2\text{/y}$  برای خیابان‌های اصلی متغیر است (۵). در این پژوهش نیز  $107 \text{ kg CO}_2\text{/m}^2\text{/y}$  برای خیابان‌های فرعی تا  $535 \text{ kg CO}_2\text{/m}^2\text{/y}$  برای خیابان‌های اصلی تخمین زده شده است. بزرگراه امام خمینی تولیدکننده سالانه حدود  $29166 \text{ ton CO}_2$  و  $\text{ton CH}_4$  است. ضریب وزنی در نظر گرفته شده برای این دو معبر ۰/۵ است و بدین معنی است که دارای کمترین میزان ازدحام هستند. در این بزرگراه سرعت مجاز  $100 \text{ km/h}$  است و به دلیل عرض معبر بیشتر (۵۵ متری) و تعداد خطوط بیشتر گنجایش تعداد بیشتری خودرو با سرعت

بیشتر را دارد. از این رو، خودروها بدون ازدحام و با سرعت بالا در حال حرکت هستند که سرعت وسیله نقلیه از عوامل تاثیرگذار بر میزان انتشار کربن است و مشابه پژوهش Abou-Senna و همکاران اثبات شده است که ضریب انتشار کربن وابسته به سرعت است (۲۵). خیابان میرزاده عشقی نیز دومین خیابان اصلی تولیدکننده آلودگی با  $24453 \text{ ton/year CO}_2$  و  $12/5 \text{ ton/year CH}_4$  است. ضریب وزنی این خیابان  $2/5$  و میانگین ازدحام نیز به صورت ترافیک سنگین است. سرعت مجاز در این خیابان  $60 \text{ km/h}$  و عرض معبر  $30 \text{ m}$  است اما به دلیل تخلف رانندگان در پارک‌های حاشیه‌ای غیرمجاز و حضور تعداد بالایی از خودروها در محل سرعت کاهش و خودروها در وضعیت توقف-حرکت قرار دارند. تسهیل تردد و روان شدن ترافیک خیابان میرزاده عشقی جهت کاهش تعداد خودروها و کاهش عملکردهایی از جمله وضعیت توقف-حرکت و وسایل نقلیه که منجر به مصرف سوخت بیشتر و متعاقب آن تولید آلودگی کربن بیشتر می‌گردد (۱۶)، (۲۱) ضروری است. کمترین بار آلودگی نیز مربوط به بلوار دانشگاه آزاد است (سرعت مجاز  $60 \text{ km/h}$ ) که در سال حدود  $477 \text{ ton CO}_2$  و  $0/24 \text{ ton CH}_4$  تولید می‌کند. براساس مدل تخصیص ترافیک ضریب وزنی این بلوار  $0/5$  و براساس نقشه ازدحام میانگین سالانه ترافیک نشان از ترافیک روان (رنگ سبز) است. تعداد پایین خودروها، سرعت مجاز و همچنین ترافیک روان و بدون توقف-حرکت عامل کاهش میزان کربن تولیدی در بلوار مذکور است.

از طرفی، Taromi و همکاران نیز در شهر زنجان به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس فرمول‌های پیشنهادی مکانیسم توسعه پاک (CDM) پرداختند (۶). از این رو، مطابق پژوهش حاضر می‌توان بدون سنجش میدانی به میزان تقریبی انتشار این گازها در سال براساس اطلاعات موجود و روابط ریاضی دست یافت. پژوهش Bharadwaj و همکاران نیز نشان داد که شاخص زمان سفر، به‌عنوان شاخص قابل قبولی ازدحام، نشان‌دهنده افزایش ۵۱

درصدی زمان سفر در شرایط ازدحام مسئول افزایش ۵۳ درصدی انتشار  $\text{CO}_2$  حاصل از مصرف سوخت توسط در خیابان‌ها است (۱۳) که مشابه هدف پژوهش حاضر، شاخص ازدحام می‌تواند به‌عنوان شاخص قابل قبولی از وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. Grote و همکاران نیز به بررسی اثر ازدحام در انتشار  $\text{CO}_2$  حاصل از ترافیک شهری به صورت مدل‌سازی با ورودی‌های سرعت خودروها، نوع جاده، خصوصیات ترافیکی و الگوهای رانندگی خودروهای منفرد پرداختند (۷). اما در این پژوهش، ازدحام به‌عنوان شاخصی جایگزین تمام اندازه‌گیری‌های میدانی معرفی شده است که مستلزم صرف زمان و هزینه کمتر است. مشابه پژوهش Dargahi و همکاران که جهت بررسی میزان آلاینده‌های خروجی از آگزوز اتومبیل‌های شهر کرمانشاه از روش نمونه‌گیری از ۲۰۷ اتومبیل استفاده کردند (۲۷).

براساس تحلیل ناحیه‌ای، محله ۳۱۶ با بالاترین سهم در انتشار دی‌اکسید کربن و با مساحت  $61/4 \text{ ha}$  دارای  $31 \text{ ha}$  فضای سبز ( $1/1$  درصد کل فضای سبز شهری) است ( $8/5 \text{ ha}$  زمین کشاورزی،  $6/8 \text{ ha}$  باغ،  $0/17 \text{ ha}$  پارک،  $8/5 \text{ ha}$  زمین رهاشده و  $59 \text{ m}^2$  تاج پوشش) است. در این محله  $896 \text{ m}$  خیابان اصلی قرار دارد و مساحت معابر موجود  $6 \text{ ha}$  است. بیشترین فضای سبز موجود از نوع زمین‌های کشاورزی است که دارای پایین‌ترین پتانسیل جذب و ذخیره کربن اتمسفری هستند و همچنین خود یکی از عوامل انتشار کربن خاک به اتمسفر به دلیل خاک‌ورزی و شخم زدن هستند (۳۳). بیشترین مساحت فضای سبز در محله ۳۱۶ مربوط به زیرساخت کشاورزی با پوشش علفی است و مطالعه Moulton و همکاران نیز نشان داده است که افزایش تعداد درختان به طور بالقوه تجمع کربن اتمسفری را کاهش دهد (۳۴). مساحت محله ۲۱۷ (کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن) حدود  $122/5 \text{ ha}$  است و مساحت فضای سبز موجود  $74 \text{ ha}$  ( $2/61$  درصد) است ( $8/5 \text{ ha}$  زمین کشاورزی،  $59 \text{ ha}$  باغ،  $210 \text{ m}^2$  پارک،

بیشتر را دارد. از این رو، خودروها بدون ازدحام و با سرعت بالا در حال حرکت هستند که سرعت وسیله نقلیه از عوامل تاثیرگذار بر میزان انتشار کربن است و مشابه پژوهش Abou-Senna و همکاران اثبات شده است که ضریب انتشار کربن وابسته به سرعت است (۲۵). خیابان میرزاده عشقی نیز دومین خیابان اصلی تولیدکننده آلودگی با  $24453 \text{ ton/year CO}_2$  و  $12/5 \text{ ton/year CH}_4$  است. ضریب وزنی این خیابان  $2/5$  و میانگین ازدحام نیز به صورت ترافیک سنگین است. سرعت مجاز در این خیابان  $60 \text{ km/h}$  و عرض معبر  $30 \text{ m}$  است اما به دلیل تخلف رانندگان در پارک‌های حاشیه‌ای غیرمجاز و حضور تعداد بالایی از خودروها در محل سرعت کاهش و خودروها در وضعیت توقف-حرکت قرار دارند. تسهیل تردد و روان شدن ترافیک خیابان میرزاده عشقی جهت کاهش تعداد خودروها و کاهش عملکردهایی از جمله وضعیت توقف-حرکت و وسایل نقلیه که منجر به مصرف سوخت بیشتر و متعاقب آن تولید آلودگی کربن بیشتر می‌گردد (۱۶)، (۲۱) ضروری است. کمترین بار آلودگی نیز مربوط به بلوار دانشگاه آزاد است (سرعت مجاز  $60 \text{ km/h}$ ) که در سال حدود  $477 \text{ ton CO}_2$  و  $0/24 \text{ ton CH}_4$  تولید می‌کند. براساس مدل تخصیص ترافیک ضریب وزنی این بلوار  $0/5$  و براساس نقشه ازدحام میانگین سالانه ترافیک نشان از ترافیک روان (رنگ سبز) است. تعداد پایین خودروها، سرعت مجاز و همچنین ترافیک روان و بدون توقف-حرکت عامل کاهش میزان کربن تولیدی در بلوار مذکور است.

از طرفی، Taromi و همکاران نیز در شهر زنجان به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس فرمول‌های پیشنهادی مکانیسم توسعه پاک (CDM) پرداختند (۶). از این رو، مطابق پژوهش حاضر می‌توان بدون سنجش میدانی به میزان تقریبی انتشار این گازها در سال براساس اطلاعات موجود و روابط ریاضی دست یافت. پژوهش Bharadwaj و همکاران نیز نشان داد که شاخص زمان سفر، به‌عنوان شاخص قابل قبولی ازدحام، نشان‌دهنده افزایش ۵۱

۶ ha زمین رها شده و ۰/۱۷ ha تاج پوشش) است. در این محله خیابان اصلی وجود ندارد و مساحت معابر موجود ۱۱ ha است. یکی از دلایل کاهش آلودگی کربن می‌تواند ترسیب کربن توسط فضاهای سبز موجود در منطقه از جمله پوشش درختی (باغ، پارک) و عدم وجود خیابان‌های اصلی است که در مطالعاتی نیز از جمله Strohbach و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان داده شده است که درختان در محیط شهری از جمله پارک‌ها منجر به حذف دی اکسید کربن از اتمسفر می‌شوند و کربن اضافی به صورت زی توده در ریشه‌ها، ساقه، شاخ و برگ‌ها ذخیره می‌شوند (۳۵).

### نتیجه‌گیری

امروزه موضوع حمل‌ونقل شهری به‌عنوان پدیده‌ای اجتماعی نقش بسیار مهمی را در ساختار اقتصادی-اجتماعی یک جامعه شهری ایفا می‌کند. از این‌رو، یکی از ملزومات مدیریت شهری، برآورد میزان کربن تولید شده از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل‌ونقل شهری به‌عنوان یکی از مهمترین بخش‌های توسعه اقتصادی است. عوامل بسیاری از جمله زمان و فاصله سفر، میزان مصرف سوخت و نوع و کیفیت سوخت مصرفی، آگزوز خودرو، جریان ترافیک، سرعت لحظه‌ای و شتاب خودرو، رفتار راننده، تغییرات دنده خودرو، نوع و شیب جاده، بار مفید و عمر خودرو، شرایط آب و هوایی و دمای محیط، نوع خودروها، استفاده از قطعات یدک‌کش و غیره بر میزان انتشار کربن به اتمسفر تاثیرگذار هستند که اندازه‌گیری آنها جهت انجام مدل‌سازی و روابط رگرسیونی مستلزم صرف زمان و هزینه بسیار است. از این‌رو، جهت برآورد میزان انتشارات گازهای گلخانه‌ای می‌توان از یک شاخص به‌عنوان نماینده تمام عوامل مؤثر بر انتشار استفاده کرد. از این‌رو، شاخص ازدحام به همراه مدل تخصیص ترافیک می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی برای میزان انتشار کربن از سوی معابر شهری در نظر گرفته شوند.

بر این اساس، در این مطالعه سهم تمامی معبرهای شهری در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، و همچنین میزان انتشار در محله‌های مختلف شهر همدان مشخص گردید و میزان انتشار در هر معبر و هر محله هم برآورد شد. این طبقه‌بندی می‌تواند با توجه به ظرفیت جذب گازهای گلخانه‌ای در هر واحد کاری، مبنایی جهت به‌دست آوردن بیلان انتشار و جذب قرار گیرد که پایه و اساس برنامه‌ریزی اقدامات اجرایی از جمله مدیریت فضاهای سبز شهری جهت ترسیب کربن منتشره از ترافیک شهری جهت کنترل انتشار در سطح محلی است. بنابراین، نقش ترافیک شهری در محیط‌زیست از لحاظ انتشار گازهای گلخانه‌ای به منظور دستیابی به توسعه پایدار از مهمترین جنبه‌های اهمیت این بخش در توسعه اقتصادی پایدار شهری است. از طرفی تلاش جهت کاهش انتشار از طریق اصلاح ساختاری و سازمان‌دهی، به‌طور حتم مهمترین اقدام و دارای اولویت بالاتر خواهد بود. اقدامات پیشنهادی در جهت کاهش بار آلودگی کربن در منطقه مورد مطالعه شامل بهینه‌سازی مصرف سوخت، استفاده از سوخت‌های پاک و همچنین روان‌سازی و مدیریت جریان ترافیک به همراه افزایش زیرساخت‌های سبز در منطقه و خصوصا اطراف معابر است. زیرا فضای سبز از جمله پوشش درختی دارای خدمت اکوسیستمی ترسیب و ذخیره‌سازی کربن هستند دارای پتانسیل بالایی در جذب و ذخیره کربن منتشره از بخش حمل‌ونقل هستند. در نهایت، نتیجه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که شاخص ازدحام به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در تخمین گازهای گلخانه‌ای نقش مهمی ایفا می‌کند اما شناخت کاستی‌ها و موانع پژوهش نیز تابعی از اطلاعات بروز شده در ترازنامه انرژی کشور است که متأسفانه اطلاعات مصرف انرژی و مجموع انتشارات گازهای گلخانه‌ای کشور در هر سال با فاصله زمانی دوساله منتشر می‌شود؛ که در این صورت می‌بایست از روابط ریاضی و نرخ رشد

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "ارزیابی و نقشه‌سازی ظرفیت خدمات اکوسیستمی حاصل از زیرساخت‌های سبز در فرآیند برنامه‌ریزی شهری همدان" در سال ۱۳۹۸ با کد ۹۶۰۱۶۳۶۳ است که با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا شده است.

برای تبدیل و تخمین اطلاعات برای سال‌های مدنظر استفاده نمود.

## ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

## References

1. International Energy Agency. World energy outlook 2012, Paris: International Energy Agency; 2012.
2. Ehsani M, Ahmadi A, Fadaei D. Modeling of vehicle fuel consumption and carbon dioxide emission in road transport. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;53:1638-48.
3. Sil Â, Fonseca F, Gonçalves J, Honrado J, Marta-Pedroso C, Alonso J, et al. Analysing carbon sequestration and storage dynamics in a changing mountain landscape in Portugal: insights for management and planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. 2017;13(2):82-104.
4. International Energy Agency. Technology roadmap - Carbon capture and storage 2013. Paris: International Energy Agency; 2013.
5. Alzard MH, Maraqa MA, Chowdhury R, Khan Q, Albuquerque FDB, Mauga TI, et al. Estimation of greenhouse gas emissions produced by road projects in Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Sustainability*. 2019;11(8):2367.
6. Taromi A, Motesaddi S, Abedi Z, Ali Panahi B. Study on greenhouse gases emissions due to fossil fuel consumption in intercity transportation sector and estimate the reduction of external and social costs with respect to switching natural gas (Case study: Zanzan City). *Environmental Researches*. 2016;6(12):15-24 (in Persian).
7. Grote M, Williams I, Preston J, Kemp S. Including congestion effects in urban road traffic CO2 emissions modelling: Do local government authorities have the right options? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2016;43:95-106.
8. Kakouei A, Vatani A, Idris AK. An estimation of traffic related CO2 emissions from motor vehicles in the capital city of, Iran. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2012;9(1):13. doi: 10.1186/1735-2746-9-13.
9. International Energy Agency. Sustainable production of second-generation biofuels. Paris: IEA; 2010.
10. Mahdavi S, Almasi M, Soheili Q. Investigating the differences in CO2 emission in the transport sector across Iranian provinces: Evidence from a quantile regression model. *Quarterly Energy Economics Review*. 2019;15(62):131-54.
11. Khodadad Kashi F, Akbari Tafti M, Mosavi Y, Khosravi Nezhad AA. Calculating the social costs of carbon dioxide emissions in different provinces of Iran. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*. 2016;2(1):77-110 (in Persian).
12. Smit R, Brown AL, Chan YC. Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow? *Environmental Modelling & Software*. 2008;23(10):1262-70.
13. Bharadwaj S, Ballare S, Rohit, Chandel MK. Impact of congestion on greenhouse gas emissions for road transport in Mumbai metropolitan region.

- Transportation Research Procedia. 2017;25:3538-51.
14. Byrne GE, Mulhall SM. Congestion management data requirements and comparisons. *Transportation Research Record*. 1995;1499:28-36.
  15. Boarnet MG, Kim EJ, Parkany E. Measuring traffic congestion. *Transportation Research Record*. 1998;1634(1):93-99.
  16. Dong Y, Xu J, Liu X, Gao C, Ru H, Duan Z. Carbon emissions and expressway traffic flow patterns in China. *Sustainability*. 2019;11(10):2824.
  17. Li HN, Chau CK, Tang SK. Can surrounding greenery reduce noise annoyance at home? *Science of The Total Environment*. 2010;408(20):4376-84.
  18. Li Z, Chen L, Xu S, Qian Y. Analytical studies of CO<sub>2</sub> emission in a mixed traffic flow with different vehicles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2014;413:320-28.
  19. Taylor M. Exploring the nature of urban traffic congestion: concepts, parameters, theories and models. 16th ARRB Conference; 9-13 November 1992; Perth, Western Australia.
  20. Yan X, Crookes RJ. Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2010;36(6):651-76.
  21. Hemmerle P, Koller M, Rehborn H, Kerner B, Schreckenberg M. Fuel consumption in empirical synchronised flow in urban traffic. *Iet Intelligent Transport Systems*. 2016;10:122-29.
  22. Choudhary A, Gokhale S. Urban real-world driving traffic emissions during interruption and congestion. *Transportation Research Part D-transport and Environment*. 2016;43:59-70.
  23. Madireddy M, De Coensel B, Can A, Degraeuwe B, Beusen B, De Vlieger I, et al. Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2011;16(7):504-508.
  24. Smit R, Ntziachristos L, Boulter P. Validation of road vehicle and traffic emission models – A review and meta-analysis. *Atmospheric Environment*. 2010;44(25):2943-53.
  25. Abou-Senna H, Radwan E. VISSIM/MOVES integration to investigate the effect of major key parameters on CO<sub>2</sub> emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2013;21:39-46.
  26. Barth M, Boriboonsomsin K. Real-world carbon dioxide impacts of traffic congestion. *Transportation Research Record*. 2008;2058(1):163-71.
  27. Dargahi A, Golestanifar H, Alavi S. Investigating the amount of pollutants emitted from car exhaust in Kermanshah and its impact on human health. *Second National Conference on Health, Safety and Environment (HSE)*; 2014; Tehran (in Persian).
  28. Ashrafi K, Shafie Pour Motlagh M, Mousavi MS, Niksokhan MH, Vosoughifar HR. Determining the contribution of gas emissions from cars and estimating the distribution of CO emissions in enclosed parking. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;8(4):447-58 (in Persian).
  29. Velayatzadeh M, Davazdah Emami S. Carbon footprint emissions and their relationship with energy consumption in Yadavaran Oil Field in Khuzestan Province, Iran. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2019;17(1):47-60 (in Persian).
  30. Rezaei F, Falahatkar S, Dadashpoor H. Quantifying the relationship between carbon dioxide gas emission in relation to the compactness dimension of urban form. *Environmental Sciences*. 2018;16(2):31-48.
  31. Zhao C, Sander HA. Quantifying and mapping the supply of and demand for carbon storage and sequestration service from urban trees. *PLoS One*. 2015;10(8):e0136392.
  32. Nasrollahi Z, Poushdoubashi H. Estimation of air pollution caused by public transport yazd city. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;22(2):15-29 (in Persian).
  33. Chaplot V, McHunu CN, Manson A, Lorentz S, Jewitt G. Water erosion-induced CO<sub>2</sub> emissions from tilled and no-tilled soils and sediments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2012;159:62-69.

34. Moulton RJ, Richards KR, United S, Forest S. Costs of sequestering carbon through tree planting and forest management in the United States. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Library; 1990.
35. Strohbach MW, Arnold E, Haase D. The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*. 2012;104(2):220-29.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Estimation of greenhouse gases emissions from urban traffic: a case study of Hamadan city

Kamran Shayesteh<sup>1</sup>, Shiva Gharibi<sup>1\*</sup>, Behnaz Attaiean<sup>2</sup>

1- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

2- Department of Rangelands and Watershed Management, Malayer University, Malayer, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 9 February 2021

**Revised:** 14 March 2021

**Accepted:** 16 March 2021

**Published:** 17 March 2021

**Keywords:** Fossil fuel, Congestion, Transportation, Carbon dioxide, Methane

**\*Corresponding Author:**

Shiva\_Gharibi@yahoo.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Transportation sector generates the largest share of greenhouse gas emissions ( $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$ ) which causes global warming. “Stop-and-go” driving and congested traffic flow results in a decrease in average car speeds, an increase in traffic incidents, and finally escalates GHGs emissions. Hence, congestion is directly related to carbon emissions. The objective of this study was to estimate the GHGs emissions of urban transportation sector using the congestion index.

**Materials and Methods:** The traffic flow in the main street of Hamadan city was continuously monitored in 8 time periods from 8 am to 12 pm in August 2018. Then, a traffic congestion map was prepared. Subsequently the surface area and weight coefficient of each road were obtained based on the traffic assignment model. Finally, the amount of GHGs emissions from transportation sector,  $\text{CO}_2$  emission per capita, and annual amount of  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  release in each street were calculated and estimated.

**Results:** Results showed that the total  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  emissions from the transportation sector of Hamadan city are 776000 and 396 ton/year, respectively. Imam Khomeini Highway (29166 ton  $\text{CO}_2$ /year) and Mirzadeh Eshghi Street (24453 ton  $\text{CO}_2$ /year) recorded the highest level of carbon emission due to the high speed and more width “stop and go” driving conditions.

**Conclusion:** The conformity of the congestion index with the traffic assignment model can be used to estimate the amount of urban traffic pollution. Finally, because of the high growth rate of  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  and the role of forests in maximizing carbon sequestration, it is imperative to manage and increase green spaces to reduce  $\text{CO}_2$ .

Please cite this article as: Shayesteh K, Gharibi Sh, Attaiean B. Estimation of greenhouse gases emissions from urban traffic: a case study of Hamadan city. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):653-68.

