Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/
Print ISSN: 2322-3197 Online ISSN: 2676-5683

Carbon Footprint Controlling and Monitoring as a Step Toward Sustainable Urban Development, (Case Study: Tabriz City _ Iran)

Ehsan Khodadadi[1] | Iraj Teimouri[2] | Akbar Asghari Zamani[3]

1. Department of Urban & Regional Planning, Faculty of Planning & Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: Ehsankh1997@yahoo.com.
2. Corresponding Author, Department of Urban & Regional Planning, Faculty of Planning & Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: Iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir
3. Department of Urban & Regional Planning, Faculty of Planning & Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: azamani@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 01 Aug 2022
Received in revised form: 10 Oct 2022
Accepted: 22 Oct 2022
Available online: 21 Jan 2023

Keywords:
Carbon Footprint,
Fossil Fuels,
Landfill,
Green Space,
Sustainable Development,
Tabriz.

ABSTRACT

Fossil fuels associated with urban landfills are the main sources of greenhouse gas emissions. Studies indicate that one of the most effective ways to reduce CO_2 in the atmosphere is to increase green space and afforestation in cities. This study aims to predict green space demand to absorb carbon footprints from fossil fuel consumption and landfill. Calculating greenhouse gas emissions through landfill is examined and evaluated for the first time in urban planning in Iran. This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of method. The raw data required for this study were obtained from reports on fossil fuel consumption and landfill in Tabriz. Also, the estimation method provided by the Ministry of Petroleum of Iran was used to indirectly calculate greenhouse gas emissions and a mathematical model designed by the US Environmental Protection Agency to estimate the volume of gas produced. The results indicated that the volume of CO2 emitted from 2013 to 2019 were, respectively, about 5,850,363 - 5,089,094 - 2,839,819 - 2,206,225 - 2,355,156 and 2,763,010 tons. Calculating the carbon footprint shows that the per capita green space needed to absorb CO_2 for 2018-2019 is 943 m^2. But the environmental rights needed to provide water for this amount of green space are not there due to the existing water crisis. Based on this and taking into account international proposals, it is necessary to invest in renewable energy, especially solar and wind energy, in order to reduce the emission of greenhouse gases, especially carbon dioxide. Also, the hybrid public transport fleet should replace gasoline and diesel vehicles.

Cite this article: Khodadadi, E., Teimouri, I. & Asghari Zamani, A. (2023). Carbon Footprint Controlling and Monitoring as a Step Toward Sustainable Urban Development, (Case Study: Tabriz City _ Iran). *Geography and Environmental Sustainability*, *13* (1), 91-105. DOI: 10.22126/GES.2022.8094.2562

© The Author(s).
Publisher: Razi University
DOI: 10.22126/GES.2022.8094.2562

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/
شاپای چاپی: ۲۳۲۲-۳۱۹۷ شاپای الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۸۳

کنترل و پایش ردپای کربن گامی در راستای توسعه پایدار شهری (نمونه موردمطالعه: شهر تبریز)

احسان خدادادی[۱]| ایرج تیموری[۲]| اکبر اصغری زمانی[۳]

۱. گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه:Ehsankh1997@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir
۳. گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: azamani@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ردپای کربن،
سوخت‌های فسیلی،
محل دفن زباله،
فضای سبز،
توسعه پایدار.

چکیده

سوخت‌های فسیلی به همراه محل‌های دفن پسماند شهری منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. مطالعات نشان می‌دهد که یکی از مؤثرترین راه‌ها برای کاهش CO_2 در جو، افزایش فضای سبز در شهرها است. هدف از این مطالعه، محاسبه و برآورد سرانه فضای سبز موردنیاز برای جذب ردپای کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله‌ها است. محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای از محل دفن زباله برای اولین‌بار در برنامه‌ریزی شهری ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. این پژوهش، به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، توصیفی - تحلیلی می‌باشد. داده‌های موردنیاز این پژوهش از گزارش‌های مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله شهر تبریز به دست آمد. همچنین، از روش برآورد ارائه شده توسط وزارت نفت ایران برای محاسبه غیرمستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای و مدل ریاضی طراحی شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده برای تخمین حجم گاز تولیدی از محل لندفیل‌ها استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که حجم دی‌اکسیدکربن انتشاریافته از مصرف سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸، به ترتیب ۵۸۵۰۳۶۳، ۵۰۸۹۰۹۴، ۲۸۳۹۸۱۹، ۲۲۰۶۲۲۵، ۲۳۵۵۱۵۶ و ۲۷۶۳۰۱۰ تن بوده است. محاسبه ردپای کربن نشان داد که سرانه فضای سبز موردنیاز برای جذب آن، ۹۴۳ مترمربع می باشد. اما حقابه زیست‌محیطی موردنیاز برای تأمین آب این مقدار از فضای سبز باتوجه‌به بحران آبی موجود، وجود ندارد. بر همین اساس و با درنظرگرفتن پیشنهادهای بین‌المللی، لازم و ضروری است که بر روی انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، سرمایه‌گذاری گردد. همچنین، ناوگان حمل‌و نقل عمومی هیبریدی باید جایگزین خودروهای بنزینی و گازوئیلی گردد.

استناد: خدادادی، احسان؛ تیموری، ایرج؛ اصغری زمانی، اکبر (۱۴۰۲). کنترل و پایش ردپای کربن گامی در راستای توسعه پایدار شهری (نمونه موردمطالعه: شهر تبریز). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳ (۱)، ۹۱-۱۰۵. DOI: 10.22126/GES.2022.8094.2562

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گازهای گلخانه‌ای مجموعه‌ای از گازهای CO_2، کلروفلوئوروکربن‌ها (CFC)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (N_2O) را شامل می‌شود که به‌عنوان یک‌لایه در اطراف زمین عمل می‌کند و امواج ساطع شده از زمین را جذب می کند و منجر به گرم‌شدن کره زمین می‌شود (Holden & Hoyer, 2005). حجم این گازها در نتیجه فعالیت‌های انسانی مانند افزایش مصرف سوخت فسیلی، جنگل‌زدایی و آسیب‌های زیست‌محیطی، در جو افزایش می‌یابد و باعث افزایش دمای زمین می‌شود. گرم‌شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی آن حیات کره زمین را به خطر انداخته است. اگرچه سوخت‌های فسیلی منبع اصلی انرژی شهرها محسوب می‌شوند، اما منبع اصلی آلودگی نیز محسوب می‌شوند؛ بنابراین تقریباً ۸۱ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای از مصرف سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود (IEA, 2008).

بر طبق گزارش سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، در سال ۲۰۲۰، میانگین دمای زمین ۲,۱ درجه سانتیگراد نسبت به سال قبل بیشتر شده است که می‌تواند تا سال ۲۰۲۴ از ۵,۱ درجه فراتر برود. میانگین دما طی ۵ تا ۱۰ سال گذشته نشانگر تسریع در پدیده گرم‌شدن زمین است(Wei, 2011). به دلیل وجود گازهای گلخانه‌ای، انرژی گرمایی زمین نمی‌تواند از جو (اتمسفر) عبور کند و در اتمسفر باقی می‌ماند و بنابراین اثر گرم‌شدن زمین را افزایش می‌دهد. از جمله مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای می‌توان به گاز دی‌اکسیدکربن اشاره کرد که به‌عنوان اثر گرمایی گازهای گلخانه‌ای پذیرفته شده است (آسیابانی پور، ۱۳۹۳). حدود ۷۰ درصد از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن CO_2در جهان مربوط به مناطق شهری است (Hoornweg et al., 2011)، در واقع مناطق شهری، از جمله کانون‌های اصلی تغییرات اقلیمی به شمار می‌روند، اما فرصت‌های مهمی برای کاهش تغییرات اقلیمی و جوامع کم‌کربن (Abubakar & Dano, 2018) و حرکت به‌سوی توسعه پایدار در شهرها وجود دارد.

چترتون و همکاران (۲۰۰۹)، اظهار داشتند که مردم از خطرات تغییرات اقلیمی آگاه هستند؛ اما قادر به ارتباط با آن یا درک آن نیستند؛ بنابراین، اطلاعات مربوط به میزان اطلاعات انتشار کربن و ردپای کربن می‌تواند نقش مهمی در آموزش و ایجاد انگیزه در تغییرات سبک زندگی ایفا کنند و همچنین، می‌تواند در اتخاذ و اجرای سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای در سطح خرد و هم در سطح کلان کمک کند(Chatterton et al., 2009).

ردپای‌کربن در سال‌های اخیر به یک موضوع داغ در علوم محیطی و رشته‌های دانشگاهی مرتبط تبدیل شده است. مکانیسم‌ها و فرایندهای انتشار کربن (Fei et al., 2011; Lim et al., 2009).

به همراه تجزیه‌وتحلیل ردپای کربن ناشی از فعالیت‌های انسانی جهت شناخت ماهیت فرایند انتشار کربن و برنامه‌ریزی برای کاهش آن برای مقابله با گرمایش جهانی مهم و ضروری است (Christopher & Weber, 2008). مفهوم ردپای‌کربن از ردپای اکولوژیکی ناشی می‌شود (Wackernagel & Rees, 1996). محاسبه ردپای کربن شامل تجزیه‌وتحلیل چرخه عمر محصولات، از جمله انتشار کربن مستقیم و غیرمستقیم فعالیت‌های مرتبط، و مقایسه نتایج با سایر مطالعات انتشار کربن است. بااین‌حال، تعریف دقیق و دامنه ردپای کربن هنوز موردبحث است (Grubb, 2007; Hammond, 2007; Wiedmann et al., 2007). روش ردپای کربن برای چندین سال در مقیاس‌های مختلف - شخصی، خانگی، شرکتی و منطقه‌ای و از جمله بخش‌های صنعتی، حمل‌ونقل، آبرسانی، پزشکی و غیره موردمطالعه قرار گرفته است (Wiedmann et al., 2007; Giurcoa & Petrie, 2007; Liu et al., 2008; Kenny & Gray, 2009; Li et al., 2010; Sovacool & Brown, 2010). درحالی‌که شهرهای سراسر جهان حدود سه‌چهارم منابع طبیعی جهان را مصرف می‌کنند؛ ولی تحقیقات نسبتاً کمی در مقیاس شهری در کشورهای درحال‌توسعه، به‌ویژه در مصرف سوخت‌های فسیلی و زباله‌های شهری وجود دارد (Xing et al., 2009). در واقع شهرها باتوجه‌به تراکم جمعیت و شدت فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی به‌عنوان مهم‌ترین مراکز مصرف منابع و تولیدکننده زباله و آلودگی محسوب می‌شوند.

با انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای شرایط زندگی انسان و موجودات زنده با مشکلات روزافزونی مواجه شده است و بر همین اساس لازم است ضمن کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای بر لزوم رعایت استانداردها در جهت حرکت به‌سوی توسعه‌پایدار، در کانون‌های شهری تأکید شود (ابوالقاسمی و همکاران، ۱۳۹۸). کانون‌های شهری مانند شهر تبریز به دلیل

استقرار هزاران واحد صنعتی و مصرف نزدیک به دو میلیون لیتر بنزین در روز و هم چنین تولید ۱۳۰۰ تن زباله در روز، می‌تواند نمونه مورد مناسبی برای بررسی ردپای دی‌اکسیدکربن تولیدی در کلان‌شهرها بشمار رود (سالنامه آماری شهرداری تبریز، ۱۳۹۷).

در پژوهش مختلفی موضوع ردپای اکولوژیک موردبحث و بررسی قرار گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد. مونتایا و جوهری در سال (۲۰۲۰)، ضمن بررسی اثرات جانبی اجتماعی و الگوهای مصرف ناپایدار مدل اقتصادی فعلی نشان دادند که ردپای اکولوژیکی شهری ابزاری کلیدی برای توصیف وضعیت فعلی تخصیص منابع برای شـهرها اسـت (Ortega-Montaya & Johari, 2020).

گلداستین و همکارانش نیز در سال (۲۰۱۹)، نشان دادند که در ایالات‌متحده‌آمریکا، ۲۰٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مصرف انرژی مسکونی است. هم چنین، گازهای گلخانه‌ای (در واحد فضای کف) در ایالت‌های غربی آمریکا در پایین‌ترین و در ایالت‌های مرکزی در بالاترین رتبه‌بندی قرار دارند. سرانه ردپای ثروتمندان آمریکایی ۲۵٪ بیشتر از افراد کم‌درآمد است که به دلیل بزرگ بودن خانه‌های افراد ثروتمند می‌باشد (Goldstein et al., 2019).

بابو و همکاران نیز در سال (۲۰۱۷)، در تحقیق خود نشان دادند، میانگین سرانه ردپای اکولوژیکی از ۱/۲۲ هکتار جهانی در اصفهان ایران تا ۹/۵-۹/۹ هکتار جهانی در کلگری کانادا است. همچنین در این شهرها، غذا، حمل‌ونقل شهری و مصرف کالاها به ترتیب با یک سهم ۴۰، ۱۴ و ۲۵ درصدی مهم‌ترین عوامل سهیم در ردپای اکولوژیکی هستند که شهرهای با درآمد بالا پویایی مضاعفی را دررابطه‌با ردپای اکولوژیکی نشان می‌دهند (Baabou et al., 2017).

در مطالعه دیگری توسط گالی و همکارانش در سال (۲۰۱۶)، نشان دادند که ردپای کربن مهم‌ترین عامل سهیم در ردپای اکولوژیکی است (Galli et al., 2016). لی و همکارانش نیز، در سال (۲۰۱۰) به پیش‌بینی ردپای اکولوژیکی شهر ووهان با استفاده از شبکه مصنوعی پرداختند. آنها پیش‌بینی ردپای اکولوژیکی را برای ارزیابی اثرات انسان بر محیط لازم و ضروری می‌دانند (Li et al.,2010). همچنین دراک من و جکسون در سال (۲۰۰۹)، در مقاله‌ای به بررسی ردپای اکولوژیکی کربن خانگی انگلستان برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۴ بر پایه مدلی شبیه داده - ستانده منطقه‌ای پرداختند که میزان انتشار گاز CO_2از انرژی مصرفی برای تولید مایحتاج خانگی را حساب می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان انتشار گاز CO_2 در طی این سال‌ها ۱۵٪ افزایش داشته است (Druckman & Jackson, 2009).

فان و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۶، به تحلیل اثرات انتشار گاز CO_2 با استفاده از مدل STIRPAT پرداختند و تأثیر جمعیت و تکنولوژی را در کشورهایی با درآمد سرانه متفاوت بر روی افزایش انتشار گاز طی سال‌های ۱۹۷۵ - ۲۰۰۰ بررسی کردند و نشان دادند که رشد اقتصادی، تأثیر مثبتی بر روی افزایش گاز CO_2 داشته است. همچنین، نسبت جمعیت در گروه سنی ۱۵ - ۶۴ساله در کشورهای با بالاترین درآمد سرانه، تأثیر منفی و در سایر کشورها، تأثیر مثبت داشته است (Fan et al, 2006). هولدن و هویر هم در سال ۲۰۰۵، مهم‌ترین راه برای کاهش ردپای اکولوژیک سوخت مصرفی را استفاده از سوخت‌های جایگزین با آلودگی‌های کمتر می‌دانند (Holden & Hoyer, 2005).

تیموری و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی ردپای اکولوژیک گاز دی‌اکسیدکربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز پرداختند و نشان دادند که سرانه فضای سبز موجود در سطح شهر شیراز، کمتر از نیاز اکولوژیکی برای جذب دی‌اکسیدکربن منتشر شده است. هم چنین، صمدپور و فریادی (۱۳۸۹) ، به بررسی جای پای اکولوژیکی مقدار مصرف سوخت انواع وسیله نقلیه به‌ازای هر مسافر پرداختند و مقدار زمین معادل را که تأمین‌کننده میزان سوخت برای هر فرد است، محاسبه کردند و نشان دادند که مترو با کسب ۰/۰۰۳ مترمربع زمین به‌ازای هر مسافر کمترین مقدار مصرف را که معادل مقدار مصرف ۱۴۰۰ مسافر خودروی شخصی است به خود اختصاص داده است.

بررسی سوابق پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد موضوع ردپای گاز دی‌اکسیدکربن از جمله دغدغه‌های پژوهشگران باتوجه‌به تأثیر آن در گرمایش جهانی و هم چنین حرکت به‌سوی توسعه پایدار بوده است. پژوهش‌های پیشین ردپای کربن را در زمینه‌هایی مانند: مصرف انرژی، حمل‌ونقل، مصرف کالا و غیره مورد بررسی قرار دادند. در این راستا، پژوهش حاضر، به واکاوی ردپای کربن مصرف سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله در ارتباط با سرانه فضای سبز شهری و ارائه راهکارهای کلی

در راستای حرکت به سمت توسعه پایدار شهری و هم کاهش دی‌اکسیدکربن می‌باشد. پژوهش‌های قبلی به سرانه فضای سبز به‌عنوان عاملی در جذب و تثبیت کربن در شهر نگاه نکرده‌اند و ازاین‌رو پژوهش حاضر درصدد تعریف استاندارد جدیدی برای سرانه فضای سبز مطابق با ردی‌پای کربن شهر می‌باشد. همچنین برای محدوده موردمطالعه پژوهش حاضر (تبریز)، پژوهش مشابهی صورت نگرفته است. علاوه بر این، از نظر روش تحقیق، پژوهش حاضر هم راستا با پژوهش می‌باشد (تیموری و همکاران، ۱۳۹۳).

ایران برنامه راهبرد ملی تغییر اقلیم را به‌عنوان یک سند اجرایی و یک برنامه زیست‌محیطی که مکمل برنامه پنج‌ساله ششم توسعه ایران (از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) است، برای ایجاد زیرساخت‌های لازم برای اجرای پروتکل کیوتو، توافق‌نامه پاریس و مصوبات آتی آن و هم چنین اجرای تعهدات مربوط به کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، در سراسر کشور ارائه کرد (EPOI, 2017). بررسی تأثیر این سیاست‌ها و برنامه‌ها در شهرهای صنعتی، باتوجه‌به لازم‌الاجرا بودن این سیاست‌ها و برنامه‌ها در کل استان‌ها و شهرهای کشور ایران (به‌ویژه شهرهای صنعتی از جمله تهران، تبریز، اصفهان، اراک و ...) می‌تواند تأثیراتی بر الگوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، سیاست‌ها و برنامه‌های اجرایی اصلی مرتبط با کاهش گازهای گلخانه‌ای، افزایش سهم انرژی‌های کم‌کربن، اصلاح قیمت‌ها، سیاست‌های تشویقی و گاه تنبیهی است. این سیاست‌ها برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ برنامه‌ریزی شده است که این مطالعه را از سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ پوشش می‌دهد.

فضای سبز، من‌جمله درختان نقش کلیدی در جذب و تثبیت دی‌اکسیدکربن دارند و همچنین باتوجه‌به اینکه میزان سرانه فضای‌سبز شهری را می‌توان عاملی برای کنترل و خود پالایی گازهای گلخانه‌ای دانست، بنابراین، پژوهش حاضر برای دستیابی به سه هدف زیر انجام می‌گیرد: ۱) تخمین میزان دی‌اکسیدکربن منتشره شده حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی طی ۱۳۹۲-۱۳۹۸ ۲) بررسی تغییرات ردپای کربن گاز دی‌اکسیدکربن تولید شده ۳) تعریف استاندارد سرانه فضای سبز به‌منظور ارتقا ظرفیت اکولوژیکی و خود پالایی شهر در تثبیت دی‌اکسیدکربن تولیدی.

جدول ۱. سیاست‌ها و برنامه‌های اجرایی راهبرد ملی تغییر اقلیم ایران دررابطه‌با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، (راهبرد ملی تغییر اقلیم ایران – انرژی و پسماند)

سیاست (انرژی و پسماند)	برنامه‌های اجرایی در برنامه ششم (سند اقتصاد کم‌کربن)	سازمان/ وزارت مجری	سازمان/وزارت همکار
افزایش سهم انرژی‌های کم‌کربن در سبد سوخت کشور	۱. افزایش سهم گاز طبیعی در سبد سوخت کشور تا ۷۰ درصد در انتهای برنامه ششم	وزارت نفت	وزارت مسکن و شهرسازی، وزارت نیرو، وزارت صمت
	۲. احداث نیروگاه‌های هسته‌ای جدید به‌منظور تولید برق (دو واحد)	سازمان انرژی اتمی	وزارت نیرو
اصلاح سیاست‌های قیمتی/ تشویقی/ تنبیهی به‌منظور افزایش کارایی انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر	۱. ادامه روند منطقی نمودن قیمت حامل‌های انرژی تا رسیدن به قیمت‌های بین‌المللی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت اقتصاد و دارایی	وزارت نفت، وزارت نیرو و وزارت اقتصاد و دارایی
	۲. ارائه تشویق‌های قانونی بلندمدت به‌منظور توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر علی‌الخصوص برای کلان‌شهرها و مناطق روستایی	وزارت نیرو	سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت اقتصاد و دارایی، وزارت نفت، بانک مرکزی
	۳. ارائه برنامه‌های حمایت از صنایع کم‌مصرف با ارزش‌افزوده بالای اقتصادی در مقابل صنایع پرمصرف و با انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای	وزارت صمت	سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت اقتصاد و دارایی، وزارت نفت، وزارت صمت، بانک مرکزی، سازمان استاندارد
	۴. نوسازی و بهسازی صنایع و فرایندهای احتراقی و حرکت به سمت اقتصاد کم‌کربن در برنامه‌های توسعه کشور	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت صمت	سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت اقتصاد و دارایی، وزارت نفت، وزارت نیرو

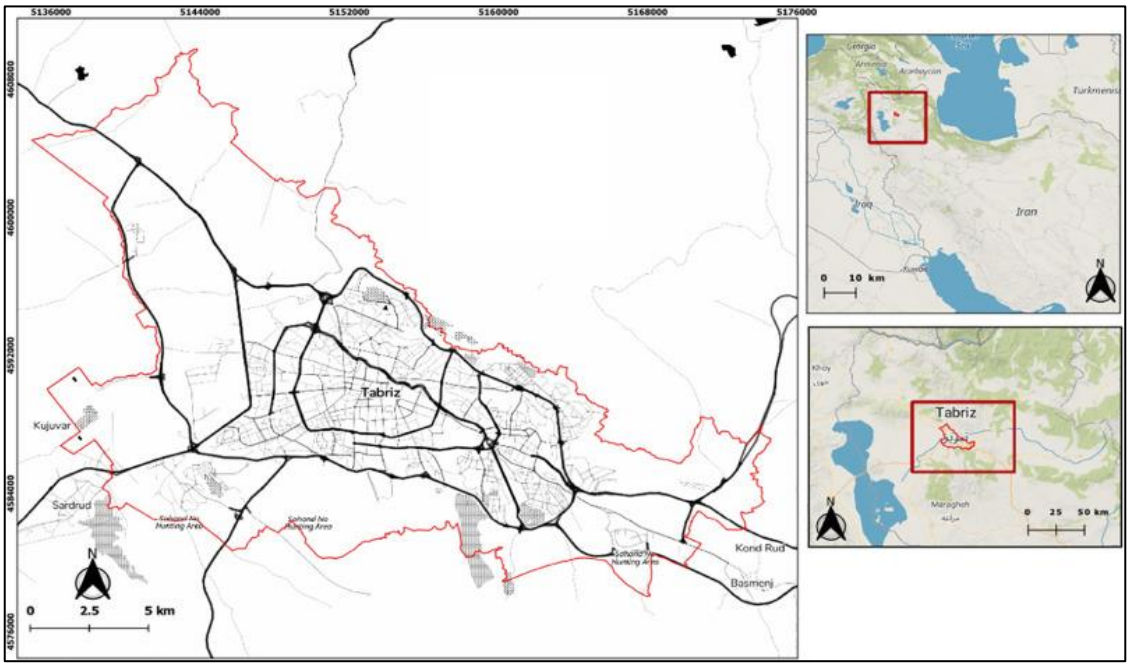
ادامهٔ جدول ۱.

سیاست (انرژی و پسماند)	برنامه‌های اجرایی در برنامه ششم (سند اقتصاد کم‌کربن)	سازمان/ وزارت مجری	سازمان/وزارت همکار
مدیریت کربن در بخش پسماند و فاضلاب	۱. دفن مهندسی - بهداشتی با مدیریت صحیح جمع‌آوری و بازیابی بیوگاز تولیدی و نیز تبدیل لندفیل‌های بی‌هوازی به نیمه هوازی	وزارت کشور، سازمان بازیافت شهرداری‌های کشور	سازمان حفاظت محیط‌زیست
	۲. جمع‌آوری صحیح پسماندها در شهرها و روستاها و انتقال به‌موقع آنها به لندفیل‌ها و کاهش استفاده از ایستگاه‌های انتقال پسماند به میزان ۳۰٪ در انتهای برنامه ششم	وزارت کشور، سازمان بازیافت شهرداری‌های کشور	سازمان حفاظت محیط‌زیست
	۳. جمع‌آوری و تصفیه هوازی فاضلاب‌ها و پساب‌ها و بازیابی و استفاده از بیوگاز (متان)	وزارت نیرو، وزارت صمت	سازمان حفاظت محیط‌زیست

مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه

شهر تبریز با ۱،۵۵۸،۶۹۳ سکنه که حدود ۲۴،۵۰۰ هکتار را پوشش می‌دهد (شکل ۱)، بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران (۳۸ درجه و ۴ دقیقه شمالی و ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی) است. تبریز دارای آب‌وهوای سرد نیمه‌خشک با دمایی سالانه ۱۳ درجه سلسیوس و همچنین میانگین بارندگی ۲۳۰ میلی‌متر است. علاوه بر این، تبریز ششمین شهر پرجمعیت و یکی از شهرهای مهاجرت‌پذیر ایران است. همچنین مساحت کل فضای سبز تبریز حدود ۲۷ میلیون مترمربع و سرانه فضای‌سبز این شهر حدود ۱۷ مترمربع برای هر نفر می‌باشد.



شکل ۱. نقشه محدوده موردمطالعه

این پژوهش، به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، توصیفی - تحلیلی می‌باشد. داده‌های موردنیاز این پژوهش به روش کتابخانه‌ای از گزارش‌های مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان تولید زباله در شهر تبریز به‌دست‌آمده است (جدول ۲ و ۵) و میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و ردپای کربن حاصل از آنها به‌صورت غیرمستقیم و مطابق با روش موردبحث توسط نویسندگان مورد محاسبه قرار گرفت. داده‌های مصرف سوخت‌های فسیلی مربوط به سال‌های ذکر شده (۱۳۹۲-۱۳۹۸) برای

محاسبه حجم انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (N_2O) از منابع انتشار آنها (سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله) استخراج شد. برای این کار از روش برآورد ارائه شده توسط وزارت نفت ایران (MOP) برای محاسبه غیرمستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای از مصرف سوخت‌های فسیلی (بنزین موتور، نفت گاز (گازوئیل)، نفت کوره و نفت سفید) و مدل ریاضی طراحی شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده (USEPA)برای تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای از محل دفن زباله طبق رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد.

جدول ۲. میزان مصرف و درصد رشد سالیانه مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر تبریز (برحسب ۱۰۰۰ لیتر) –(آمارنامه شرکت توزیع و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۹۲-۱۳۹۸)

سال	بنزین موتور		نفت سفید		نفت گاز (گازوئیل)		نفت کوره	
	میزان مصرف	درصد رشد	میزان مصرف	درصد رشد	میزان مصرف	درصد رشد	میزان مصرف	درصد رشد
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۵۴۹۸۸۰	۷/۹	۳۱۰۹۴	-۲/۳	۳۹۰۶۹۸	-۱/۶	۱۱۲۴۱۰۶	۳۹/۵
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۵۴۵۰۴۸	-۰/۹	۲۳۶۵۹	-۲۳/۹	۳۹۱۶۳۷	۰/۲	۸۸۴۴۰۸	-۲۱/۳
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۵۴۴۱۳۳	-۰/۲	۱۲۵۱۷	-۴۷/۱	۳۳۱۳۷۱	-۱۵/۴	۲۱۳۳۸۴	-۷۵/۹
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۵۶۷۲۲۴	۴/۲	۱۲۱۴۴	-۳	۳۱۲۱۵۴	-۵/۸	۵۹۹۹	-۹۷/۲
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۶۰۲۳۲۵	۶/۱	۱۰۱۷۸	۱۶/۱	۳۳۷۸۱۰	۸/۲	۶۴۱۶	۶/۹
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۶۴۹۷۱۶	۷/۹	۸۲۵۳	-۱۸/۹	۳۵۸۴۹۴	۶/۱	۸۶۳۴۵	۱۲۴۵/۸

نحوه محاسبه غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای منتشر شده

لازم به ذکر است که این فرمول برگرفته از فرمول ارائه شده توسط IPCC برای محاسبه میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف سوخت فسیلی است و هیچ تفاوتی در نتایج به‌دست‌آمده با آن ندارد و تنها توسط وزارت نفت ایران بومی‌سازی شده است. میزان انتشار هر یک از سه گاز گلخانه‌ای (دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن) از منابع احتراقی ثابت، از طریق حاصل‌ضرب مقدار هر یک از سوخت‌های مصرفی در ارزش حرارتی و ضریب انتشار آن سوخت (جدول ۳ و ۴) (مطابق رابطه ۱) به دست می‌آید: (N.I.O.R.D.C., 2017-2018)

$$Ec,i,j = Qi \times LHVi \times EFi,j \qquad \text{رابطه ۱}$$

دراین‌رابطه Ec,i,j : میزان انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای j (یعنی هر یک از گازهای N2O،CH4،CO2) حاصل از احتراق سوخت i بر حسب ton (تن)؛ Qi: مقدار کل مصرف سالانه سوخت i بر حسب m^3S (استاندارد مترمکعب) برای سوخت‌های گازی و L (لیتر) برای سوخت های مایع؛ LHVi : ارزش حرارتی خالص سوخت *i* بر حسب m^3GJ/S (گیگاژول به ازای هر استاندارد مترمکعب) برای سوخت‌های گازی و GJ/L (گیگاژول به ازای هر لیتر) برای سوخت‌های مایع؛ EFi, j: ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای j برای سوخت i بر حسب ton/GJ (تن به ازای هر گیگاژول)؛ i: سوخت (اعم از گاز طبیعی، نفت گاز، نفت کوره و...)؛ J: گاز گلخانه‌ای (N_2O ،CH_4 ،CO_2)

جدول ۳. ارزش حرارتی خالص سوخت‌ها – وزارت نفت ایران (راهنمای محاسبه و گزارش‌دهی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای)

ردیف	نوع سوخت	ارزش حرارتی خالص	واحد
۱	گاز طبیعی	34.20×10^{-3}	GJ/Sm^3
۲	LPG	26.49×10^{-3}	GJ/liter
۳	بنزین	33.10×10^{-3}	GJ/liter
۴	نفت سفید	35.70×10^{-3}	GJ/liter
۵	نفتا	33.10×10^{-3}	GJ/liter
۶	نفت گاز (گازوئیل)	36.70×10^{-3}	GJ/liter
۷	نفت کوره	39.60×10^{-3}	GJ/liter
۸	نفت خام	36.60×10^{-3}	GJ/liter

جدول ۴. ضرایب انتشار سوخت‌ها برای منابع احتراقی - وزارت نفت ایران، (راهنمای محاسبه و گزارش‌دهی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای)

ردیف	نوع سوخت	ضریب انتشار CO_2	ضریب انتشار CH_4	ضریب انتشار N_2O
۱	گاز طبیعی	56.1×10^{-3}	1×10^{-6}	1×10^{-7}
۲	*LPG*	63.1×10^{-3}	1×10^{-6}	1×10^{-7}
۳	بنزین	69.1×10^{-3}	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۴	نفت سفید	71.9×10^{-3}	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۵	نفتا	73.3×10^{-3}	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۶	نفت گاز (گازوئیل)	74.1×10^{-3}	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۷	نفت کوره	77.4×10^{-3}	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۸	نفت خام	73.3×10^{-3}	3×10^{-6}	6×10^{-7}

مدل ریاضی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا

در این پژوهش، داده‌های مرتبط با میزان تولید زباله شهر تبریز از سالنامه‌های آماری شهرداری تبریز در سال‌های موردمطالعه جمع‌آوری و توسط نویسندگان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت (جدول ۵). میزان تولید زباله در شهر تبریز در سال‌های موردمطالعه، روند صعودی داشته است به‌طوری‌که کمترین میزان تولید مربوط به سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۲ و بیشترین میزان تولید زباله مربوط به سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ بوده است.

جدول ۵. میزان رشد جمعیت و وزن کل زباله تولیدی شهروندان تبریزی، (سالنامه‌های آماری شهرداری تبریز ۱۳۹۸-۱۳۹۲)

سال	جمعیت	وزن زباله (تن)
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۱۵۴۵۴۹۱	۳۰۳۵۴۵/۷
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۱۵۵۵۹۰۶	۳۳۶۵۹۵/۹
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۱۵۷۶۷۵۵	۳۸۶۸۹۹/۲
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۱۵۵۸۶۹۳	۴۸۰۵۷۲/۱
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۱۵۸۴۱۴۴	۴۹۱۷۷۹/۱
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۱۵۹۹۵۱۰	۴۴۲۹۸۲/۳

میزان انتشار گازهای دی اکسید کربن، متان و سایر ترکیبات آلی غیرمتانی با استفاده از مدل LandGEM که بر اساس معادله درجه یک و توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا طراحی شده است (جدول ۶)، محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده از این مرحله در نتایج آورده شده است (جدول ۹). این مدل، می‌تواند ۴۶ نوع آلاینده هوا را محاسبه و تخمین بزند (Alizad et al., 2018). رابطه (۲) که برای انجام محاسبات در مدل LandGEM تعریف شده است، به شرح زیر است:

$$Q_{CH4} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0.1}^{1} K.L_0.\left[\frac{M_i}{10}\right].e^{-kt_{ij}}$$ رابطه ۲

دراین‌رابطه: Q_{CH4}: تولید سالیانه متان در سال محاسبه (متر مکعب در سال)؛ **i**: شمارنده گام زمانی (یک سال افزایش زمان)؛ **n**: سال محاسبه – اولین سال ورود زباله؛ **j**: افزایش زمان سالانه (۱/۱ سال)؛ **k**: نرخ تولید گاز متان بر حسب معکوس سال (در این مطالعه ۱/۱۲ معکوس سال در نظر گرفته شده است.)؛ L_0: پتانسیل ظرفیت تولید متان بر حسب$(\frac{m^3}{Mg})$؛ M_i: جرم دفن زباله در محل تاسیس دفن در سال i ام. (Mg)؛ t_{ij} سن j امین بخش از زباله دفن شده در j امین سال بر حسب سال i ام.

$$L_0 = MCF\times DOC\times DOC_F\times F\times 16.12\times(1-OX)$$

MCF: ضریب تصحیح تولید متان ۰/۸؛ DOC: مقدار کربن آلی قابل تجزیه در زباله (برای کاغذ و مقوا معادل ۰/۰۲۳۱ و

برای پسماند معادل ۰/۲۲)؛ DOCf: درصد مواد آلی با قابلیت تبدیل به گاز متان و دی اکسید کربن (در این مطالعه ۰/۸۳)؛ F: درصد گاز متان موجود در گاز محل دفن (در این مطالعه ۰/۵۷)؛ OX: میزان اکسیداسیون در لایه‌های محل دفن (در این مطالعه ۰).

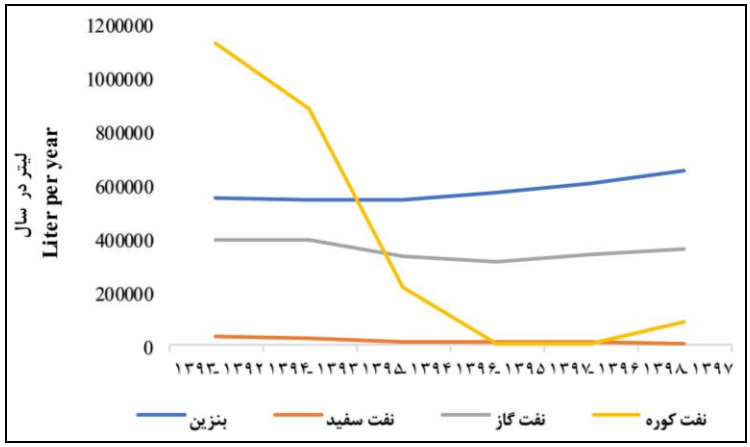
جدول ۶. مشخصات محل دفن زباله شهر تبریز به همراه ضرایب مورداستفاده در مدل لندجم

Landfill Characteristics	
Landfill Open Year	2013
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2019
Actual Closure Year (without limit)	2019
Have Model Calculate Closure Year?	NO
Waste Design Capacity (Ton)	15,000,000
MODEL PARAMETERS	NO
Methane Generation Rate, k	0.020
Potential Methane Generation Capacity, Lo	170
NMOC Concentration	4000
Methane Content	50

نتایج

یافته‌های مربوط به انتشار گازهای CO_2، CH_4 و N_2O از مصرف سوخت‌های فسیلی در تبریز

میزان مصرف بنزین در شهر تبریز، در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ روند کاهشی داشته است، اما از سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ روند صعودی به خود گرفته است. بیشترین میزان مصرف بنزین با ۶۴۹،۷۱۶،۰۰۰ لیتر مربوط به سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ است. در مقابل مصرف نفت سفید طی سال‌های موردمطالعه روند نزولی داشته است. هم چنین میزان مصرف نفت گاز (گازوئیل) در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ روند صعودی به خود گرفته است (جدول ۲ و شکل ۲). این افزایش‌ها که هم‌زمان با اجرای برنامه راهبرد ملی تغییر اقلیمی بوده است. این بدان معناست که این برنامه نه‌تنها بر میزان مصرف بنزین تأثیر کاهشی نداشته؛ بلکه به‌صورت برعکس عمل کرده و باعث افزایش آن شده است. در این میان، تنها نفت کوره به دلیل اعمال سیاست‌های کاهش مصرف نفت کوره و افزایش استفاده از گاز طبیعی در پالایشگاه تبریز به‌جای نفت کوره، روند نزولی داشته است به‌طوری‌که در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۵ درصد رشد آن به ۹۷،۲- رسید. بااین‌وجود، طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶، این روند معکوس شده و دوباره روند صعودی یافته است و در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ با رشدی ۱۲۴۵ درصدی به ۸۶،۳۴۵ لیتر رسیده است (جدول ۲ و شکل ۲).



شکل ۲. روند مصرف سوخت‌های فسیلی طی سال‌های موردمطالعه در تبریز

در همین راستا، برای بررسی تطابق وضعیت روند تغییرات مصرف سوخت‌های فسیلی شهر تبریز با کل کشور ایران از داده‌های مصرف کل کشور استفاده شد که نتایج نشان داد، مصرف بنزین از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ در کل کشور ایران روند کاهش داشته و سپس از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ روند صعودی به خود گرفته است که نشان‌دهنده سازگاری و تطابق روند

تغییرات مصرف بنزین در تبریز با مصرف این محصول در کل کشور است. هم چنین، روند تغییرات مصرف نفت سفید و نفت گاز (گازوئیل) نیز در تبریز با کل کشور منطبق است. تنها تفاوت‌هایی در سطوح خرد و کلان در فرایند مصرف نفت کوره وجود داشت - مصرف این محصول در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ برخلاف شهر تبریز در کل کشور به روند نزولی داشته است (جدول ۷).

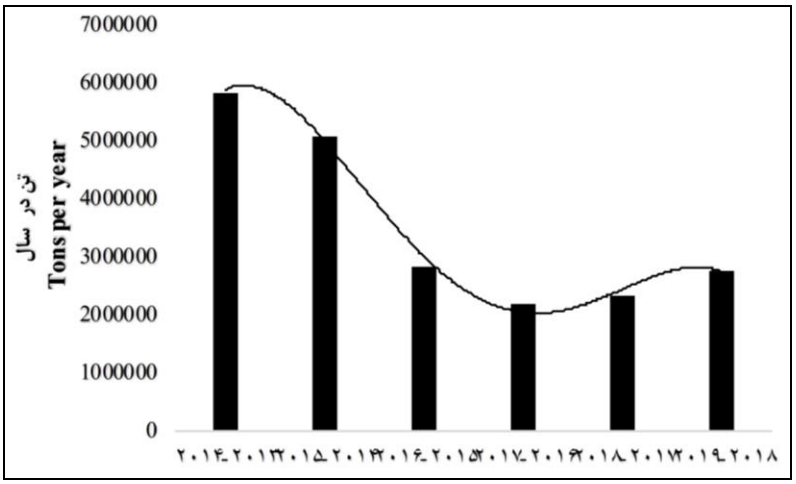
جدول ۷. میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در ایران طی سال‌های موردمطالعه (برحسب ۱۰۰۰ لیتر)، منبع: آمارنامه شرکت توزیع و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۹۲-۱۳۹۸

سال	بنزین		نفت سفید		نفت گاز (گازوئیل)		نفت کوره	
	میزان مصرف	درصد رشد	میزان مصرف	درصد رشد	میزان مصرف	درصد رشد	میزان مصرف	درصد رشد
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۲۴۹۶۹۲۸۵	۷/۷	۴۳۴۷۵۱۵	-۳	۳۸۴۶۵۵۲۵	۸/۴	۱۸۵۲۵۹۴۰	-۱/۷
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۲۵۴۰۰۷۱۵	۱/۷	۳۶۷۱۵۳۵	-۱۵/۵	۳۶۵۵۷۶۷۰	-۵	۱۳۳۹۱۸۵۰	-۲۷/۷
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۲۵۹۱۶۰۹۵	۲	۳۳۲۰۷۷۰	-۹/۶	۲۹۶۳۵۸۱۰	-۱۸/۹	۸۹۵۱۹۹۰	-۳۳/۲
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۲۷۲۸۰۴۶۵	۵/۳	۳۰۹۲۲۸۰	-۶/۹	۲۹۲۶۶۰۶۵	-۱/۲	۵۱۱۵۴۷۵	-۴۲/۹
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۲۹۴۶۰۶۱۰	۸	۲۷۹۶۶۳۰	-۹/۶	۳۰۱۸۷۶۹۰	۳/۱	۵۳۳۹۵۸۵	۴/۴
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۳۲۵۲۶۹۷۵	۱۰/۴	۲۴۲۷۶۱۵	-۱۳/۲	۳۲۲۲۲۹۳۰	۶/۷	۴۹۶۸۰۱۵	-۷

بر اساس رابطه (۱) و داده‌های جدول (۲)، گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (N_2O) به دست آمد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با ۵۸۴۹۰۶۵٫۶ تن در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ بوده است. طی سال‌های بعد، این نرخ به طور قابل‌توجهی کاهش یافت و به پایین‌ترین حد خود در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۵ رسید. اما در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶ روند صعودی به خود گرفته و به ۲۷۵۱۰۵۶٫۷ تن رسیده است (جدول ۸ و شکل ۳).

جدول ۸. میزان سالیانه انتشار گازهای (CO2)، (CH4) و (N2O) از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی (برحسب تن)

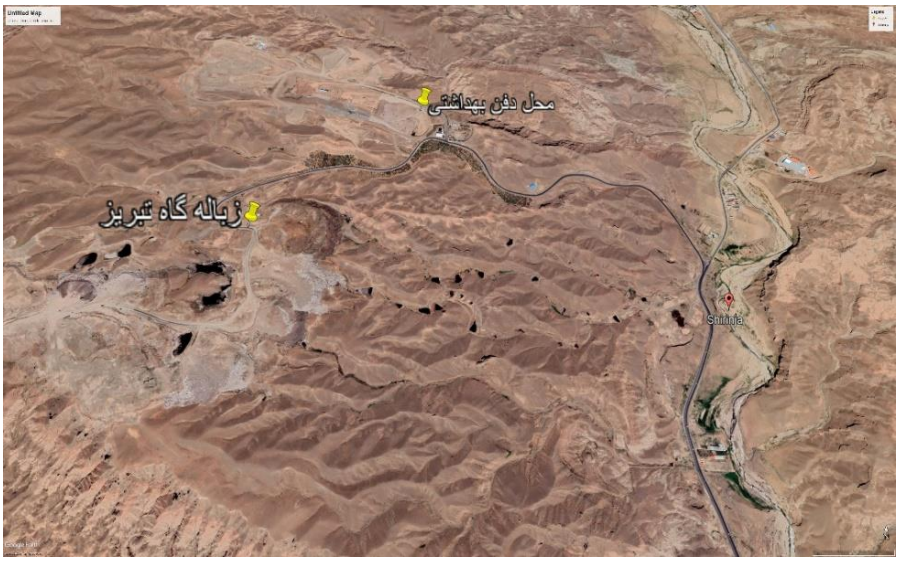
سال	دی‌اکسیدکربن	متان	اکسید نیتروژن
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۵۸۴۹۰۶۵/۶	۲۳۴/۵	۴۷
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۵۰۸۶۷۶۷/۱	۲۰۴/۸	۴۱
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۲۸۳۵۴۶۱/۶	۱۱۷/۲	۲۳/۵
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۲۱۹۹۵۶۷/۶	۹۳	۱۸/۶
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۲۳۴۶۰۸۵/۸	۹۹	۱۹/۸
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۲۷۵۱۰۸۶/۷	۱۱۵/۲	۲۳



شکل ۳. روند انتشار سالیانه دی‌اکسیدکربن از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر تبریز

یافته‌های مربوط به انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و ترکیبات آلی غیرمتانی از محل دفن زباله در تبریز

نرخ رشد جمعیت شهر تبریز بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، ۰/۹۷٪ است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). دوره مطالعه انتخابی برای مرکز دفن زباله شهر تبریز بر اساس داده‌های موجود در ۶ سال تخمین زده شد. نرخ سرانه تولید زباله در کشورهای درحال‌توسعه در یک دورهٔ ۵۰ساله، سالانه ۲ تا ۵ درصد است که نسبت به میزان جمعیت شهرها متغیر می‌باشد (Alizad et al., 2018). بر همین اساس، نرخ تولید زباله در شهر تبریز ۳/۵ درصد است. جدول ۵ داده‌های مربوط به تولید زباله را در شهر تبریز نشان می‌دهد. برای محاسبات از مدل LandGEM V 3/02 استفاده شد. زباله‌های و پسماندهای شهر تبریز از سال ۱۳۹۲ در ارتفاعات شیرینجه تبریز واقع در ۱۲ کیلومتری جاده تبریز به روستای اسپیران دفن می‌شوند (شکل ۴). این مرکز، مساحتی به وسعت ۳۵ هکتار در ۵ سلول به‌صورت خاک‌برداری، مطابق با جغرافیای طبیعی طراحی و ساخته شده است. بر اساس اهداف و پیش‌بینی‌ها، هر سلول برای مدت ۵ سال طراحی شده و تقریباً با مدیریت صحیح محل دفن زباله و در صورت نصب سیستم زباله‌سوز و یا هرگونه سیستم مدرن دیگر، این مرکز می‌تواند به مدت ۵۰ سال میزبان زباله‌های شهر تبریز باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، ظرفیت این مرکز ۱۵ میلیون تن برآورد شده است و زباله‌های ورودی سالانه حدود ۴۰۰ هزار تن است (Alizad et al., 2018).

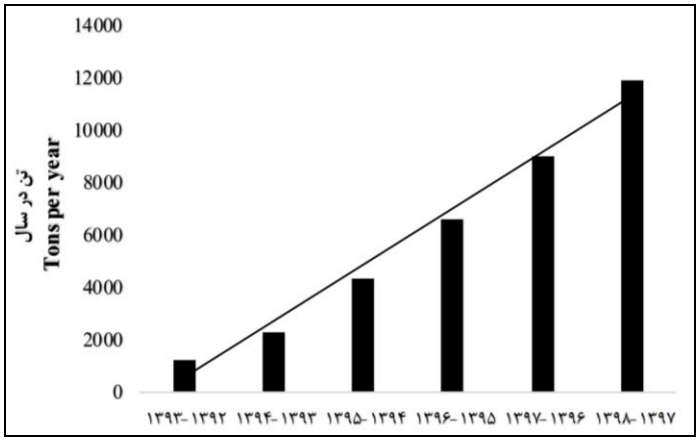


شکل ۴. موقعیت زباله گاه تبریز بر روی عکس ماهواره‌ای

طبق نتایج، انتشار گازهای CH_4 و NMOC از محل‌دفن زباله شهر تبریز در طی سال‌های موردمطالعه (۱۳۹۸-۱۳۹۲) روند صعودی و افزایشی داشته‌اند. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) منتشر شده از محل‌دفن زباله تبریز با ۹۲۴،۱۱ تن، مربوط به سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ بوده است. این نمودار نشان می‌دهد که میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از محل‌دفن زباله از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸ روند افزایشی داشته است (جدول ۹ و شکل ۵).

جدول ۹. مقادیر انتشار سالیانه کل دی‌اکسیدکربن، متان و ترکیبات آلی غیرمتانی از محل دفن زباله‌های شهر تبریز

سال	دی‌اکسیدکربن	متان	ترکیبات آلی غیرمتانی
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۱۲۹۷/۳	۷۴۰	۳۱/۸
۱۳۹۳-۱۳۹۴	۲۳۲۷/۳	۸۴۸/۲	۳۶/۵
۱۳۹۴-۱۳۹۵	۴۳۵۷/۳	۱۵۸۸	۶۸/۳
۱۳۹۵-۱۳۹۶	۶۶۵۷/۵	۲۴۲۶/۴	۱۰۴/۳
۱۳۹۶-۱۳۹۷	۹۰۷۱	۳۳۰۵/۸	۱۴۲/۱
۱۳۹۷-۱۳۹۸	۱۱۹۲۴	۴۳۴۵/۸	۱۶۸/۸



شکل ۵. روند انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن از محل دفن زباله شهر تبریز ۱۳۹۸-۱۳۹۲

بر اساس محاسبات مربوط به میزان کل دی‌اکسیدکربن انتشاریافته از مصرف سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله شهر تبریز و هم چنین، آمار موجود درباره میزان مساحت فضای سبز شهر تبریز، اطلاعات مربوط به سرانه فضای سبز شهر تبریز به‌ازای هر نفر، ردپای‌کربن هر فرد و نیز فضای سبز موردنیاز برای جذب ردپای‌کربن هر فرد بر حسب مترمربع طبق جدول ۱۰ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کل فضای سبز شهر تبریز در سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ روند صعودی داشته است؛ اما در سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ روند نزولی طی کرده است. هم چنین در سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ به بیشترین میزان خود رسیده است. محاسبه ردپای‌کربن نشان داد که سرانه فضای سبز موردنیاز برای جذب ردپای کربن هر فرد، ۹۴۳ مترمربع می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷، کل فضای سبز موردنیاز برای جذب دی‌اکسیدکربن انتشاریافته در شهر تبریز، ۱۴۹،۳۸۵ هکتار است، این در حالی است که کل فضای سبز موجود در این شهر حدود ۲۶۵۰ هکتار می‌باشد. به این معنی که ۵۶/۴ برابر ظرفیت اکولوژیکی شهر تبریز است.

جدول ۱۰. میزان سالیانه ردپای کربن هر فرد و فضای سبز موردنیاز برای جذب آن در شهر تبریز

فضای موردنیاز برای جذب ردپای کربن هر فرد (تن)	ردپای کربن به‌ازای هر فرد (تن)	سرانه فضای سبز به‌ازای هر نفر (مترمربع)	کل فضای سبز (مترمربع)	کل انتشار دی‌اکسیدکربن (تن)	سال
۲۰۸۷	۲۱۰۳	۱۵/۵	۲۴۰۶۹۴۶۸	۵۸۵۰۳۶۳	۱۳۹۲-۱۳۹۳
۱۸۰۰	۱۸۱۷	۱۶/۲	۲۵۲۰۱۸۲۵	۵۰۸۹۰۹۴	۱۳۹۳-۱۳۹۴
۹۸۴	۱۰۰۰	۱۶/۳	۲۵۷۳۰۳۴۵	۲۸۳۹۸۱۹	۱۳۹۴-۱۳۹۵
۷۷۰	۷۸۶	۱۵/۵	۱۹۶۹۷۳۱۶	۲۲۰۶۲۲۵	۱۳۹۵-۱۳۹۶
۸۰۹	۸۲۵	۱۶	۱۹۰۸۲۲۷۶	۲۳۵۵۱۵۶	۱۳۹۶-۱۳۹۷
۹۴۳	۹۵۹	۱۶/۵	۲۶۵۰۱۹۶۵	۲۷۶۳۰۱۰	۱۳۹۷-۱۳۹۸

بحث

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش (تیموری و همکاران، ۱۳۹۳) هم‌راستا می‌باشد. به‌طوری‌که نتایج هر دو پژوهش نشان می‌دهد که میزان سرانه فضای سبز موجود جوابگوی ردپای گاز دی‌اکسیدکربن نمی‌باشد. علاوه بر این، سرانه فضای سبز را عاملی برای کنترل و خودپالایی گازهای گلخانه‌ای می‌داند. اما در مقابل نیز، در این مطالعه سرانه موردنیاز فضای سبز برای جذب ردپای دی‌اکسیدکربن برای شهر شیراز ۵۱/۷۸ مترمربع تخمین زده شده است که در پژوهش حاضر این رقم برای شهر تبریز ۹۴۳ مترمربع تخمین زده شده است که یکی از دلایل مهم آن را می‌توان صنعتی بودن شهر تبریز و مصرف بالای سوخت‌های فسیلی در این شهر بیان کرد.

هم‌چنین، این پژوهش همانند پژوهش (Ortega-Montaya & Johari, 2020)، مناطق شهری را مهم‌ترین ابزار کلیدی برای مقابله افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌داند. هم چنین، در راستای پژوهش لی و همکارانش در سال ۲۰۱۰، پژوهش حاضر

نیز پیش‌بینی ردپای کربن را برای ارزیابی اثرات انسان بر محیط لازم و ضروری می‌داند. در نهایت، این پژوهش برخلاف سایر پژوهش‌ها تنها به یک بعد از عوامل تولید گازهای گلخانه‌ای نپرداخته؛ بلکه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از کل مصرف سوخت‌های فسیلی و هم چنین محل‌دفن زباله را مورد بررسی قرار داده است.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه و تحلیل جدول (۱۰) نشان داد که سرانه فضای سبز شهری تبریز با ردپای کربن سوخت‌های فسیلی و زباله‌های دفن‌شده مطابقت ندارد و برای متعادل کردن اثرات CO_2 ناشی از سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله، باید حدود ۱۴۹،۳۸۵ هکتار به اراضی جنگلی یا فضای سبز شهری اضافه شود. این در حالی است که کل فضای سبز موجود در این شهر، حدود ۲۶۵۰ هکتار می‌باشد. به این معنی که ۵۶،۴ برابر ظرفیت بیولوژیکی شهر تبریز است. در واقع، علاوه بر سرانه فضای سبز موجود در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸، شهرداری تبریز موظف است به‌ازای هر شهروند تبریز ۹۴۳ مترمربع فضای سبز را افزایش دهد که در مقایسه با کلان‌شهر شیراز قابل‌توجه است به‌طوری که میزان سرانه فضای سبز موردنیاز برای جذب ردپای کربن شهر شیراز، ۵۱/۷۸ مترمربع می‌باشد.

این مقایسه نشان از میزان بالای دی‌اکسیدکربن در شهر تبریز دارد. همچنین، این مطالعه نشان داد که عملکرد فضای سبز شهرداری تبریز با ردپای کربن سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله، همخوانی ندارد؛ زیرا سرانه ۱۷ مترمربعی به طور قابل‌توجهی کمتر از میزان فضای سبز موردنیاز برای جذب ردپای کربن به‌ازای هر نفر است. بااین‌حال، باید توجه داشت که ایجاد فضای سبز به‌تنهایی نمی‌تواند ردپای CO_2 را جذب و تثبیت کند، چراکه حقابه زیست‌محیطی موردنیاز برای تأمین آب این مقدار از فضای سبز باتوجه‌به بحران آبی موجود، مانع از این کار است. ازاین‌رو، سرمایه‌گذاری بر روی انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی و همچنین، تبدیل ناوگان حمل‌ونقل عمومی بنزینی و گازوئیلی به خودروهای هیبریدی در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن در شهر تبریز، لازم و ضروری است.

یافته‌ها حاکی از آن است که اجرای سیاست‌ها و برنامه‌ها تأثیر چندانی در کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نداشته است. این سیاست‌ها برای سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ برنامه‌ریزی‌شده است که این مطالعه را از سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ پوشش می‌دهد. به‌صورت استنباط کلی و با بررسی سیاست‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که این سیاست‌ها به دلایلی چون ماهیت دولتی بودن این سیاست‌ها، فقدان رویکرد یکپارچه، فقدان فناوری‌های لازم و وابستگی شدید به منابع سوخت فسیلی، نگاه کوتاه‌مدت به موضوع اقتصاد کم‌کربن، عدم وجود زیرساخت‌های قانونی، فنی و اجرایی و غیره موفقیت چندانی نداشته است. کاهش گازهای گلخانه‌ای و همچنین دستیابی به شهری کم‌کربن و همچنین حرکت به‌سوی توسعه پایدار شهری، نیازمند اجرای این سیاست‌ها و برنامه‌های کاربردی است. در زیر سیاست‌ها و برنامه‌های کاربردی با درنظرگرفتن پیشنهادهای بین‌المللی ارائه گردیده است:

۱- سرمایه‌گذاری بر روی انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی جهت کاهش استفاده از گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن

۲- تبدیل ناوگان حمل‌ونقل عمومی بنزینی و گازوئیلی به هیبریدی در طی ۱۰ سال آینده

کاهش گازهای گلخانه‌ای و همچنین دستیابی به شهری کم‌کربن و همچنین حرکت به‌سوی توسعه پایدار شهری، نیازمند اجرای این سیاست‌ها و برنامه‌ها است:

۳- توسعه استراتژی‌ها و سیاست‌های بلندمدت جهت حرکت به سمت کاهش گازهای گلخانه‌ای در برنامه‌های توسعه آتی - حداقل در یک بازه زمانی ۲۰ساله.

۴- شناسایی و توجه به نقاط قوت و ضعف برنامه‌های قبلی، برای بهبود در برنامه‌های آتی با اشتراک‌گذاری برنامه های انجام شده و نتایج آنها.

۵- استفاده از مطالعات دانشگاهی در صنعت و انرژی با ارائه داده‌های روشن و دقیق برای اساتید و دانشجویان.

۶- مشارکت سازمان‌های غیردولتی در کاهش اثرات تغییرات آب‌وهوا.

۷-ارائه آموزش‌های لازم در مقاطع مختلف تحصیلی و افزایش آگاهی عمومی نسبت به تغییرات اقلیمی و اثرات افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO_2 و مشارکت دادن مردم در اجرای برنامه‌ها و سیاست‌های موسوم به شهروند کم‌کربن.

۸- تخصیص اعتبارات کافی در کاهش گازهای گلخانه‌ای با حذف بودجه‌های اضافی سایر بخش‌های بی‌اهمیت ایران.

۹- ایجاد بستر لازم برای مشارکت بخش خصوصی و حمایت از آن برای اجرای برنامه‌ها و سیاست‌های کاهش گازهـای گلخانه‌ای.

۱۰- همکاری فعال و کارآمد از سوی دولت، سازمان‌ها، وزارتخانه ها، شهرداری‌ها و بخش خصوصی و نیز ایجاد سازمانی با اختیارات گسترده برای سازماندهی فعالیت‌ها و همکاری آنها

منابع

ابوالقاسمی، مهناز؛ یوسفی، حسین؛ موسوی رینه، سیده مهسا (۱۳۹۸). ردپای کربن و روش‌های محاسبه آن بر تولید برق از منابع فسیلی و تجدیدپذیر. *فصلنامه علمی - ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، ۶، (۲)، ۳۱-۴۱.

تیموری، ایرج؛ سالاروندیان، فاطمه؛ زیاری، کرامت الله (۱۳۹۳). «ردپای اکولوژیک گاز دی‌اکسیدکربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز». *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، (۱)، ۲۰۴-۱۹۳.

شهرداری تبریز (۱۳۹۲). *سالنامه آماری شهرداری تبریز*، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌وبودجه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.

شهرداری تبریز (۱۳۹۳). *سالنامه آماری شهرداری تبریز*، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌وبودجه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.

شهرداری تبریز (۱۳۹۴). *سالنامه آماری شهرداری تبریز*، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌وبودجه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.

شهرداری تبریز (۱۳۹۵). *سالنامه آماری شهرداری تبریز*، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌وبودجه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.

شهرداری تبریز (۱۳۹۶). *سالنامه آماری شهرداری تبریز*، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌وبودجه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.

شهرداری تبریز (۱۳۹۷). *سالنامه آماری شهرداری تبریز*، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری تبریز، اداره کل برنامه‌وبودجه، گروه آمار و تحلیل اطلاعات.

صمدپور، پریماه؛ فریادی، شهرزاد (۱۳۸۷). تعیین جاپای اکولوژیکی در نواحی شهری پرتراکم و بلندمرتبه (نمونه موردمطالعه: محله الهیه تهران). *مجله محیط‌شناسی*، (۴۵)، ۶۳-۷۲.

References

Abolgasemi, M., Yousefi, H., & Musavi rineh, S.M. (2019). Carbon footprint and its calculation methods on electricity generation from fossil and renewable sources. *Scientific-Extension Quarterly of Renewable and New Energy*. 6th. 2. P31-41 (In Persian).

Abubakar, I. R., & Dano, U. L. (2018). Socioeconomic challenges and opportunities of urbanization in Nigeria. *Urbanization and its impact on socio-economic growth in developing regions*, 219-240.

Alizad Ogyanous, F., Naragi Asl, B., & Shokr Kar, H. (2018). Calculation of Biogas, Methane, Carbon Dioxide and Total Non-Methane Organic Compounds from Tabriz Landfill. *4th International Conference on Sustainable Development.*

Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet-Plamondon C, Gressot, M., & Galli, A. (2017). The ecological footprint of Mediterranean cities: awareness creation and policy implications. *Environ Sci Pol* 69:94–104.

Brandon, P. S., & Patrizia L. (2005). *Evaluating Sustainable Development in the Built Environment*, Blackwell, Oxford.

Brown, M. A., Southworth, F., & Sarzynski, A. (2009). The geography of metropolitan carbon footprints. *Policy and Society*, *27*(4), 285-304.

Burnham, A., Wang, M., & Wu, Y. (2006). "Development and applications of GREET 2.7 - the transportation vehicle-cycle model". *Argonne GREET Model Reports*.

Calcott, A., & Bull, J. (2007). *Ecological Foot Print of British City resident*, WWF-UK, wwf.org.uk.

Chatterton, T.J., Coulter., A, Musselwhite, C., Lyons, G., & Clegg, S. (2009). "Understanding How Transport Choices Are Affected by the Environment and Health: Views Expressed in a 16 Study on the Use of Carbon Calculators." *Public Health, 123* (1), 45–49.

Christopher, L., & Weber H.S. (2008). Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics*, 66, 379-391.

Druckman, A., & Jackson, T. (2009). The carbon footprint of UK households 1990–2004: a socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model. *Ecological economics*, *68*(7), 2066-2077.

Environmental Protection Organization of Iran, (EPOI). (2017). *Iran's National Strategic Plan on Climate Change*.

Fan, Y., Lio, L.C., Wu, G., & Wei, Y.M. (2006). Analyzing impact factors of CO_2 emissions using the STIRPAT model, *Environmental Impact Assessment Review*, *26*, 377-395.

Fei, L., Dong, S., Xue, L., Liang, Q., & Yang, W. (2011). Energy consumption-economic growth relationship and carbon dioxide emissions in China. *Energy policy*, *39*(2), 568-574.

Galli, A., Giampietro, M., Goldfinger, S., Lazarus, E., Lin, D., Saltelli, A., Wackernagel, M., & Müller, F. (2016). *Questioning the ecological footprint. Ecol Indic* 69, 224–232.

Giurcoa, D., & Petrie, J.G. (2007). Strategies for reducing the carbon footprint of copper: new technologies, more recycling or demand management. *Minerals Engineering*, 20, 842-853.

Goldstein, B., Gounaridis, D., & Joshua, P.N. (2019). The carbon footprint of household energy use in the United States. *PNAS*. *117* (32), 19122-19130

Grubb, E. (2007). *Meeting the carbon challenge: the role of commercial real estate owners, users& managers*. Chicago, USA.

Hammond, G. (2007). Time to give due weight to the carbon footprint issue. *Nature*, 445, 256.

Holden, E., & HØyer, K. G. (2005). The ecological footprints of fuels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *10*(5), 395-403.

Hoornweg, D., Sugar, L., & Trejos Gómez, C. L. (2011). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Environment and urbanization*, *23*(1), 207-227.

IEA (2008). Paris: *International Energy Agency*. World Energy Outlook 2008: Fact sheet.

Kenny, T., & Gray, N.F. (2009). Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland. *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 1-6.

Li, X. M., Xiao, R. B., Yuan, S. H., Chen, J. A., & Zhou, J. X. (2010). Urban total ecological footprint forecasting by using radial basis function neural network: A case study of Wuhan city, China. *Ecological Indicators*, *10*(2), 241-248.

Lim, H. J., Yoo, S. H., & Kwak, S. J. (2009). Industrial CO2 emissions from energy use in Korea: a structural decomposition analysis. *Energy Policy*, *37*(2), 686-698.

Liu, Q., Zhuang, X., Jiang, K. J., & Han, W. K. (2008). Energy and carbon embodied in main exporting goods of China. *China Industrial Economics*, *8*, 46-55. (In Chinese).

Mulrow, J., Machaj, K., Deanes, J., & Derrible, S. (2018). The state of carbon footprint calculators: An evaluation of calculator design and user interaction features. *Sustainable Production and Consumption*, *18*, 33-40.

National Iranian Oil Refining and Distribution Company, (N.I.O.R.D.C). (2013). *Supply and Distribution Management*. Iranian Petroleum Products Consumption Statistics.

National Iranian Oil Refining and Distribution Company, (N.I.O.R.D.C). (2014). *Supply and Distribution Management.* Iranian Petroleum Products Consumption Statistics.

National Iranian Oil Refining and Distribution Company, (N.I.O.R.D.C). (2015). *Supply and Distribution Management.* Iranian Petroleum Products Consumption Statistics.

National Iranian Oil Refining and Distribution Company, (N.I.O.R.D.C). (2016). *Supply and Distribution Management.* Iranian Petroleum Products Consumption Statistics.

National Iranian Oil Refining and Distribution Company, (N.I.O.R.D.C). (2017-2018). *Supply and Distribution Management*. Iranian Petroleum Products Consumption Statistics.

Ortega-Montaya, C.Y., & Johari, A. (2020). Urban Ecological Footprints. *Sustainable Cities and Communities*, 812-824.

Rees, W. E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 2, 121-l30.

Rees, W., & Wackernagel, M. (1996). *Urban Ecological Footprints: Why Cities cannot be Review*, 16,223-48.

Saemian, P., Elmi, O., Bramha, D.V., Tourian, M.J., & Sneeuw, N. (2020). Analyzing the Lake Urmia restoration progress using ground-based and spaceborne observations. Sci. *Total Environ*, 739, 139857.

Samad Pour, P., & Faryadi, S.H. (2008). Determination of ecological footprint in dense and high-rise urban areas (Study sample: Elahieh neighborhood of Tehran). *Journal of Environmental Studies*, 45, 63-72 (In Persian).

Sovacool, B.K., Brown, M.A. (2010). Twelve metropolitan carbon footprints: A preliminary comparative global assessment. *Energy Policy*, *38* (9), 4856-4869.

Tabriz Municipality. (2013). Statistical Yearbook of Tabriz. *The assistance of Planning and Development. Statistics and Information Analysis Group* (In Persian).

Tabriz Municipality. (2014). Statistical Yearbook of Tabriz. *The assistance of Planning and Development. Statistics and Information Analysis Group* (In Persian).

Tabriz Municipality. (2015). Statistical Yearbook of Tabriz. *The assistance of Planning and Development. Statistics and Information Analysis Group* (In Persian).

Tabriz Municipality. (2016). Statistical Yearbook of Tabriz. *The assistance of Planning and Development. Statistics and Information Analysis Group* (In Persian).

Tabriz Municipality. (2017). Statistical Yearbook of Tabriz. *The assistance of Planning and Development. Statistics and Information Analysis Group* (In Persian).

Tabriz Municipality. (2018). Statistical Yearbook of Tabriz. *The assistance of Planning and Development. Statistics and Information Analysis Group* (In Persian).

Teimouri, I., Salarvandian, F., & Ziarii, K. (2014). The Ecological Foot Print of Carbon Dioxide for Fossil Fuels in the Shiraz. *Geographical Research (1017-4125)*, *29*(1) (In Persian).

The Ministry of Petroleum (MOP). (2018). *Guide to calculating and reporting greenhouse gas emissions*. First Edit.

Wackernagel, M., & Rees W.E. (1996). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. 9,125.

Wei, T. (2011). Building low-carbon cities through local land use planning: towards an appropriate urban development model for sustainability.

Wiedmann, T., Wood, R., Lenzen, M., Minx, J., Guan, D., & Barrett, J. (2007). *Development of an embedded carbon emissions indicator-producing a time series of input-output tables and embedded carbon dioxide emissions for the UK by using a MRIO data optimization system*. Report to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs by Stockholm Environment Institute at the University of York and Centre for Integrated Sustainability Analysis at the University of Sydney, Defra, London, UK.

Wilson, J., & Anielski, M. (2005). Ecological Footprints of Canadian Municipalities and Regions. Canada. *The federation of canadian municipalities quality of life reporting system* .

Xing, Y., Horner, R. M. W., El-Haram, M. A., & Bebbington, J. (2009, September). A framework model for assessing sustainability impacts of urban development. In *Accounting forum* (Vol. 33, No. 3, pp. 209-224). No longer published by Elsevier.