



Spatial assessment of air pollution caused by mobile sources: a case study of Tehran region 2

Parisa Ahmadi¹ | Mehrdad Hadipour^{2✉} | Farrokh Ghahremaninejad³

1. Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: parisa.ahmad@khu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: m.hadipour@khu.ac.ir
3. Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: fg@khu.ac.ir.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 9 April 2022

Received in revised form 18

August 2022

Accepted 10 October 2022

Published online 5 May 2023

Keywords:

Spatial assessment,

Air Pollution,

Landscape,

Mobile Sources.

ABSTRACT

Air pollution is one of the consequences development, which increases with the increase in population and the expansion of urbanization, the development of transportation and the amount of fuel. Air pollution has become one of the serious dangers for many residents of big cities. The current research is theoretical-applied in terms of nature and descriptive-analytical in terms of study method. According to the subject under study and after extracting and collecting information and indicators using the library method and analyzing satellite images and examining the time series, the available information was obtained for the final analysis in such a way as to identify the ecological footprint of air pollution. As a result of mobile sources, four-stroke gasoline engines, motorcycles with two-stroke gasoline engines, and cars with four-stroke diesel engines were identified from the IPCC Inventory software. The results show that the changes and contribution of the pollutants obtained in the base year in the four studied sectors and especially in the CO₂ sector during the study period have been accompanied by many changes, as well as the changes and transformations of the urban green space (vegetation). located in the study area has caused the instability of the environment in terms of air pollution in such a way that out of the total 49564092 m² of land in the study area only 2153728 square meters were dedicated to vegetation the results of the carbon production process in this analysis The region showed that the carbon production trend increased from 43167344 kg in 2013 to 58925638 in 2017. In the automobile index, it has increased from 372189467 kg in 2013 to 497237450 kg in 2017.

Cite this article: Ahmadi, P., Hadipour, M., & Ghahremaninejad, F. (2023). Spatial assessment of air pollution caused by mobile sources: a case study of Tehran region 2. *Journal of Natural Environment*, 76 (1), 81-91. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2022.341352.2422>



ارزیابی مکانمند آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک، مطالعه منطقه ۲ شهر تهران

پریسا احمدی^۱ | مهرداد هادی پور^۲ | فرخ قهرمانی نژاد^۳

۱. گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران. رایانامه: parisa.ahmad@khu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران. رایانامه: m.hadipour@khu.ac.ir
۳. گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران. رایانامه: fgf@khu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	آلودگی هوا یکی از پیامدهایی است که با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، توسعه حمل و نقل و میزان سوخت، روز به روز بر شدت آن افزوده می شود. امروزه آلودگی هوا به یکی از خطرات جدی برای ساکنین شهرهای بزرگ تبدیل شده است. پژوهش حاضر از نظر ماهیت، نظری-کاربردی و از لحاظ روش مطالعه، توصیفی-تحلیلی است. با توجه به موضوع مورد مطالعه و پس از استخراج و گردآوری اطلاعات و شاخص ها به روش کتابخانه ای و تحلیل تصاویر ماهواره ای و بررسی سری زمانی اطلاعات موجود برای تحلیل نهایی به دست آمد به گونه ای که برای شناسایی رد پای بوم شناختی آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک از نرم افزار IPCC Inventory موتور چهار زمانه بنزینی، موتورسیکلت با موتور دو زمانه بنزینی و خودروهایی با موتور چهار زمانه دیزیلی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که تغییرات و سهم آلاینده های به دست آمده در سال پایه در چهار بخش مورد بررسی و به ویژه در بخش CO ₂ در دوره مورد مطالعه با تغییرات زیادی همراه بوده است. همچنین تغییر و تحولات فضای سبز شهری (پوشش گیاهی) منطقه ۲ شهر تهران باعث ناپایداری وضعیت محیط از نظر آلودگی هوا شده است. به گونه ای که از مجموع ۴۹۵۶۴۰۹۲ متر مربع اراضی منطقه ۲ شهر تهران تنها ۲۱۵۳۷۲۸ متر مربع به اراضی پوشش گیاهی اختصاص داشت. نتایج تحلیل روند تولید کربن در این منطقه نشان داد که روند تولید کربن از ۴۳۱۶۷۳۴۴ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۵۸۹۲۵۶۳۸ در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است. در شاخص اتومبیل از ۳۷۲۱۸۹۴۶۷ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۴۹۷۲۳۷۴۵۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵	
کلیدواژه ها: ارزیابی مکانمند، آلودگی هوا، سیمای سرزمین، منابع متحرک.	

استناد: احمدی، پریسا؛ هادی پور، م؛ و قهرمانی نژاد، فرخ (۱۴۰۲). ارزیابی مکانمند آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک، مطالعه منطقه ۲ شهر تهران. محیط زیست

طبیعی، ۷۶ (۱)، ۸۱-۹۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2022.341352.2422>



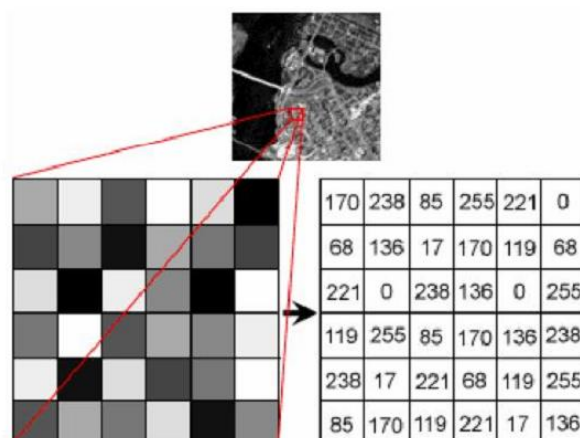
© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

در دهه‌های اخیر شاهد افزایش نگرانی جهانی در رابطه با حفظ محیط زیست و جلوگیری از آثار مخرب فعالیت‌های انسان بر روی آن هستیم (Zaker, 2013). درگذشت، شهرها به دلیل کوچکی و فشردگی، تأثیر چندانی روی آلودگی نداشتند (Moradi et al., 2019) امروزه محدودیت منابع از یک سو و رشد روزافزون جمعیت و تغییر الگوهای مصرف ماده و انرژی از سوی دیگر موجب شده است که فشار وارده به محیط زیست و منابع طبیعی روز به روز افزایش یابد (Adeli et al., 2019). برخی از کشورها با برنامه‌ریزی مناسب و بکارگیری روش‌های پیشرفته، بر این مشکلات فائق آمده‌اند و برخی دیگر از کشورها با مشکلات عدیده محیط زیستی مواجه شده‌اند (Privar, 2012) به طوری که خطر پیامد مشکلات محیط زیستی، نه تنها آرامش و امنیت زندگی انسان را برهم زده است، بلکه موجودیت را هم در معرض تهدید قرار داده است (Scheithauer et al., 2021). بنابراین فاجعه به هم خوردن تعادل محیط زیستی، یکی از مسائل مهم و دغدغه‌هایست که مشکل تنها یک کشور و یا یک قلمرو خاص نیست، بلکه تبدیل به یک معضل جهانی شده است. به گونه‌ای که براساس گزارش سازمان جهانی^۱، میزان مرگ و میر ناشی از عوامل محیط زیستی که مهم‌ترین عامل آن آلودگی هواست؛ بیش از سایر مرگ و میرها است به طوری که در سال ۲۰۱۸ بیش از ۷ میلیون نفر در جهان بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست داده‌اند (Euronews, 2018). در جامعه تکنولوژیک امروزی با توسعه فعالیت‌های صنعتی و نیز افزایش رشد جمعیت و شهرنشینی و نیاز به بهره‌داری بیشتر از منابع محدود طبیعی، باعث افزایش آلودگی‌ها به خصوص در کشورهای درحال توسعه که از فناوری بالایی جهت کاهش آلودگی هوا و انتشار گازهای آلاینده برخوردار نیستند، شده است (Lee et al., 2020). یکی از این آلاینده‌ها که می‌توان گفت مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد نقش آلاینده‌های گلخانه‌ای^۲ است. گازهای گلخانه‌ای که شامل بخار آب، دی‌اکسید کربن^۳، متان^۴، دی‌اکسید نیتروژن^۵، مونواکسید^۶ و ازن می‌باشند که در حقیقت بیشتر انتشارهای طبیعی، مانند دی‌اکسید کربن ترکیبات ازت، برای بقای حیات اهمیت فراوانی دارد و تنها هنگامی که غلظت آن‌ها از حد مجاز می‌گذرد، در زمره آلودگی‌ها قرار می‌گیرد (Naidu et al., 2021) اما فعالیت‌های انسانی است که بر سطح بسیاری از این گازها افزوده است (Zaker, 2013). هم‌چنین این گازها تأثیرات بالقوه‌ای در تغییرات آب و هوای کره زمین دارند و یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط زیست جهان در قرن ۲۱ به‌شمار می‌آید (Fong et al., 2008). با افزایش استفاده از وسایل نقلیه در شهرها، امروزه سیستم حمل و نقل یکی از مهمترین منابع آلودگی هوا می‌باشد. افزایش آلودگی هوا به دلیل افزایش شدید مجموع مسافت طی شده بوده و در حالی صورت می‌گیرد که انتشار گازهای سمی حاصل از وسایل نقلیه به‌ازای هر کیلومتر سفر کاهش یافته است (Zhang et al., 2019). احتراق سوخت در موتور وسایل نقلیه بر کیفیت هوا تأثیر می‌گذارد و بزرگترین منبع از اثرات غیرمطلوب وابسته به وسایل نقلیه مربوط به نحوه احتراق سوخت در موتور است (Tavan, 2019). افزایش نرخ استفاده از وسایل نقلیه در شمال آمریکا، انگلستان و کشورهای عضو همکاری اقتصادی اروپا نشان می‌دهد که تقریباً ۸۵ درصد اثرات مونواکسید کربن، ۴۰ درصد اثرات اکسیدهای نیتروژن و ۲۵ درصد اثرات ترکیبات آلی سبک در انگلستان ناشی از سیستم حمل و نقل می‌باشد و اثرات مذکور در ایالات متحده تقریباً به ترتیب برابر ۶۶ درصد، ۴۳ درصد و ۴۸ درصد می‌باشند. (IEA, 2008). سیستم حمل و نقل یکی از مهم‌ترین منابع آلوده کننده هوا است و سریع‌ترین رشد را در بین منابع آلودگی هوا دارد. ایجاد آلودگی هوا ناشی از وسایل نقلیه به شدت افزایش یافته است. در حالی که آلودگی سایر منابع یا کاهش یافته و یا در کمترین سطح باقی مانده است (Barnes et al., 2019). الگوی آلودگی ناشی از حمل و نقل مشابه الگوی مصرف انرژی است بدین معنی که هنگام افزایش محسوس مصرف انرژی در سیستم حمل و نقل، تولید آلاینده‌ها نیز تغییر محسوس می‌یابد (Orosa, 2011)، مصرف انرژی در سایر بخش‌ها یا کاهش یافته و یا رشد ناچیزی داشته است. در بررسی‌های انجام شده، آلوده کننده‌های هوا ناشی از وسایل نقلیه بنزینی عبارتند از: مونواکسید کربن، هیدروکربن، ترکیبات آلی سبک (در نتیجه احتراق ناقص)، اکسیدهای نیتروژن و سرب. آلودگی هوا ناشی از مصرف انرژی را می‌توان به صورت مقدار آلودگی به‌ازای کیلومتر وسیله نقلیه محاسبه نمود.

¹WHO²Greenhouse Gases³CO₂⁴CH₄⁵N₂O⁶CO



شکل ۱. نمایی شماتیک از یک تصویر ماهواره‌ای

تغییر در نوع حمل و نقل و محدودیت سرعت در میزان آلوده‌کننده‌ها نقش عمده دارد و سرعت وسایل نقلیه به‌عنوان پارامتر مهم در کاهش یا افزایش میزان آلوده‌کننده‌ها عنوان شده است. (Euronews, 2018). تهران به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان که در چند دهه گذشته با توجه به رشد سریع جمعیت شهری و توسعه بدون کنترل شاهد مشکلات عدیده‌ای به‌ویژه در بخش آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک بوده است (Panahi, 2014). با توجه به این رویکرد، پژوهش حاضر به‌دنبال بررسی و ارزیابی مکان‌مند آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در منطقه دو شهر تهران است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به لحاظ هدف توسعه‌ای-کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی توصیفی-تحلیلی مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی-های میدانی و مدلی است. برای بررسی تغییرات دوره‌ای ناشی از آلودگی هوای منابع متحرک در منطقه ۲ شهر تهران، ۳ نوع آلودگی حاصل از وسایل نقلیه موتوری که از نظر نوع سوخت مصرفی به سه دسته که شامل اتومبیل‌هایی با موتور چهار زمانه بنزینی، موتورسیکلت با موتور دو زمانه بنزینی و خودروهایی با موتور چهار زمانه دیزلی تقسیم‌بندی می‌شوند، شناسایی شد و در دو بخش با استفاده از نرم‌افزار سری زمانی Minitab و مدل EMME/2 ضریب انتشار بررسی و تحلیل شدند. در ادامه برای بررسی و تحلیل روند تغییر و تحولات فضای سبز شهری (پوشش گیاهی) واقع در منطقه ۲ شهر تهران و بررسی اثر آن بر ناپایداری وضعیت محیط از نظر آلودگی هوا، با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در دوره ۳۰ ساله، وضعیت تغییرات پوشش گیاهی در نرم‌افزار (Envi5,3,1) بررسی شد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS وضعیت تحولات نشان داده شد و در نهایت برای شناسایی رد پای بوم‌شناختی آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک در منطقه ۲ شهر تهران با شناسایی شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار IPCC Inventory Software نسخه 2.83 رد پای بوم‌شناختی آلودگی هوا و میزان تولید کربن برآورد دشد. در این پژوهش، تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل به گونه‌ای صورت گرفت که برای ۳ فرضیه و هدف مطرح شده، پاسخ‌هایی در نظر گرفته شد که به ترتیب در قسمت اول با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۲۱,۴ سطح و روند وضعیت شاخص‌های مشخص شد در ادامه با استفاده از نرم‌افزار (Envi5,3,1) وضعیت فضاهای سبز منطقه ۲ شهر تهران بررسی شد و در نهایت نیز برای سنجش وضعیت و میزان دی‌اکسید کربن در طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ با استفاده از نرم‌افزار IPCC وضعیت نهایی هر شاخص در ۴ دسته برای تولید میزان دی‌اکسید کربن مشخص گردید.

مدل ضریب انتشار^۷: قابلیت انتشار یا گسیلندگی یک ماده (معمولاً این قابلیت توسط ضریب تشعشع بیان می‌گردد که با حروف ϵ یا e نشان داده می‌شود) به قابلیت انتشار تشعشع توسط سطح آن جسم گفته می‌شود. این قابلیت انتشار تشعشعی، یک خاصیت

⁷EMME

از ماده می‌باشد که بیان‌کننده نسبت انرژی تشعشع شده توسط ماده مورد نظر به انرژی تشعشع شده توسط یک جسم سیاه در همان درجه حرارت است. بدیهی است این ضریب بدون بعد است. یک جسم سیاه‌رنگ ایده‌آل دارای ضریب انتشار $\epsilon=1$ است. هر جسم دیگر به جز جسم سیاه مطلق دارای ضریب انتشار کمتر از یک خواهد بود (Karimi and Hassanvand, 2014).

پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های سنجش از دور: در این تحقیق برای پایش تغییرات کاربری اراضی از استخراج اطلاعات کاربری اراضی به کمک تفسیر بصری و رقومی‌سازی دستی استفاده شد. از آنجا که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فرآیند طبقه‌بندی تصاویر مناسب‌ترین راه برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی است، نقشه‌سازی به کمک سنجش از دور داده‌های منابع زمینی، با فرمت دیجیتال و باندهای مختلف از طیف الکترومغناطیسی انجام شد (شکل ۱).

تحلیل مدل پیش‌بینی کربن:

مرحله اول: پنج شاخص تعریف شده در محیط نرم‌افزار IPCC برای اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن منطقه ۲ شهر تهران شامل انرژی، تولیدات صنایع، حمل و نقل و پسماند در نظر گرفته شده است که برای هر کدام از این شاخص‌ها، زیر شاخص‌هایی تعریف شده است. در این پژوهش برحسب نیاز زیر شاخص‌ها مختصر شده‌اند.

مرحله دوم: در مرحله دوم برای شروع فرآیند کار، با توجه به شاخص‌ها تلاش به گردآوری داده و اطلاعات از شرکت پخش فرآورده‌های نفتی استان، صنعت، معدن و تجارت، حمل و نقل و ترافیک شهری، جهاد کشاورزی و دامداری استان، شهرداری و سازمان حفاظت محیط زیست استفاده شد.

مرحله سوم: در محیط نرم‌افزار IPCC پس از ایجاد پایگاه داده، اطلاعات و داده‌ها با توجه به نوع سوخت آن وارد محیط نرم‌افزار شد و به پردازش داده و اطلاعات پرداخته شد. پس از پردازش و تحلیل داده‌ها، خروجی میزان تولید گازهای گلخانه‌ای استخراج شد.

مرحله چهارم: در گام آخر پس از خروجی گرفتن از داده‌ها و اطلاعات و رسیدن به میزان تولید گازهای گلخانه‌ای، اقدام به تجزیه و تحلیل گازها و میزان تولید گاز دی‌اکسید کربن در منطقه ۲ شهر تهران طی دوره ۵ ساله اقدام شد و سپس با رسم نمودار، روند کاهش یا افزایش این آلاینده نمایش داده شد (Kordebin et al., 2019).

یافته‌های پژوهش

بررسی تغییرات دوره‌های آلودگی هوای منابع متحرک در منطقه ۲: برای بررسی تغییرات دوره‌های ناشی از آلودگی هوای منابع متحرک در منطقه ۲ شهر تهران ۳ نوع آلودگی حاصل از وسایل نقلیه موتوری که از نظر نوع سوخت مصرفی به سه دسته اتومبیل‌هایی با موتور چهار زمانه بنزینی، موتورسیکلت با موتور دو زمانه بنزینی و خودروهایی با موتور چهار زمانه دیزلی تقسیم می‌شود، شناسایی شد و در دو بخش با استفاده از نرم‌افزار سری زمانی Minitab و مدل EMME/2 ضریب انتشار بررسی و تحلیل شدند (جدول ۱ و جدول ۲). در ادامه، داده‌های تسهیلات شامل عرض معبر، تعداد خطوط، طول معابر، مشخصات تقاطع‌ها و مشخصات خودروهای موجود در منطقه ۲ شامل ابعاد خودرو و در انتها اطلاعات ترافیکی شامل حجم ترافیکی، ماتریس مبدأ-مقصد برای ساعت ۷ الی ۸ صبح وارد نرم‌افزار شد که به شرح جدول ۳ می‌باشد.

نتایج حاصل از این مدل‌سازی با نتایج عددی موجود در سطح منطقه ۲ شهر تهران و با توجه به سهم منابع متحرک مقایسه شد و سهم ناوگان موجود در این منطقه در سال ۱۳۸۸ به‌عنوان پایه شناسایی و در سال ۱۳۹۷ به‌عنوان سال انتهایی تعیین شدند (جدول ۴ و شکل ۲).

بررسی و تحلیل روند تغییر و تحولات فضای سبز شهری منطقه ۲ شهر تهران: بررسی میزان تغییرات و تحولات فضای سبز منطقه ۲ شهر تهران طی سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۹۷ صورت گرفت. از این‌رو، برآورد میزان تغییرات در هر دوره، ابتدا نیاز است طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای صورت گیرد؛ خروجی فرآیند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۳) تهیه نقشه کاربری اراضی است. برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای منطقه ۲ شهر تهران، ۳ نوع مختلف کاربری اراضی تعریف شد:

(۱) اراضی ساخته شده (کاربری مسکونی و غیر مسکونی)

(۲) پوشش گیاهی (اراضی منابع طبیعی و زراعی و فضاهای سبز شهری)

جدول ۱. شاخص های آلودگی هوای منطقه ۲ شهر تهران ۱۳۸۸

نوع وسیله نقلیه	مونوکسیدکربن	دی اکسیدکربن	اکسید نیتروژن	هیدروکربن
اتومبیل	۰/۰۰۶	۰/۷۷۵	۰/۰۰۵	۰/۱۱۴
موتور سیکلت	۰/۰۰۴	۰/۶۳۲	.	۰/۱۱۲
خودروهای دیزلی	۰/۰۰۹	۱/۵۸۱	.	۰/۱۱۵

Excerpt of transportation and traffic statistics, 2017

جدول ۲. شاخص های آلودگی هوای منطقه ۲ شهر تهران ۱۳۹۷

نوع وسیله نقلیه	مونوکسیدکربن	دی اکسیدکربن	اکسید نیتروژن	هیدروکربن
اتومبیل	۰/۰۰۷	۰/۹۴۸	۰/۰۰۴	۰/۲۱۹
موتور سیکلت	۰/۰۰۵	۰/۷۹۲	۰/۰۰۱	۰/۲۱۷
خودروهای دیزلی	۰/۰۱۱	۱/۳۳۹	۰/۰۰۱	۰/۲۱۷

Excerpt of transportation and traffic statistics, 2017

جدول ۳. وضعیت انتشار آلایندهای اثرگذار در منطقه ۲ شهر تهران سال ۱۳۸۸

پارامترهای بررسی شده	میزان انتشار	درصد انتشار
مونوکسیدکربن	۳۳/۱۱۷	۶۱/۰۱
دی اکسیدکربن	۱۸/۵۲۳	۲۷/۲۳
اکسید نیتروژن	۶	۰/۰۰۳
هیدروکربن	۲۳/۲۲۶	۱۱/۷۵

۳) اراضی بایر که در واقع هر کدام از این کاربری‌ها به عنوان یک متغیر در تحقیق حاضر استفاده قرار می‌گیرند برای بررسی تغییرات فضای سبز شهری از پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۵ ارائه شده است. براساس نتایج تصاویر ماهواره‌ای لندست با قدرت تفکیک ۳۰*۳۰ متر و نیز تصویر ماهواره‌ای ASTER در طی سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ انتخاب شدند. از آنجا که زمان تصویربرداری و نوع سنجنده در میزان صحت نتایج تأثیرگذار است بنابراین در جدول ۵ مشخصات داده‌های مورد استفاده و تاریخ دقیق آن‌ها ارائه شد. در نهایت بعد از تعریف نواحی تعلیمی برای طبقه‌بندی و انتخاب باندهای بهینه، از روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. حداکثر احتمال (ML) یک روش طبقه‌بندی نظارت شده است که از قضیه بیز برگرفته شده است، این روش، بیان‌کننده یک توزیع استقرایی است. در این طبقه‌بندی، طبقه‌ای به پیکسل مورد نظر اختصاص داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن طبقه وجود دارد. این طبقه‌بندی با استفاده از فرمول توزیع نرمال نمایی چندبعدی سطوح تصمیم‌گیری را به صورت شکل ۴ نشان می‌دهد.

در این بین، دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از طریق ضریب کاپا سنجیده و محاسبه آن از طریق معادله زیر به دست می‌آید.

$$K = (N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r [X]_{-(i)} [X]_{-(+i)}) / (N^2 - \sum_{i=1}^r [X]_{-(i)} [X]_{-(+i)})$$

در این رابطه:

N = تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی (پیکسل‌های نمونه تعلیمی)

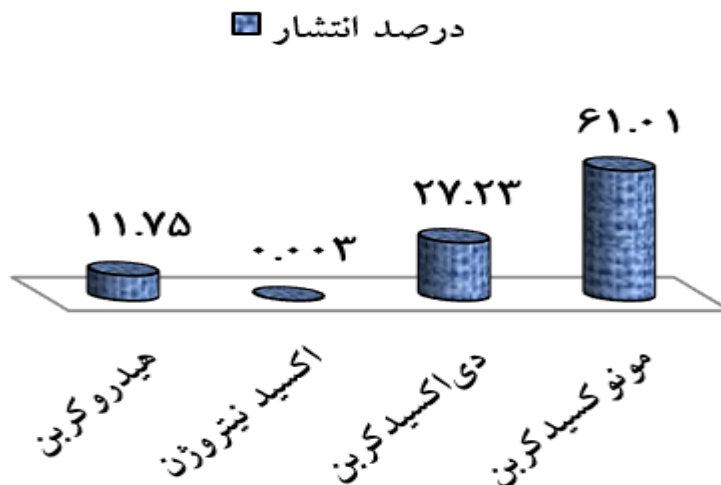
r = تعداد ردیف‌های جدول خطا

x_{ii} = تعداد مشاهدات مربوط به ردیف i و ستون i در روی قطر بزرگ

x_i = مشاهدات در ردیف i

$x+i$ = کل مشاهدات در ستون i

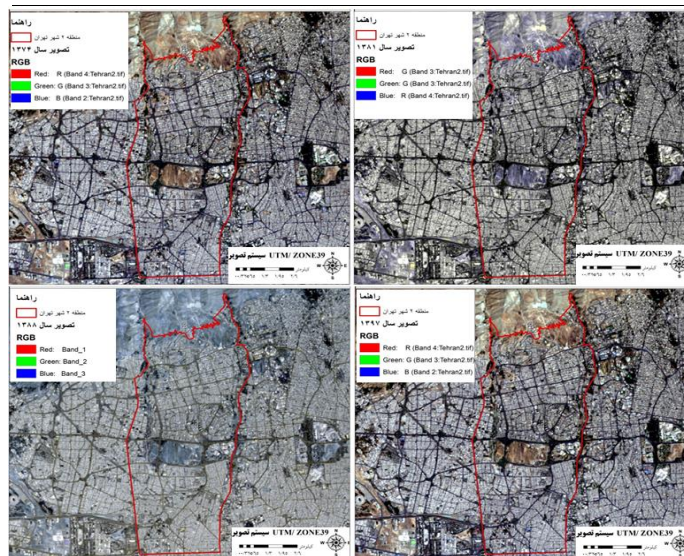
ضریب کاپا علاوه بر عناصر قطری ماتریس خطا از عناصر غیر قطری نیز برای محاسبه دقت استفاده می‌کند. مقادیر این ضریب بین صفر تا یک قرار می‌گیرد که مقدار صفر بدین معنا است که طبقه‌بندی کاملاً تصادفی انجام شده است و مقدار یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح براساس نمونه‌های تعلیمی است. ضریب کاپای به دست آمده برای تصاویر طبقه‌بندی شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۱، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر با ۰/۹۲، ۰/۹۳، ۰/۹۷ و ۰/۹۸ بوده است. جدول ۶ نتایج دقت طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. وضعیت انتشار آلاینده‌های اثر گذار در منطقه ۲ شهر تهران سال ۱۳۸۸

جدول ۵. مشخصات داده‌های مورد استفاده

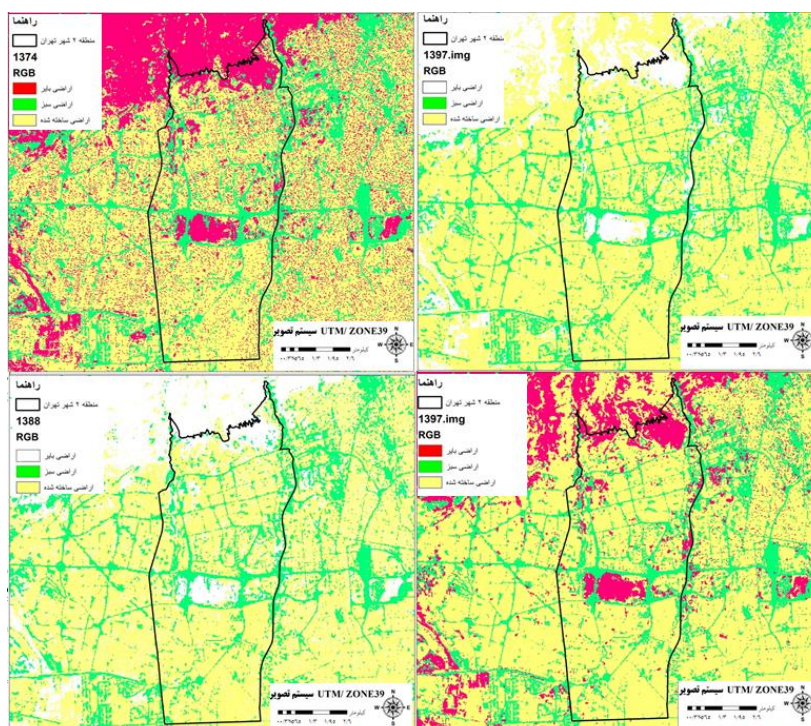
ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویربرداری شمسی	قدرت تفکیک
لندست ۴	TM	۲ خرداد ۱۳۷۴	۳۰*۳۰
لندست ۴	TM	۷ خرداد ۱۳۸۱	۳۰*۳۰
ترا	ASTER	۷ خرداد ۲۰۰۹	۳۰*۳۰
لندست ۸	OLE	۱۹ خرداد ۱۳۹۷	۳۰*۳۰



شکل ۳. تصاویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه

در نهایت می‌توان در طی ۴ دوره ذکر شده وضع موجود هر کدام از کاربری‌ها را به شرح شکل ۵ به نمایش گذاشت. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود میزان تغییرات هر کاربری در هر سال به‌طور کامل مشخص شده است که میزان تغییرات در هر دوره مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نیز شدت و نوع تغییرات از یک طبقه به طبقه دیگر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات فضای سبز طی سه دوره از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ با روندی کاهشی همراه بوده است و از سال ۱۳۸۸ به بعد و تنها در طی دوره سال ۱۳۹۷ دارای روندی افزایشی بوده است. روند تغییرات کاربری مسکونی در تمامی دوره‌ها روندی افزایشی و روند زمین‌های بایر نیز روندی کاهشی بود.

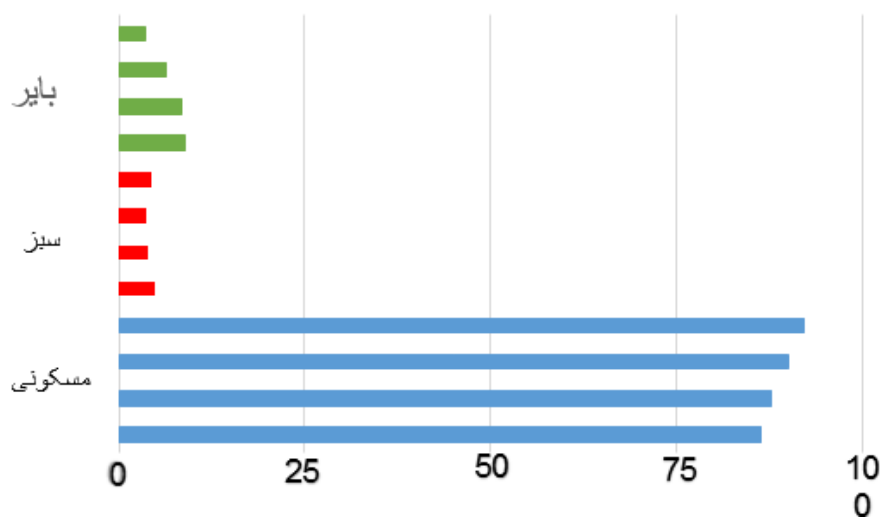
شناسایی رد پای بوم‌شناختی آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک: با گسترش مفهوم توسعه پایدار در سطح بین‌المللی، دانشمندان مدل‌های کمی و کیفی متعددی برای اندازه‌گیری توسعه پایدار در جوامع و شهری ارائه نموده‌اند، یکی از مدل‌های کمی



شکل ۴. نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

جدول ۶. نتایج دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (ضریب کاپا)

سال	صحت کلی	ضریب کاپا
۱۳۷۴	۹۸/۶۴	۰/۹۳
۱۳۸۱	۹۹/۶۵	۰/۹۴
۱۳۸۸	۹۹/۶۸	۰/۹۸
۱۳۹۷	۹۹/۴۸	۰/۹۹



شکل ۵- نتایج تحلیلی طبقاتی کاربری سه‌گانه

مهم در این زمینه روش ردپای بوم‌شناختی است که به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی و ردیابی سرمایه‌گذاری‌ها و تضمین ثروت‌های واقعی به‌شمار می‌آید. در این راستا، پارامترهای توسعه شهری و تغییرات کاربری اراضی اثر مستقیمی روی اجزای رد پای اکولوژیک از جمله حمل و نقل دارند که مهمترین خروجی آن را در قالب اثرات آلودگی هوا خواهد بود.

Application Database Inventory Year Worksheets Reports Tools Export/Import Administrate Window Help

Uncertainty Analysis - Approach 1 (Table 3.2)

Base year for assessment of uncertainty in trend 2014 Year T 2018

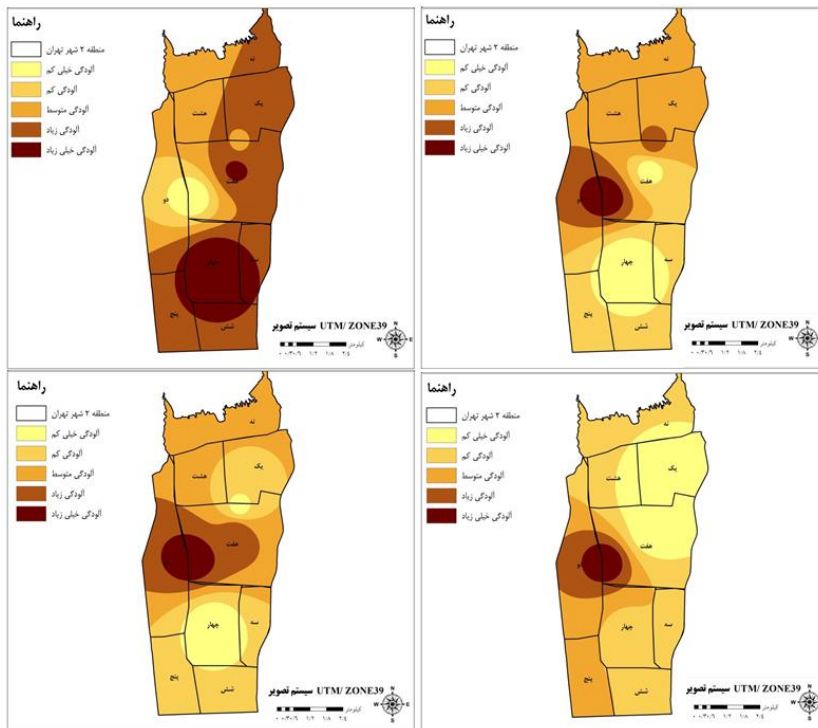
2006 IPCC Categories	Gas	Base Year emissions or removals (Gg CO2 equivalent)	Year T emissions or removals (Gg CO2 equivalent)	Activity Data Uncertainty (%)	Emission Factor Uncertainty (%)	Combined Uncertainty (%)	Contribution to Variat in Year
1.A - Fuel Combustion Activities							
1.A.1.a.i - Electricity Generation - Liquid Fuels							
	CO2	142,626,140	1,364,259,600	5,000	6,136	7,915	
	CH4	122,585	1,172,566	5,000	228,788	228,843	
	N2O	361,919	3,461,832	5,000	228,788	228,843	
1.A.1.a.ii - Combined Heat and Power Generation (CHP) - Liquid Fuels							
	CO2	48,833,293	139,526,550	5,000	6,136	7,915	
	CH4	41,972	119,921	5,000	228,788	228,843	
	N2O	123,918	354,051	5,000	228,788	228,843	
1.A.1.a.iii - Heat Plants - Liquid Fuels							
	CO2	1,425,271	3,565,679	5,000	6,136	7,915	
	CH4	1,226	3,065	5,000	228,788	228,843	
	N2O	3,619	9,048	5,000	228,788	228,843	
1.A.1.b - Petroleum Refining - Liquid Fuels							
	CO2	23,253,425	40,162,641	5,000	6,136	7,915	
	CH4	19,987	34,510	5,000	228,788	228,843	
	N2O	59,009	101,888	5,000	228,788	228,843	
1.A.1.c.i - Manufacture of Solid Fuels - Liquid Fuels							
	CO2	294,556,050	589,112,100	5,000	6,136	7,915	
	CH4	253,166	506,331	5,000	228,788	228,843	
	N2O	747,441	1,494,882	5,000	228,788	228,843	

Number of decimal places 3 Zero padding Refresh Data Export to Excel

شکل ۶- نتیجه میزان تولید دی اکسید کربن در منطقه ۲ شهر تهران

جدول ۷. میزان تولید دی اکسید کربن منطقه ۲ شهر تهران برحسب کیلوگرم (۱۳۹۷-۱۳۹۴)

شاخص	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷
انرژی	۴۳۱۶۷۳۴۴	۵۳۱۶۷۳۸۲	۵۵۴۱۷۸۴۵	۵۷۳۱۷۸۳۴	۵۸۹۲۵۶۳۸
اتومبیل	۳۷۲۱۸۹۴۶۷	۴۳۶۷۵۲۲۴۵	۴۵۱۴۵۵۷۱۲	۴۶۰۳۷۵۵۶۷	۴۹۷۲۳۷۴۵۰
موتور سیکلت	۲۷۶۳۱۷۰	۳۲۰۶۴۱۸	۳۴۴۲۴۸۵	۳۹۶۸۱۰۳	۴۳۴۰۹۰۰
خودروهای دیزلی	۱۲۱۷۸۴۳۲۸	۱۵۹۱۶۱۱۹۴	۲۳۰۱۳۲۲۶۶	۲۵۷۳۵۵۸۶۴	۲۷۵۳۶۳۳۴۰



شکل ۷. نتیجه میزان تولید دی اکسید کربن در طی سالهای ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷

برای شناسایی رد پای بوم‌شناختی آلودگی هوای ناشی از منابع متحرک در منطقه ۲ شهر تهران با شناسایی شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار IPCC Inventory Software 2018 رد پای بوم شناختی آلودگی هوا و میزان تولید کربن به‌دست آمد. بعد از طی کردن تمام مراحل به تحلیل داده‌ها می‌پردازیم و میزان تولید دی‌اکسید کربن برحسب کیلوگرم سال جاری نسبت به سال پایه سنجیده می‌شود (شکل ۶). در بخش‌هایی کار، هرکدام از شاخص‌ها در قالب شکل ۵ استخراج شد که به اختصار به ۵ شاخص آن در دوره ۵ سال اشاره شد. شاخص‌های انرژی، اتومبیل، موتورسیکلت و خودروهای دیزلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در طی دوره ۵ ساله (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷) میزان تولید و مصرف به‌دنبال افزایش جمعیت روند رو به رشدی داشته

است که این روند در بالا رفتن میزان دی‌اکسید کربن تأثیرگذار بوده است (شکل ۷ و جدول ۷). همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود شاخص انرژی در طی یه دوره پنج ساله روند افزایشی را داشته و از ۴۳۱۶۷۳۴۴ کیلوگرم در سال ۹۳ به ۵۸۹۲۵۶۳۸ در سال ۹۷ افزایش یافته است. در شاخص اتومبیل از ۳۷۲۱۸۹۴۶۷ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۴۹۷۲۳۷۴۵۰ کیلوگرم در سال ۹۷ افزایش یافته است. در بخش موتورسیکلت از ۲۷۶۳۱۷۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۴۳۴۰۹۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۷ افزایش داشته است در بخش خودروهای دیزلی از ۱۲۱۷۸۴۳۲۸ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۲۷۵۳۶۳۲۴۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۷ افزایش داشته است

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که بخش اتومبیل، در بررسی وضعیت آلودگی آن در سطح منطقه ۲ در شاخص مونوکسیدکربن عدد ۰/۰۰۶ در شاخص دی‌اکسید کربن عدد ۰/۷۷۵، در شاخص اکسید نیتروژن ۰/۰۰۵ و در شاخص هیدروکربن عدد ۰/۱۱۴ را نشان داد. همچنین در بخش موتورسیکلت در بررسی وضعیت آلودگی آن در سطح منطقه ۲ در شاخص مونوکسیدکربن عدد ۰/۰۰۴ در شاخص دی‌اکسید کربن عدد ۰/۶۳۲، شاخص اکسید نیتروژن ۰/۰۰۰ و شاخص هیدروکربن عدد ۰/۱۱۲ را نشان داد. بخش خودروهای دیزلی در بررسی وضعیت آلودگی آن در سطح منطقه ۲، شاخص مونوکسیدکربن عدد ۰/۰۰۹، شاخص دی‌اکسید کربن عدد ۱/۵۸۱، شاخص اکسید نیتروژن ۰/۰۰۰ و شاخص هیدروکربن عدد ۰/۱۱۵ را نشان داد. نتایج به‌دست آمده، میزان تغییرات هر کاربری در هر سال ارائه داد. شدت و نوع تغییرات از یک طبقه به طبقه دیگر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات فضای سبز طی سه دوره از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ با روند کاهشی همراه بود و از ۱۳۸۸ به بعد و تنها در طی دوره ۱۳۹۷ دارای روندی افزایشی بود. روند تغییرات کاربری مسکونی، روندی افزایشی در تمامی دوره‌ها و زمین‌های بایر نیز روندی کاهشی نشان داد. در در دوره چهارم (۱۳۹۷) از مجموع ۴۹۵۶۴۰۹۲ متر مربع اراضی منطقه ۲ شهر تهران ۲۱۵۳۷۲۸ متر مربع به اراضی پوشش گیاهی (سبز) اختصاص داشت. ۱۷۵۸۵۷۵ متر مربع از مجموع مساحت شهر مربوط به اراضی بایر و ۴۵۶۵۱۷۸۹ متر باقیمانده مربوط به اراضی ساخته شده بود. نتایج نشان داد که در بخش شاخص انرژی در طی یک دوره پنج ساله روند افزایشی را داشته است و از ۴۳۱۶۷۳۴۴ کیلوگرم در سال ۹۳ به ۵۸۹۲۵۶۳۸ در سال ۹۷ افزایش، در شاخص اتومبیل از ۳۷۲۱۸۹۴۶۷ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۴۹۷۲۳۷۴۵۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۷ افزایش و در بخش موتورسیکلت از ۲۷۶۳۱۷۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۳ به ۴۳۴۰۹۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۷ افزایش داشته است. در این راستا پیشنهادات ذیل قابل ارائه است:

۱. نوسازی ناوگان شهری و بخصوص ناوگان حمل و نقل عمومی با توجه به میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از خودروهای دیزلی
۲. استفاده از پتانسیل انرژی‌های نو همانند برق در صنعت خودرو سازی و نوسازی ساختار حمل و نقل خصوصی این منطقه
۳. با توجه به روند کاهشی تغییرات فضای سبز شهری در سطح منطقه افزایش سرانه از طریق احداث فضاهای سبز در این منطقه پیشنهاد می‌گردد
۴. نظارت بر کارخانجات و شرکت‌های تولید فرآورده‌های نفتی
۵. افزایش اتوبوسرانی و ایجاد خطوط ویژه در مسیرهای پر تردد
۶. نصب سیستم هوشمند موتورخانه برای ساختمان‌های دولتی، تجاری و اداری

References

- Adeli, O., Arabi, S. H., Rahimi Kahkeshi, S., 2019. Assessing the attitude and willingness to pay of immigrant citizens to improve air quality. *Journal of Natural Environment* 73(4), 715-728. (In Persian)
- Barnes, J., Chatterton, T., Longhurst, J., 2019. Emissions vs exposure: Increasing injustice from road traffic-related air pollution in the United Kingdom. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 73, 56-66.

- Excerpt of transportation and traffic statistics Report, 2017. Transportation and Traffic Organization of Tehran Municipality. Iran. 84 p. (In Persian)
- Karimi, M., Hassanvand, A., 2019. Investigating the effect of education on carbon dioxide emissions in Iran by examining the Kuznets environmental curve. *Journal of Natural Environment* 73(4), 775-789. (In Persian)
- Kordebin, S., Hojjati, S., Landi, A., Ahmadianfar, I., 2019. Comparison of emission of carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) gases in some land uses of Behbahan city. *Journal of Natural Environment* 73(3), 457-470. (In Persian)
- Lee, R.P., Meyer, B., Huang Q., Voss, R., 2020. Sustainable waste management for zero waste cities in China: potential, challenges and opportunities. *Clean Energy* 4: 169-201.
- Moradi, N., Falah Q., Gholam A., Chatranur, M., 2019. Modeling the amount of greenhouse gas emissions in gardens of Khuzestan province. *Journal of Natural Environment* 73(4), 819-833. (In Persian)
- Naidu, R., Biswas, B., Willett, I., Cribb, J., Singh, B., Nathanail, P., Coulon, F., Semple, K., Jones, K., Barclay, A., Aitken, R., 2021. Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity. *Environment International* 156, 106616.
- Privar, P., 2012. Developing a coherent framework for strategic environmental assessment of urban development plans based on resilience thinking and urban ecology approach. Master thesis in Urban Planning. School of Urban Planning. University of Tehran. Iran. 176 p. (In Persian)
- Scheithauer, M., Mamani, S. P., Lee, R. P., Keller, F., Meyer, B., Bui, X. N., Huong, T., 2021. Assessment of feasible and effective technologies for the chemical utilization of domestic coal for value-added production in Vietnam. Conference: International conference on innovations for sustainable and responsible mining. Cham, Vietnam. Pp: 364-384.
- Tvan, M., 2019. Estimation and Forecast of Carbon Dioxide Emission in Iran: Introducing a New Hybrid Modelling. *Journal of Economics and Management* 36, 144-167.
- World Energy Outlook 2008: Fact sheet Report, 2008. International Energy Agency (EIA). French.
- Zaker, K., Highlight, A., 2013. Writings about urban development, Urban Planning and Architecture Study and Research Center. Ministry of Road and Urban Development. 274 p. (In Persian)
- Zhang, Y., Yuan, Z., Margni, M., Bulle, C., Hua, H., Jiang, S., Liu, X., 2019. Intensive carbon dioxide emission of coal chemical industry in China. *Applied Energy* 236, 540-550.

