

The Feasibility of the Environmental Strategy of Zero Carbon City in Shahrekord

Mostafa Mohammadi Dehcheshme^{1*}, Sohrab Ghaedi², Neda Payvand³

1- Associate Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(*Corresponding Author Email: m.mohammadi@scu.ac.ir)

2- Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- MA in Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Extended abstract

1- Introduction:

One of the most important environmental issues is global climate change caused by the accumulation of greenhouse gases. In today's technological society, with the expansion of industrial activities, the increase in population growth, and urbanization, and the need for greater utilization of limited natural resources, pollution is increasing, especially in developing countries that do not have high technology to reduce air pollution and emission of pollutants. One of the most important of these pollutants is the role of greenhouse gas pollution. Greenhouse gases, including vapor, carbon dioxide, methane, nitrogen dioxide, monoxide, and ozone, which are natural emissions, are important for survival and only when their concentrations exceed the permissible limit. But it is human activity that has increased the levels of many of these gases. Iran is one of the first greenhouse-gas producing countries to change its temperature pattern, reduce water resources, increase seas, degrade coastal areas, destroy crops and food, destroy forests, alternate and intensify droughts. Greenhouse gases are naturally occurring in the atmosphere, but human activities and pollution caused by these activities increase the amount of gases abruptly. One of the new strategies for urban environmental sustainability and pollution control is the zero-carbon city, which is necessary for the sustainable development and development of each city.

2- Methodology:

The present study is of theoretical, practical, and descriptive-analytical research methodology. The main objective of the study is to investigate the feasibility of the environmental strategy of the Zero-carbon city in Shahrekord. In this research, after the extraction of the indices, the Anp-Dematil combination method is the most important criterion and the environmental indicator of the Zero-

carbon city in Shahrekord. Then, IPCC software was used to measure the ecological footprint in Shahrekord and was used for mapping the carbon dioxide dispersion map from the spatial satellite GIS Arc applications.

3– Discussion:

The results of the present study indicate that the relative weights of indicators in Shahrekord have an environmental creativity index of 0.298, and urban design with a weight of 0.229 is among the most important and most stable index. The energy index with a weight of 0.107 is considered the most unstable index. The environmental index was recognized in this city. Also, to determine the ecological footprint of Shahrekord's carbon dioxide emissions per year (2018), 4.51 tons of carbon dioxide emissions are used. This amount is higher than the world scale, which is 4.47 tons and is lower compared to the Iranian scale, which is 6.76 tons per year.

4– Conclusion:

The IPCC results showed that the energy index had the highest carbon dioxide production, increasing over a five-year period from 380983 tons in 2013 to 497237 tons in 2018 years, with transport reaching 119561 tons in 2013 to 275363 tons in 2018. Industry ranks third, from 24,292 tons in the year 2013 to 43,409 tons in 2018, and lastly from 5799 tons in 2013 to 12,136 tons in 2018. The crop has been the agricultural index which has declined from 36542 tons in 2013 to 25284 tons in 2018. Finally, using the national and international carbon dioxide emissions figures from the 2015 International Energy Agency report, we can say that Shahrekord's carbon dioxide emissions per capita in 2014 is 4.51 tons compared to the world scale of 4.47 tons. It is higher and lower than the Iranian scale of 6.76 tons per year. The results showed that the carbon footprint in Shahrekord is above the global average and lower than the Iranian average.

Besides, the ecological footprint of carbon in Shahrekord is above the global average and below the Iranian average. The use of environmental strategies such as increasing urban green space and replacing renewable energy sources with fossil fuels in the city can be inadequate to reach the low carbon city in Shahrekord.

Keywords: Environmental Zero Carbon City, Ecological Footprints, IPCC, Shahrekord.

References:

- Assefa, G., & Frostell, B. (2007). Social Sustainability and Social Acceptance in Technology Assessment: A Case Study of Energy Technologies. **Technology in Society**, 29(1): 63–78.
- Baynes, T. M., & Wiedmann, T. (2012). General Approaches for Assessing Urban Environmental Sustainability. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 4(4): 458-464.
- Brandon, P. S., & Patrizia, L. (2005). **Evaluating Sustainable Development in the Built Environment**. Oxford: Blackwell.

- Chavez, A., & Ramaswami, A. (2013). Articulating a Trans-Boundary Infrastructure Supply Chain Greenhouse Gas Emission Footprint for Cities: Mathematical Relationships and Policy Relevance. **Energy Policy**, 54, 376-384.
- Chu, X., Deng, X., Jin, G., Wang, Z., & Li, Z. (2017). Ecological Security Assessment Based on Ecological Footprint Approach in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 101, 43-51.
- Eckel, A. (2007). The Reality of Carbon Neutrality. **Energetics**, 21(2): 35-36.
- Fong, W. K., Matsumoto, H., Ho, C. S., & Lun, Y. F. (2008). Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission Considerations in the Urban Planning Process in Malaysia. **The Journal of the Malaysia Institute of Planners**, 6(1).
- Grubb, E., & Ellis, C. (2007). **Meeting the Carbon Challenge: The Role of Commercial Real Estate Owners**. Chicago: Users and Managers.
- Heinonen, J., & Junnila, S. (2011). A Carbon Consumption Comparison of Rural and Urban Lifestyles. **Sustainability**, 3(8): 1234-1249.
- Hussain, M., Malik, R. N., & Taylor, A. (2017). Carbon Footprint as an Environmental Sustainability Indicator for the Particleboard Produced in Pakistan. **Environmental Research**, 155, 385-393.
- IEA., World Energy Outlook. (2008). **Fact Sheet**. Paris: International Energy Agency.
- Kennedy, S., & Sgouridis, S. (2011). Rigorous Classification and Carbon Accounting Principles for Low and Zero Carbon Cities. **Energy Policy**, 39(9): 5259-5268.
- Li, X., Tian, M., Wang, H., Wang, H., & Yu, J. (2014). Development of an Ecological Security Evaluation Method Based on the Ecological Footprint and Application to a Typical Steppe Region in China. **Ecological Indicators**, 39, 153-159.
- Mac, D., & Gordon, J. (2005). **Environment: Evolution of a Concept-International Institute for Applied Systems Analysis**. (IIASA). Page1.
- Neira, M., Prüss-Ustün, A., & Mudu, P. (2018). Reduce Air Pollution to Beat NCDs: From Recognition to Action. **Lancet (London, England)**, 392(10154), 1178.
- Orosa, J. A. (Ed.). (2011). **Indoor and Outdoor Air Pollution**. Cambridge: BoD–Books on Demand.
- Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J. S. (2011). Carbon Footprint: Current Methods of Estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, 178 (1-4): 135-160.
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon Footprint: Current Methods of Estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, 178(1-4), 135-160.
- Steijger, L. A., Buswell, R. A., Smedley, V. A., Firth, S. K., & Rowley, P. (2013). Establishing the Zero-Carbon Performance of Compact Urban Dwellings. **Journal of Building Performance Simulation**, 6(4), 319-334.
- Straatman, B., Boyd, B., Mangalagiu, D., Rathje, P., Madsen, C., Madsen, B., & Rasmussen, S.

- (2015). **The Carbon City Index (CCI): A Consumption Based, Regional Input-Output Analysis of Carbon Emissions.** (n.p).
- Su, M. R., Chen, B., Xing, T., Chen, C., & Yang, Z. F. (2012). Development of Low-Carbon City in China: Where Will It Go?. **Procedia Environmental Sciences**, 13, 1143-1148.
 - Tjan, W., Tan, R. R., & Foo, D. C. (2010). A Graphical Representation of Carbon Footprint Reduction for Chemical Processes. **Journal of Cleaner Production**, 18(9), 848-856.
 - Walker, G., Karvonen, A., & Guy, S. (2015). Zero Carbon Homes and Zero Carbon Living: Sociomaterial Interdependencies in Carbon Governance. **Transactions of the Institute of British Geographers**, 40(4), 494-506.
 - Wiedmann, T., Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: Pertsova, C. C. (2008). **Ecological Economics Research Trends**. Chapter 1, 1-11.
 - Williams, I., Kemp, S., Coello, J., Turner, D. A., & Wright, L. A. (2012). A Beginner's Guide to Carbon Foot Printing, **Carbon Management**, 3, 55-67.
 - World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. (2016). **The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action**. Washington DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
 - Zhao, Y., Onat, N. C., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2016). Carbon and Energy Footprints of Electric Delivery Trucks: A Hybrid Multi-Regional Input-Output Life Cycle Assessment. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 47, 195-207.
 - Liu, Z. H., Yu, J. H., & Zhang, D. (2011). Study on Low-Carbon Building Ecological City Construction in Harmonious Beibu Gulf Culture. **Procedia Environmental Sciences**, 10, 1881-1886.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۱، پیاپی ۷۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صص ۶۰-۴۱

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۱/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۳۰

امکان‌سنجی راهبرد زیست‌محیطی شهر کربن صفر در شهرکرد

مصطفی محمدی ده‌چشمه^{*}، دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده‌ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

m.mohammadi@scu.ac.ir

سهراب قائدی، استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده‌ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

s.ghaedi@scu.ac.ir

ندا پیوند، کارشناسی‌ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده‌ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

npeyvand761@gmail.com

چکیده

تغییرات آب‌وهوایی در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی و گسترش شهرنشینی، شرایط زیست‌انسان را روی کره زمین با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده است. پژوهش حاضر به‌لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی، توصیفی-تحلیلی مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی و تحلیل پرسش‌نامه‌ای است.

برای دستیابی به اهداف پژوهش، شاخص‌هایی در هشت دسته با توجه به اهداف پژوهش استخراج شد. با استفاده از فرمول کوکران، ۱۰۰ نفر از متخصصان حوزه محیط‌زیست شهری به‌مثابه نمونه پژوهش تعیین شدند؛ سپس با استفاده از روش ترکیبی Anp-Dematil، مهم‌ترین معیارها و شاخص‌های زیست‌محیطی شهر کربن صفر در شهرکرد رتبه‌بندی شد. برای اندازه‌گیری ردپای بوم‌شناختی در شهرکرد از نرم‌افزار IPCC استفاده شد.

بر مبنای نتایج بررسی شاخص‌های مؤثر بر استقرار شهر کم‌کربن در شهرکرد، شاخص‌های خلاقیت زیست‌محیطی و طراحی منظر شهری به‌مثابه پایدارترین شاخص‌ها و شاخص انرژی به‌مثابه ناپایدارترین شاخص شناخته شدند؛ همچنین برای تعیین ردپای بوم‌شناختی از سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن شهرکرد در سال ۱۳۹۶، ۴،۵۱ تن، بهره‌گرفته شد که در مقایسه با مقیاس جهانی که ۴،۴۷ تن است، بیشتر و در مقایسه با مقیاس ایران که ۶،۷۶ تن در سال است، کمتر است. نتایج نشان داد ردپای بوم‌شناختی کربن در شهرکرد فراتر از میانگین جهانی و کمتر از میانگین ایران است.

واژه‌های کلیدی: شهر زیست‌محیطی کربن صفر، ردپای بوم‌شناختی، مدل‌سازی ساختاری PLS، IPCC، شهرکرد

*نویسنده مسؤول

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/gep.2020.122584.1291](https://doi.org/10.22108/gep.2020.122584.1291)

۱. مقدمه و بیان مسئله

در گذشته شهرها به دلیل کوچکی و فشردگی تأثیر چندانی بر آلودگی نداشتند. امروزه محدودیت منابع و نیز رشد روزافزون جمعیت و تغییر الگوهای مصرف ماده و انرژی موجب شده است فشار وارد شده به محیط‌زیست و منابع طبیعی هر روز افزایش یابد (تیموری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۰۲). بعضی کشورها با برنامه‌ریزی مناسب و به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته روز بر این مشکلات فائق آمده‌اند و بعضی دیگر با مشکلات عدیده زیست‌محیطی مواجه شده‌اند (عالی، ۱۳۹۵: ۲). در دهه‌های اخیر، شاهد افزایش نگرانی جهانی درباره حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از آثار مخرب فعالیت‌های انسان روی آن هستیم (عجایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲)؛ به طوری که خطر پیامدهای مشکلات زیست‌محیطی آرامش و امنیت زندگی انسان را بر هم زده و موجودیت آن را نیز در معرض تهدید قرار داده است؛ بنابراین فاجعه برهم خوردن تعادل زیست‌محیطی، یکی از مسائل مهم و دغدغه‌هایی است که مشکل تنها یک کشور یا یک قلمرو خاص نیست، بلکه به یک معضل جهانی تبدیل شده است؛ به گونه‌ای که براساس گزارش سازمان جهانی^۱، میزان مرگ‌ومیر ناشی از مسائل زیست‌محیطی که مهم‌ترین عامل آن آلودگی هواست، بیش از سایر مرگ‌ومیرهاست. پس از دخانیات، آلودگی هوا، دومین عامل مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های غیرواگیردار در جهان است (Neira et al., 2018: 1078).

در جوامع امروزی با توسعه فعالیت‌های صنعتی و افزایش رشد جمعیت و شهرنشینی و نیاز به بهره‌برداری بیشتر از منابع محدود طبیعی، آلودگی‌ها افزایش یافته است؛ به ویژه در کشورهای در حال توسعه که فناوری پیشرفته‌ای برای کاهش آلودگی هوا و انتشار گازهای آلاینده ندارند. یکی از این آلاینده‌ها و در واقع مهم‌ترین آنها، گازهای گلخانه‌ای^۲ است. گازهای گلخانه‌ای شامل بخار آب، دی‌اکسیدکربن^۳، متان^۴، دی‌اکسید نیتروژن^۵، مونواکسید^۶ و اوزون هستند. درحقیقت بیشتر انتشارهای طبیعی مانند دی‌اکسیدکربن و ترکیبات ازت برای بقای حیات اهمیت فراوانی دارند و فقط هنگامی که غلظت آنها از حد مجاز می‌گذرد، در زمره آلودگی‌ها قرار می‌گیرند؛ اما فعالیت‌های انسانی است که بر سطح بسیاری از این گازها افزوده است (عجایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲)؛ همچنین این گازها تأثیرات بالقوه‌ای بر تغییرات آب‌وهوای کره زمین دارند و یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط‌زیست جهان در قرن ۲۱ هستند (fong et al., 2008: 2507)؛ از این بین گاز دی‌اکسیدکربن، یکی از اساسی‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که موجب آلودگی هوا و افزایش پدیده گرمایش جهانی و تخریب محیط‌زیست می‌شود و معیاری برای آلودگی و تخریب محیط‌زیست است که در نتیجه صنعتی شدن و بهره‌برداری فشرده از سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز تولید می‌شود (درگاهی و بهرامی غلامی، ۱۳۹۶: ۷۴)؛ در عین حال این گاز در صورت افزایش در محیط آثار ناخوشایندی بر سلامتی دارد (ظاهرخانی، ۱۳۹۰: ۵)؛ از جمله بیماری‌های ناشی از آلودگی که به‌تازگی برای انسان اهمیت روزافزون یافته است؛ مانند تنگی نفس، برونشیت، انواع سرطان‌ها به‌ویژه سرطان ریه و نابسامانی‌های رشد جنین که ممکن است از راه آلاینده‌های

1. WHO
2. Greenhouse Gases
3. Co2
4. CH4
5. No2
6. Co

محیطی به وجود آیند (کنت وات، ۱۳۸۹: ۲۴۱).

ایران از جمله کشورهایی است که پیمان کیوتو را در سال ۱۳۷۷ (۱۹۹۸) پذیرفته است. در گزارش حاصل از هفدهمین کنفرانس تغییرات آب‌وهوا در آفریقای جنوبی، ایران رتبه هفتم تولید دی‌اکسیدکربن و رتبه ۶۰ (از بین ۶۱ کشور) جهان را در کارایی سیاست‌های مبارزه با تغییرات آب‌وهوا دارد؛ بدین ترتیب نیاز به برنامه‌ریزی برای کاهش دی‌اکسیدکربن در کشور به شدت احساس می‌شود.

کشور آلمان از مهم‌ترین کشورهایی است که موضوع کاهش میزان انتشار کربن را در مقیاس‌های گوناگون به‌مثابه راهکاری برای مقابله با پدیده تغییر اقلیم در دستورکار توسعه کشور خود قرار داده است (لطفی و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۴). در واقع بحث شهر کم‌کربن تا به امروز عمدتاً درباره کشورهای با درآمد زیاد و متوسط مطرح بوده است. دلایلی وجود دارد که حتی فقیرترین کشورهای دارای انتشار گازهای گلخانه‌ای را به پیگیری توسعه کم‌کربن علاقه‌مند کرده است. شاید به همین دلیل است که بسیاری از پژوهشگران پژوهش‌های اخیر خود را به میزان تأثیرگذاری عوامل مختلف بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن اختصاص داده‌اند؛ زیرا فهم عوامل تأثیرگذار در این باره به سیاست‌گذاران کمک خواهد کرد تا سیاست‌های خود را منطبق با کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌ویژه کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن طراحی کنند (آسیابانی‌پور، ۱۳۹۳: ۲۸).

شهرهای ایران مانند اصفهان، تهران، مشهد و تبریز با معضل آلودگی هوا مواجه شده‌اند. اصفهان، یکی از کلان‌شهرهای آلوده کشور است که دلیل آن، وجود صنایع بزرگ و کوچک، نیروگاهها و خودروها در آن است. تهران نیز براساس یافته‌های سازمان بین‌المللی جزو شهرهای آلوده محسوب می‌شود (کریمی و موسوی مدنی، ۱۳۹۴: ۵۷۴). تهران پس از جاکارتا، پایتخت اندونزی، هفتمین شهر آلوده جهان است (Neira et al., 2018: 1078). بر این اساس و با توجه به معضلات شهرهای کنونی که پیش از این ارائه شد، در این پژوهش، خلق شهر کربن صفر مبتنی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مدنظر قرار گرفته است.

شهر کربن صفر، اصطلاح جدیدی در برنامه‌ریزی شهری است که رکن اساسی توسعه زیست‌محیطی را تشکیل می‌دهد. شهر کربن صفر یا کم‌کربن به‌طور معمول نشان‌دهنده انتشار گازهای گلخانه‌ای است که این اصطلاح به‌ندرت دقیق تعریف می‌شود. متأسفانه این اصطلاحات بسیار نامحدود تعریف شده است؛ به‌ویژه برای یک سیستم بزرگ و پیچیده به‌مثابه یک شهرستان، بدون تعریف واضح، سودمندی این اصطلاحات بسیار محدود می‌شود (Kennedy and Sgouridis, 2011: 5263). اصطلاح کربن صفر ممکن است دو مفهوم را دربرداشته باشد؛ اول، کاهش استفاده از منابع انرژی و دوم، بهبود بهینه‌سازی ساختار انرژی؛ همچنین کاهش تراکم کربن در منابع انرژی. در همه جوامع صنعتی دنیا به‌وضوح مفهوم شهر کم‌کربن دیده می‌شود (مانند ژاپن و بریتانیا)؛ به بیانی این مفهوم جهانی با هدفی یکپارچه به‌دنبال بهبود سطح توسعه جوامع انسانی و توسعه پایدار است (مفیدی، ۱۳۹۶: ۵).

قلمرو پژوهش حاضر، شهر شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری است. براساس آمار سال ۱۳۹۵، جمعیت شهرکرد ۱۹۰۴۴۱ نفر است. از نظر موقعیت جغرافیایی، شهرکرد در ۹۷ کیلومتری جنوب غرب اصفهان قرار گرفته است. این شهر با توجه به میزان جمعیتی، جغرافیای طبیعی، جغرافیای اقتصادی، تحولات زیست‌محیطی، توسعه صنعتی و منابع طبیعی

تاکنون کمتر به‌مثابه یک شهر ناپایدار زیست‌محیطی شناخته شده است؛ با وجود این گسترش فعالیت‌های صنعتی، افزایش بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی در مقیاس وسیع، افزایش جمعیت و رشد فیزیکی شهر باعث تغییرات فرسایش در اکوسیستم این شهر شده است؛ بنابراین با مشاهده مسائل یادشده و پتانسیل‌های موجود منطقه‌ای در این شهر، موضوع شهر کربن صفر به‌مثابه یک چشم‌انداز روشن زیست‌محیطی در شهرکرد مطرح شده است. بر این اساس هدف اصلی این پژوهش، امکان‌سنجی راهبرد زیست‌محیطی شهر کربن صفر در شهرکرد است.

۲. مفاهیم نظری پژوهش

۱.۲. آلودگی هوا

منشأ آلاینده‌های موجود در هوا دو منبع طبیعی و انسانی است. در سطح جهان، بزرگ‌ترین منبع آلاینده‌ها، رخداد‌های طبیعی هستند؛ آتشفشان‌ها، طوفان‌های شن، آتش‌سوزی‌های جنگلی و مانند آنها. با همه اینها، آلاینده‌های انسانی عمدتاً چشمگیرترین و مهم‌ترین تهدید درازمدت برای زیست‌کره به شمار می‌آیند؛ نیروگاه‌ها، اتومبیل‌ها، کارخانه‌ها و سایر منابع انسانی مقادیر زیادی آلاینده را به هوا روانه می‌کنند. در اصل مشکلات ناشی از آلودگی هوا به‌طور عمده‌ای در مناطق شهری ایجاد می‌شود و مجتمع‌های صنعتی، چالش عمده‌ای برای جامعه فعلی است (Orosa, 2011: 4).

جو زمین، لایه نازکی از گازهای مختلف است که دور کره زمین را احاطه کرده و منبعی برای زندگی تمام موجودات ساکن در این کره خاکی است. نیروی جاذبه زمین این گازها را در فضای پیرامون زمین نگه داشته و مانع از پراکنده شدن آنها در فضای بی‌کران می‌شود. عمده‌ترین گازهای تشکیل‌دهنده جو زمین عبارت‌اند از: نیتروژن (۷۸٪)، اکسیژن (۲۱٪) و دی‌اکسیدکربن که با نسبت حجمی معادل ۰٫۰۳٪ کمترین مقدار را در میان گازهای اصلی تشکیل‌دهنده جو زمین دارد؛ با این حال به‌جز گازهای بالا، گازهای دیگری نظیر متان، منواکسیدکربن، ازن، کلروفلوروکربن‌ها، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، هیدروکربن‌ها، سولفید هیدروژن و ذرات بسیار ریز گردوغبار خیلی کم در جو زمین یافت می‌شوند. بخار آب از جمله گازهای تشکیل‌دهنده جو زمین است که تا ارتفاع چند کیلومتری از سطح زمین به نسبت حجمی ۱ تا ۴ درصد یافت می‌شود.

جدول ۱. ترکیب طبیعی هوا

Table 1. Natural air composition

نوع گاز	درصد حجمی در هوای خشک
نیتروژن	۷۸ / ۰۹
اکسیژن	۲۰ / ۹۴
آرگون	۰ / ۹۳
دی‌اکسیدکربن	۰ / ۰۳۱۸
نئون	۰ / ۰۰۱۸
هلیوم	۰ / ۰۰۰۵۲
متان	۰ / ۰۰۰۱۵
کریپتون	۰ / ۰۰۰۱
اکسید نیتروژن N_2O	۰ / ۰۰۰۰۲۵
هیدروژن	۰ / ۰۰۰۰۵
گزنون	۰ / ۰۰۰۰۰۸

منبع: اصیلیان و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۶

۲.۲. دی‌اکسیدکربن

دی‌اکسیدکربن به‌مثابه یک گاز گلخانه‌ای از حدود ۱۱۰ سال پیش شناخته شده است. این گاز بی‌رنگ و بی‌مزه است و از زمانی که زمین اتمسفر خود را داشته، این گاز بخشی از اتمسفر بوده است؛ به‌طوری که گفته می‌شود ۵۰ تا ۶۰ درصد اثر گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های گاز دی‌اکسیدکربن است. با مطالعه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن طی یک دوره ۱۶۰۰۰ ساله برآورد شده که هر زمان غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش یافته، دمای کره زمین نیز افزایش یافته و هر زمان که غلظت دی‌اکسیدکربن کاهش یافته، دمای کره زمین نیز کاهش یافته است. از عمده‌ترین منابع تولید دی‌اکسیدکربن، احتراق سوخت‌های فسیلی است و هر ساله بیش از ۶ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن ناشی از فرایندهای احتراق به جو اضافه می‌شود؛ همچنین دیگر فعالیت‌های انسانی نیز در تولید دی‌اکسیدکربن دخالت دارند؛ برای نمونه هنگامی که جنگل‌ها و فضا‌های سبز به مزارع بایر یا زمین ساختمانی تبدیل می‌شوند، سه پدیده روی می‌دهد؛ ترکیب کلی خاک به سرعت تغییر می‌یابد و مواد آلی موجود در خاک اکسید و به‌صورت دی‌اکسیدکربن وارد جو می‌شود. به‌طور متوسط برآثر جنگل‌زدایی هر ساله حدود ۱ تا ۲ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن به جو زمین وارد می‌شود. چوب برداشت شده از جنگل‌ها، چه به‌صورت مستقیم (مصرف سوخت) و چه به‌صورت غیرمستقیم (مصرف در فرایندهای شیمیایی)، منبع انتشار دی‌اکسیدکربن است. با ازبین‌رفتن جنگل‌ها و فضا‌های سبز، امکان فرایند فتوسنتز از بین می‌رود و بدین ترتیب دی‌اکسیدکربن بیشتری در جو باقی می‌ماند. جنگل‌ها و فضا‌های سبز در تغییر غلظت دی‌اکسیدکربن مؤثرند. به‌طور کلی دی‌اکسیدکربن موجود در شهرها در فرایند فتوسنتز مصرف می‌شود؛ ولی در مجموع اثر این عامل نسبت به منبع تولید چندان مؤثر نیست و دی‌اکسیدکربن با سرعت بسیار زیاد روزبه‌روز در حال افزایش است (اصیلیان و همکاران، ۱۳۸۵: ۷۱).

۲.۳. تعاریف ردپای کربن

ردپای کربن، یکی از مباحث و مسائل مهم ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست است که در دهه‌های اخیر بسیاری از پژوهشگران آن را مطالعه کرده‌اند. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر سبب گرم‌شدن کره زمین می‌شود که پیامدها و عوارض خطرناکی را به دنبال دارد. کاهش کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های اخیر در دستورکار مسائل محیط‌زیست قرار گرفته است؛ همچنین به ردپای کربن به‌مثابه مسئله‌ای مهم و جدی در سراسر جهان توجه شده است. ردپای کربن در واقع یکی از شاخص‌های تعیین‌کننده انتشار گازهای گلخانه‌ای است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با یک فعالیت ایجاد و برحسب دی‌اکسیدکربن بیان می‌شود. ردپای کربن (carbon footprint) یکی از تأثیرات عمده محیط‌زیست، ایمنی و بهداشت محیط است که امروزه بر سر زبان‌ها افتاده است. به این اصطلاح، هم در بخش‌های عمومی و دولتی و هم در بخش‌های خصوصی و رسانه‌ای، توجه شده است. ردپای کربن درحقیقت مقیاسی از مقدار کل خروجی دی‌اکسیدکربن و متان مربوط به یک جمعیت سیستم یا فعالیت معین با در نظر گرفتن همه منابع، فروشنین‌ها و

ذخیره‌شدن‌ها در محدوده زمانی و مکانی آن جمعیت، سیستم یا فعالیت است (ولایت‌زاده و دوازده‌امامی، ۱۳۹۸: ۴۸).

جدول ۲. تعاریف ردپای کربن

Table 2. Definitions of carbon footprint

منبع	تعریف
BP (2007)	ردپای کربن دی‌اکسیدکربن منتشرشده ناشی از فعالیت‌های روزانه است؛ مانند شستن لباس یا استفاده از وسایل حمل‌ونقل.
CarbonTrust (2007)	یک روش برای تخمین کل انتشار گازهای گلخانه‌ای، معدل کربن تولیدشده در سراسر چرخه عمر یک محصول از تولید مواد اولیه استفاده‌شده در تولید آن تا دفع محصول نهایی است.
Energetics Eckel (2007)	ردپای کربن به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌های کسب‌وکار گفته می‌شود.
ETAP (2007)	ردپای کربن در واقع اندازه‌گیری تأثیر فعالیت‌های انسانی در محیط‌زیست از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون اندازه‌گیری میزان دی‌اکسیدکربن است.
Grub and Ellis (2007)	ردپای کربن، اندازه‌گیری مقدار دی‌اکسیدکربن منتشرشده از راه احتراق سوخت‌های فسیلی است؛ برای نمونه درباره یک بنگاه تولیدی، ردپای کربن، مقدار دی‌اکسیدکربن منتشرشده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌های روزانه است؛ همچنین ممکن است بازتاب انرژی‌های فسیلی را در تولید یک محصول یا محصولات یک بازار نشان دهد.
Palliamentary Office of Science and Technology (POST 2006)	ردپای کربن، مقدار دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای ساطع‌شده در طول چرخه کامل عمر یک محصول است.

منبع: اندایش و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۶۸

۲.۴. شهر کم‌کربن

از جمله شهرهای پایدار مطرح‌شده در سال‌های اخیر، شهر کم‌کربن است که در زمینه پاسخگویی به تغییرات آب‌وهوایی جهانی و در دفاع از کاهش تخلیه گازهای گلخانه‌ای در فعالیت‌های تولیدی انسان مطرح شد (Wentong and Hu, 2000: 256). در زمینه ورود توسعه پایدار به جریان اصلی بحث‌های سیاست جهانی، هیچ رویدادی تأثیرگذارتر از گزارش کمیته جهانی محیط‌زیست و توسعه (۱۹۸۷) نبوده است که معمولاً با عنوان کمیته برانت لند شناخته می‌شود. این گزارش که در سطح وسیعی به‌صورت یک کتابچه با عنوان «آینده مشترک ما» منتشر شد، بیان‌کننده موضوعی است که امروز به‌مثابه تعریف متداول توسعه پایدار مطرح است؛ «توسعه‌ای که نیازهای کنونی را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای آنها برطرف کند» (ویلر و بیتلی، ۱۳۸۴: ۸۱). پیش از آن در ابتدای قرن بیستم با توسعه سریع علم و فناوری، ساخت‌وساز بیش‌ازحد انسان، تعادل طبیعی محیط‌زیست را

بر هم زد و بحران‌های پیش‌آمده پیامدهایی جبران‌نشده را برای انسان به ارمغان آورد. شهر کم‌کربن به‌مثابه یک مفهوم جدید در نظر گرفته شده و در حال تبدیل شدن به یک موضوع جهانی و اصلی توسعه شهری است. در سال ۱۹۷۱ یونسکو در بیانیه انسان و کره زمین (MAE) مفهوم شهر زیست‌محیطی را ارائه کرد که از منظر زیست‌محیطی، روشی برای مطالعه ساخت‌وساز شهری است (Liu et al., 2011: 423). در حال حاضر دانشمندان چینی شهرهای کم‌کربن را به سه دسته تقسیم می‌کنند.

جدول ۳. انواع شهرهای کم‌کربن

Table 3. Types of low carbon cities

شهر کم‌کربن	شهر به‌مثابه محل اجرای اقتصاد	شهر به‌مثابه الگوی توسعه
تبدیل الگوی توسعه اقتصادی سنتی	با هدف نهایی کاهش انتشار کربن	شهر به‌مثابه الگوی جدید توسعه
با مصرف انرژی‌های عظیم و هزینه‌های زیست‌محیطی به انرژی‌های کم‌مصرف	حفظ میزان مصرف و انتشار انرژی	در نظر گرفتن ایده شهر کم‌کربن
رشد اقتصادی و پیشرفت اجتماعی	در پایین‌ترین سطح ممکن با فرض	در همه زمینه‌های توسعه شهری
زندگی، سیستم و مدیریت	از جمله تولید صنعت، مصرف و امور	

منبع: Su et al., 2012: 1145

۳. پیشینه شهر کم‌کربن

مسئله محیط‌زیست در اواسط دهه ۱۹۶۵ با افزایش میزان آلودگی محیط‌زیست، هشدار برای جهانیان محسوب و سبب تشکیل گروه‌های طرفدار محیط‌زیست شد که از حامیان محیط‌زیست در جهان بودند (دیانی، ۱۳۹۶: ۲)؛ بنابراین به یکی از مسائل روز جهان تبدیل شد که علاوه بر اهمیت جهانی در سیاست‌گذاری کشوری نیز به آن توجه شده است؛ به‌طوری که در قانون برنامه چهارم ایران به مسئله محیط‌زیست توجه ویژه‌ای شده است؛ اما این تلاش‌ها در قالب قوانین و مقررات برنامه پنج‌ساله بوده و در حوزه آلودگی و تخریب محیط‌زیست توسط انسان‌ها و ارزش‌گذاری آن در کتب مختلف، مطالعات علمی و تجربی کمی انجام شده است (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). یکی از مهم‌ترین این آلودگی‌ها، افزایش گازهای گلخانه‌ای است که تأثیرات بالقوه‌ای بر تغییرات آب‌وهوای کره زمین دارند و یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط‌زیست جهان در قرن ۲۱ محسوب می‌شود؛ همچنین نگرانی جهانی درباره افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی سبب شد برای کنترل گازهای گلخانه‌ای، پیمان کیوتو در سال ۱۹۹۷ به امضای بعضی کشورهای جهان برسد. براساس این پیمان سال ۱۹۹۰ به‌مثابه سال پایه برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخاب شد. بر مبنای این پیمان، کشورهای صنعتی جهان موظف هستند ۵۵ درصد از حجم گازهای گلخانه‌ای خود را کاهش دهند (Brandon and Lombardi, 2005: 161). ایران در سال ۱۹۹۰، فقط ۱/۱ درصد از کل آلودگی هوای دنیا را به خود اختصاص داده است. سهم ایران در سال ۲۰۰۶، به ۱/۵ درصد افزایش یافته است. در گزارش توسعه انسانی سازمان ملل، تولید سرانه گاز دی‌اکسیدکربن برای هر نفر ۶/۴ تن بوده است؛ یعنی هر ایرانی سالیانه ۶/۴ تن دی‌اکسیدکربن در اتمسفر منتشر می‌کند (IEA, 2008: 20). براساس گزارش بانک جهانی، شاخص‌های عملکرد زیست‌محیطی در سال ۲۰۰۶ میلادی، ایران را از نظر شاخص هوا با کسب نمره ۱/۳۱ در میان ۱۳۳ کشور

جهان در رتبه ۱۱۷ جای داده است؛ همچنین براساس آمار سال ۲۰۱۶ بانک جهانی، در ایران نسبت مرگ‌ومیر مرتبط با آلودگی هوا بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ حدود ۱۰ درصد افزایش یافته و غلظت سالیانه ذرات معلق ریز هوای آزاد در سال ۲۰۱۳ بیش از سه برابر مقادیر رهنمودی سازمان جهانی بهداشت بوده است.

در تاریخ ۱۲ دسامبر ۲۰۱۵ در پاریس، ۱۹۵ کشور بر سر قراردادی (IPCC) به منظور مقابله با تغییرات اقلیمی و بازشدن گرورها برای اقدامات علیه تغییر اقلیم و همچنین سرمایه‌گذاری در زمینه اقتصاد کم‌کربن مقاوم، انعطاف‌پذیر و پایدار توافق کردند. در ۲۲ آوریل ۲۰۱۶ (روز زمین) در مراسمی در نیویورک، توافقنامه سازمان ملل متحد برای امضا معرفی شد. چهارچوب این توافقنامه در زمینه تغییر اقلیم در رابطه با کاستن از انتشار گازهای گلخانه‌ای، سازگاری و امور مالی است که از سال ۲۰۲۰ شروع می‌شود (WHO, 2014).

بحث درباره اینکه شهر چگونه و از چه روش‌هایی به سمت کاهش مصرف کربن حرکت می‌کند، پیشینه پر بار و جالب توجهی دارد و در سال‌های اخیر، بسیاری از پژوهشگران داخلی و خارجی با استفاده از روش‌های مختلف به دنبال دستیابی به شهر صفر کربن یا کم‌کربن هستند. در زیر به مهم‌ترین پژوهش‌های خارجی و داخلی اشاره شده است.

چاوز و راماسویی^۱ (2013) در مقاله‌ای با عنوان «حرکت به سمت شهرهای کم‌کربن در جامعه» دریافتند هیچ روش استانداردی برای اندازه‌گیری مقیاس انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود ندارد و یک پارامتر برای اندازه‌گیری این انتشارات کافی نیست؛ بلکه ترکیبی از متغیرها مانند گازهای گلخانه‌ای در واحد ساکنان شهر به همراه کارکنان شهر یا کل خروجی اقتصادی به‌مثابه معیارهای بالقوه برای تعریف شهر کم‌کربن به کار می‌رود.

هیونن و جونیل^۲ (2011) در مقاله‌ای با عنوان «تأثیرات ساختار شهری در مصرف کربن در مناطق شهری» به این نتیجه رسیدند که تأثیر کربن چگالی شهری و نوع ساختمان غالب در مناطق شهری انتخاب‌شده ناشی از تأثیرات متفاوتی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در ساختار شهری و کلاس‌های مصرفی مرتبط با خدمات است.

چو و همکاران^۳ (2017) در مقاله‌ای با عنوان «توسعه روش‌های حفاظت زیست‌محیطی براساس ردپای بوم‌شناختی در ناحیه جلگه‌ای چین» نشان دادند شاخص‌های فشار ردپای مصرف و ردپای تولید به‌طور کلی در طول دوره مطالعه در تمام مناطق بررسی شده افزایش یافته‌اند.

ژائو و همکاران^۴ (2016) در پژوهشی انتشار کربن و ردپای کربن را در مکان‌های صنعتی مناطق مختلف چین با استفاده از داده‌های مصرف انرژی و زمین هر منطقه طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۸ بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد مقدار کل انتشار کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی و مصرف انرژی به ترتیب در مناطق مختلف کشاورزی، مسکونی تجاری، فضاهای صنعتی و حمل‌ونقل، فضاهای آبی و شیلات و دیگر فضاها به میزان ۱,۸۷ درصد، ۸۹,۱۲ درصد، ۷,۳ درصد و ۱,۵۲ درصد است.

باس استارتمن و همکاران^۵ (2015) در مقاله‌ای با عنوان «شاخص شهر کربن: تجزیه و تحلیل ورودی-خروجی

1. Chavez and Ramaswami
2. Heinonen and Junnila
3. Chu et al.
4. Jao et al.
5. Bus Straatman et al.

منطقه‌ای از مصرف مبتنی بر گازهای کربن» دریافتند ابتکارات شهری که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شود، هزینه‌های زیادی را کاهش می‌دهد و شاخص را به‌صورت شفاف بررسی می‌کند. به این ترتیب سیاست‌گذاران را قادر می‌سازد بهترین شیوه‌ها را جست‌وجو و در شهر خود آزمایش کنند؛ همچنین بحث‌های پایداری منطقه‌ای را به وجود می‌آورد.

آسیابانی‌پور (۱۳۹۳) در پایان‌نامه خود با عنوان «ارزیابی طرح‌ها و برنامه‌های توسعه شهری با رویکرد کربن صفر در شهر تبریز» دریافت از میان فاکتورهای کمی، مصرف سرانه آب و میزان انتشار دی‌اکسید نیتروژن از مقادیر گزارش شده در شهرهای آسیا کمتر بوده و از نظر فاکتورهای کیفی، فاکتور تلاش شهر برای کاهش دی‌اکسیدکربن و نظارت زیست‌محیطی در وضعیت نامطلوبی قرار دارد که برای توسعه این بخش‌ها نیز لازم است برنامه‌هایی در نظر گرفته شود.

قائمی اصل و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان «شبیه‌سازی ایجاد شهر زیست‌محیطی کم‌کربن با بهره‌گیری از پسماندهای شهری و تکنولوژی فتوولتائیک: برنامه ریزی پایدار انرژی بخش شهری در شهر مشهد» دریافتند تکنولوژی زیست‌توده با نوسان‌پذیری و هزینه تولید کمتر، تکنولوژی برتر برای طراحی شهر زیست‌محیطی کم‌کربن است و با ضریب نفوذ زیاد وارد سیستم تولید هیبرید فسیلی تجدیدپذیر می‌شود.

عالی (۱۳۹۵) در پایان‌نامه خود با عنوان «طراحی محله با رویکرد کم‌کربن در تبریز» بیان کرد در نظر گرفتن عوامل طبیعی و استفاده از تکنولوژی‌های جدید، میزان وابستگی به انرژی‌های فسیلی و در نتیجه تولید آلودگی را به‌صورت چشمگیری کاهش می‌دهد.

لطفی و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای معیارهای طراحی شهری را برای محله‌های بدون کربن و کم‌کربن در شهر شیراز بررسی کردند. در این پژوهش همچنین تلاش شد با روش توصیفی و تحلیل داده‌های ثانویه (اسنادی)، معیارهایی برای طراحی محله کم‌کربن و بدون کربن استخراج شود.

عبادی‌نیا (۱۳۹۶) در رساله دکتری خود با عنوان «بررسی تأثیر فرم شهر بر توسعه حمل‌ونقل کم‌کربن با رویکرد استراتژیک در سه مرحله» بیان کرد فرم شهری مشهد با توسعه حمل‌ونقل کم‌کربن سازگار نیست.

پیشینه توسعه شهری کم‌کربن

توجه به مسائل زیست‌محیطی در سطح جهان، پس از توسعه صنعتی در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در اروپا و آثار ناهنجار زیست‌محیطی آنها (تشدید فعالیت‌های آلوده‌کننده) آغاز شد (زیاری، ۱۳۸۵: ۱۷). از دهه ۱۹۶۰ به بعد بر جنبه‌های زیست‌محیطی تأکید و به تدریج در این زمینه تلاش‌هایی شد؛ از جمله در سال ۱۹۶۸ کنفرانس بیوسفر یونسکو^۱ (پاریس) و کنفرانس محیط‌زیست انسانی^۲ (استکهلم ۱۹۷۲) به جنبه‌های زیست‌محیطی توسعه توجه خاصی داشته‌اند. در سال ۱۹۷۰ نیز اتحادیه حفاظت جهانی و برنامه محیطی سازمان ملل متحد، اصطلاح «توسعه زیست‌بوم» را به کار برد که

1. UNESCO Biosphere Conference

2. Human Environment Conference

بر همزیستی مسالمت‌آمیز انسان و محیط بر مبنای بهره‌برداری عقلایی از منابع، بدون تخریب و نابود کردن آنها تأکید داشته است. مطرح کردن اصطلاح «توسعه پایدار» برای نخستین بار در اواسط دهه ۱۹۷۰ به خانم باربارا وارد^۱ نسبت داده می‌شود. این مفهوم کلی با راهبرد حفاظت جهانی به‌طور گسترده‌ای مطرح شد تا محافظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست را در راستای ایفای نقش بهتر رفاه انسانی به نحو مطلوب مدیریت کند (بارو، ۱۳۸۶: ۱۴۵).

به دنبال بررسی وضعیت خطرناک محیط طبیعی و تخریب محیط‌زیست، بحث درباره محیط‌زیست انسانی در سال ۱۹۷۲ در استکهلم سوئد شروع شد. در این اجلاس، بیشتر درباره آلودگی هوا و بهره‌کشی از منابع بحث شد و ادامه مباحث اجلاس یونیکس^۲ در ژوئن ۱۹۷۱ در دستورکار قرار گرفت. حاصل کار کنفرانس، صدور بیانیه ۲۶ ماده‌ای محیط‌زیست انسانی و برنامه‌های عملی مورد توافق ۱۱۳ کشور جهان و ۱۰۶ توصیه‌نامه بود که در تمام آنها، وابستگی انسان به محیط‌زیست و چگونگی شکل‌دهی آن، بهره‌وری درست و منطقی از منابع، کاهش آلودگی‌ها، آموزش همگانی برای حفاظت از محیط‌زیست، پژوهش‌های زیست‌محیطی و تأسیس سازمان‌ها و مؤسسات بین‌المللی به کشورها توصیه شد (مکنون، ۱۳۸۲: ۵).

حرکت‌های جهانی از کنفرانس استکهلم شروع شد. در این کنفرانس چند رویداد فکری رخ داد و موضوعاتی چون شهر سالم، توسعه کالبدی سریع، تخریب زمین و اضافه‌شدن شهرها مطرح شد (لطیفی، ۱۳۸۲: ۱۳۸). توافقنامه این کنفرانس در ظاهر تضمین‌کننده بهبود کیفیت زندگی بشر، حفاظت، مدیریت و بهره‌وری منطقی از منابع، کاهش یا از بین بردن آلودگی و تخریب محیط‌زیست، آموزش افراد در همه گروه‌های سنی در جهت حفظ محیط‌زیست و تعادل اکولوژیکی، پژوهش‌های علمی زیست‌محیطی و... بود، اما تحقق نیافت و در این مدت با وجود تلاش‌های برنامه محیط‌زیست ملل متحد جهان^۳ به کاهش آثار مخرب انسانی بر محیط‌زیست کمکی نکرد و مسائل حاد و پیچیده جدیدی همچون کاهش تنوع زیستی، پارگی لایه ازن، آلودگی شدید هوا، پدیده گلخانه‌ای و گرم‌شدن کره زمین، تغییرات آب‌وهوا و نتایج مرتبط با آن نیز بر مشکلات پیشین افزوده شد (ساسان‌پور، ۱۳۸۸: ۲۰۶).

گزارش اجلاس یونیکس در سال ۱۹۷۱، اعلامیه سال ۱۹۷۲ استکهلم و اعلامیه سال ۱۹۷۴ کوکویوک ضمن تصدیق پیچیدگی و جدی بودن بحران‌های اجتماعی و زیست‌محیطی که جامعه انسانی با آنها روبه‌روست، موجب بروز پیامدهای نویدبخشی شدند و همگی درباره نیاز به تدوین و اجرای راهبردهای سالم زیست‌محیطی به‌منظور ترویج توسعه اجتماعی اقتصادی یا توسعه زیست‌محیطی هم‌نظر بودند (ملکی، ۱۳۹۰: ۴).

در سال ۱۹۸۷، مجمع عمومی سازمان ملل متحد، کمیونی را با عنوان «کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه» متشکل از ۲۲ کشور مختلف (اعم از توسعه‌یافته و در حال توسعه) به ریاست برات لند^۴، نخست‌وزیر نروژ، تشکیل داد تا خط‌مشی زیست‌محیطی درازمدت جامعه بین‌المللی را روشن کند. نتیجه کار این کمیسیون (که به کمیسیون برات لند شهرت یافت)، با عنوان «آینده مشترک ما» مطرح شد که توسعه محیط‌زیست را با هم پیوند می‌زد.

در سال ۱۹۹۲، همزمان با بیستمین سالگرد کنفرانس استکهلم، کنفرانس سازمان ملل برای توسعه و محیط‌زیست با

1. Barbara Ward
2. Unix Meeting
3. UNEP
4. Bratland

حضور سران و نمایندگان ۱۷۲ کشور و بیش از هزار گروه غیردولتی در ریودوژانیرو^۱ (برزیل) برگزار شد. این کنفرانس که «کنفرانس زمین» نام گرفت، فعالیت‌های بیست‌ساله بین‌المللی و ملی را در زمینه‌های زیست‌محیطی جهان ارزیابی کرد. نتایج کنفرانس زمین خواسته‌های طرفداران محیط‌زیست را برآورده نکرد، اما قطعنامه ۵۵/۹۹ مجمع عمومی سازمان ملل در دسامبر ۲۰۰۰ برای بررسی عملکرد ده‌ساله کنفرانس سازمان ملل درباره محیط‌زیست تصویب و در سال ۲۰۱۰ محل برگزاری کنفرانس روز جهانی محیط‌زیست در پترزبورگ آمریکای شمالی تعیین شد (ملکی، ۱۳۹۰: ۵).

۴. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به‌لحاظ هدف، توسعه‌ای کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی، توصیفی تحلیلی مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی و پرسش‌نامه‌ای است. برای دستیابی به اهداف پژوهش، نخست با استفاده از پرسش‌نامه پژوهشگر ساخته، شاخص‌ها گردآوری و پرسش‌نامه در جامعه آماری شهر شهرکرد توزیع و نمونه مطالعاتی با استفاده از فرمول کوکران، ۱۰۰ نفر از متخصصان امر در این زمینه انتخاب شد.

جدول ۴. شاخص‌های پژوهش

Table 4. Research indicators

معیار	شاخص
انرژی	۱. میزان مصرف سوخت‌های فسیلی ۲. میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ۳. سیستم‌های انرژی کارآمد و بدون کربن ۴. استفاده از انرژی‌های سبز
ضوابط و مقررات	۱. تدوین سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن در صنایع، حمل‌ونقل، سوخت‌های فسیلی ۲. تدوین قوانین و مقررات زیست‌محیطی ۳. ضمانت اجرایی قوانین زیست‌محیطی ۴. مشارکت‌دهی و افزایش آگاهی زیست‌محیطی شهروندان
خلاقیت زیست‌محیطی	۱. اجتماعی (آموزش ساکنان و نحوه تشویق آنها به تغییر سبک زندگی، بهره‌گیری از کمک ساکنان به منظور کنترل میزان مصرف انرژی) ۲. اقتصادی (ایجاد فرصت‌های شغلی متنوع برای پویایی اقتصاد محلی، تقویت توجیه اقتصادی برای توسعه کم‌کربن) ۳. زیست‌محیطی (استفاده از روش‌های خلاقانه در مدیریت رواناب، استفاده از سیستم‌های تصفیه و ذخیره آب) ۴. کالبدی (جنس مصالح، نوع مصالح، استفاده خلاقانه از فرم معماری‌های بومی، تهیه استانداردهای ساخت‌وساز)
حمل‌ونقل و	۱. اختلاط کاربری (توزیع متوازن کاربری‌ها و فعالیت‌ها در سطح شهر، ایجاد اختلاطی مناسب از کاربری مسکونی با سایر کاربری‌ها، جانمایی فضای سبز در نزدیکی حوزه‌های سکونت) ۲. سیستم‌های حمل‌ونقل (دسترسی مناسب به شبکه‌های حمل‌ونقل همگانی، ایجاد پارکینگ حاشیه‌ای در حمل‌ونقل، جانمایی ایستگاه کرایه دوچرخه)

۱. منظر طبیعی (جانمایی فضاهای سبز، بهره‌گیری از گونه‌های گیاهی بومی، تأمین منظر مناسب)	۹ ۸ ۷ ۶ ۵ ۴ ۳ ۲ ۱
۲. منظر مصنوعی (استفاده از سطوح سبز (دیوار و بام سبز)، ترکیب نشانه‌های کالبدی و طبیعی با یکدیگر)	

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش ترکیبی Anp-Dematil و نرم‌افزارهای spss22 و smartpls استفاده شده است؛ همچنین برای سنجش قابلیت اعتماد و در واقع هماهنگی بین گویه‌هایی که برای سنجش سازه‌های مدنظر ساخته شده‌اند، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شده است. نتایج ضریب آلفای کرونباخ در جدول ۵ دیده می‌شود.

جدول ۵. نتایج آلفای کرونباخ برای هریک از متغیرهای پژوهش

Table 5. Cronbach's alpha results for each of the research variables

ردیف	نام متغیر	آلفای کرونباخ	تعداد نمونه
۱	انرژی	۰,۸۶	۱۸
۲	ضوابط و مقررات سازمانی	۰,۸۸	۱۸
۳	خلاقیت زیست‌محیطی	۰,۹۶	۱۸
۴	حمل و نقل و کاربری اراضی شهری	۰,۹۵	۱۸
۵	طراحی منظر شهری	۰,۹۰	۱۸

در ادامه برای سنجش میزان کربن در حوزه‌های مختلف از نرم‌افزار IPCC استفاده شده است.

۵. استنباط آماری در متغیرهای پژوهش

۱.۵. بررسی نرمال بودن متغیرها

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از کشیدگی و چولگی پرسش‌های متغیرهای پژوهش استفاده می‌شود. اگر کشیدگی و چولگی بین ۲- تا ۲+ باشد، توزیع داده‌ها نرمال است.

جدول ۶. وضعیت نرمال بودن داده‌ها

Table 6. Data normalization status

نام متغیر	تعداد نمونه	میانگین	آماره آزمون	معناداری
انرژی	۱۰۰	۱۴/۳۲	۰/۸۳	۰/۰۰۰
ضوابط و مقررات سازمانی	۱۰۰	۴۳/۵۶	۰/۷۷	۰/۰۰۰
خلاقیت زیست‌محیطی	۱۰۰	۱۵/۶۵	۰/۹۶	۰/۰۰۰
حمل و نقل و کاربری اراضی شهری	۱۰۰	۳۲/۱۱	۰/۸۶	۰/۰۰۰
طراحی منظر شهری	۱۰۰	۳۲/۱۱	۰/۹۲	۰/۰۰۰

۲.۵. آزمون میانگین یک جامعه

این آزمون برای بررسی وضعیت متغیرهای پژوهش در یک گروه استفاده می‌شود. فرضیه آماری این آزمون به صورت زیر است:

جدول ۷. آزمون میانگین یک جامعه

Table 7. The average test of a community

شاخص‌ها	آماره T	سطح معناداری	حد کم	حد زیاد	نتیجه
انرژی	۳,۱۰	۰,۰۰۳	۰,۱۵	۰,۶۹	تأیید

تأیید	۰,۷۲	۰,۲۴	۰,۰۰۰	۴,۰۸	ضوابط و مقررات سازمانی
تأیید	۰,۶۷	۰,۱۶	۰,۰۰۲	۳,۲۵	خلاقیت زیست‌محیطی
تأیید	۰,۶۲	۰,۱۳	۰,۰۰۰	۳,۳۱	حمل‌ونقل و کاربری اراضی شهری
تأیید	۰,۷۱	۰,۱۴	۰,۰۰۴	۳,۰۵	طراحی منظر شهری

با توجه به نتایج ارائه شده و مقادیر آماره T در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تمامی متغیرها، فرض H_0 رد می‌شود. با توجه به اینکه هم حد کم و هم حد زیاد مثبت هستند، میانگین تمامی متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد بیش از عدد میانگین (۳) است.

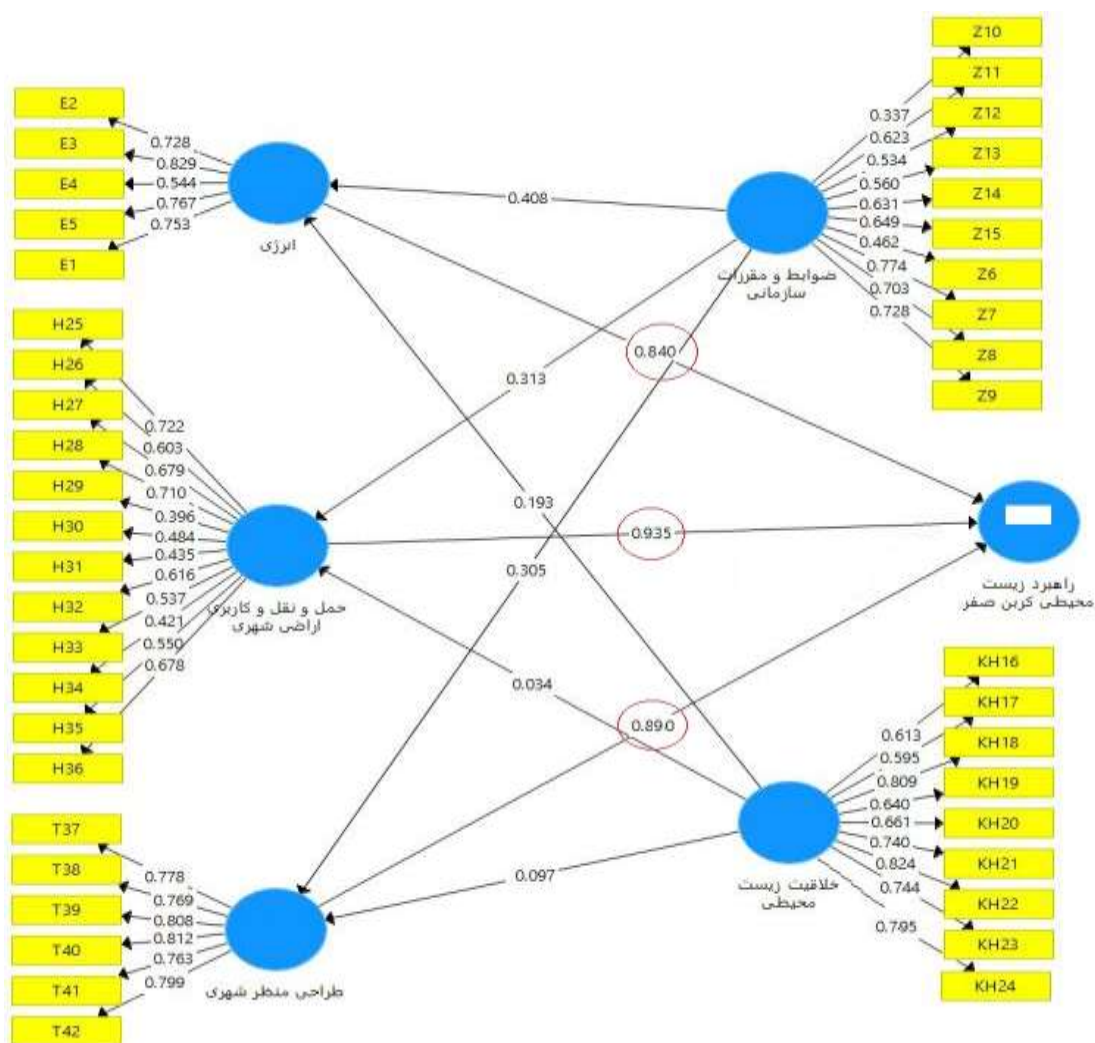
۵,۳. بررسی میزان ضریب تعیین برای شاخص‌های پژوهش

جدول ۸. مقدار ضریب تعیین متغیرهای پژوهش

Table 8. The value of the coefficient for determining research variables

طراحی منظر شهری	حمل‌ونقل و کاربری اراضی شهری	انرژی	
۰,۸۹	۰,۹۳	۰,۸۴	R^2

همان‌طور که دیده می‌شود برای متغیرهای مکنون برون‌زا یا مستقل، مقدار R^2 ارائه نمی‌شود. با توجه به مقدار R^2 محاسبه‌شده برای متغیر انرژی، حمل‌ونقل و کاربری اراضی شهری و طراحی منظر شهری در سطح مطلوب قرار دارد.



شکل ۱. مدل اندازه‌گیری PLS در حالت معناداری

Figure 1. PLS measurement model in significant mode

۴.۵. ضرایب مسیر و معناداری برای شاخص‌های میانجی به‌منظور بررسی شهر کربن صفر

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، ضرایب مسیر بین انرژی و شهر کربن صفر، (۰,۳۴) و معنادار بود. ضرایب مسیر بین حمل‌ونقل و کاربری اراضی شهری و شهر کربن صفر، (۰,۴۱) و معنادار بود. ضرایب مسیر بین طراحی منظر شهری و شهر کربن صفر، (۰,۶۰) و معنادار بود. برای آزمون اثر میانجی شاخص‌های خلاقیت زیست‌محیطی و ضوابط و مقررات سازمانی، اثر پیش از وارد کردن متغیرها دوباره آزمون شد. نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد تمام شاخص‌ها با آثار مستقیم، ضریب مشخص در شهر کربن صفر دارند. در بین شاخص‌ها، شاخص طراحی منظر شهری، بیشترین ضریب و شاخص انرژی، کمترین ضریب را دارد.

جدول ۹. ضریب مسیر برای شاخص‌های میانجی

Table 9. Path coefficient for mediating indices

نتیجه	سطح معناداری	آماره T	ضریب مسیر	رابطه
تأیید	۰,۰۰۰	۱,۲۸۱	۰,۴۶	ضوابط و مقررات سازمانی -> شهر

تأیید	۰,۰۰۱	۱,۵۴۵	۰,۶۹	کربن صفر خلأقیت زیست‌محیطی - شهر کربن صفر
-------	-------	-------	------	---

۵.۵. یافته‌های نهایی حاصل از نرم‌افزار IPCC

در این نرم‌افزار، شاخص‌های انرژی، تولیدات صنایع، حمل‌ونقل، کشاورزی و پسماند بررسی شد که هرکدام خود گویه‌هایی داشته‌اند. نتایج پژوهش حاکی است طی دوره ۵ ساله از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷، میزان تولید و مصرف به‌دنبال افزایش جمعیت روند رو به رشدی داشته که متقابلاً این روند بر افزایش میزان دی‌اکسیدکربن تأثیر گذاشته است.

جدول ۱۰. میزان تولید CO₂ شهر شهرکرد برحسب تن (۱۳۹۲-۱۳۹۶)

Table 10. CO₂ production rate in Shahrekord city in terms of ton

شاخص	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶
انرژی	۳۸۰۹۸۳	۴۱۶۷۵۲	۴۴۱۴۵۵	۴۶۰۳۷۵	۴۹۷۲۳۷
تولیدات صنایع	۲۴۲۹۲	۳۴۰۶۴	۳۷۴۲۴	۳۹۶۸۱	۴۳۴۰۹
حمل‌ونقل	۱۱۹۵۶۱	۱۶۹۱۶۱	۲۲۰۱۳۲	۲۵۷۳۵۵	۲۷۵۳۶۳
کشاورزی و دامداری	۳۶۵۴۲	۳۵۴۵۲	۳۳۱۴۷	۲۹۵۴۴	۲۵۲۸۴
پسماند	۵۷۹۹	۸۰۸۸	۸۹۸۱	۹۳۳۲	۱۲۱۳۶
سایر	۴۵۲۱	۵۰۴۱	۵۵۲۴	۵۹۵۰	۶۷۵۰
مجموع	۵۴۹۴۰۶	۶۳۴۴۹۴	۷۰۹۲۳۹	۷۶۲۵۵۶	۸۱۶۷۷۰

مجموع دی‌اکسیدکربن تولیدشده در شهرکرد برحسب تن (۱۳۹۲-۱۳۹۶) و سرانه دی‌اکسیدکربن نشان داده شده است. در نهایت با استفاده از آمار انتشار میانگین دی‌اکسیدکربن ملی و جهانی برگرفته از گزارش آژانس بین‌المللی انرژی سال ۲۰۱۵، سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن شهرکرد در سال ۱۳۹۶، ۴,۵۱ تن در مقایسه با مقیاس جهان که ۴,۴۷ تن است، بیشتر و در مقایسه با مقیاس ایران که ۶,۷۶ تن در سال است، کمتر است. نتایج نشان می‌دهد ردپای بوم‌شناختی کربن در شهرکرد فراتر از میانگین جهانی و کمتر از میانگین ایران است.

۶.۵. فرایند تبیین تحقق‌پذیری شهر کربن صفر

برای تعیین میزان تحقق‌پذیری شهر کربن صفر در شهرکرد از دی‌اکسیدکربن استخراج‌شده از نرم‌افزار IPCC و تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات سازمان‌ها استفاده شده است. جدول ۱۰ نشان می‌دهد شهرکرد در سال ۱۳۹۶، ۸۱۶۷۷۰ تن دی‌اکسیدکربن تولید کرده است. هر هکتار فضای سبز، ۲,۵ تن دی‌اکسیدکربن دریافت می‌کند و سرانه فضای سبز هر نفر در شهرکرد، ۱۸,۴ مترمربع است. مساحت فضای سبز شهرکرد، ۳۵۰۶,۷۹۳ هکتار است که در سال حدود ۸۷۶۶,۹۸۲۵ تن اکسیژن تولید کرده که مقدار ناچیزی درمقابل دی‌اکسیدکربن تولیدشده است.

$$3506,793 \times 2,5 = 8766,9825 \text{ T}$$

از تفاضل دی‌اکسیدکربن و اکسیژن تولیدشده، ۸۰۸۰۰۳ تن دی‌اکسیدکربن باقی می‌ماند.

$$۸۱۶۷۷۰ - ۸۷۶۶,۹۸۲۵ = ۸۰۸۰۰۳ \text{ T}$$

چنانچه محاسبه شده است، انرژی تجدیدپذیر خورشید در شهرکرد، سال ۱۳۹۶، ۴۴۰۰۰۰ کیلووات برق تولید می‌کند که برق مصرفی چند سازمان را تأمین می‌کند.

جدول ۱۱. میزان تولید برق از انرژی خورشیدی در شهرکرد ۱۳۹۶

Table 11. The amount of electricity generation from solar energy in Shahrekord 13

نوع	تولید انرژی (کیلووات ساعت)
انرژی خورشیدی تجدیدپذیر	۴۴۰۰۰۰

منبع: سازمان برق شهرکرد، ۱۳۹۷

خوب است بدانیم هر پنل خورشیدی در هر ۱۰ مترمربع طی یک ساعت تابش، ۱ کیلووات (۱۰۰۰ وات) انرژی خورشیدی تولید می‌کند که در سال هر ۱۰ مترمربع، ۳۲۱۰ کیلووات انرژی خورشیدی تولید می‌کند. مساحت مسکونی در شهرکرد ۵۵۴۳۳۰۹ مترمربع است که اگر در هر ۱۰ مترمربع یک پنل نصب شود، حدود ۱۷۴۷۳۰۲۱ کیلووات برق در سال تولید می‌شود.

$$۵۵۴۳۳۰۹ \div ۱۰ \times ۱۰۰ = ۱۷۴۷۳۰۲۱ \text{ Kw}$$

مصرف کل برق شهرکرد طی سال ۱۳۹۶، ۴۵۲۰۰۶۶۵۸ بوده که حاصل تفاضل برق مصرف‌شده و برق تولیدشده از انرژی خورشیدی حدود $۴۳۴۵۳۳۶۳۶,۱$ کیلووات برق مصرفی شهرکرد بیشتر است.

$$۴۵۲۰۰۶۶۵۸ - ۱۷۴۷۳۰۲۱ = ۴۳۴۵۳۳۶۳۶,۱ \text{ Kw}$$

برق، مهم‌ترین منبع تأمین انرژی در زندگی امروزی است که تولید آن از حامل‌های مهم مصرف سوخت‌های فسیلی است. سادگی تبدیل برق به دیگر انرژی‌ها و آسانی انتقال سریع آن به نقاط مختلف بر اهمیت استفاده از آن می‌افزاید. یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های بخش مصارف انرژی، آلودگی هوا بر اثر انتشار و نشت گازهای آلاینده ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی است. البته این آلودگی‌ها بر اساس اقلیم، نوع فعالیت و منابع طبیعی در هر کشور متفاوت است. هرچند یکی از دلایل آلودگی‌های ناشی از دی‌اکسیدکربن موجود در هوا، مصرف انرژی ناکارآمد و اتلاف انرژی است، با بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش استفاده از منابع انرژی‌های نو که آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند و همچنین کارآمد کردن مصرف انرژی در تولید و ارتقای تکنولوژی‌های تولید و توزیع انرژی در کشورها، واقعی‌سازی قیمت انرژی، ارتقای استانداردهای فنی و زیست‌محیطی تولیدات صنایع، افزایش راندمان مصرف انرژی و گسترش آموزش‌های فرهنگی حفظ محیط‌زیست و فراهم کردن بسترهای مناسب و توسعه روستاها، ضمن برقراری یک توازن جمعیتی، از آلودگی هوا و انتشار دی‌اکسیدکربن کاسته می‌شود.

حمل و نقل جاده‌ای، ریلی و هوایی، مهم‌ترین آثار را بر افزایش انتشار ردپای کربن دارد. این موارد نشان می‌دهد استفاده از ترکیب سوخت‌های پاک، توسعه ناوگان حمل و نقل عمومی و ریلی و توسعه زیربنایی در تمامی بخش‌های حمل و نقل در کاهش انتشار ترکیبات کربن نقش دارد؛ همچنین اگر طرح بام سبز و دیوار سبز در شهرکرد اجرا شود،

جبران‌کننده بخش زیادی از دی‌اکسیدکربن تولیدشده است.

در نهایت اگر وضعیت تولید دی‌اکسیدکربن با همین روند ادامه یابد و روند افزایشی را طی کند، در شهرکرد امکان تحقق‌پذیری شهر کربن صفر یا کم‌کربن وجود نخواهد داشت. سنگ‌بنای اصلی شهر کربن صفر، استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر است؛ چنانچه می‌توان از راهبردهای زیست‌محیطی همچون افزایش فضای سبز شهری، دیوار سبز و بام سبز و استفاده از پنل‌های خورشیدی در پشت بام هر خانه به تولید برق رسید و با جایگزین کردن انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی در شهرکرد، شهر کم‌کربن در این شهر تحقق می‌یابد.

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل داده‌ها بر مبنای استنباط آماری و به کمک فنون آماری مناسب انجام و نتایج به تفصیل آورده شد؛ به گونه‌ای که برای سطح‌بندی شاخص‌های زیست‌محیطی در شهرکرد از روش ترکیبی ANP- DEMATIL بهره گرفته شد. براساس این یافته‌ها در رده شاخص‌های پنجگانه منتخب شاخص خلاقیت زیست‌محیطی با وزن ۰/۲۹۸، به‌مثابه اثرگذارترین و پایدارترین شاخص زیست‌محیطی شهر کربن صفر شناخته شد؛ همچنین شاخص طراحی منظر شهری با وزن ۰/۲۲۹، در رده بعدی مهم‌ترین و پایدارترین شاخص قرار دارد. در ادامه باید گفت شاخص انرژی با وزن ۰/۱۰۷ به‌مثابه کم‌اهمیت‌ترین و ناپایدارترین شاخص زیست‌محیطی در این شهر شناخته و شناسایی شد. برای پردازش و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیه‌ها از تکنیک‌های آماری و نرم‌افزارهای Excel SmartPLS, SPSS, IPCC, Arc Gis استفاده شده است.

نتایج ضریب مسیر برای شاخص‌های منتخب پنجگانه نشان داده شد. ضرایب مسیر بین انرژی و شهر کربن صفر، (۰,۳۴) و معنادار بود. ضرایب مسیر بین حمل‌ونقل و کاربری اراضی شهری و شهر کربن صفر، (۰,۴۱) و معنادار بود. ضرایب مسیر بین طراحی منظر شهری و شهر کربن صفر، (۰,۶۰) و معنادار بود. برای آزمون اثر میانجی شاخص‌های خلاقیت زیست‌محیطی و ضوابط و مقررات سازمانی، اثر پیش از وارد کردن متغیرها دوباره آزمون شد. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد تمام شاخص‌ها با آثار مستقیم، ضریب مشخص در شهر کربن صفر دارند. در بین شاخص‌ها، شاخص طراحی منظر شهری، بیشترین ضریب و شاخص انرژی، کمترین ضریب را دارد.

نتایج IPCC نشان داد شاخص انرژی، بیشترین میزان تولید دی‌اکسیدکربن را دارد و طی یک دوره پنج‌ساله از ۳۸۰۹۸۳ تن در سال ۹۲ به ۴۹۷۲۳۷ تن در سال ۹۶ افزایش یافته و حمل‌ونقل با میزان ۱۱۹۵۶۱ تن از سال ۹۲ به ۲۷۵۳۶۳ تن در سال ۹۶ رسیده است؛ سپس صنایع در رتبه سوم قرار می‌گیرد که از ۲۴۲۹۲ تن در سال ۹۲ به ۴۳۴۰۹ تن در سال ۹۶ رسیده و در آخر، پسماند که از ۵۷۹۹ تن در سال ۹۲ به ۱۲۱۳۶ تن در سال ۹۶ رسیده است. تنها شاخصی که روند کاهشی را در این مدت طی کرده، شاخص کشاورزی بوده که از ۳۶۵۴۲ تن در سال ۹۲ به ۲۵۲۸۴ تن در سال ۹۶ کاهش یافته است. در نهایت با استفاده از آمار انتشار میانگین دی‌اکسیدکربن ملی و بین‌المللی برگرفته از گزارش آژانس بین‌المللی انرژی سال ۲۰۱۵ می‌توان گفت سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن شهرکرد در سال ۱۳۹۶، ۴,۵۱ تن در مقایسه با مقیاس جهان که ۴,۴۷ تن است، بیشتر و در مقایسه با مقیاس ایران که ۶,۷۶ تن در سال است، کمتر است. نتایج نشان می‌دهد ردپای بوم‌شناختی کربن در شهرکرد فراتر از میانگین جهانی و کمتر از میانگین ایران است. در نهایت برای تعیین میزان تحقق‌پذیری شهر کربن صفر از میزان دی‌اکسیدکربن استخراج شده از نرم‌افزار IPCC و

تجزیه تحلیل داده‌ها استفاده شده است. در شهرکرد در سال ۱۳۹۶، ۸۱۶۷۷۰ تن دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. هر هکتار فضای سبز، ۲٫۵ تن دی‌اکسیدکربن دریافت می‌کند و سرانه فضای سبز هر نفر در شهرکرد، ۱۸٫۴ مترمربع است. مساحت فضای سبز شهرکرد، ۳۵۰۶٫۷۹۳ هکتار است. این محدوده در سال حدود ۸۷۶۶٫۹۸۲۵ تن اکسیژن تولید می‌کند که جبران‌کننده مقدار کمی از دی‌اکسیدکربن تولیدشده است.

چنانچه از راهبردهای زیست‌محیطی چون افزایش فضای سبز شهری و جایگزین کردن انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی در شهرکرد استفاده شود، رسیدن به شهر کم‌کربن در این شهر دور از واقعیت نیست.

منابع

- اصیلان، حسن، قانعان، محمدتقی، غنی زاده، قادر، (۱۳۸۶). آلودگی هوا (منابع، اثرها، روش‌های کنترل، قوانین و مقررات، استانداردها)، چاپ نخست، تهران، چاپخانه تابش.
- اندایش، یعقوب، صادقی، سید کمال، کریمی تکانلو، زهرا، متفکر آزاد، محمدعلی، اصغرپور، حسین، (۱۳۹۵). سنجش ردپای بوم‌شناختی کربن دهک‌های خانوارهای شهری و روستایی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM)، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال ۲۱، شماره ۶۸، ۱۶۳-۲۰۶.
- آسیابانی پور، الهام، (۱۳۹۳). ارزیابی طرح‌ها و برنامه‌های توسعه شهری با رویکرد کربن صفر؛ مطالعه موردی: شهر تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: پروفیسور پورمحمدی، محمدرضا، دانشگاه تبریز، پردیس بین‌المللی ارس، دانشکده معماری و شهرسازی.
- آقاعمو، راضیه‌سادات، (۱۳۹۲). ارائه راهکارها و سیاست‌های مناسب برای تحقق شهر کم‌کربن؛ مطالعه موردی: شهر ری تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حقیقت‌نایینی، غلامرضا، دانشگاه تهران، دانشکده هنرهای زیبا.
- بارو. سی.جی.، (۱۳۸۶). توسعه پایدار: مفهوم، ارزش و عمل، ترجمه: سید علی بدری، مجله تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳، شماره ۴۴، ۱۲۰-۱۳۹.
- تیموری، ایرج، سالاروندیان، فاطمه، زیاری، کرامت‌الله، (۱۳۹۳). ردپای اکولوژیک گاز دی‌اکسیدکربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱۲، ۱۹۳-۲۰۴.
- خسروی، بنفشه، (۱۳۹۰). طراحی فضاهای شهری (گرهها) بدون کربن؛ مطالعه موردی: میدان تجریش تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه طراحی شهری، استاد راهنما: پورجعفر، محمدرضا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده هنر و معماری.
- درگاهی، حسن، بهرامی غلامی، مینا، (۱۳۹۰). عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در اقتصادهای منتخب کشورهای صنعتی و کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) و توصیه‌های سیاستی برای ایران: رویکرد داده‌های پانل، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۱، شماره ۱، ۷۳-۹۹.

- دیانی، سهیل، (۱۳۹۶). تأثیر استفاده از استاندارد LEED بر حفظ انرژی و محیط‌زیست در طراحی پایدار، نخستین کنفرانس ملی به‌سوی شهرسازی و معماری دانش‌بنیان، ۳ اردیبهشت‌ماه، ۱۳۹۶، تهران، ایران.
- زنگی‌آبادی، زینب، بز، خدارحم، دلاوری، شیما، (۱۳۹۴). بررسی تأثیر مداخله انسان در آلودگی محیط‌زیست؛ مطالعه موردی: شهرستان آق‌قلا، همایش بین‌المللی معماری، عمران و شهرسازی در هزاره سوم، تهران.
- زیاری، کرامت‌الله، (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی شهرهای جدید، چاپ ۱۱، تهران، انتشارات سمت.
- ساسان‌پور، فرزانه، (۱۳۸۸). ارزیابی توان پایداری محیط شهری برای مدیریت خوب شهری، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۳، شماره ۱۳، ۲۰۳-۲۳۱.
- طاهرخانی، عاطفه، (۱۳۹۰). اثرات گاز دی‌اکسیدکربن بر سلامتی، نخستین همایش فیلتراسیون هوای صنعتی و فرایندی، چاپ ۳، تهران، هم‌اندیشان انرژی کیمیا.
- عالی، سید علیرضا، (۱۳۹۵). طراحی محله با رویکرد کم‌کربن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه طراحی شهری، استاد راهنما: حق‌پرست، فرزین؛ ملکی، آیدا، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، دانشکده معماری و شهرسازی.
- عبادی‌نیا، فهیمه، (۱۳۹۶). بررسی تأثیر فرم شهر مشهد بر توسعه حمل‌ونقل کم‌کربن با رویکرد استراتژیک، پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد، استاد راهنما: اجزاشکوهی، محمد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- عجایی، محمدباقر، امین‌ناصری، محمدرضا، رسولی، نادیا، (۱۳۹۶). بررسی عوامل تأثیرگذار بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در ایران: با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست.
- قائم‌اصلی، مهدی، سلیمی‌فر، مصطفی، مهدوی عادل، محمدحسین، رجبی مشهدی، مصطفی، (۱۳۹۴). شبیه‌سازی ایجاد زیست‌محیطی کم‌کربن با بهره‌گیری از پسماندهای شهری و تکنولوژی فتوولتائیک: برنامه‌ریزی پایدار انرژی بخش شهری مشهد مقدس، نشریه اقتصاد و مدیریت شهری، سال ۵، شماره ۳۱۷، ۶۷-۸۱.
- کریمی، داریوش، موسوی مدنی، نگین، (۱۳۹۴). بررسی کارآمدی قوانین و مقررات حقوقی ناظر بر آلودگی هوا در ایران، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۹، شماره ۴، ۴۶-۴۹.
- لطفی، سهند، شعله، مهسا، مریم، فرمند، کاوه، فتاحی، (۱۳۹۵). تدوین معیارهای طراحی شهری برای محله‌های بدون کربن، فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان، دوره ۲، شماره ۱-۶، ۸۰-۹۲.
- لطیفی، غلامرضا، (۱۳۸۲). ضرورت برنامه‌ریزی فرهنگی در توسعه شهری پایدار، مجله اطلاعات سیاسی و اقتصادی، دوره ۱۸، شماره ۱۹۹-۲۰۰، ۱۷۰-۱۸۸.
- مفیدی، محمدعلی، (۱۳۹۶). تدوین اصول و شاخص‌های طراحی فرم محلات شهری کم‌کربن؛ مطالعه موردی: محله تجریش شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه طراحی شهری، استاد راهنما: محمدی، مریم، دانشگاه هنر، دانشکده معماری و شهرسازی.
- مکنون، رضا، (۱۳۸۲). دولت سبز، تجربه در ریاست جمهوری بولتن، کنفرانس ملی توسعه پایدار، دوره ۳، شماره ۴،

۱۱-۱۶.

ملکی، سعید، (۱۳۹۰). **درآمدی بر توسعه پایدار شهری**، چاپ اول، اهواز، انتشارات دانشگاه شهید چمران.
کنت وات، (۱۳۸۹). **مبانی محیط‌زیست**، ترجمه: عبدالحسین وهاب‌زاده، چاپ ۱۲، مشهد، انتشارات جهاد دانشگاهی
مشهد، شماره نشر ۸۱.

ولایت‌زاده، محمد، دوازده‌مامی، سینا، (۱۳۹۸). **ارزیابی انتشار ردپای کربن و ارتباط آن با مصرف انرژی در میدان
نفی یادآوران استان خوزستان**، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دوره ۱، شماره ۱۷،
تهران، ۴۷-۶۰.

ویلر، اسکاب، بیتلی، تزرو، (۱۳۸۴). **نوشتارهایی درباره توسعه پایدار شهری**، ترجمه: کیانوش حقیقی، چاپ ۱،
تهران، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری.

Assefa, G., Frostell, B., (2007). **Social Sustainability and Social Acceptance in Technology Assessment: A Case Study of Energy Technologies**, Technology in Society, No. 29, pp. 63- 78.

Baynes, T.M., Wiedmann, T., (2012). **General approaches for assessing urban environmental sustainability**, Current Opinion in Environmental Sustainability, 4 (4), pp. 458- 464.

Brandon, Peter, Patrizia, Lombardi, (2005). **Evaluating Sustainable Development in the Built Environment**, Blackwell, Oxford.

Chavez, A., Ramaswami, A., (2013). **Articulating a trans-boundary infrastructure supply chain greenhouse gas emission footprint for cities: Mathematical relationships and policy relevance**, Energy Policy, 54, PP. 376- 384.

Chu, X., Deng, X., Jin, G., Wang, Z., Li, Z., (2017). **Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei region, China**, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 101, 43- 51.

Dai qing, Zhao, matsouka, Yuzuru, (2013). **Low carbon society scenario towards 24**, 4, 010- 422.

Eckel, A., (2007). **The Reality of Carbon Neutrality**, Energetics, 21 (2), pp., 35- 36.

Enviromental Protection Administration (EPA), (8222), **Toward Low Carbon Cities inTaiwan**, Eco Community Implementation Office, june, 05.

Fong, W.K., Matsumoto, H., Ho, C.S., Lun, Y.F., (2008). **Energy consumption and carbon dioxide emission considerations in the urban planning process in Malaysia**, Journal of the Malaysian Institute of Planners, 6, pp. 101- 130.

Grubb, E., Ellis, C., (2007). **Meeting the carbon challenge: The role of commercial real estate owners**, Users and Managers, Chicago.

<http://theconversation.com/can-a-city-ever-be-truly-carbon-neutral-93589>.

Heinonen, J., Junnila, S., (2011). **A carbon consumption comparison of rural and urban lifestyles**, Sustainability, 3 (8), pp. 1234- 1249.

Hussain, M., Malik, R.N., Taylor, A., (2017). **Carbon footprint as an environmental sustainability indicator for the particleboard produced in Pakistan**, Environmental Research, 155, pp. 385- 393.

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

Kennedy, S., Sgouridis, S., (2011). **Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities**, Energy Policy, 39 (9), pp. 5259- 5268.

Mac Donald, Gordon, J., (2005). **Environment: Evolution of a Concept-International Institute for Applied systems Analysis**, (IIASA), 1 p.

Neira, M., Prüss-Ustün, A., Mudu, P., (2018). **Reduce air pollution to beat NCDs: from recognition to action**, The Lancet, 392 (10154): pp. 1178- 79.

Orosa, J.A., (Ed), (2011). **Indoor and Outdoor Air Pollution**, BoD- Books on Demand.

Pandey, D., Agrawal, M., Pandey, J.S., (2011). **Carbon footprint: current methods of estimation**,

- Environmental Monitoring and Assessment, 178 (1), 135- 160.
- Straatman, B., Boyd, B., Mangalagiu, D., Rathje, P., Madsen, C., Madsen, B., Rasmussen, S., (2015). **The Carbon City Index (CCI): A Consumption Based**, Regional Input-Output Analysis of Carbon Emissions.
- Steijger, L.A., Buswell, R.A., Smedley, V.A., Firth, S.K., Rowley, P., (2013). **Establishing the zero-carbon performance of compact urban dwellings**, Journal of building performance simulation, 6 (4), pp. 319- 334.
- Su, M.R., Chen, B., Xing, T., Chen, C., Yang, Z.F., (2012). **Development of low-carbon city in China: Where will it go?**, Procedia Environmental Sciences, 13, pp. 1143- 1148.
- Tjan, W., Tan, R.R., Foo, D.C.Y., (2010). **A graphical representation of carbon footprint reduction for chemical processes**, Journal of Cleaner Production, 18, pp. 848- 856.
- United Nations Environment Programme, (2014). (UNEP), (8225), One Planet Many People Atlas, Launched to Mark World Environment Day 8225, Message posted to Vandana Date, (2009). **“Global development and its environmental ramifications-the interlinking of ecologically sustainable development and intellectual property rights”**, Golden Gate University Law Review, Vol. 116132, 2991, 142 p.
- Walker, G., Karvonen, A., Guy, S., (2015). **Zero carbon homes and zero carbon living: sociomaterial interdependencies in carbon governance**, Transactions of the Institute of British Geographers, 40 (4), pp. 494- 506.
- Wiedmann, T., Minx, J., (2008). **A Definition of 'Carbon Footprint'**. In: C.C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1- 11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.
- Williams, I., Kemp, S., Coello, J., Turner, D.A., Wright, L.A., (2012). **A beginner's guide to carbon foot printing**, Carbon Management, 3, pp. 55- 67.
- Zhao, Y., Onat, N.C., Kucukvar, M., Tatari, O., (2016). **Carbon and energy footprints of electric delivery trucks: A hybrid multi-regional input-output life cycle assessment**, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 47, pp. 195- 207.