



Journal of Urban Environmental Planning and Development

Vol 3, No 11, Autumn 2023

p ISSN: 2981-0647 - e ISSN: 2981-1201

Journal Homepage: <http://juep.iaushiraz.ac.ir/>

Research Paper

Evaluating the effects of smart urban growth in creating low-carbon cities (with an approach to Iranian cities)

Commented [P1]: اصلاح عنوان صورت گرفت

Received: 2024/03/09 PP 1-18 Accepted: 2024/04/17

Abstract

In this research, the effects of smart urban growth in creating low-carbon cities in Iran were investigated. The current research uses a combination of library and Delphi techniques and has an exploratory approach. Key indicators were obtained through the Delphi method and questions from 30 experts in the field of urban planning. Findings were analyzed through Micmac software. Some findings showed that Iranian cities need energy efficiency and renewable energy, sustainable transportation, waste management, water management, etc. in order to achieve low carbon cities through smart cities. 75.17 percent of the matrix relationship has 3 cross-effects, the relationships of the key factors are very high and have influence and effectiveness. The matrix of direct effects and the matrix of potential direct effects were 98 and 97%, respectively, which indicates the high validity of the questionnaire. The analysis of the system showed that in the cross matrix, the sum of the numbers in the row for the variable represents the active sum and shows the influence of that factor, so that many elements such as: sustainable transportation, public transportation, intelligent traffic management, renewable energies and suitable urban furniture, planning for sustainable production and consumption, supporting sustainable urban plans, investing in new technologies, cultivating smart citizens, smart networks and digital infrastructure, cultivating a resilient society, sustainable behavioral trends of residents, carbon audits in various sectors Industrial and domestic, intelligent and sustainable management of infrastructures, forecasting and monitoring of intelligent energy consumption and intelligent energy consumption were recognized as influential determining indicators. Therefore, as the results show, all the variables that are related to transportation or are related to transportation are influential variables. As various evidences in different parts of the world have proven so far, transportation is one of the main factors that emit carbon in the world, which in this research shows that if these variables are correctly and based on the principles of the smart city, it will play a role in reducing carbon in Iranian cities.

Commented [P2]: چکیده تقویت و طبق نظر داوران اصلاح شد

Keywords: Smart city, low carbon city, Iranian cities.



Citation: (2024): Future research of the effects of smart urban growth in creating low-carbon cities (with an approach to Iranian cities). Journal of Urban Environmental Planning and Development, Vol 3, No 11, PP 1-18.



© The Author(s) **Publisher:** Islamic Azad University of Shiraz

DOI: 10.30495/JUEPD.2023.1981983.1162

DOR:

Extended Abstract

Introduction

In this research, an attempt has been made to investigate the main hypothesis of the research, i.e. the effects of smart urban growth and

development in reducing carbon emissions and creating low-carbon cities in Iranian cities with a complete and comprehensive view of the situation and data available in the country, as well as studies. in the world and leading countries in this field. The goals of this research are as follows: 1- To determine and identify the components of smart urban growth and its effect

on reducing carbon (CO₂) emissions. 2-Determining the most important criteria and sub-criteria effective in reducing urban carbon emissions and moving towards a low-carbon or zero-carbon city in Iran. Therefore, two methods of theoretical and qualitative analysis were used to achieve the results.

Methodology

The present research has two parts of the findings. In the first part, in a descriptive and analytical way, through an in-depth study of the available literature on smart cities and low-carbon cities, to explain the theories of the low-carbon city and the smart city approach and its effect on reducing urban carbon emissions. It deals with the effect of its characteristics. The second part of the research includes paying attention to the main goal of the research, which is more awareness and understanding in the field of future research about the effects of smart urban growth on the creation of low-carbon cities in Iran. In fact, the current research has used a combination of two library techniques and the Delphi method. In this research, key indicators were obtained through the Delphi method and through experts in the field of urban planning. For this reason, the target sample was 30 expert experts. Therefore, the desired information and data were collected through a questionnaire related to the matrix of the effects of factors from the experts' point of view and analyzed using the structural analysis technique and in the form of Micmac software.

Results and discussion

The theoretical findings of the research show that Iranian cities need energy efficiency and renewable energies, sustainable transportation, waste management, etc. in order to achieve low-carbon cities through smart cities in the future. The final analysis showed that out of a total of 431 The evaluable matrix relationship of 324 relationships, equivalent to 75.17 percent, has cross effects of three, the relationships of key factors have been very high, they have had influence and effectiveness. On the other hand, the matrix based on statistical indicators with 2 rotations of the data has 100% desirability and optimization, so that both the direct effects matrix and the potential direct effects matrix are 98 and 97%, respectively, which indicates the high validity of the questionnaire and Its answers are The analysis of the system showed

that in the cross matrix, the sum of the numbers in the row for the variable represents the active sum and shows the influence of that factor. In addition, the sum of the numbers in the column also represents the passive sum and shows the effectiveness of that factor. About the placement and distribution of the indicators on the graph page, it should be said that according to the regionalization of the variables, they are mostly scattered in the northeast and northwest, and this shows that the distribution is not normal.

Conclusion

Some findings showed that Iranian cities need energy efficiency and renewable energy, sustainable transportation, waste management, water management, etc. to achieve low carbon cities through smart cities. 75.17 percent of the matrix relationship has 3 cross effects, the relationships of the key factors are very high and they have been influential. The matrix of direct effects and the matrix of potential direct effects were 98 and 97%, respectively, which indicates the high validity of the questionnaire. The analysis of the system showed that in the cross matrix, the sum of the numbers in the row for the variable represents the active sum and shows the influence of that factor, so that many elements such as: sustainable transportation, public transportation, intelligent traffic management, Renewable energies and suitable urban furniture, planning for sustainable production and consumption, supporting sustainable urban plans, investing in new technologies, cultivating smart citizens, smart networks and digital infrastructure, cultivating a resilient society, sustainable behavioral trends of residents, carbon audit In various industrial and household sectors, smart and sustainable management of infrastructures, forecasting and monitoring of smart energy consumption and smart energy consumption were recognized as influential determining indicators. Therefore, as the results show, all the variables that are related to transportation or related to transportation are influential variables. As various evidences in different parts of the world have proven so far, transportation is one of the main factors that emit carbon in the world, which in this research shows that if these variables are correctly and based on the principles of the smart city, it will play a role in reducing carbon in Iranian cities.



فصلنامه برنامه‌ریزی و توسعه محیط شهری

دوره ۳، شماره ۱۱، پاییز ۱۴۰۲

شابا چاپی: ۶۴۷-۲۹۸۱ شابا الکترونیکی: ۱۲۰۱-۲۹۸۱

Journal Homepage: <http://juep.iaushiraz.ac.ir/>

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات رشد هوشمند شهری در ایجاد شهرهای کم‌کربن (با رویکردی به شهرهای ایران)

Commented [P3]: عنوان تغییر داده شده و سرتاسر متن نکارت ویرایشی رعایت گردیده و اصلاحات خواسته شده انجام گردید

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸ - ۱۸ - ۱۸ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۸

چکیده

Commented [P2]: اصلاح گردید

در این پژوهش به بررسی اثرات رشد هوشمند شهری در ایجاد شهرهای کم‌کربن در ایران پرداخته شد. پژوهش حاضر از ترکیب دو تکنیک کتابخانه‌ای و دلفی استفاده و دارای رویکردی اکتشافی می‌باشد. شاخص‌های کلیدی از طریق روش دلفی و سؤال از ۳۰ نفر از خبرگان حوزه برنامه‌ریزی شهری به دست آمد. تحلیل یافته‌ها از طریق نرم‌افزار Micmac صورت گرفت. برخی یافته‌ها نشان داد شهرهای ایران برای دستیابی به شهرهای کم‌کربن از طریق هوشمندسازی شهرها به کارایی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر، حمل و نقل پایدار، مدیریت پسماند، مدیریت آب و... نیازمند است. ۷۵/۱۷ درصد رابطه ماتریسی دارای اثرات متقاطع ۳، روابط عامل‌های کلیدی بسیار زیاد و از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری برخوردار بوده‌اند. ماتریس اثرات مستقیم و هم ماتریس تأثیرات بالقوه مستقیم به ترتیب ۹۸ و ۹۷ درصد بوده که حاکی از روایی بالای پرسشنامه است. تحلیل سیستم نشان داد که در ماتریس متقاطع، جمع اعداد در سطر برای متغیر، بیانگر جمع فعال می‌باشد و میزان تأثیرگذاری آن عامل را نشان می‌دهد، بطوریکه بسیاری از عناصر از جمله: حمل‌ونقل پایدار، حمل‌ونقل عمومی، مدیریت هوشمند ترافیک، انرژی‌های تجدیدپذیر و مبلان مناسب شهری، برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار، حمایت از طرح‌های پایدار شهری، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین، پرورش شهروند هوشمند، شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال، پرورش جامعه تاب‌آور، روندهای رفتاری پایدار ساکنان، ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی، مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها، پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند و مصرف انرژی هوشمند به‌عنوان شاخص‌های تعیین‌کننده با تأثیرگذار شناخته شدند. لذا، همانطور که نتایج نشان می‌دهد تمام متغیرهایی که مربوط به حمل‌ونقل هستند و یا با حمل و نقل در ارتباط هستند جزء متغیرهای تأثیرگذار هستند. همانطور که شواهد مختلف در نقاط مختلف جهان تاکنون به اثبات رسیده حمل و نقل یکی از عوامل اصلی منتشرکننده کربن در جهان است که در این پژوهش نشان می‌دهد که اگر این متغیرها به درستی و براساس اصول شهر هوشمند باشند در کاهش کربن در شهرهای ایران نقش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: شهر هوشمند، شهر کم‌کربن، شهرهای ایران.

استناد: (۱۴۰۲). آینده پژوهی اثرات رشد هوشمند شهری در ایجاد شهرهای کم‌کربن (با رویکردی به شهرهای ایران).

فصلنامه برنامه‌ریزی و توسعه محیط شهری، سال ۳، شماره ۱۱، صص ۱-۱۸.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

© نویسندگان



DOI: 10.30495/JUEPD.2023.1981983.1162

DOR:

مقدمه

مهاجرت گسترده مردم به شهرها منجر به رشد مناطق شهری شده است که پیامدهای مضرى مانند مصرف بیشتر انرژی، جنگل‌زدایی و انقراض گیاهان و حیوانات را به همراه دارد. در اصل، شهرها در حال تبدیل شدن به یک تهدید برای سیاره ما هستند، زیرا آنها منابع طبیعی زیادی را مصرف و در بسیاری موارد به نابودی می‌کشانند (Shahid et al., 2021) و یکی از بزرگترین تبعات آن گرم شدن کره زمین می‌باشد که به یک مشکل زیست‌محیطی عظیم برای همه ملل جهان تبدیل شده و نه تنها تعادل اکوسیستم‌ها را از بین می‌برد بلکه زندگی و سلامت انسان را نیز به خطر می‌اندازد. همچنین، بررسی‌ها نشان داده است که بیش از ۸۰ درصد از جمعیت جهان در شهرهایی با آلودگی بالا زندگی می‌کنند سطوحی که فراتر از دستورالعمل‌های تعیین‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) است و به طرز شگفت‌انگیزی، هر ساله هفت میلیون نفر به دلیل آلودگی هوا و مسائل بهداشتی مرتبط می‌میرند (Shahid et al., 2021). لذا، برای پرداختن به این موضوع، پیشرفت به سمت پایداری از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) و کاهش تغییرات آب و هوایی توسط اهداف ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ سازمان ملل ضروری است (UN-DESA¹, 2023). با توجه به اتفاقات مذکور سیاست‌گذاران و دانشگاهیان به تدریج دریافته‌اند که شیوه‌های مدیریت سنتی به‌تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی خواسته‌های جوامع مدرن باشد، به‌ویژه با توجه به چالش‌های ناشی از صنعتی شدن و ظهور شهرهای جدید، روش‌هایی برای رسیدگی به مشکلات زیست‌محیطی بخصوص جلوگیری از انتشار کربن و یا کاهش انتشار کربن که شهرهای مدرن با آن مواجه هستند مورد نیاز است (Kim, 2023). در این راستا شهر هوشمند به‌عنوان محور تحول و توسعه هزاره مطرح شده و به معنای گشایش مفاهیمی نو در برنامه‌ریزی شهری است که قابلیت‌های جهان واقعی و مجازی را برای حل مشکلات شهری با هم ترکیب می‌کند (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۷). شهر هوشمند یک مدل توسعه شهری جدید است که اینترنت و فناوری اطلاعات مدرن را با شهرنشینی ترکیب می‌کند تا توسعه شهری را که عامل‌محور، سرمایه‌محور و نوآوری محور است، ارتقاء دهد. بر روی کیفیت تمرکز دارد، به مفهوم توسعه طراحی و ساخت شهری اکولوژیک پایبند است و متکی بر اینترنت اشیا، داده‌های کلان، بلاک چین، رایانش ابری و سایر فناوری‌های اطلاعاتی است. بر توسعه همه‌جانبه و پایدار اقتصاد، جامعه و محیط زیست از طریق رویکرد مردم‌محور تأکید دارد. مفهوم شهر هوشمند ابتدا به صورت کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات مطرح (Albino et al., 2015) و به‌عنوان یک شهر پایدار (Dinca et al., 2022) توصیف شد. در چند سال اخیر، با مطرح شدن نظریه‌های شهر هوشمند و ایجاد رویه شهر هوشمند، ائتلاف انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی بر نحوه برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت شهرهای مدرن تأثیر می‌گذارد (Pathak et al., 2021). شهرها برای کارآمدتر شدن به فناوری، حمل و نقل هوشمند، سیستم‌های ساخت و ساز پیشرفته و ساختارهای کنترلی پیچیده متکی هستند (UN-DESA, 2023).

اگرچه تحقیقات علمی در زمینه شهر هوشمند در حال افزایش است، تحقیقات تجربی در این زمینه نسبتاً کم است. در حال حاضر، تحقیقات در زمینه شهر هوشمند اصولاً بر روی تفسیر مفهوم، برنامه‌ریزی ساخت، سامانه ارزیابی، برنامه‌ریزی استراتژیک و تدابیر مدیریت تمرکز دارد، همچنین برنامه‌ریزی و اجرای علوم و فناوری جدید در ساختار شهر هوشمند (Kim and et al., 2021; Calvillo et al., 2016) و برخی از مطالعات نشان داده‌اند که توسعه شهر هوشمند می‌تواند به بهبود کارایی انرژی و ترویج توسعه پایدار منجر شود (Thellufsen et al., 2020). از نمونه مزایای شهر هوشمند می‌توان به کاهش مصرف منابع، به‌خصوص آب و انرژی و در نهایت کمک به کاهش انتشار دی اکسید کربن (CO₂)، بهبود استفاده از ظرفیت زیرساخت‌های موجود و بهبود شرایط و کیفیت زندگی مردم، کاهش نیاز به زیرساخت‌های سنتی، تقویت رقابت تجاری شهر و ایجاد فرصت‌های تجاری بیشتر توسط تجارت الکترونیک، فراهم آوردن خدمات اینترنت باکیفیت و سرعت بالا برای شهروندان، فراهم آوردن کانال‌های آموزشی متفاوت و محیط آموزشی مادام‌العمر را نام برد (Alvarez, 2009). بر این اساس و آمیزش تحولات جغرافیایی کنونی جهان با تحولات محیط زیستی و مشخص شدن نقش مهم شهر هوشمند در کاهش انتشار کربن، اهمیت مفاهیمی نوظهوری همانند شهر بدون بازیافت، شهر کربن صفر، شهر کم‌کربن، شهر بدون کربن را در حول دو مفهوم کلان «زیست‌پذیری» و «انرژی» دوچندان نموده است. در این میان، سهم ۳ درصدی شهرها از جمعیت جهان در سال ۱۸۰۰ میلادی به بالاتر از ۵۰ درصد در سال ۲۰۰۸ میلادی رسیده و برآورد ۵۴ درصدی در سال ۲۰۱۴ و پیش‌بینی ۶۶ درصدی در سال ۲۰۳۰ نیز برای آن وجود دارد (Wang et al., 2016). در حوزه شهر، دستاوردهای نوین کنونی دانش بشر ناظر بر عبور از شهر متداول و سنتی قرن بیستمی به سمت و سوی شهر نوین پایدار قرن بیست و یکم است. ایده‌آلی که در آن چالش‌هایی همانند نقش عمده شهرها در گرمایش جهانی، گرم شدن زمین (Satterthwaite, 2008)، مصرف و انباشت نگران‌کننده انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهرها (Panovska-Griffiths et al., 2020) و تعلق بیشترین سطح کربن انتشار یافته به سطوح انرژی برآمده از شهرها (Hodson et al., 2011) و چالش تأمین بلندمدت امنیت انرژی در سایه توافقات خدشه‌پذیر سیاسی در حوزه تغییرات اقلیمی نیز برای نمونه در آن به چشم می‌خورد (Wenyao, 2010). در این میان «تأثیر شهر هوشمند بر ایجاد شهرهای کم‌کربن»

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs

می‌تواند یکی از راه‌های پیشنهادی و قابل بررسی در جهت تعادل بخشی به شهرها در جهت کاهش اثرات فعالیت‌های انسانی در تولید گازهای گلخانه‌ای باشد. از منظر محیط زیست، کشورهای پیشرفته کنونی به نسبت کشورهای توسعه‌نیافته بنابر دلایل مختلف تاریخی و اقتصادی، با عبور از وابستگی به حلقه چالش‌های قهوه‌ای شهری و روی‌آوری به چالش‌های سبز شهری و از لحاظ زمانی پیشینه میان‌مدت شهرهای کم‌کربن را بایستی در امتداد جریانات فکری شصت سال اخیر یعنی طی فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ میلادی در نظر گرفت. مطابق با متون در دسترس، مقوله نقش شهر هوشمند بر ایجاد شهر کم‌کربن، صرفاً با رویه‌های کالبدی همراه نبوده و پیشران اقتصادی و اجتماعی و مفاهیم ناظر بر آن نیز همانند جهت‌گیری‌های توصیه‌شده چندسطحی در کنوانسیون‌های بین‌المللی در آن دخیل بوده و نمی‌توان از روی عنوان؛ شهر یا شهرهای کم‌کربن را وابسته تام به مقولات آلاینده محیط زیست و آلاینده‌های جوی (شیخی و همکاران، ۱۴۰۱) صرف‌نظر از اهمیت و نقش رشد و توسعه هوشمند شهر در شکل‌گیری این مفهوم نوین دانست. کشور ایران با تولید ۱/۶۵ درصد کل گازهای گلخانه‌ای مقام دهم را در بین کشورهای دنیا دارد و سالانه ۷۱۵ میلیون تن دی اکسید کربن (CO_2) تولید می‌کند. این درحالی است که تمام این درصد در بخش انرژی تولید می‌شود که ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه از لحاظ مصرف انرژی در روند تولیدی کالاها و خدمات در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و جزء کشورهای با شدت انرژی بالا محسوب می‌شود. مصرف سرانه انرژی در ایران بیش از ۵ برابر کشورهای مانند هند، پاکستان و کمی کمتر از ۲ برابر چین است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن و جمعیت کشور در سال ۱۳۹۰، میزان دی اکسید کربن (CO_2) منتشر شده به ازای هر نفر، حدود ۶/۸ تن برآورد شده است در حالی که طبق گزارش شاخص توسعه انسانی (۲۰۱۳) میزان متوسط انتشار سرانه گاز دی اکسید کربن (CO_2) در جهان ۴/۵ تن است. به عبارت دیگر، هر ایرانی ۳۶ درصد بیشتر از متوسط انتشار در جهان، کربن دی اکسید (CO_2) منتشر می‌کند (IEA, 2008). با توجه به اینکه در ایران منابع عمده کربن در شهرها قرار دارند لذا، در این پژوهش سعی شده تا به بررسی فرضیه اصلی پژوهش یعنی اثرات رشد هوشمند شهری در ایجاد شهرهای کم‌کربن در شهرهای ایران با دیدگاهی کامل و جامع نسبت به وضعیت و داده‌های موجود در کشور و همچنین مطالعات صورت گرفته در دنیا و کشورهای پیش‌تاز در این زمینه پرداخته شود. اهداف این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد: ۱- تعیین و شناسایی مؤلفه‌های رشد هوشمند شهری و تأثیر آن بر کاهش انتشار کربن (CO_2). ۲- تعیین مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر کاهش انتشار کربن شهری و حرکت به سمت شهر کم‌کربن یا کربن صفر در ایران.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

به طور خلاصه می‌توان گفت، تحقیقات مرتبط در زمینه شهری‌سازی هوشمند نسبتاً خوب اما در ارتباط با نقش آن در کاهش انتشار کربن هنوز کاستی‌هایی از تحقیقات وجود دارد؛ زیرا بیشتر تحقیقات محدود در مورد شهری‌سازی جدید عمدتاً تأثیر اقتصادی و اجتماعی ساخت شهری جدید را مورد بررسی قرار داده‌اند و کمتر به تأثیر زیست‌محیطی، به‌ویژه رابطه بین ساخت شهر هوشمند و کاهش انتشار کربن، توجه کرده‌اند. در راستای تحقیقات پیشین چاوز^۱ و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای با عنوان حرکت به سمت شهرهای کم‌کربن در جامعه دریافتند، که هیچ روش استاندارد 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 به مثابه معیارهای بالقوه برای تعریف شهر کم‌کربن به کار می‌رود. ژائو^۲ و همکاران (۲۰۱۶) 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 حمل و نقل، فضاهای آبی و شیلات و دیگر فضاها به میزان ۱/۸۷ درصد، ۸۹/۱۲ درصد، ۷/۳ درصد و ۱/۵۲ درصد است. کاوادا^۳ و همکاران (۲۰۱۶) از طریق مطالعه موردی شهر هوشمند کینهاگ و سنگاپور به بررسی رابطه بین شهر هوشمند و انتشار کم‌کربن پرداختند. تان^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با هدف ارائه چارچوبی شاخص برای ارزیابی یک شهر کم‌کربن از دیدگاه اقتصادی، الگوی انرژی، شرایط اجتماعی و زندگی، حمل و نقل شهری، مواد زائد و آب؛ و همچنین بررسی میزان پایداری توسعه کربن در چندین شهر مختلف به این نتایج رسیدند: که شهرهای استکهلم، ونکوور و سیدنی بالاتر از سطح معیار تعیین‌شده قرار دارند و این خود نشان‌دهنده دستیابی این شهرها به سطح بالایی از توسعه شهر کم‌کربن می‌باشد. علاوه براین، سائوپائولو، لندن و مکزیکوسیتی حرکت آهسته‌تری نسبت به شهرهای یاد شده در دستیابی به شهر کم‌کربن داشته‌اند. یکن و نیویورک نیز هر کدام به دلیل وجود ضعف در عملکردهای محیطی و پشتیبانی نامطلوب از زیرساخت‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی، دارای سطح بسیار

1 . Chavez
2 . Zhao
3 . Cavada
4 . Tan

پایین‌تری از پایداری در تولید کربن هستند. لیو^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل ماتورگرسیو با وقفه توزیعی (ARDL) و مدل تصحیح خطای برداری (VECM) دریافتند که با هر ۱ درصد افزایش در شهرنشینی، انتشار کربن ۱ درصد افزایش می‌یابد. مهدی‌نیا و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی با عنوان ارائه مدل نظری جهت دستیابی به شهر کم‌کربن، به بررسی تئوری‌های وارد بر شهر کم‌کربن از جمله؛ اکوسیستی، نقش دولت و سازمان‌های مردم‌نهاد، چالش‌های اصلی پایداری محیط زیست و متابولیسم شهری (ICT) پرداخته شده است. در واقع این پژوهش نشان داد که با گام برداشتن در مسیر شاخص‌های پایداری و شهر کم‌کربن در طی سه بازه زمانی به کمک نقش مدیریت شهری و آموزش شهروندان با همکاری متقابل نهادهای ذی‌ربط شاهد رشد و تعالی شهر گلپار در این بحث خواهیم بود. و همچنین باید اصول برنامه‌ریزی شهرهای کم‌کربن و بررسی تجارب موفق جهانی به الگوی برای حصول به شهر جدید کم‌کربن دست یابند. عیسی‌زاده و همکاران (۲۰۲۳)، در تحقیقی با عنوان بهبود پایداری شهری: کاهش ردپای کربن در شهرهای هوشمند از طریق اقدامات زنجیره تأمین مدرن دریافتند که نیاز به حکمرانی هوشمند در مدیریت زنجیره تأمین تأکید می‌کند که شهرهای هوشمند باید تصمیمات هوشمندانه بگیرند و سیاست‌های آگاهانه‌ای را اجرا کنند تا آلودگی هوا را نظارت کنند، آلاینده‌های محیطی را اندازه‌گیری کنند، ردپای کربن را کمی کنند و عملیات زنجیره تأمین را بهینه کنند. روش‌های پایدار و لجستیک سبز باید در مدیریت مدرن زنجیره تأمین استفاده شوند تا انتشار گازهای کربنی کاهش یابد. در تحقیق لانگ و همکاران (۲۰۲۳)، با عنوان بررسی اثرات کاهش انتشار کربن در سیاست آزمایشی شهر هوشمند در چین به این نتایج رسیدند: (۱) ساخت شهر هوشمند انتشار کربن شهرهای آزمایشی را در مقایسه با شهرهای غیر آزمایشی حدود ۴/۳۶ درصد کاهش داده است. (۲) تجزیه و تحلیل تأثیر پویا نشان داد که اثر کاهش انتشار کربن در ساخت و ساز شهر هوشمند تا سال سوم اجرای سیاست مؤثر نخواهد بود. (۳) تجزیه و تحلیل مکانیسم‌های نفوذ مشخص کرد که ساخت و ساز هوشمند شهر عمدتاً کاهش انتشار کربن شهری را از طریق سه مسیر از جمله بهبود ظرفیت نوآوری فناوری، افزایش جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و تسریع در ارتقاء ساختار صنعتی ترویج می‌کند. (۴) تجزیه و تحلیل ناهمگونی نشان می‌دهد که ساخت و ساز شهر هوشمند اثرات کاهش انتشار کربن قوی‌تری در «دو منطقه کنترل»، پایگاه‌های صنعتی غیر قدیمی و شهرهای غیر مبتنی بر منابع دارد. 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 سرائه آب و میزان انتشار دی اکسید نیتروژن (NO_2) از مقادیر گزارش‌شده در شهرهای آسیا کمتر بوده و از نظر فاکتورهای کیفی، فاکتور تلاش شهر برای کاهش دی اکسیدکربن (CO_2) 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 دریافتند برنامه‌ریزی پایدار انرژی بخش شهری در شهر مشهد زیست‌توده با نوسان‌پذیری و هزینه تولید کمتر، تکنولوژی برتر برای طراحی شهر 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 به صورت 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 تحلیلی داده‌های ثانویه (اسنادی)، معیارهایی برای طراحی محله کم‌کربن و بدون کربن استخراج شود. پور احمد و همکاران (۱۳۹۷)، در تحقیقی با عنوان مفهوم و ویژگی‌های شهر هوشمند به این نتایج رسیدند: در مفهوم شهر هوشمند، هنوز یک درک روشن و واضح و اجماع عمومی وجود ندارد و محققان حوزه‌های علمی مختلف محتوای متنوعی را پیشنهاد کرده‌اند. به‌طوری‌که برخی فناوری‌های هوشمند را به‌عنوان تنها یا حداقل مهمترین جزء شهر هوشمند مدنظر قرار داده‌اند، عده‌ای دیگر تعاریفی را پیشنهاد کرده‌اند که فراتر از فناوری است و براین باورند که اتخاذ فناوری پایان کار نیست. فناوری‌ها می‌تواند در شهرها برای توانمندسازی شهروندان از طریق تطبیق این فناوری‌ها با نیازهای آنها به‌جای تطبیق زندگی آنها با الزامات فناوری مورد استفاده قرار گیرد. به‌علاوه معنای یک شهر هوشمند چندوجهی است. نکته کلیدی این است که شهرها باید پاسخگوی تغییرات زمینه‌ای که در آن عمل می‌کنند، باشند و اینکه چه چیزی باید به‌عنوان هوشمند در نظر گرفته شود بستگی به شرایط زمین‌های متنوع (متن و بستر) از قبیل سیستم سیاسی، شرایط جغرافیایی و انتشار فناوری دارد. در واقع راه‌حل‌های هوشمند به سادگی نمی‌تواند کپی شود و نیازمند این است که ارزش آنها برای زمینه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. مرادی و چاره‌جو (۱۴۰۰)، در تحقیقی باعنوان برنامه‌ریزی راهبردی توسعه پایدار شهری با رویکردی ویژه بر شهر کم‌کربن (مطالعه موردی: شهر سنجند)، به این نتیجه رسیدند که مؤلفه توسعه شهری کم‌کربن بیشترین امتیاز را داشته و بر اساس معماری ساختار ارتباطی، برنامه‌ریزی راهبردی شهر کم‌کربن از طریق چهار استراتژی تبیین‌کننده آن دارای تأثیر مثبت و معناداری در تحقق شهر کم‌کربن، در قالب ۶ مؤلفه آن می‌باشد که این میزان بر اساس رگرسیون

وزن‌دار به‌دست آمده برابر با ۰/۴۸۶ می‌باشد. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که تدوین استراتژی‌های دقیق و راهبردی در راستای شهر کم‌کربن می‌تواند در تحقق یک شهر کم‌کربن پایدار در قالب محیط زیست کم‌کربن، جامعه کم‌کربن، اقتصاد کم‌کربن، حمل‌ونقل کم‌کربن، توسعه شهری کم‌کربن و برنامه‌ریزی آن راه‌گشا باشد.

لذا، یکی از بحران‌های زیست‌محیطی در حال حاضر جهان افزایش انتشار گازهای آلاینده هوا از جمله انتشار کربن است که تأثیرات بسیاری بر تغییرات اقلیمی این کرهٔ خاکی دارد. شهر کم‌کربن، از جمله شهرهای پایدار می‌باشد که به‌ویژه در سال‌های برای پاسخگویی به تغییرات آب و هوایی جهانی و در جهت کاهش انتشار گازهای آلاینده هوا ناشی از فعالیت‌های تولیدی انسان مطرح گردیده است. بر اساس گزارش هیأت بین دول تغییر آب و هوا، بیش از سه چهارم انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌عنوان مهمترین منبع تأمین انرژی در جهان می‌باشد (باقری، ۱۳۹۴). تعریف دقیقی برای شهر کم‌کربن ارائه نشده است، بلکه با توجه به شرایط و پتانسیل‌های هر شهر مجموعه عملکردهای شهری که منطبق بر محیط زیست بوده و مغایرتی با آلودگی محیط نداشته باشد شهر کم‌کربن اطلاق خواهد شد (Hu, 2017). شهر کم‌کربن به مثابهٔ یک مفهوم جدید در نظر گرفته شده و در حال تبدیل شدن به یک موضوع جهانی و اصلی توسعهٔ شهری است. در سال ۱۹۷۱ یونسکو در بیانیهٔ انسان و کرهٔ زمین (MAE) مفهوم شهر زیست‌محیطی را ارائه کرد که از منظر زیست‌محیطی، روشی برای مطالعهٔ ساخت و ساز شهری است (Liu et al., 2011). ایجاد شهرهای کم‌کربن و حرکت‌های جهانی جهت کاهش انتشار کربن از کنفرانس استکهلم در سال ۱۹۷۲ شروع شد، در این کنفرانس چند رویداد فکری رخ داد و موضوعاتی چون شهر سالم، توسعهٔ کالبدی سریع، تخریب زمین و اضافه شدن شهرها مطرح شد (لطیفی، ۱۳۸۲). نگرانی‌های جهانی دربارهٔ افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی سبب شد برای کنترل گازهای گلخانه‌ای، پیمان کیوتو در سال ۱۹۹۷ به امضای کشورهای جهان از جمله ایران برسد. بر مبنای این پیمان، کشورهای صنعتی جهان موظف هستند ۵۵ درصد از حجم گازهای گلخانه‌ای خود را کاهش دهند (Brandon & Lombardi, 2005). ویژگی‌های کلی شهر کم‌کربن شامل: یک- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کوتاه‌مدت و انتقال به سوی کم‌کربن در بلندمدت، دو- توجه به چشم‌انداز چرخه عمر مواد، بهبود بهره‌وری انرژی، سه- تمرکز بر بخش‌های شهری مانند ساختمان، حمل و نقل، زباله، صنعت، مصرف انرژی (Hu, 2017). جهت برنامه‌ریزی برای حرکت به سمت شهر کم‌کربن موانعی وجود دارد که شامل: الف) عدم درک روشن از مفهوم شهر کم‌کربن و کمبود دانش در کشورهای در حال توسعه، ب) عدم نظارت مناسب بر انتشار گازهای گلخانه‌ای نبودن مرزهای اداری و مکانیزم همکاری در بخش‌های مختلف شهری مانند کاربری زمین، حمل و نقل، مدیریت انرژی و زباله و... ج) عدم دخالت ذینفعان، با ذینفعان و بهره‌وران مشورتی نمی‌شود، د) برنامه‌ریزی از بالا به پایین می‌باشد (Pamlin & Armstrong, 2015).

جدول ۱- نظریه‌های شهر کم‌کربن

عنوان نظریه	محقق	رویکرد نظریه	تاریخ (میلادی)
نظریه شهرهای کوچک و محلی	Jane Jacobs	او با تأکید بر زندگی شهری پویا و هویت محلی به حفظ و تقویت شبکه‌های جوامع محلی و کوچک پرداخت. این شهرهای کوچک‌تر به دلیل کمترین نیاز به حمل‌ونقل طولانی مسافت و استفاده از فناوری‌های نوین، می‌توانند به شهرهای کم‌کربن تبدیل شوند.	۱۹۶۰
ساختارهای شهری ترکیبی	Kevin Lynch	یعنی ترکیب اجزای شهری مختلف از جمله مناطق مسکونی، تجاری، صنعتی و سبز برای به حداقل رساندن نیاز به حمل‌ونقل طولانی و کاهش گازهای گلخانه‌ای	۱۹۶۰
نظریه اکو شهر	Richard Register	مفهوم اکوشهر به ایجاد یک محیط زیستی در شهرها یا ترکیبی از زیرساخت‌های سبز، حفاظت از تنوع زیستی، و ایجاد فضاهایی برای تعاملات اجتماعی اشاره دارد.	۱۹۷۵
نظریه شهر پایدار	Peter Newman Jeffrey , Kenworth	نظریه نیومن و کندی در اصل به آن تأکید دارد که خودروها و وابستگی به آن‌ها در شهرها باعث مشکلات زیست‌محیطی، ترافیک، آلودگی هوا، و مصرف انرژی نامناسب شده است. آنها بر این باور بودند که ترویج حمل‌ونقل عمومی، توسعه حمل‌ونقل سواری و دوچرخه‌سواری، و طراحی شهری هوشمند می‌تواند به کاهش وابستگی به خودروها و افزایش پایداری شهرها کمک کند.	۱۹۸۹
نظریه شهر هوشمند (Smart Cities)	Anthony M. Townsend	این نظریه بر این ایده استوار است که استفاده از فناوری‌های ارتباطات و اطلاعات در مدیریت منابع شهری می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی شهرها کمک کند.	۱۹۹۰
نظریه شهر زندگی‌پذیر	Peter Newman Timothy Beatley.	این نظریه بر این اعتقاد استوار است که شهرها با توجه به چالش‌های مختلف از جمله تغییرات اقلیمی، می‌بایست به‌صورت زندگی‌پذیر و قابل تطابق با تحولات باشند.	۲۰۰۰

Commented [P5]: شماره تمام جداول اصلاح شد و متن آنها ویرایش شد

۲۰۰۶	«شهر سبز»، شهری دوست‌دار محیط‌زیست و سازگار با ایده توسعه اقتصادی پایدار است که می‌تواند برای ساکنین خود رفاه، آسایش و امنیت به همراه داشته باشد. در ایده «شهر سبز»، مدیران شهری می‌کوشند تا کم‌ترین تأثیر تخریبی را بر روی زیست‌بومی داشته باشند که شهر روی آن اتکا دارد.	E. Kahn, M
------	--	------------

مأخذ: (یافته‌ها محققین، ۱۴۰۳)

با توجه به اهمیت جهانی در ایجاد شهر کم‌کربن و کاهش انتشار کربن در این تحقیق به بررسی تأثیر شهر هوشمند به‌عنوان یک نظریه یا رویکرد شهر کم‌کربن می‌پردازیم. اصطلاح شهر هوشمند و ریشه آن را باید از جنبش رشد هوشمند که در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل ۱۹۹۰ به وجود آمد و از سیاست‌های جدید برنامه‌ریزی شهری حمایت می‌کرد پیگیری کرد (Harrison & Donnelly, 2012). در واقع اگر رشد هوشمند نقش "طرف" در طبیعت فیزیکی مناطق شهری را ایفا می‌کند، شهر هوشمند نقش "محتوا" مناطق شهری را ایفا می‌کند (Angelidou, 2014). اصطلاح رشد هوشمند توسط پاریس انگلندرینگ شهردار ماریلند از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ باب شد اما می‌توان گفت که پایه‌های این نظریه در کشورهای کانادا و آمریکا و عکس‌العملی به تحولات آغاز شده از اوایل دهه ۱۹۶۰ بوده است (Feiock et al., 2008)؛ Smartgrowth org, 2012 در حقیقت راهبرد رشد هوشمند، سعی در شکل‌دهی مجدد شهرها و هدایت آنها به سوی اجتماع توانمند با دسترسی به محیط زیست مطلوب دارد (پورمحمدی و قربانی، ۱۳۸۲). بنابراین می‌توان گفت رشد هوشمند شهری باعث ایجاد و حرکت به سوی شهر هوشمند می‌شود. ایده شهر هوشمند به‌دلیل دو شرط پویایی پدید آمده است. اولین شرط توسعه فناوری است و دومین شرط نیازهای مردم است. مسائل شهری با دستیابی به علم و فناوری حل می‌شوند (Angelidou, 2014). در ارتباط با شهر هوشمند و پیدایش آن می‌توان سهم فکری بیکن برای به تصویر کشیدن، در این تفکر مفهوم‌سازی محیط شهری به گونه‌ای است که مورخین «فرانسیس بیکن» را نخستین بنیانگذار شهر هوشمند می‌دانند (موسوی حسنی، ۱۴۰۱). شهر هوشمند به معنای امروزی ابتدا در سال ۲۰۰۵ با طرح استراتژی "i2010" توسط اتحادیه اروپا شروع و در سال ۲۰۰۶، برنامه ساختار شبکه شهر هوشمند اروپا اجرا شد (Heuse et al., 2011). در سال ۲۰۰۸ شرکت IBM (USA, NY, Armonk, International Business Machines Corporation) اولین بار "شهر هوشمند" را مطرح کرد و آن را به‌عنوان راه‌حل استراتژی "زمین هوشمند" معرفی کرد. در سال ۲۰۰۹ کشور کره جنوبی استراتژی توسعه "U-Korea" را راه‌اندازی کرد و امیدوار بود شهر سبزی با اتصال‌های یکپارچه و راحتی ایجاد کند. در همان سال ژاپن استراتژی "smart Japan" را راه‌اندازی کرد و پیشنهاد داد دانش دیجیتال را به طور کامل در تولید اجتماعی و زندگی ساکنان یکپارچه کند. دولت چین نیز در سال ۲۰۰۹ پیشنهاد ساخت شهرهای هوشمند را ارائه کرد. در دسامبر ۲۰۱۲، وزارت مسکن و توسعه روستایی چین به طور رسمی "اطلاعیه در خصوص انجام کارهای شهر هوشمند" را منتشر کرد و دو سند به نام "اقدامات موقت مدیریت ملی شهر هوشمند" و "سیستم نشانگر شهر هوشمند ملی (محل، شهر) (آزمایشی)" را ارائه داد (Long et al., 2023).

جدول ۲- نظریه‌ها و دیدگاه‌های شهر هوشمند

عنوان نظریه	محقق	رویکرد نظریه	تاریخ (میلادی)
شهر ایده‌آل بیکن	Francis Bacon	نخستین تصویر شهر هوشمند منطبق با فناوری‌های کاربردی را فرانسیس بیکن با انتشار کتاب «آتلانتیس جدید» نمایان کرد. او برای نخستین بار استدلال می‌کرد که علم می‌تواند در قالب فناوری به‌عنوان ابزاری برای استفاده در زندگی شهری و آسایش بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. او معتقد بود که به کمک این نوع علم می‌شود طبیعت را کنترل کرد و در راستای پاسخ‌گویی به نیازهای انسان شهرنشین آن را مورد استفاده قرار داد.	۱۶۷۲
دیدگاه کومنینوس	Komninos	شهرهای هوشمند بایستی به‌عنوان محیط‌های یادگیری و نوآوری در سطوح کالبدی و مجازی در نظر گرفته شوند. اجزای یک شهر هوشمند شامل جزیره‌ای از نوآوری‌ها، که در سطح کالبدی قرار گرفته‌اند و شامل تحقیق و توسعه، انتقال تکنولوژی، تأمین مالی نوآوری‌ها، توسعه محصول و شبکه می‌شوند.	۲۰۰۲
دیدگاه گیفینجر و همکاران	Giffinger and et al	شهر هوشمند، شهری با عملکرد عالی و دارا بودن رویکردی آینده‌نگر است و در رابطه با اقتصاد، مردم، زمامداری، تحرک‌پذیری، محیط زیست و زندگی شهروندان با تمرکز بر ترکیب هوشمندی، مشارکت و فعالیت شهروندانی خودکفا، آگاه و مستقل عمل می‌نماید	۲۰۰۷

۲۰۱۰	شهر هوشمند؛ شهری تجهیز شده، به‌هم پیوسته، یکپارچه و با هوش است. شهر هوشمند، شهری است مجهز به تجهیزات لازم برای کسب و ادغام داده‌های واقعی با بهره‌بردن از حسگرها، ابزار اندازه‌گیری، دستگاه‌های شخصی، تجهیزات، دوربین‌ها، گوشی‌های هوشمند، تجهیزات پزشکی نصب شده برای استفاده در مواقع اضطراری بوده، شبکه‌های اجتماعی مثل وب و سایر سامانه‌های مشابه، دریافت و پردازش داده‌ها را به‌عنوان حسگرهای انسانی، امکان‌پذیر می‌سازد.	Harrison and et al	دیدگاه هریسون و همکاران
۲۰۱۲	شهر هوشمند به‌عنوان یک شهر پیشرفته و فشرده با تکنولوژی بالا که مردم، اطلاعات و عناصر شهری را با فناوری‌های جدید به منظور ایجاد یک شهر پایدار، سرسبزتر، تجارت نوآورانه و رقابتی و یک زندگی با کیفیت بالا به‌هم متصل می‌کند، در نظر گرفته شده است.	2012	دیدگاه Bakici
۲۰۱۳	آنتونی تاونسند بر روی استفاده از داده‌های بزرگ، حکمرانی مدنی و ترویج یک یوتوپای جدید در شهر هوشمند تأکید دارد.	Townsend	دیدگاه آنتونی تاونسند
۲۰۱۲	یک شهر زمانی هوشمند است که سرمایه‌گذاری در سرمایه‌های اجتماعی و انسانی و تقویت زیرساخت‌های ارتباطی سنتی (حمل و نقل) و مدرن (فناوری‌های ارتباطات و اطاعات)، رشد اقتصادی و انرژی پایدار، کیفیت بالای زندگی به همراه مدیریت خردمندانه منابع از طریق حکمروایی مشارکتی صورت پذیرد.	Caragliu and et al	دیدگاه Caragliu

مأخذ: (Sinkiene et al., 2014 ; Albino et al., 2015)

شهر هوشمند از اجزاء مختلفی تشکیل شده است، از جمله فناوری پیشرفته در زیرساخت، حمل و نقل، انرژی، بهداشت، ارتباطات و حکومت (شکل ۱). این اجزاء ممکن است با یکدیگر تعامل داشته باشند تا اجزای جدیدی را بسازند، اما باید بر یکدیگر اعتماد کنند تا به بهترین شکل عمل کنند. هر بخش فناوری با اینترنت اشیا (IoT) فناوری‌های ارتباطی (ICTs) و زیرساخت‌های شبکه دیگر همکاری می‌کند تا آلودگی را کاهش دهد و به شهرهای هوشمند در مبارزه با تغییرات آب و هوا کمک کند.



شکل ۱- اجزای پایه‌ی شهر هوشمند (Pathak et al., 2021)

بر اساس مطالعات و تحقیقات موجود می‌توان گفت ساخت شهر هوشمند از فناوری‌های نسل جدید، برای جمع‌آوری دقیق داده‌های انتشار کربن استفاده می‌کند و از تجسم داده‌ها برای هدایت تدوین سیاست‌های کم‌کربن و ایجاد سناریوهای کم‌کربن بهره می‌برد. با کمک فناوری دیجیتال در ساخت شهر هوشمند، می‌توان به بهینه‌سازی روش تولید شرکت‌ها کمک کرد، ترجیحات مصرف‌کنندگان و اطلاعات تقاضای بازار را به‌طور کامل استخراج کرد، تولید سفارشی را پیاده‌سازی کرد، اتصال دقیق بین عرضه و تقاضا را ترویج داد، هدررفت منابع را کاهش داد و تخصیص منابع شهری و بهره‌وری انرژی را افزایش داد، که در نتیجه به کاهش انتشار (CO₂) منجر می‌شود. از سوی دیگر، با ترویج ساخت شهر هوشمند، می‌توان از نسل جدید فناوری اطلاعات برای ارتقای حمل و نقل هوشمند و ساخت سیستم حمل و نقل هوشمند استفاده کرد تا از ترافیک کاسته و از هدررفت منابع جلوگیری شود و حمل و نقل کم‌کربن تحقق یابد. علاوه براین، ظهور حالت‌های حمل و نقل هوشمند، مانند خودروهای الکتریکی مشترک (اتوبوس‌های داخل شهری و ...) و دوچرخه‌های مشترک، نه‌تنها به طور مؤثری از ترافیک کاسته بلکه انتشار کربن ناشی از حمل و نقل سنتی را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داده و به کاهش مؤثر انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کرده است (Long et al., 2023). در ایران، مفهوم شهر هوشمند نیز به‌طور محدودتری مورد توجه قرار گرفته است. شهر هوشمند به استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای بهبود زندگی شهروندان، بهینه‌سازی مصرف منابع، و مدیریت بهتر شهرها اشاره دارد. در این راستا، برخی از شهرهای ایران مانند تهران، اصفهان، مشهد، تبریز، شیراز نیز تلاش کرده‌اند تا با پیاده‌سازی پروژه‌ها و ابتکارات هوشمندانه، به شهرهای هوشمند تبدیل شوند.

مواد و روش تحقیق

در پژوهش حاضر از دو روش تحلیل نظری و کمی-کیفی برای دستیابی به نتایج بهره گرفته شده است. پژوهش حاضر دارای دو بخش از یافته‌هاست در بخش اول به شیوه‌ی توصیفی تحلیلی از طریق مطالعه عمیق ادبیات موجود در مورد شهرهای هوشمند و شهرهای کم‌کربن به تبیین نظریه‌های شهر کم‌کربن و رویکرد شهر هوشمند و تأثیر آن بر کاهش انتشار کربن شهری و تأثیر ویژگی‌های آن می‌پردازد. در این تحقیق همچنین یک مرور سیستماتیک و تجزیه و تحلیل از ادبیات دانشگاهی مرتبط و همچنین اسناد رسمی بین‌المللی استفاده شده است. منظور از اسناد در این مطالعه، مجموعه متون تولید شده ناظر بر مفهوم شهر هوشمند و شهر کم‌کربن و تأثیر شهر هوشمند بر توسعه شهر کم‌کربن در ایران است و این مفاهیم حداقل از سه زاویه تعاریف، مقولات و نحوه ارزیابی مورد کنکاش قرار گرفته و پس از واکاوی در هر یک مقولات فرعی یاد شده قرائت‌ها و خوانش‌های موجود شناسایی، دسته‌بندی و تفسیر گردیده است. جهت‌گیری این بخش به منظور تدوین مدلی مفهومی از مقوله اصلی پژوهش یعنی شهر کم‌کربن در ایران است که مطابق با آن دستاوردهای حاصل شده چیزی فراتر از عناصر و المان‌های پراکنده در مجموعه مطالعات قبلی است. به طوری که در دسته‌بندی‌های نهایی روابط شناسایی نشده بین مجموعه عناصر و المانها مد نظر قرار گرفته و تفسیر برآمده از مدل نهایی این بخش پژوهش ناظر بر ارائه یک دستاورد نظری مطالعاتی جدید می‌باشد. بخش دوم پژوهش شامل توجه به هدف اصلی پژوهش که آگاهی و درک بیشتر در زمینه آینده‌پژوهی در مورد اثرات رشد هوشمند شهری بر ایجاد شهرهای کم‌کربن در شهرهای ایران است می‌باشد، لذا می‌توان گفت که تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی می‌باشد. در واقع پژوهش حاضر از ترکیب دو تکنیک کتابخانه‌ای و روش دلفی استفاده کرده است. با توجه به اینکه پژوهش در نهایت به دنبال آینده‌پژوهی اثرات رشد هوشمند شهری بر ایجاد و توسعه شهرهای کم‌کربن در شهرهای ایران است دارای رویکردی اکتشافی است. لذا، در این پژوهش شاخص‌های کلیدی از طریق روش دلفی و از طریق خبرگان حوزه‌ی برنامه‌ریزی شهری به‌دست آمد. شایان توجه است که برای انتخاب پاسخگویان، از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد. به این ترتیب که تنها افرادی گزینش شدند که هم علاقه‌مند به مشارکت بودند و هم اطلاعات مورد نیاز را داشتند. از این جهت نمونه مورد نظر ۳۰ نفر از کارشناسان خبره بودند. لذا، اطلاعات و داده‌های مورد نظر از طریق پرسشنامه مربوط به ماتریس تأثیرات عوامل از نظر کارشناسان جمع‌آوری و با استفاده از تکنیک تحلیل ساختاری و در قالب نرم‌افزار Micmac مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس روش میک‌مک و برای ورود اطلاعات به نرم‌افزار، خبرگان (برنامه‌ریزان شهری) میزان اثرگذاری پیشران‌های مندرج در سطر بر پیشران‌های مندرج در ستون را با اعداد صفر به معنای بی‌اثر، ۱ به معنای تأثیر ضعیف، ۲ به معنای تأثیر متوسط و ۳ به معنای تأثیر قوی مشخص کردند. تأثیر هر پیشران بر خودش صفر در نظر گرفته می‌شود و چنانچه یک پیشران با پیشران دیگر هیچ ارتباطی نداشته باشد امتیاز آن صفر خواهد بود. اگر ارتباط بالقوه باشد، P اختصاص داده می‌شود. با توجه به اطلاعات اخذ شده از خبرگان و محاسبه میانگین وزنی هر کدام از خانه‌ها در نرم‌افزار Excel اطلاعات ماتریس حاصل شده که ماتریس تأثیرات متقاطع نامیده می‌شود، به نرم‌افزار میک‌مک انتقال داده شد و تحلیل‌های لازم روی آن‌ها انجام شد. خروجی‌های نرم‌افزار دو دسته است: یک) ماتریس آثار مستقیم و خروجی‌های مربوط به آن و دو) ماتریس اثرات غیرمستقیم و خروجی‌های مربوط به آن.

جدول ۳- شاخص‌ها و گویه‌های تحقیق

ردیف	شاخص	گویه‌ها
۱	کارایی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر	میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم‌های انرژی کارآمد و بدون کربن، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های سبز، مصرف انرژی هوشمند.
۲	حمل و نقل پایدار	حمل و نقل عمومی و دسترسی مناسب به آن، ترویج خودروهای برقی، ترویج پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، مدیریت هوشمند ترافیک.
۳	مدیریت پسماند	استفاده از سطل‌های زباله هوشمند و حسگرها، بازیافت و کمپوست، تکنولوژی‌های قابل استفاده مانند تبدیل زباله به انرژی، سیستم‌های ویژه و مکانیزه برای جمع‌آوری پسماند.
۴	مدیریت آب	استفاده از سیستم‌های تصفیه و ذخیره آب در مقیاس خانگی، استفاده از روش‌های خلاقانه در مدیریت رواناب، توزیع مناسب آب.

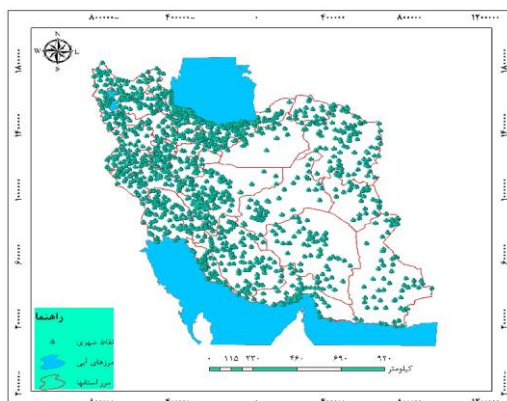
Commented [P۶]: جدول شاخصها طبق نظر داوران به این بخش منتقل گردید

۵	برنامه‌ریزی شهری و زیرساخت‌های شهری	شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال، کیفیت و برنامه‌ریزی نهادهای نظارتی برای تحقق تولید و مصرف پاک و غیر آلاینده شهری، توزیع متوازن کاربری‌ها و فعالیت‌ها در سطح شهر، میزان تحقق و توجه به طرح‌های حمایت‌کننده از روش‌های ساختارهای نو و تجدیدپذیر در تولید و ایجاد ساختارهای کالبدی و غیر کالبدی شهری.
۶	تصمیم‌گیری مبتنی بر داده	نظارت به‌صورت زمان واقعی بر انرژی مصرفی توسط اجزاء مختلف شهر هوشمند، تکنیک‌های مدل‌سازی پیش‌بینی مصرف انرژی در آینده، شناسایی و تشویق روندهای رفتاری پایدار در میان ساکنان، مدیریت هوشمند زیرساخت‌ها.
۷	شهروندان هوشمند	میزان استفاده از دستگاه‌های هوشمند در خانه‌ها، فرهنگ‌سازی و آشنایی شهروندان با رویکردهای هوشمند در کاهش کربن، میزان بهره‌گیری از کمک شهروندان به منظور کنترل مصرف انرژی، حس تعلق شهروندان به شهر در راستای ارتقاء کیفیت و پاکیزگی و حفاظت محیطی.
۸	آمادگی و تاب‌آوری در برابر بلایا	میزان اولویت‌بندی برای آمادگی برای بلایا و انطباق، طراحی ساخت‌ها و سازه‌های مقاوم در مراکز و محیط‌های پرتراکم، تهیه و استفاده از استانداردهای ساخت‌وساز، شبکه‌های ارتباطی و اطلاع‌رسانی برای آگاهی مردم در مواقع بلایای طبیعی، برنامه‌های افزایش ایمنی شهروندان در مواجهه با بلایای مختلف مانند گرما، سرما، آلودگی هوا و ...
۹	سیستم‌های اقتصاد هوشمند	میزان مصرف منابع طبیعی و تجدیدناپذیر، بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری بر روی تکنولوژی‌های نوین و ارگانیک در خدمات و مصارف شهری، میزان سرمایه‌گذاری بر روی شیوه‌های تردد (حمل و نقل) و مکان‌های تولیدی (کارخانجات) با شیوه‌های تجدیدی و پاک، میزان تقویت توجیه اقتصادی برای توسعه هوشمند کم کربن.
۱۰	سیستم‌های ردیابی و گزارش کربن	داده موجود و جمع‌آوری شده در خصوص انتشار کربن، میزان ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی، مسکونی و ...، استفاده از سیستم‌های هوشمند و تکنولوژی در ثبت ردپای کربن، مقدار مشارکت شهروندان در بحث ثبت ردپای کربن.

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

Commented [PV]: محدوده اضافه شد

محدوده مورد مطالعه پژوهش شهرهای ایران می‌باشد. ایران در نیمکره شمالی، نیمکره شرقی در قاره آسیا و در قسمت غربی فلات ایران واقع شده و جزو کشورهای خاورمیانه است. ایران از نظر ژئوپلیتیکی و جغرافیایی در منطقه جنوب غربی آسیا قرار گرفته است. ایران دارای موقعیت سرزمینی استثنایی و موقعیت راهبردی مناسبی است. کشور ایران با وسعتی معادل ۱۸۷۳۹۵۹ کیلومتر مربع، شانزدهمین کشور بزرگ جهان است (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۱۵). ایران طبق آخرین آمارهای رسمی سازمان آمار در سال ۱۴۰۳ دارای ۸۵/۹ میلیون نفر جمعیت می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۳). کشور ایران نیز مانند بسیاری از جوامع، رو به تجربه شهرنشینی بوده و شتاب این دگرگونی در کشور ما در ۵۰ سال گذشته بیش از ۳/۷ برابر شده و از ۳۱/۴ درصد در سال ۱۳۳۵ به ۶۵/۵ درصد در سال ۱۳۸۵ و ۷۴ درصد در سال ۱۳۹۵ رسیده است. بنابراین، ترکیب جمعیت کشور از حالت بیشتر روستایی و عشایری به ترکیب «بیشتر شهرنشین» دگرگشته و «پیش‌بینی می‌شود که این نسبت در سال ۲۰۲۵ میلادی (۱۴۰۴ ه.ش) به ۷۵ درصد برسد» (خانی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۰۶).



شکل ۲_ محدوده مورد مطالعه (ترسیم: محققین، ۱۴۰۳)

بحث و ارائه یافته‌ها

الف) تحلیل‌های کیفی (Qualitative Analysis)

تبیین نظریه شهر هوشمند و تأثیر آن بر کاهش انتشار کربن در شهرهای ایران

این بخش حاصل تحلیل‌های کیفی صورت گرفته توسط نویسندگان است:

Commented [P8]: اصلاحات خواسته شده در این بخش اعمال گردید

۱- کارایی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر: انرژی یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های بشر از گذشته تا زمان حال بوده است، بسیاری از درگیری‌ها و رخدادها به دلیل دستیابی به منابع انرژی صورت گرفته است. انرژی‌هایی که تاکنون بیشترین کاربرد و استفاده را برای انسان داشته سوخت‌های ناپایدار و فسیلی تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه منابع تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی دچار کمبودهای زیادی در نقاط مختلف جهان و در شهرهای ایران شده است مسئولان شهری به دنبال منابع پایدار و سوخت‌های تجدیدپذیر برای ادامه حیات شهرهای خود می‌باشند. این انرژی‌ها شامل سوخت‌های بادی، آبی، خورشیدی و انواع زیست‌توده‌هاست. بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یک اصل اساسی پایداری برای جوامع شهری ایران در نظر گرفته می‌شود. در حال حاضر بیشترین بهره‌برداری از این منابع در شهرهای کشورهای توسعه‌یافته و با اقتصاد پویا صورت می‌پذیرد. این کشورهای اصولاً دارای شهرهای با زیرساخت‌های هوشمند و توسعه‌یافته هستند که تجربیات این کشورها می‌تواند الگویی مناسب برای شهرهای ایران باشد. از آنجایی که یکی از اصول رشد شهرها در ایران بهره‌برداری و استفاده مناسب از انرژی‌ها و بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر است و از طرفی یک ارتباط دوسویه بین انرژی‌های تجدیدپذیر و شهرهای هوشمند وجود دارد. در واقع اهدافی که شهرهای هوشمند برای دستیابی به محیطی سالم طی می‌کند با اهداف کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر یکسان است و هر دو به دنبال محیط‌زیستی پایدار و سالم هستند. شایان توجه است که شهرهای ایران که در مسیر دستیابی به اهداف شهر هوشمند هستند با استفاده از انرژی کارآمد، پذیرش منابع انرژی تجدیدپذیر، ترویج خودروهای برقی، مصرف انرژی هوشمند، طراحی ساختمان کم‌مصرف و تجدیدپذیر، می‌توانند در جهت نیل به کاهش اثر کربن گام بردارند. لذا، می‌توان گفت یکی از اهداف شهرهای ایران برای دستیابی به شهری با سطح آلاینده‌گی (کربن) کمتر با استفاده کارآمد از انرژی‌های پایدارتر و تجدیدپذیر است.

۲- حمل و نقل پایدار: امروزه بخش حمل و نقل به بزرگ‌ترین عامل آلوده‌ساز هوا و تولیدکننده آلاینده کربن در شهرهای ایران تبدیل شده است. این مسئله در شرایطی رخ داده که هم تولید و واردات انواع خودروها و هم فروش و استفاده از انواع خودروها در حال افزایش است. یکی از شواهدی که نشان می‌دهد که کنترل در بخش حمل و نقل راه‌گشایی بسیار عالی برای کنترل انتشار کربن در شهرهای ایران است محدودیت‌های دوره آلودگی کووید ۱۹ بود که در این بازه زمانی به دلیل محدودیت‌های اعمال شده میزان کربن در سطح جهانی کاهش یافت. در ایران در برخی شهرها به طور محدود از نقلیه الکتریکی استفاده می‌کنند مثل استفاده از اتوبوس‌های برقی در میدان امام حسین (ع) تهران، تا بتوانند میزان آلودگی هوا را کاهش بدهند. اما در شهرهای ایران نیز همچون شهرهای سایر کشورهای در حال توسعه به‌ویژه کشورهای آفریقایی، آمریکای جنوبی و جنوب آسیا استفاده از وسایل نقلیه با سوخت ناسالم همچنان در حال افزایش است. لذا می‌توان گفت که دومین راه شهر هوشمند برای کاهش اثر کربن در شهرهای ایران باید ارائه تحرک و حمل و نقل هوشمندانه و سازگار با محیط زیست، استفاده از حمل و نقل عمومی، کاهش انتشار کربن از "خودروهای الکتریکی، زیرساخت حمل و نقل فعال با زیرساخت مناسب و ایمن برای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری ترویج شود. زمانی که جریان ترافیک با استفاده از "فناوری‌های مدیریت هوشمند ترافیک" بهینه شود، زمان سفر و در نتیجه آلودگی کاهش می‌یابد. تحرک پایدار از طریق تسهیل یکپارچه‌سازی و ارتباطات "ادغام چند مدل حمل و نقل" ترویج می‌شود.

۳- مدیریت پسماند: زباله‌ها و پسماندهای شهری یکی دیگر از معضلات شهرهای ایران هستند که در تشدید آلاینده‌های هوای آن‌ها نقش دارند. در بسیاری از نقاط شهری ایران جمع‌آوری زباله‌ها به‌صورت روباز صورت می‌گیرد و در کمتر جایی دیده می‌شود که دفع به‌صورت دفن در فضای بسته باشد و اگر هم این عمل صورت پذیرد در کمتر مواردی به‌صورت اصولی انجام می‌شود. بنابراین، دفع زباله‌ها به یک سیاست از سوی قدرتمندان تبدیل شده است به‌طوری‌که بسیاری از کشورهای قدرتمند به دنبال مکانی برای دفع زباله‌ها به‌ویژه زباله‌های خطرناک همچون زباله‌های بیمارستانی و هسته‌ای در کشورهای تحت سلطه خود و در کشورهای ضعیف هستند. یکی از روش‌های مدیریت و دفع زباله‌ها در شهرهای کشورهای پیشرفته توصل به روش‌های نوین برانگیخته از سیستم‌های شهری هوشمند است که می‌تواند برای برخی شهرهای ایران الگویی مناسب باشد. لذا، می‌توان گفت که مدیریت پسماند یکی از مهم‌ترین مسیرهای پیش‌روی شهرهای ایران برای دستیابی به اهداف شهر هوشمند است و مطالعات نشان داده‌اند که ممکن است به میزان قابل توجهی مقدار انتشار کربن را در چنین شهرهایی کاهش دهد. شایان توجه است که در طی سال‌های اخیر سیستم‌های پیشرفته دفع و بازیافت زباله‌ها در برخی شهرهای ایران به مرحله بهره‌برداری رسیده و اگر به‌صورت انبوه و در سطح کلان به کار گرفته شود

می‌توان به شکل امیدوارانه‌تری به تأثیرات شهرهای با الگوی رشد هوشمند بر کاهش آلاینده‌های هوا به‌ویژه کربن ساطع شده از زباله‌های شهری در این شهرها کمک کند. ۴. **مدیریت آب:** شاید بتوان آب را بحران همیشگی بسیاری از شهرهای ایران نامگذاری کرد. زندگی شهری در ایران به طور مداوم با اختلالات ناشی از زیرساخت‌های نامناسب تأمین، بهره‌برداری و انتقال آب به شهرنشینان مواجه است. بسیاری از کارشناسان پیش‌بینی می‌کنند که در آینده این بحران به دلیل مصرف نادرست به‌ویژه شدیدتر خواهد شد. لذا، عنصر دیگری که ممکن است بر کاهش اثر کربن در شهرهای ایران تأثیر بگذارد، مدیریت آب است که بسیاری از نقاط شهری ایران فاقد سیستم مناسب مدیریتی هستند. نتیجه چنین مدیریت نادرستی وقوع انواع آلودگی‌ها در شهرهای ایران می‌باشد. لذا، در سال‌های اخیر در پی نظریه‌های شکل گرفته از جمله نظریه رشد هوشمند شهری در ایران این معضل بشدت مورد توجه قرار گرفته به‌طوری‌که یکی از ارکان اصلی رشد هوشمند شهری مدیریت آن است که هدف عمده‌ی آن داشتن محیط زیستی سالم از طریق تأمین منابع آب سالم و کاهش تبعات ناشی از کمبود این مایه حیات از جمله کمکه کاهش آلاینده‌های محیط به‌ویژه کاهش کربن شهری است. در این راستا یکی از اهداف رشد هوشمند شهری در ایران از طریق سامانه‌های هوشمند شهری "توزیع هوشمند آب" به دنبال کاهش نشتی‌ها و افت آب است. یکی دیگر از اهداف آن این می‌باشد که انرژی مورد نیاز برای پمپ آب را صرفه‌جویی کند و در نتیجه انتشار کمتری داشته باشد. اجرای سیستم‌های "پالایش آب و بازیافت" می‌تواند نیاز به استخراج آب تازه را کاهش دهد و همچنین مصرف انرژی و انتشارات را کاهش دهد. تشویق به "جمع‌آوری و ذخیره آب باران" نیاز به آب تصفیه‌شده را کاهش می‌دهد. شبکه‌های آبی که از حسگرها و "سیستم‌های نظارت به صورت زمان واقعی" استفاده می‌کنند، می‌توانند اطلاعاتی در مورد مصرف آب، نشتی و کیفیت آب فراهم کنند. با این اطلاعات، تلاش‌های پیشگیرانه می‌تواند جهت کاهش مصرف انرژی، هدر آب و انتشارات مرتبط در شهرهای ایران صورت گیرد. ۵. **برنامه‌ریزی شهری و زیرساخت‌های شهری:** بسیاری از مسائل و معضلات شهرهای ایران ریشه در برنامه‌ریزی شهری نامناسب یا نبود برنامه‌ریزی و برنامه‌ریزی متمرکز دارد. زیرساخت‌های شهری نامناسب داشتن ابتدایی‌ترین امکانات برای زیست در شهر را زیر سؤال خواهد برد. برنامه‌ریزی شهری مناسب و داشتن زیرساخت‌های مناسب شهری بهره‌برداری و استفاده درست از سایر پتانسیل‌ها و منابع شهر را در پی دارد. لذا، برنامه‌ریزی شهری و زیرساخت‌ها از اهمیت بسیاری برای کاهش انتشار کربن در شهرهای هوشمند برخوردارند. طراحی شهری پایدار برای شهرهای ایران که ترویج "برنامه‌ریزی هوشمند کاربری اراضی" را تسهیل می‌کند، منجر به بهبود دسترسی، افزایش بهره‌وری در سفرها و مناسب بودن فضا برای بهره‌وری تمام اقشار (حتی معلولان، کودکان، زنان باردار، افراد کسپن سال و ...) می‌شود. مشکل پایداری در حمل و نقل در شهرهای ایران باید با ایجاد "زیرساخت حمل و نقل پایدار" و در نتیجه، کاهش تحرک و کاهش گازهای گلخانه‌ای همراه باشد. با اجرای "شبکه هوشمند و سیستم زیرساخت دیجیتال" در شهرهای ایران امکان مشاهده تولید انرژی، توزیع، تأمین و مصرف انرژی به طور مؤثر فراهم می‌شود. این اقدام، همچنین با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی هدررفت انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) را از طریق "ساختمان‌های با بهره‌وری انرژی و زیرساخت سبز" در این شهرها کاهش خواهد داد. ۶. **تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌ها:** تصمیم‌گیری مبتنی بر داده یکی از اجزاء مهمی است که به طور قابل توجهی می‌تواند انتشار کربن را در شهرهای ایران را کاهش دهد. در ادامه چهار عنصر آورده شده‌اند که تأثیر آنها را نشان می‌دهند: **نظارت و تجزیه و تحلیل به‌صورت زمان واقعی:** تصمیم‌گیری مبتنی بر داده امکان نظارت به‌صورت زمان واقعی بر انرژی مصرفی توسط اجزاء مختلف شهر هوشمند را فراهم می‌کند. با تجزیه و تحلیل این اطلاعات، مسئولان شهری در ایران می‌توانند اطلاعات بیشتری در مورد مناطق با انتشارهای بالا دریافت کرده و تصمیمات درستی برای کاهش آنها اتخاذ کنند. **مدل‌سازی پیش‌بینی و بهینه‌سازی:** تصمیم‌گیری مبتنی بر داده به کمک تکنیک‌های مدل‌سازی پیش‌بینی مصرف انرژی در آینده را ممکن می‌سازد. این امکان را به برنامه‌ریزان شهری ایران می‌دهد تا به بهترین نحو منابع و زیرساخت‌ها را به کار گیرند و از طریق کاهش مصرف انرژی، انتشارها را در شهرهای کشور کاهش دهند. **مداخلات برای تغییر رفتار:** تصمیم‌گیری مبتنی بر داده امکان شناسایی روندهای رفتاری در میان ساکنان شهرهای کشور را فراهم می‌کند. با تجزیه و تحلیل این روندها، برنامه‌ریزان شهری در ایران ممکن است مداخلات و کمپین‌های هدفمندی را ایجاد کنند تا رفتار پایدار برای شهروندان را تشویق کنند. این راه‌کارها ممکن است از فناوری‌های سبز استفاده کنند و در نتیجه انتشار کربن را در شهرهای خود کاهش دهند. **مدیریت هوشمند زیرساخت:** تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، مدیریت هوشمند زیرساخت را به بهترین شکل فراهم می‌کند. با استفاده از داده برای مدیریت و حفظ زیرساخت‌ها، کاهش انتشار کربن به طریق کارآمدتری در شهرهای ایران امکان‌پذیر می‌سازد. ۷. **شهروندان هوشمند:** علاوه بر راه‌حل‌های تکنولوژیکی، ساکنان هوشمند ممکن است نقش مهمی در کاهش خطر انتشار کربن در شهرهای ایران داشته باشند. باید توجه داشت که ویژگی‌هایی همچون (پذیرش غناوری هوشمند، مدیریت پسماند، انتخاب‌های حمل و نقل و مصرف انرژی) تنها با حمایت و توسعه اقتصادهای هوشمند و مدور از طرف دولت باهوش ممکن است وجود داشته باشد. از سوی دیگر، تصمیم گرفته شده است که هوش باید از جنبه‌های بنیادی‌تر زندگی انسان آغاز شود، مانند استفاده از دستگاه‌های هوشمند در خانه‌ها، ارتباط اینترنت اشیاء در شهرهای

هوشمند و ارزیابی تأثیر استفاده از منابع فنی که دولت هوشمند می‌تواند کمک کند. همچنین، چالش تولید و استقرار اینترنت حسگرها در خانه‌ها در شهرهای ایران، که می‌تواند نقش حیاتی در برنامه‌ریزی شهری ایفا کند، با ملاحظات هزینه و عوامل فرهنگی همراه است؛ این عوامل باید توسط دولت‌های پیشرو که توسعه فرهنگی و راه‌کارهای هوشمند را ارتقاء می‌دهند، مورد توجه قرار گیرند. **۸_ آمادگی و تاب‌آوری در برابر بلایا:** یکی از نیازهای اساسی دیگر شهر هوشمند در ایران "آمادگی برای بلایای طبیعی و انطباق" است که هر دو هدف هوشمندی و پایداری را دنبال می‌کنند. این استاندارد می‌تواند به شهرهای هوشمند در ایران کمک کند تا آثار کربن را کاهش دهند و انتشارات را به سه روش مختلف کاهش دهند: **تخصیص بهینه منابع.** شهرهای هوشمند در ایران با اولویت‌بندی برای آمادگی برای بلایا و انطباق می‌توانند منابع را به‌صورت مؤثرتری استفاده کنند. شبکه‌های بهتر مدیریت زباله، حمل و نقل و توزیع انرژی را در شهرها بگنجانند. زمانی که بلایای رخ می‌دهد، این سیستم‌های سازمان‌یافته بهتر توانایی مقابله با اختلالات را دارند که باعث کاهش نیاز به تلاش‌های بازایی با انرژی زیاد و کاهش انتشارات در شهرها کشور خواهد شد. **ادغام انرژی تجدیدپذیر.** ساخت زیرساخت مقاوم معمولاً شامل ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و انرژی بادی است. این منابع ممکن است گزینه‌های انرژی قابل اعتمادی برای شهرهای ما را فراهم کنند اگر شبکه‌های توزیع قدرت معمولی در زمان بلایای طبیعی شکست بخورد، استفاده بیشتر از انرژی تجدیدپذیر باعث کاهش آثار کربن، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشارات گازهای گلخانه‌ای در شهرهای کشور خواهد شد. **برنامه‌ریزی شهری یکپارچه.** برنامه‌ریزی شهری یکپارچه شامل توسعه محیط‌ها و زیرساخت‌هایی است که مقاومت در برابر شوک‌ها و بلایای طبیعی را دارند که در جوامع هوشمند مقاوم در برابر فاجعه بسیار ارزشمند هستند. این رویکرد ممکن است منجر به گسترش شهری متمرکزتر در ایران شود و نیاز به پراکندگی شهری و سفرهای طولانی را کاهش دهد. به عبارت دیگر، ساکنین فواصل کمتری را سفر می‌کنند که منجر به کاهش انتشارات حمل و نقل در شهرهای ایران خواهد شد. **۹_ سیستم‌های اقتصاد هوشمند:** یکی دیگر از جنبه‌های حیاتی که بر کاهش انتشار کربن در شهرهای هوشمند در ایران تأثیر می‌گذارد، اجرای اقتصادهای هوشمند و مدور است که ممکن است به طور قابل توجهی بر کاهش انتشار تأثیر بگذارد. اقتصادهای دایره‌ای و هوشمند استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، فناوری‌های کارآمد انرژی و سیستم‌های شبکه هوشمند را برای بهینه‌سازی تولید و مصرف انرژی در اولویت قرار می‌دهند. آنها همچنین در تلاش برای کاهش ضایعات و در عین حال افزایش بازایی منابع با قابلیت بازیافت و استفاده مجدد در شهرهای ما خواهند بود. **۱۰_ سیستم‌های ردیابی و گزارش کربن:** در نهایت، یک شهر هوشمند در ایران باید شامل سیستم‌های نظارت و گزارش کربن باشد که نقش مهمی در کاهش انتشار کربن ایفا خواهد کرد. سیستم‌های نظارت و گزارش‌دهی انتشارات کربن "انتشارات را شناسایی و نظارت" و منابع مختلف انتشارات را مشخص می‌کنند. شهرهای ما می‌توانند از اندازه‌گیری انتشارات کربن برای شناسایی مناطق با انتشارات شدید بهره‌برداری کنند و استراتژی‌های کاهش هدفمند را اجرا کنند که از "تصمیم‌گیری مبتنی بر داده" بهره می‌گیرند. این رویه‌ها "شفافیت" و "مسئولیت" را ترویج می‌کنند و شهرها خواهند توانست با جمع‌آوری دقیق و انتشار داده‌ها، پایداری خود را افزایش دهند. این سیستم‌ها با جلب افراد و سازمان‌ها به اتخاذ رویه‌های پایدار و کاهش انتشارات، پیشرفت را نظارت می‌کنند، کارایی استراتژی را تجزیه و تحلیل و در برنامه‌های کاهش انتشارات "پیشرفت مداوم" و "مشارکت ذینفعان" را ترویج می‌کنند.

ب) تحلیل‌های کمی (Quantitative Analysis)

به منظور تحلیل اثرگذاری مؤلفه‌های شهر هوشمند بر کاهش انتشار کربن و دستیابی به شهر کم کربن در شهرهای ایران در چارچوب مطالعه آینده‌نگرانه یافته‌های پژوهش در مراحل مختلفی تهیه و تحلیل شد، به گونه‌ای که انجام صحیح قسمت‌های بعدی در گروه تحلیل یافته‌های قبل از آن بود. به این منظور، در چارچوب رویکردهای به کار گرفته شده در این پژوهش، اقدام به تحلیل یافته‌های پژوهش از طریق نرم‌افزار میک‌مک شد. در این پژوهش الگوی استراتژیک میک‌مک، که به‌منظور انجام محاسبات پیچیده کاربرد فراوانی دارد انتخاب شد و در چارچوب رویکرد نرم‌افزار به تحلیل مرحله‌به‌مرحله داده‌ها (شناسایی و طبقه‌بندی متغیرها، تحلیل سیستم، توصیف ارتباط، اثرگذاری و اثرپذیری میان متغیرها، تبیین اشکال گوناگون متغیرها و شناسایی نیروهای کلیدی) شد. در این راستا، پس از تهیه لیستی از سوی محقق و به گفتگو گذاشتن آن با افراد نمونه، در نهایت لیست همگنی از متغیرهای داخلی و خارجی سیستم بر اساس مطالعه و پرسش‌نامه تکمیل شده به همراه زیرمجموعه‌های آن‌ها در جدول () و چارچوب ماتریسی با ابعاد ۲۲*۲۲ تهیه شده است. ۱۰ متغیر اصلی در قالب ۲۲ شاخص زیرمجموعه شناسایی و طبقه‌بندی شد. سپس هر کدام از این متغیرها برای ورود به نرم‌افزار میک‌مک (امتیازدهی از ۰ تا ۱۰) در چارچوب کدگذاری خاص به سیستم معرفی و زیرمجموعه‌های هر کدام نیز در محیط نرم‌افزار تعریف شدند. براین اساس، با اتکاء به یافته‌های به دست آمده در جدول ()

می‌توان گفت که شاخص پرتشدگی به‌دست برای متغیرها با ۲ بار تکرار چرخش داده‌ای، عدد ۸۹/۰۵ را نشان‌دهنده کارایی ابزار تحقیق و تأیید اطلاعات جمع‌آوری‌شده به‌وسیله پرسش‌نامه‌های توزیع‌شده در سطح بسیار مطلوب است و صحت اطلاعات به‌دست‌آمده را تأیید می‌کند (جدول ۳).

از مجموع ۴۳۱ رابطه ماتریسی قابل ارزیابی ۳۲۴ رابطه، معادل ۷۵/۱۷ درصد دارای اثرات متقاطع ۳، روابط عامل‌های کلیدی بسیار زیاد بوده است، از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری برخوردار بوده‌اند. ۶۵ رابطه معادل ۱۵/۰۸ درصد دارای اثرات متقاطع ۲ بوده، یعنی نقش تقویت‌کننده داشته‌اند بدین معنی که رابطه‌ی تأثیرگذاری نسبتاً متوسط داشته‌اند. ۴۲ رابطه معادل ۹/۷۴ درصد دارای اثرات متقاطع ۱ بوده، عددشان یک بوده است بدین معنی که رابطه ضعیفی نسبت به هم داشته‌اند، ۵۳ رابطه اثرات متقاطع صفر برخوردارند، به این معنی که عوامل بر یکدیگر تأثیر نداشته یا از یکدیگر تأثیر نپذیرفته‌اند. بطور کلی از جدول (۴) می‌توان نتیجه گرفت که اکثر روابط بین متغیرها دارای رتبه ۳ یا بسیار قوی برآورد شد.

جدول ۴- نتایج حاصل از تأثیر متغیرها

ابعاد ماتریس	تکرار	بدون تأثیر (تعداد صفر)	تأثیرگذار (۱)	تقویت- کننده (۲)	توانمندساز (۳)	تعداد P	درجه پرتشدگی	جمع
۲۲	۲	۵۳	۴۲	۶۵	۳۲۴	۰	۸۹/۰۵	۴۳۱

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

از طرف دیگر با توجه به نتایج مندرج در جدول (۵)، ماتریس بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ها از مطلوبیت و بهینه‌شدگی ۱۰۰ درصد برخوردار می‌باشد به‌طوری‌که هم ماتریس اثرات مستقیم و هم ماتریس تأثیرات بالقوه مستقیم به ترتیب ۹۸ و ۹۷ درصد بوده که حاکی از روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است.

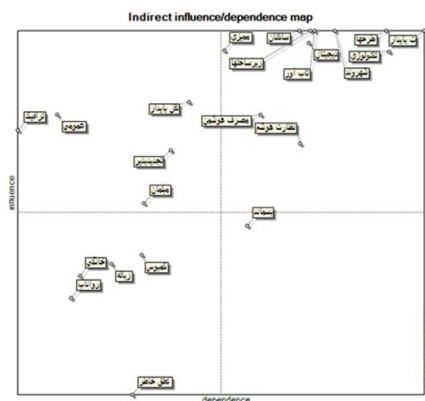
جدول ۵- درجه مطلوبیت ماتریس‌ها

Iteration	Influence	Dependence
۱	۹۷٪	۹۸٪
۲	۱۰۰٪	۹۹٪

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

تحلیل سیستم

هدف نهایی از تحلیل ساختاری؛ شناخت ویژگی‌ها، ساختار، متغیرهای کلیدی و عناصر مؤثر بر سیستم است. در ماتریس متقاطع، جمع اعداد در سطر برای متغیر، بیانگر جمع فعال می‌باشد و میزان تأثیرگذاری آن عامل را نشان می‌دهد. افزون براین، جمع اعداد در ستون نیز بیانگر جمع غیرفعال می‌باشد و میزان تأثیرپذیری آن عامل را نشان می‌دهد.

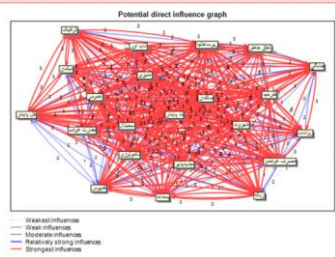


شکل ۳- نقشه پراکندگی متغیرها در محور تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در دو حالت مستقیم و غیرمستقیم

مأخذ: (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

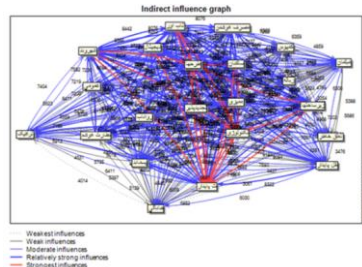
پیرامون قرارگیری و توزیع شاخص‌ها در صفحه نمودار باید گفت که برحسب منطقه‌بندی متغیرها در شکل (۳) بسیاری از عناصر در محدوده شمال غربی (حمل و نقل پایدار، حمل و نقل عمومی، مدیریت هوشمند ترافیک، انرژی‌های تجدیدپذیر و مبللمان مناسب شهری) و شمال شرقی (برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار، حمایت از طرح‌های پایدار شهری، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین، پرورش شهروند هوشمند، شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال، پرورش جامعه تاب‌آور، روندهای رفتاری پایدار ساکنان، ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی و ...، مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها، پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند و مصرف انرژی هوشمند)، توزیع شده‌اند. از این متغیرها تحت عنوان شاخص‌های تعیین‌کننده با تأثیرگذار یاد می‌شود که در قیاس با متغیرهای اهری (جنوب غربی نمودار)، ریسک (شمال شرقی نمودار) و متغیرهای نتیجه (جنوب شرقی نمودار) توزیع نرمالی ندارد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد تمام متغیرهایی که مربوط به حمل و نقل هستند و یا با حمل و نقل در ارتباط هستند جزء متغیرهای تأثیرگذار هستند. همانطور که شواهد مختلف در نقاط مختلف جهان تاکنون به اثبات رسیده حمل و نقل یکی از عوامل اصلی منتشرکننده کربن در جهان است که در این پژوهش نشان می‌دهد که اگر این متغیرها به درستی و براساس اصول شهر هوشمند باشند در کاهش کربن در شهرهای ایران نقش خواهد داشت. از سوی دیگر، فراوانی متغیرهای دوجبهی یا ریسک، تهدیدکننده ثبات سیستم در مقیاس کلان است. به‌طوری‌که هرگونه تغییر جزئی در سیستم می‌تواند اثرات زیان باری بر کل سیستم شهر کم‌کربن داشته باشد. براین اساس، نمودارهای تأثیر-وابستگی مستقیم و غیرمستقیم سیستم توسعه شهر هوشمند در جهت نیل به شهر کم‌کربن در چارچوب دو حالت ۱۰۰ درصد به‌صورت شکل‌های (۴) و (۵) قابل مشاهده می‌باشد.

Commented [P9]: تحلیل‌ها تقویت شد



شکل ۴- پراکندگی متغیرها بر اساس میزان اثرگذاری-وابستگی مستقیم (بسیار قوی) با پوشش ۱۰۰ درصد داده (یافته‌های تحقیق،

۱۴۰۳)



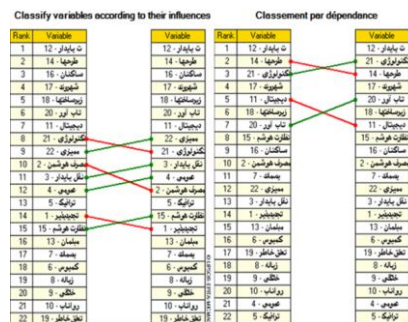
شکل ۵- پراکندگی متغیرها بر اساس میزان اثرگذاری - وابستگی غیرمستقیم (بسیار قوی) با پوشش ۱۰۰ درصد داده (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳)

تحلیل جابه‌جایی متغیرها

در شکل (۶) نشان داده شده که برای نمونه "برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار"، "حمایت از طرح‌های پایدار شهری"، "پرورش شهروند هوشمند"، "مدیریت هوشمند و پایدار زیرساختها"، "پرورش جامعه تاب‌آور" و "شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال" در رتبه‌بندی تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم در رتبه‌های یکسانی قرار گرفته‌اند. در صورتی که "سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین" در رتبه هشتم در تأثیرات مستقیم و رتبه نهم در تأثیرات غیرمستقیم جای گرفت. برای سایر متغیرها نیز این مقایسه مشهود است.

در خروجی تأثیرپذیری مستقیم و غیرمستقیم در شکل («سمت راست»)، نشان داده شده که "برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار" در تأثیر پذیری مستقیم و غیرمستقیم در رتبه اول قرار گرفته است چراکه یکی از بزرگ‌ترین مشکلات شهرهای ما که به تشدید انتشار کربن منجر می‌شود صنایع تولیدی هستند که به دلیل سوخت نامناسب انتشار بالای کربن دارند، تولیدات خودرو زیاد و تولیدات مواد غذایی و حتی کشاورزی در ایران با تبعات زیست‌محیطی بسیار از جمله انتشار کربن مواجه هستند و مصرف سوخت نامناسب در این بخش‌های تولید و مصرف بی‌رویه در این بخش‌ها و بخش‌ها دیگر سبب ایجاد محیطی آلوده در اکثر شهرهای ایران شده و لذا این عامل به‌عنوان یکی از متغیرهای شهر هوشمند که در حرکت به سمت شهر کم‌کربن ضرورت دارد، دارای بیشترین تأثیرگذاری چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم است. در حالی که "حمایت از طرح‌های پایدار شهری" در تأثیرپذیری مستقیم به دلیل اثرات مستقیم پایداری شهری بر انتشار کربن و اثرات حمایت از طرح‌های پایداری به‌عنوان یکی از متغیرهای مهم شهر هوشمند و کاهش انتشار کربن در شهرهای ایران در رتبه دوم و در تأثیرپذیری غیرمستقیم در رتبه سوم قرار گرفته است که برای سایر متغیرها نیز این رابطه مشهود است. با توجه به اعداد پرسشنامه که به صورت ماتریس تکمیل شده‌اند، نرم‌افزار رابطه آن‌ها را محاسبه کرده و در نهایت برای هر عامل یک امتیاز عددی در نظر گرفته است. سپس بر اساس این امتیازات عوامل را بر اساس تأثیرگذاری و تأثیرپذیری به صورت مستقیم و غیرمستقیم رتبه‌بندی کرده که در این حالت عواملی که بیشترین امتیاز را دارند میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها نیز براین اساس تغییر می‌کند. در جدول (۶)، عوامل مؤثر بر توسعه شهر هوشمند در جهت نیل به شهر کم‌کربن در ایران را بر اساس تأثیرپذیری و تأثیرگذاری به صورت مستقیم و غیرمستقیم رتبه‌بندی نموده است.

Commented [P1۰]: تحلیل ها تقویت شد



شکل ۶- تحلیل اثر - وابستگی مستقیم و غیرمستقیم بالقوه (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳)

میزان اثرگذاری و اثرپذیری شاخص‌ها بر یکدیگر

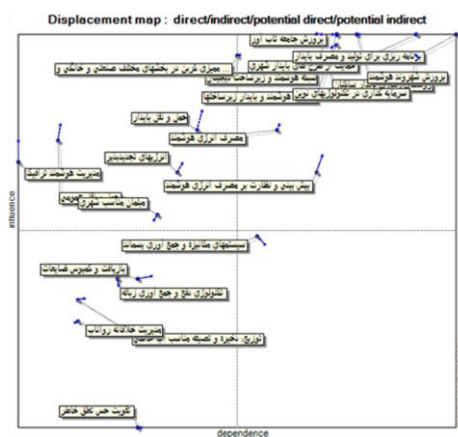
خروجی بعدی نرم‌افزار میک‌مک، رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس میزان اثرگذاری و اثرپذیری آنهاست. نرم‌افزار میک‌مک روابط بین متغیرها را به توان ۲، ۳، ۴، ۵ و... رسانده و براین اساس، اثرهای غیرمستقیم عوامل سنجیده می‌شود. جدول (۶)، میزان آثار مستقیم و غیرمستقیم عوامل بر یکدیگر را نشان می‌دهد. همانطور که پیش‌تر بیان شد، هر چقدر مقدار تأثیرگذاری و تأثیرپذیری یک عامل بیشتر باشد، آن عامل در منطقه ریسک و هدف قرار می‌گیرد و بنابراین، جزء عوامل راهبردی محسوب می‌گردد.

جدول ۶- تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر یکدیگر

رتبه	شاخص	تأثیرپذیری غیرمستقیم	شاخص	تأثیرپذیری مستقیم	شاخص	تأثیرگذاری غیرمستقیم	شاخص	تأثیرپذیری غیرمستقیم
۱	برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار	۵۵۰	برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار	۵۵۰	برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار	۳۳۷	برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار	۵۷۳
۲	حمایت از طرح‌های پایدار شهری	۵۵۰	حمایت از طرح‌های پایدار شهری	۵۳۳	حمایت از طرح‌های پایدار شهری	۳۳۷	سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین	۵۲۳
۳	روندهای رفتاری پایدار ساکنان	۵۵۰	سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین	۵۳۳	روندهای رفتاری پایدار ساکنان	۳۳۷	حمایت از طرح‌های پایدار شهری	۵۲۲
۴	پرورش شهروند هوشمند	۵۵۰	پرورش شهروند هوشمند	۵۰۶	پرورش شهروند هوشمند	۳۳۷	پرورش شهروند هوشمند	۵۰۰
۵	مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها	۵۵۰	شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال	۴۹۸	مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها	۳۳۷	پرورش جامعه تاب‌آور	۴۹۲
۶	پرورش جامعه تاب‌آور	۵۵۰	مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها	۴۹۸	پرورش جامعه تاب‌آور	۳۳۷	مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها	۴۹۰
۷	شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال	۵۴۱	پرورش جامعه تاب‌آور	۴۹۸	شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال	۵۲۸	شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال	۴۸۹
۸	سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین	۵۳۳	پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند	۴۸۹	ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی و ...	۵۲۲	پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند	۴۸۶
۹	ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی و ...	۵۳۳	روندهای رفتاری پایدار ساکنان	۴۸۹	سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین	۵۲۱	روندهای رفتاری پایدار ساکنان	۴۸۶
۱۰	مصرف انرژی هوشمند	۴۷۲	مصرف انرژی هوشمند	۴۷۲	حمل و نقل پایدار	۴۸۱	مصرف انرژی هوشمند	۴۶۹

۴۶۴	سیستم‌های مکانیزه و جمع-آوری پسماند	۴۷۱	حمل و نقل عمومی	۴۶۳	سیستم‌های مکانیزه و جمع-آوری پسماند	۴۷۲	حمل و نقل پایدار	۱۱
۴۵۴	ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی و ...	۴۷۱	مصرف انرژی هوشمند	۴۵۴	ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی و ...	۴۶۳	حمل و نقل عمومی	۱۲
۴۴۰	حمل و نقل پایدار	۴۵۹	مدیریت هوشمند ترافیک	۴۳۷	حمل و نقل پایدار	۴۴۵	مدیریت هوشمند ترافیک	۱۳
۴۳۲	انرژی‌های تجدیدپذیر	۴۴۸	پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند	۴۲۸	انرژی‌های تجدیدپذیر	۴۳۷	انرژی‌های تجدیدپذیر	۱۴
۴۲۱	میلان مناسب شهری	۴۴۳	انرژی‌های تجدیدپذیر	۴۱۹	میلان مناسب شهری	۴۳۷	پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند	۱۵
۴۲۰	باز یافت و کمپوس ضایعات	۴۰۱	میلان مناسب شهری	۴۱۰	باز یافت و کمپوس ضایعات	۴۰۲	میلان مناسب شهری	۱۶
۴۱۶	تقویت حس تعلق خاطر	۳۸۴	سیستم‌های مکانیزه و جمع-آوری پسماند	۴۱۰	تقویت حس تعلق خاطر	۳۸۴	سیستم‌های مکانیزه و جمع-آوری پسماند	۱۷
۴۰۸	تکنولوژی دفع و جمع‌آوری زباله	۳۶۱	باز یافت و کمپوس ضایعات	۴۰۲	تکنولوژی دفع و جمع‌آوری زباله	۳۴۹	باز یافت و کمپوس ضایعات	۱۸
۳۹۵	توزیع، ذخیره و تصفیه مناسب آب خانگی	۳۵۴	تکنولوژی دفع و جمع‌آوری زباله	۳۸۴	توزیع، ذخیره و تصفیه مناسب آب خانگی	۳۴۹	تکنولوژی دفع و جمع‌آوری زباله	۱۹
۳۹۱	مدیریت خلاقانه رواناب	۳۴۴	توزیع، ذخیره و تصفیه مناسب آب خانگی	۳۸۴	مدیریت خلاقانه رواناب	۳۳۲	توزیع، ذخیره و تصفیه مناسب آب خانگی	۲۰
۳۸۵	حمل و نقل عمومی	۳۲۷	مدیریت خلاقانه رواناب	۳۷۵	حمل و نقل عمومی	۳۱۴	مدیریت خلاقانه رواناب	۲۱
۳۶۹	مدیریت هوشمند ترافیک	۲۵۰	تقویت حس تعلق خاطر	۳۵۸	مدیریت هوشمند ترافیک	۲۲۷	تقویت حس تعلق خاطر	۲۲

مأخذ: (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳)



شکل ۷- خروجی نهایی نرم‌افزار و یافته نهایی پژوهش

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

کشور ایران سالانه ۷۱۵ میلیون تن دی اکسید کربن (CO_2) تولید می‌کند. این درحالی است که تمام این درصد در بخش انرژی تولید می‌شود که ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه از لحاظ مصرف انرژی در روند تولیدی کالاها و خدمات در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و جز کشورهای با شدت انرژی بالا محسوب می‌شود. در سال ۱۳۹۰، میزان دی اکسید کربن (CO_2) منتشر شده به ازای هر نفر، حدود ۶/۸ تن برآورد شده است در حالی که طبق گزارش شاخص توسعه انسانی (۲۰۱۳) میزان متوسط انتشار سرانه گاز دی اکسید کربن (CO_2) در جهان ۴/۵ تن است. به‌عبارت دیگر، هر ایرانی ۳۶ درصد بیشتر از متوسط انتشار در جهان، کربن دی اکسید (CO_2) منتشر می‌کند. با توجه به اینکه در ایران منابع عمده کربن در شهرها قرار دارند لذا، در این پژوهش سعی شده تا به بررسی فرضیه اصلی پژوهش یعنی اثرات رشد و توسعه هوشمند شهری در کاهش انتشار کربن و ایجاد شهرهای کم‌کربن در شهرهای ایران با دیدگاهی کامل و جامع نسبت به وضعیت و داده‌های موجود در کشور و همچنین مطالعات صورت گرفته در دنیا و کشورهای پیش‌تاز در این زمینه پرداخته شود. اهداف این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد: ۱- تعیین و شناسایی مؤلفه‌های رشد هوشمند شهری و تأثیر آن بر کاهش انتشار کربن (CO_2). ۲- تعیین مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر کاهش انتشار کربن شهری و حرکت به سمت شهر کم‌کربن یا کربن صفر در ایران. لذا، از دو روش تحلیل نظری و کمی-کیفی برای دستیابی به نتایج بهره گرفته شد. پژوهش حاضر دارای دو بخش از یافته‌هاست در بخش اول به شیوه‌ی توصیفی تحلیلی از طریق مطالعه عمیق ادبیات موجود در مورد شهرهای هوشمند و شهرهای کم‌کربن به تبیین نظریه‌های شهر کم‌کربن و رویکرد شهر هوشمند و تأثیر آن بر کاهش انتشار کربن شهری و تأثیر ویژگی‌های آن می‌پردازد. بخش دوم پژوهش شامل توجه به هدف اصلی پژوهش که آگاهی و درک بیشتر در زمینه آینده‌پژوهی در مورد اثرات رشد هوشمند شهری بر ایجاد شهرهای کم‌کربن در ایران است می‌باشد. در واقع پژوهش حاضر از ترکیب دو تکنیک کتابخانه‌ای و روش دلفی استفاده کرده است. با توجه به اینکه پژوهش در نهایت به دنبال آینده‌پژوهی اثرات رشد هوشمند شهری بر ایجاد و توسعه شهرهای کم‌کربن در شهرهای ایران است دارای رویکردی اکتشافی است. لذا، در این پژوهش شاخص‌های کلیدی از طریق روش دلفی و از طریق خبرگان حوزه‌ی برنامه‌ریزی شهری به دست آمد. از این جهت نمونه مورد نظر ۳۰ نفر از کارشناسان خبره بودند. لذا، اطلاعات و داده‌های مورد نظر از طریق پرسشنامه مربوط به ماتریس تأثیرات عوامل از نظر کارشناسان جمع‌آوری و با استفاده از تکنیک تحلیل ساختاری و در قالب نرم‌افزار Micmac مورد تحلیل قرار گرفت. شایان توجه است که پژوهش حاضر از نظر موضوع، مبانی و روش با پژوهش‌های چولینویو و همکاران (۲۰۲۴)، با عنوان کاهش انتشار کربن: تجزیه و تحلیل ابتکارات شهر هوشمند و آزمون کاهش کربن و پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۲۳)، شهر کم‌کربن و روندهای تحقیقاتی آینده آن: تحلیل کتابسنجی و مرور سیستماتیک همخوانی دارد.

یافته‌های کیفی پژوهش نشان می‌دهد که شهرهای ایران برای دستیابی به شهرهای کم‌کربن از طریق هوشمندسازی شهرها در آینده به کارایی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر، حمل و نقل پایدار، مدیریت پسماند، مدیریت آب، برنامه‌ریزی شهری و زیرساخت‌های شهری، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌ها، شهروندان هوشمند، آمادگی و تاب‌آوری در برابر بلایا، سیستم‌های اقتصاد هوشمند و سیستم‌های ردیابی و گزارش کربن نیازمند می‌باشد.



شکل ۸- عملکرد سیستم شهرهای هوشمند جهت نیل به شهر کم کربن و کاهش اثرات کربن در شهرهای ایران (یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۳)

در این پژوهش برای تحلیل نهایی از طریق نرم‌افزار میک‌مک یک پرسش‌نامه در چارچوب ماتریسی با ابعاد 22×22 تهیه شده است. ۱۰ متغیر اصلی در قالب ۲۲ شاخص زیرمجموعه شناسایی و طبقه‌بندی شد. سپس هر کدام از این متغیرها برای ورود به نرم‌افزار میک‌مک (امتیازدهی از ۰ تا ۱۰) در چارچوب کدگذاری خاص به سیستم معرفی و زیرمجموعه‌های هرکدام نیز در محیط نرم‌افزار تعریف شدند. براین اساس، شاخص پرسدگی به‌دست برای متغیرها با ۲ بار تکرار چرخش داده‌ای، عدد $89/05$ را نشان‌دهنده کارایی ابزار تحقیق و تأیید اطلاعات جمع‌آوری شده به‌وسیله پرسش‌نامه‌های توزیع شده در سطح بسیار مطلوب است و صحت اطلاعات به‌دست‌آمده را تأیید می‌کند. همچنین، از مجموع 431 رابطه ماتریسی قابل ارزیابی 324 رابطه، معادل $75/17$ درصد دارای اثرات متقاطع سه، روابط عامل‌های کلیدی بسیار زیاد بوده است، از تأثیرگذاری و تأثیرپذیری برخوردار بوده‌اند. از طرف دیگر ماتریس بر اساس شاخص‌های آماری با ۲ بار چرخش داده‌ها از مطلوبیت و بهینه‌شدگی 100 درصد برخوردار می‌باشد به طوریکه هم ماتریس اثرات مستقیم و هم ماتریس تأثیرات بالقوه مستقیم به ترتیب ۹۸ و ۹۷ درصد بوده که حاکی از روایی بالای پرسشنامه و پاسخ‌های آن است. **تحلیل سیستم نشان داد که در ماتریس متقاطع، جمع اعداد در سطر برای متغیر، بیانگر جمع فعال می‌باشد و میزان تأثیرگذاری آن عامل را نشان می‌دهد، بطوریکه بسیاری از عناصر از جمله: حمل‌ونقل پایدار، حمل‌ونقل عمومی، مدیریت هوشمند ترافیک، انرژی‌های تجدیدپذیر و مبلان مناسب شهری، برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف پایدار، حمایت از طرح‌های پایدار شهری، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نوین، پرورش شهروند هوشمند، شبکه هوشمند و زیرساخت دیجیتال، پرورش جامعه تاب‌آور، روندهای رفتاری پایدار ساکنان، ممیزی کربن در بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی، مدیریت هوشمند و پایدار زیرساخت‌ها، پیش‌بینی و نظارت بر مصرف انرژی هوشمند و مصرف انرژی هوشمند به‌عنوان شاخص‌های تعیین‌کننده با تأثیرگذار شناخته شدند. لذا، همانطور که نتایج نشان می‌دهد تمام متغیرهایی که مربوط به حمل‌ونقل هستند و یا با حمل و نقل در ارتباط هستند جزء متغیرهای تأثیرگذار هستند. همانطور که شواهد مختلف در نقاط مختلف جهان تاکنون به اثبات رسیده حمل و نقل یکی از عوامل اصلی منتشرکننده کربن در جهان است که در این پژوهش نشان می‌دهد که اگر این متغیرها به درستی و براساس اصول شهر هوشمند باشند در کاهش کربن در شهرهای ایران نقش خواهد داشت. افزون براین، جمع اعداد در ستون نیز بیانگر جمع غیرفعال می‌باشد و میزان تأثیرپذیری آن عامل را نشان می‌دهد. پیرامون قرارگیری و توزیع شاخص‌ها در صفحه نمودار باید گفت که برحسب منطقه‌بندی متغیرها بیشتر در شمال شرق و شمال غرب پراکنده‌ان و این نشان می‌دهد که توزیع نرمالی ندارد.**

Commented [P11]: اصلاح گردید

پیشنهادهات

(الف) نتایج اصلی این مقاله نه تنها اطمینان به تحقیقات در زمینه‌های مرتبط را افزایش می‌دهد، بلکه ارزش مرجعی نیز برای برنامه‌ریزان، مدیران و تصمیم‌گیرندگان شهرهای کم‌کربن و شهرهای هوشمند دارد.

(ب) شهر هوشمند یک مدل جدید توسعه شهری است که در آینده به پایداری شهرها و کاهش بحران‌های شهری از جمله انتشار کربن و تأثیرات زیست‌محیطی آن کمک شایانی خواهد کرد. لذا، بررسی اثرات شهر هوشمند بر کنترل انتشار کربن در شهرهای ایران با استفاده از تجربیات کشورهای دیگر و با توجه به نبود شهرسازی هوشمند و بستر مناسب یک شروع اثربخش و ایده‌آفرین برای توسعه این نوع رشد شهری است.

Commented [P1۲]: اصلاح گردید

References

1. Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, S3-S11. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.06.007>
2. Albino, V. Beradi, U. Dangelico, R.M. (2015). Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *Journal of Urban Technology*. 22(1): 3-21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
3. Alvarez, F et al . (2009). *The Future Internet*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20898-0>
4. AAli, S. A. (2016). Neighborhood design with a low-carbon approach, master's thesis of the urban design department. Supervisor: Haq-Perest, Farzin, Maliki, Aida, Tabriz University of Islamic Art, Faculty of Architecture and Urban Planning. <https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/b8ca74b94fd533583dacbbab64355af1?sample=1> [In Persian].
5. Asiyabanipour, E. (2013). Evaluation of urban development plans and programs with zero carbon approach, case study: Tabriz city. Master's Thesis of the Department of Geography and Urban Planning, Supervisor: Professor Pourmohammadi, M. R, Tabriz University, Ares International Campus, School of Architecture and Urban Planning. <https://civilica.com/doc/531532> [In Persian].
6. Brandon, P, S, Lombardi, P. (2005). *Evaluating Sustainable Development In The Built Environment*. Blackwell Publishing. <http://ndl.ether.net.edu.et/bitstream/123456789/54577/1/209.pdf>
7. Calvillo, C. F., Sánchez-Miralles, A., & Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 273-287. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.133>
8. Cavada, M.; Hunt, D.; Rogers, C. Do smart cities realise their potential for lower carbon dioxide emissions? *Proc. Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.* 2016, 169, 243–252. <http://dx.doi.org/10.1680/jensu.15.00032>
9. Chulenyov, A., Nautiyal, M., Singla, A. K., Arora, R., & Kumar, A. (2024). Reducing Carbon Emissions: An Analysis of Smart City Initiatives and the Carbon Reduction Test. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 86, p. 01081). EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/bioconf/20248601081>
10. Dinca, G.; Milan, A.A.; Andronic, M.L.; Pasztori, A.M.; Dinca, D. Does Circular Economy Contribute to Smart Cities' Sustainable Development? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 37627. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137627>
11. Feiock, R. C. & Tavares, A. F. & Lubell, M. (2008) "Policy Instrument Choices for Growth Management and Land Use Regulation". *The Policy Studies Journal*, 36 (3), 461–48. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0072.2008.00277.x>
12. Ghaemi Asl, M., Selimifar, M., Mahdavi Adeli, M., & Rajabi Mashhadhi, M. (2014). Simulation of creating a low-carbon ecological city using urban waste and photovoltaic technology: sustainable energy planning of the urban sector of Mashhad. *Journal of Urban*

- Economics and Management, Year 5, Number 317, 67-81. <https://civilica.com/doc/685762/> [In Persian].
13. Hu, C. (2017, April). Research on the strategy of low-carbon urban planning based on residents' living and consumption. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 61, No. 1, p. 012049). IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/61/1/012049>
 14. Hodson, M., & Marvin, S. (2011). Can cities shape socio-technical transitions and how would we know if they were. In Bulkeley, H., Broto, V. C., Hodson, M., & Marvin, S. (Eds.). *Cities and low carbon transitions*, (Vol. 35).pp: 54-70
<https://www.geos.ed.ac.uk/~sallen/dave/dx.doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.020>
 15. <https://smartgrowth.org/>
 16. Harrison, C. Donnelly, I.A. (2012). A theory of smart cities. Retried from IBM Cor. https://www.researchgate.net/publication/228428752_A_Theory_of_Smart_Cities
 17. Heuse, P.; Zimmer, H. (2020). The Europe 2020 strategy. *Econ. Rev.* 2011, 2, 21-45. <https://ideas.repec.org/a/nbb/ecrart/y2011mseptemberiip21-45.html>
 18. International Energy Agency. (IEA) (2008). Implementing Energy Efficiency. <https://www.iea.org/topics/energy-efficiency>
 19. Liu, X., & Bae, J. (2018). Urbanization and industrialization impact of CO2 emissions in China. *Journal of cleaner production*, 172, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.156>
 20. Long, Y., Tang, L., Zhou, Y., Zhao, S., & Zhu, H. (2023). Causal relationship between gut microbiota and cancers: a two-sample Mendelian randomisation study. *BMC medicine*, 21(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-02761-6>
 21. Latifi, G. (2003). The necessity of cultural planning in sustainable urban development. *Journal of Political and Economic Information*, Volume 18, No. 190-200, 188-170. <https://civilica.com/doc/1801982> [In Persian].
 22. Mohammad Bagheri, A. (2014). The need to focus on the development of low-carbon cities in the urban management structure. Annual Conference on Architecture, Urban Planning and Urban Management Research. <https://civilica.com/doc/544455> [In Persian].
 23. Moradi, A., & Charejo, F. (2021). Strategic planning of sustainable urban development with a special approach to low-carbon city (case study: Sanandaj city). *Urban Research and Planning Quarterly*, year, 12, number 46, 111-129. <https://doi.org/10.30495/jupm.2021.4063> [In Persian].
 24. Pathak, S.; Pandey, M. Smart Cities: Review of Characteristics, Composition, Challenges, and Technologies. In Proceedings of the 6th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2021, Coimbatore, India, 20-22 January 2021; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA; pp. 871-876. <http://dx.doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358708>
 25. Pamlin, D., & Armstrong, S. (2015). Global challenges: 12 risks that threaten human civilization. *Global Challenges Foundation, Stockholm*. <https://www.pamlin.net/s/12-Risks-that-threaten-human-civilisation-GCF-Oxford-2015.pdf>
 26. Panovska-Griffiths, J., Kerr, C. C., Stuart, R. M., Mistry, D., Klein, D. J., Viner, R. M., & Bonell, C. (2020). Determining the optimal strategy for reopening schools, the impact of test and trace interventions, and the risk of occurrence of a second COVID-19 epidemic wave in the UK: a modelling study. *The Lancet Child & Adolescent Health*, 4(11), 817-827. [https://doi.org/10.1016/s2352-4642\(20\)30250-9](https://doi.org/10.1016/s2352-4642(20)30250-9)
 27. Pathak, S.; Pandey, M. Smart Cities: Review of Characteristics, Composition, Challenges, and Technologies. In Proceedings of the 6th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2021, Coimbatore, India, 20-22 January 2021; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA; pp. 871-876. <http://dx.doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358708>
 28. Pour Ahmad, A., Ziary, K., Hatminjad, Hossein. P & Pashaabadi, S. (2017). The concept and features of a smart city. *Scientific Research Journal of Nazar Institute of Art, Architecture and Urban Planning*, No. 15(58): 5-26. <file:///C:/Users/PishroPardaz/Downloads/44213975801-1.pdf> [In Persian].

29. Pourmohammadi, M. R., & Ghorbani, R. (2012). Dimensions and strategies of the paradigm of densification of urban spaces. *Modares Humanities*, Summer 2012, No. 29, pp. 85-108. <https://ensani.ir/file/download/article/20120413144449-2172-283.pdf> [In Persian].
30. Khani, S., Irandoost, K., & Kamali, A. (2021). Comparative analysis of demographic characteristics in official and informal settlements of Sanandaj city. *Quarterly Journal of Urban Studies*, 10(40), 105-118. <https://www.doi.org/10.34785/J011.2022.210> [In Persian].
31. Kim, K.-G. The Urban Book Series Low-Carbon Smart Cities Tools for Climate Resilience Planning. Available online: <http://www.springer.com/series/14773> (accessed on 3 November 2023). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-59618-1>
32. Shahid, N.; Shah, M.A.; Khan, A.; Maple, C.; Jeon, G. Towards greener smart cities and road traffic forecasting using air pollution data. *Sustain. Cities Soc.* 2021, 72, 103062. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2021.103062>
33. Satterthwaite, D. (2008). Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and urbanization*, 20(2), 539-549. <http://dx.doi.org/10.1177/0956247808096127>
34. Sinkiene, J., Grumadaite, K., & Liugailaite-Radzvickiene, L. (2014, May). Diversity of theoretical approaches to the concept of smart city. In *Proceedings of the 8th international scientific conference "Business and Management"* (pp. 15-16). <http://dx.doi.org/10.3846/bm.2014.112>
35. Sheikhi, S., Habib, F., & Habib, F. (2022). Developing a conceptual and evaluation model of low-carbon cities. *Environmental Science and Technology*, twenty-fourth volume, number eight, November, 61-75. <https://doi.org/10.30495/jest.2023.68388.5713> [In Persian].
36. Thellufsen, J. Z., Lund, H., Sorknaes, P., Østergaard, P. A., Chang, M., Drysdale, D., ... & Sperling, K. (2020). Smart energy cities in a 100% renewable energy context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109922. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109922>
37. Tan, S., Yang, J., Yan, J., Lee, C., Hashim, H., & Chen, B. (2017). A holistic low carbon city indicator framework for sustainable development. *Applied Energy*, 185(2), 1919-1930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.041>
38. Tahmasabi, A., Mahkoui, H., Abbasi, A., & Simbar, R. (2022). An analysis of the foreign policy approach of the Islamic Republic of Iran in the South Asian region. *Fundamental and Applied Studies of the Islamic World*, 4(2), 107-131. <https://doi.org/10.22034/FASIW.2022.341682.1153> [In Persian].
39. United Nations Department of Economic and Social Affairs. SDGs. Available online: (accessed on 3 November 2023). <https://www.globalgoals.org/goals/>
40. Wang, M., Zhang, L., Gao, K., & Liu, L. (2016). Significance of Development of Low-Carbon Healthy Cities. *China Low-Carbon Healthy City, Technology Assessment and Practice*, 15-28. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49071-6_2
41. Wang, X., Wang, G., Chen, T., Zeng, Z., & Heng, C. K. (2023). Low-carbon city and its future research trends: A bibliometric analysis and systematic review. *Sustainable Cities and Society*, 90, 104381. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104381>
42. Wenyao, Y. (2010). Practice and Innovation of Low-carbon Concept in the Planning of Hongqiao Business District, the impact of spatial planning urban design and built form on urban sustainability, 46th ISOCARP Congress 2010. <http://www.isocarp.net/Data/casestudies/1714.pdf>
43. Zhu, H., Pan, K., Liu, Y., Chang, Z., Jiang, P., & Li, Y. (2019). Analyzing temporal and spatial characteristics and determinant factors of energy-related CO2 emissions of Shanghai in China using high-resolution gridded data. *Sustainability*, 11(17), 4766. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4766#>