Journal of Environmental Research
Vol. 16, No. 32, Autumn & Winter 2026

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Identifying Key Drivers of Air Pollution Based on Foresight Approach in Tehran Metropolis

Document Type
Research Paper

Seyed Ali Taghizadeh Diva[1], Abdolrassoul Salmanmahiny[2]*, Hamidreza Fallah Lajimi[3]

1. Ph.D in Environmental Science and Engineering, Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran.
2. Corresponding Author, Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran. Email: mahini@gau.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Received:
2023/01/03

Accepted:
2025/10/12

Abstract

The current research is a foresight study to find the key drivers of air pollution in Tehran using an exploratory-applied approach. The research was carried out by combining foresight method with fuzzy Delphi method and cross-effects analysis. Application of fuzzy logic accommodated uncertainty in experts' judgments and provided a means of achieving consensus among opinions. The experts identified the most critical drivers of air pollution. The required data were collected and analyzed by reviewing previous research and referring to experts' opinions through interviews and questionnaires. After the literature review, 88 factors affecting air pollution were listed using the PESTEL technique. Then based on experts' opinions and using the fuzzy Delphi method, a cut-off level 3.9 was applied to the original list of pollution drivers that singled out 36 out of 88 factors. In the next step, pairwise comparisons between the influential factors were made using experts' views. The most critical factors were investigated and measured by analyzing the mutual effects matrix. The results showed that among the selected 36 factors, 12 are of higher importance in Tehran including: innovation in urban management, degree of support by environmental officials, government policies, government intervention, number of vehicles, research and development, price of energy carriers, monitoring of pollutions, quality of industries, population growth, impact of consumption norms, and investment in clean energy. We conclude that to more effectively manage air pollution in Tehran, the first step is to pay attention to the 12 mentioned drivers we defined above.

Keywords: Foresight, Air pollution, Fuzzy Delphi, Cross-effects analysis, Micmac

Cite this article: Taghizadeh Diva, S. A., Salmanmahiny, A. R., & Fallah Lajimi, H. R. (2026). Identifying Key Drivers of Air Pollution Based on Foresight Approach in Tehran Metropolis. *Journal of Environmental Research*, *16* (32), 101-120. https://doi.org/10.22034/eiap.2026.246806

© The Author(s).

Publisher: Iranian Association for Environmental Assessment

DOI: https://doi.org/10.22034/eiap.2026.246806

Introduction

Air pollution is one of the most tangible environmental challenges in many countries worldwide. In recent years, air pollution and the environmental crisis in megacities have become primary concerns for policymakers and authorities, with significant efforts focused on understanding its aspects and influencing factors. Tehran, as Iran's political, economic, and communicative hub, repeatedly faces unhealthy and polluted days each year. Unfortunately, these conditions have failed to provide a desirable living environment for residents, positioning Tehran among the world's most polluted cities.

Undoubtedly, resolving Tehran's air pollution crisis is a complex issue involving multiple influential actors, requiring the development of an operational plan to achieve objectives through appropriate structuring and strategy formulation. Oversimplifying the problem, overlooking key actors, or ignoring their perspectives could lead to ineffective solutions. Formulating macro-level strategies is a time-consuming and costly process that demands careful handling. Thus, strategy development for addressing Tehran's air pollution crisis includes identifying the key drivers of pollution.

Futures studies enable decision-makers to navigate highly complex and uncertain issues by focusing on key drivers to overcome ambiguous and elusive challenges. Unlike prediction, futures studies is a technique for constructing the future based on current desires and actions, rather than a deterministic or unchangeable fate. It involves logical analyses and objective judgments that effectively reduce managerial complexity. Futures studies is an interdisciplinary, participatory, and action-oriented science. Its first and most critical step is identifying key drivers, which serve as a steering mechanism—much like a steering wheel that redirects a vehicle's path. Ignoring these drivers in a system can have detrimental effects on overall management. Therefore, their identification and prioritization are essential.

The objective of this study is to propose a framework for analyzing and identifying the most critical drivers of air pollution in Tehran through expert participation, thereby achieving a clear understanding of the current situation and its management. By focusing on these key drivers, other influenced factors can be controlled and directed toward cleaner air planning.

Methodology

This research employs the PESTEL technique, fuzzy Delphi, and cross-impact analysis. PESTEL stands for Political, Economic, Social, Technological, Environmental, and Legal factors. Through literature review and expert consultations, all air pollution factors were listed, resulting in 88 factors after removing duplicates and merging similar factors. Given the high number and dispersion of factors across perspectives, the qualitative PESTEL technique was used for classification and structuring, identifying six main influential categories. This framework not only aids problem comprehension but also forms a pillar of strategic management.

Delphi is an expert-driven group decision-making method aimed at achieving consensus on specific topics. In classical Delphi, experts provide crisp numerical opinions, yet they draw on subjective expertise amid inherent uncertainties. Applying fuzzy theory to Delphi addresses shortcomings such as imprecise data, subjective biases in expert judgments, and challenges in quantifying full knowledge into single numbers. Delphi can be used for forecasting (typically multi-round) or screening (single-round).

This study combines futures studies methods including fuzzy Delphi and cross-impact analysis. Cross-impact analysis detects interdependencies by rating each trend's influence on others. It is a semi-quantitative method that analyzes cross-relationships within a matrix, beyond simple cause-effect links, across system micro-components. As a futures research tool, it reveals a variable's role relative to others, highlighting those with significant future system development impacts. The method forecasts the influence (or likelihood) of one variable on another, aggregates these cross-impacts, and—based on experts—assesses independent occurrence probabilities alongside conditional influences. Paired comparisons via structural analysis interpret relationships in multidimensional, complex systems, simplifying them to identify key and driving variables.

Results and Discussion

In exploratory research, identifying the most critical underlying elements of a phenomenon is paramount. Fuzzy Delphi can determine factor importance and screen key indicators. Here, a single round was used for

summarization and screening. Expert opinions were classified into six thresholds (3, 3.5, 3.7, 3.8, 3.9, and 4), with 3.9 selected as the threshold per the research team, yielding 36 criteria for the next stage.

A 36×36 cross-impact matrix was then constructed using MICMAC software to examine pairwise relationships among selected variables. Questionnaires were completed by experts, aggregated via the 11th representative to a single input for MICMAC. The matrix achieved 100% optimality after two data rotations, indicating high validity. The fill rate (12)—the percentage of non-zero cells (values 1, 2, 3, or P) to total cells—indicates direct relationship complexity; a higher rate signals greater complexity and potential indirect/uncertain links. This study's fill rate was 89%. The vertical axis shows a variable's influence, and the horizontal axis its dependence.

MICMAC outputs classify variables into four groups:

- **Group 1 (Driving variables)**: Innovation, government policy importance, government change effects, R&D, population, industries, societal attitudes, industrialization, technology, and regulations. These highly influence the system with low dependence, making them priority targets.
- **Group 2 (Unstable/key variables)**: Environmental support officials, vehicle numbers, clean energy investment, energy carrier prices, pollutant emission monitoring, consumption patterns, smart city, private transport costs, awareness-raising, pollution fees, traffic, vehicle quality. These have balanced influence and dependence, rendering them unstable; changes propagate widely, marking them as key system variables prone to debate.
- **Group 3 (Dependent variables)**: Transport attractiveness, public transport costs, transport development, trip per capita, climate, transport efficiency, infrastructure, cycling, fuel, green spaces. These are influenced by Groups 1 and 2.
- **Group 4 (Independent variables)**: Policy conflicts, education budget, industry impact, land use. These neither strongly influence nor depend on others, operating autonomously.

Indirect relationship matrices are derived by iteratively multiplying direct matrices until stabilization, revealing hidden system variables.

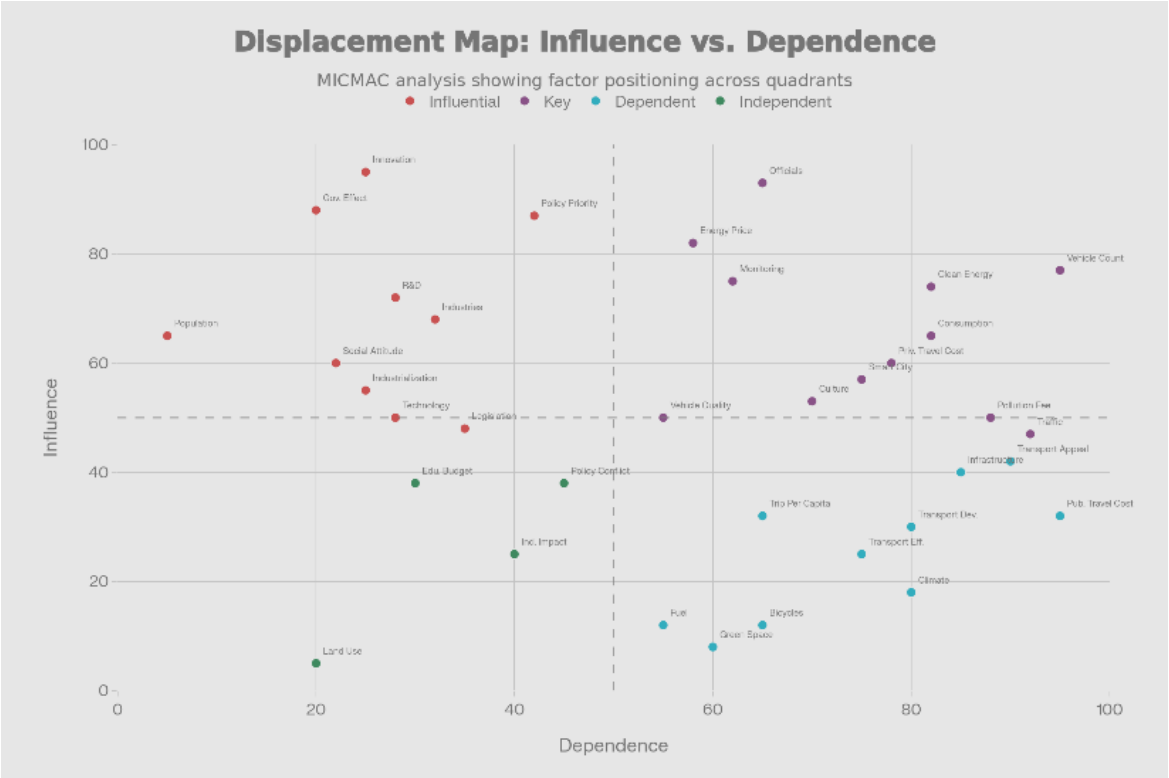


Fig. 1. MICMAC Displacement Map: Influence-Dependence Analysis of Tehran Air Pollution Drivers (N=36 variables)

Conclusion

Resolving Tehran's air pollution crisis is complex, involving multiple actors, and requires structured operational planning and strategy formulation. Oversimplification risks ineffective solutions, while macro-strategies demand substantial resources.

Advances in futures studies have integrated its techniques into planning, including key factor analysis and driver identification. This leads to flexible policy frameworks via scenario design based on main drivers.

This study combines fuzzy Delphi (for expert convergence) and cross-impact analysis (for interdependencies). Fuzzy Delphi refined initial drivers, while cross-impact identified keys. Key drivers enable maximum impact with minimal cost.

Success depends on effective interactions among keys. Results allow assessing Tehran's air pollution, proposing solutions, and guiding policy via driver relationships. The MICMAC plot shows no L-pattern, indicating system instability, volatility, and complexity.

Recommendations focus on key drivers: urban management innovation, environmental officials, government policy importance, government interventions, vehicle numbers, R&D, energy prices, emission monitoring, industrial quality, population growth, consumption patterns, clean energy investment.

پژوهش‌های محیط‌زیست

سال ۱۶، شماره ۳۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

شناسایی پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا براساس آینده‌پژوهی در کلان شهر تهران

سیدعلی تقی‌زاده دیوا[۱]، عبدالرسول سلمان ماهینی*[۲]، حمیدرضا فلاح لاجیمی[۳]

۱. دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، ایران.
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: mahini@gau.ac.ir
۳. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

تحقیق حاضر از نوع آینده‌پژوهی برای دستیابی به پیشران‌های اصلی و کلیدی ایجادکننده آلودگی هوا در شهر تهران است و به شکل اکتشافی-کاربردی انجام شده است. این پژوهش با ترکیب روش‌های آینده‌پژوهی انجام پذیرفته و در آن از دو روش دلفی فازی و تحلیل اثرات متقاطع استفاده شده است. همچنین، کاربست منطق فازی امکان اجماع نظرات و در نظر گرفتن عدم قطعیت قضاوت خبرگان را فراهم نموده است. در این پژوهش با مشارکت خبرگان، مهمترین پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا شناسایی گردید تا در مدیریت موثر آلودگی هوا استفاده شوند. داده‌های مورد نیاز با بررسی ادبیات تحقیق و همچنین رجوع به نظرات خبرگان از طریق مصاحبه و پرسش‌نامه جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل شده است. با بررسی ادبیات تحقیق و منابع علمی ۸۸ عامل موثر بر آلودگی هوا فهرست شدند و با استفاده از تکنیک PESTEL طبقه‌بندی گردیدند. در مرحله اول با رجوع به نظر خبرگان و با استفاده از روش دلفی فازی تعداد ۳۶ عامل با حد آستانه ۳/۹ انتخاب شد. در مرحله بعد طی پرسشنامه‌ای با رجوع مجدد به خبرگان مقایسه زوجی میان عوامل تاثیرگذار صورت گرفت. با تحلیل ماتریس اثرات متقاطع مهمترین عوامل بررسی و سنجش شدند. نتایج نشان داد که از میان ۳۶ عامل؛ نوآوری در مدیریت شهری، مسئولان پشتیبان محیط‌زیست، سیاست‌های کلی دولت‌ها، دخالت دولت، تعداد وسایل نقلیه، تحقیق و توسعه، قیمت حامل‌های انرژی، نظارت بر تولید آلاینده‌ها، کیفیت صنایع، رشد جمعیت، تاثیر الگوی مصرف و سرمایه‌گذاری در انرژی پاک به‌عنوان مهمترین پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا در شهر تهران هستند. برای مدیریت موثر آلودگی هوا در شهر تهران، در گام اول باید به ۱۲ پیشران یاد شده در بالا توجه نمود.

کلید واژه‌ها: آینده‌نگاری، آلودگی هوا، دلفی فازی، تحلیل اثرات متقاطع، MICMAC

استناد: تقی‌زاده دیوا، سیدعلی؛ سلمان‌ماهینی، عبدالرسول و فلاح لاجیمی، حمیدرضا (۱۴۰۵). شناسایی پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا براساس آینده‌پژوهی در کلان شهر تهران. *نشریه پژوهش های محیط‌زیست*، ۱۶ (۳۲)، ۱۰۱-۱۲۰. https://doi.org/10.22034/eiap.2026.246806

ناشر: انجمن ارزیابی محیط‌زیست ایران.

© نویسندگان.

سرآغاز

آلودگی هوا یکی از ملموس‌ترین معضلات محیط‌زیستی در بیشتر کشورهای جهان است (Bayat et al., 2020) مطابق آمار ارایه شده توسط سازمان جهانی بهداشت[1] آلودگی هوای آزاد پنجمین عامل مرگ‌ومیر زودرس در جهان است که فقط در سال ۲۰۱۷ منجر به مرگ بیش از ۴/۹ میلیون نفر و از دست دادن ۱۴۷ میلیون سال زندگی سالم[2] در جهان شده است (Health Effect Institute, 2019). موضوع آلودگی هوا و بحران محیط‌زیست کلان شهرها خصوصا شهر تهران در سال‌های اخیر به یکی از مساله‌های اصلی متولیان و مسولان امر تبدیل شده است و تلاش در جهت شناخت جنبه‌های این بحران در کنار عوامل تاثیرگذار اهمیت فراوانی یافته است (Abbasmofrad et al., 2021).

تهران به‌عنوان مرکز سیاسی، اقتصادی، ارتباطی ایران هر سال به طور مکرر با رخداد روزهای آلوده و ناسالم مواجه است. در شهر تهران افزون بر شکل و توپوگرافی، تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها، میزان ترافیک، عرض و جهت معابر به همراه شرایط جوی و اقلیمی نقش اساسی در آلودگی هوای شهر دارند (Karimi et al., 2020). این عوامل متاسفانه شرایط زیستی مطلوبی را برای ساکنین خود به وجود نیاورده‌اند و اکنون تهران به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان معرفی شده است (Abbasmofrad et al., 2021) .

بدون شک حل بحران آلودگی هوای شهر تهران یک مساله پیچیده، با حضور بازیگران اثرگذار متعدد است که نیازمند تدوین برنامه عملیاتی جهت دستیابی به هدف است که خود نیازمند ساختاردهی مناسب به‌منظور تدوین استراتژی است. از طرف دیگر ساده‌سازی مساله و از قلم انداختن برخی از بازیگران اثرگذار و عدم دخالت دیدگاه‌ها و نظرات آنها می‌تواند منجر به ارایه راهکارهایی ناکارآمد گردد. تدوین استراتژی در سطح کلان، فرایندی زمان‌بر و پرهزینه است که نمی‌توان به‌راحتی با آن برخورد کرد (Dashti et al., 2020). از این‌رو تدوین استراتژی با هدف حل بحران آلودگی هوای شهر تهران شامل شناسایی پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا نیز می‌شود.

آینده‌پژوهی، به تصمیم‌گیران اجازه می‌دهد در فرایند تصمیم‌گیری در مسایلی با پیچیدگی زیاد و عدم قطعیت بالا، با تمرکز بر پیشران‌های کلیدی به حل مسایل مبهم و دیریاب فایق آیند (Mousavi et al., 2018). آینده‌پژوهی، پیش‌بینی آینده نیست بلکه فنی است که به جای کشف آینده درصدد ساخت آینده است، آینده‌ای که براساس خواسته‌ها و گام‌های کنونی شکل می‌گیرد و لزوما امری جبری و تغییرناپذیر نیست (Amer et al., 2013; Sedighi et al., 2019). آینده‌پژوهی شامل تحلیل‌های منطقی و قضاوت‌های عینی است که به‌طور کارآمدی در کاهش پیچیدگی در سطح مدیریتی کمک می‌کند (Godet et al., 2004). آینده‌پژوهی مطالعه آینده‌های ممکن[3]، احتمالی[4]، ترجیحی[5] و جهان‌بینی‌ها و داستان‌های زیربنایی آنها است (Sardar, 2010) و روشن می‌کند چه چیزی ممکن است ادامه یابد و چه عواملی ممکن است تغییر کند (Sedighi et al., 2022). همچنین، آینده‌پژوهی علمی فرارشته‌ای (Fateh et al., 2014)، مشارکتی و عملگراست (Shirvani et al., 2017; Behroozi Lak & Jalilvand, 2015).

در آینده‌پژوهی، اولین و مهمترین گام، تعیین پیشران‌های کلیدی است تا بتوان بر پایه آن مسیر تغییرات را در جهت نیل به اهداف به درستی پیمود. این پیشران‌ها مشابه فرمانی است که با تغییر جهت آن می‌توان جهت حرکت اتومبیل را تغییر داد. لازم به ذکر است نادیده گرفتن پیشران‌های کلیدی در یک سامانه با توجه به نقش و اهمیت آنها می‌تواند آثار زیانباری بر مدیریت کل سیستم داشته باشد. بنابراین، لزوم شناسایی و توجه ویژه به این عوامل امری ضروری و در عین حال مفید است (Sedighi et al., 2019).

هدف از تحقیق حاضر ارایه چارچوبی جهت تحلیل و شناسایی مهمترین پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا در شهر تهران با مشارکت خبرگان است تا به این ترتیب با تعیین پیشران‌های اصلی و کلیدی ایجادکننده آلودگی هوا، به درک درستی از شرایط حاضر و سپس نحوه مدیریت آن دست یافت. در این فرایند، با تمرکز بر پیشران‌های کلیدی ایجادکننده آلودگی هوا می‌توان سایر عواملی که تحت تاثیر این پیشران‌ها هستند را تحت کنترل و مدیریت قرار داد و در جهت نیل به هوای پاک برنامه‌ریزی کرد.

در زمینه آلودگی هـوا مطالعات متعددی انجـام شـده است که می‌توان به تعدادی از آنها اشـاره کرد. زبـردست و ریاضی (Zebardast &

1. WHO
2. Years of Healthy Life Lest
3. Possible
4. Probable
5. Preferable

Riazi, 2015) با تحلیل اثرات سنجه‌های محیط انسان ساخت بر کیفیت هوای شهری به بررسی رابطه شاخص‌های محیط انسان‌ساخت در زمینه کاهش اتکا به حمل‌ونقل موتوری و ارتقا پیاده‌مداری، کاهش جزایرگرمایی و افزایش ریه‌های تنفسی شهر با استفاده از نرم‌افزار ArcMap پرداختند. برومندکاخکی و زاهدی‌مطلق (Borumand Kakhki & Zahedi Motlagh, 2018) با تحلیل اسناد و محتوای نظرات کارشناسان، دلایل ناکارآمدی سیاست‌های کاهش آلودگی هوا را ذکر و راهکارهایی در جهت حل مساله با شرایط بومی ارایه دادند. پیغمبرزاده و همکاران (Peyghambarzadeh et al., 2021) با ارایه مدلی بومی در جهت اجرای سیاست‌های پیشگیری و کنترل آلودگی هوا در ایران با استفاده از روش تحقیق آمیخته پرداختند و ۹۰ شاخص، ۲۳ مولفه و ۷ بعد اصلی را ارایه دادند و در ادامه شبکه مضامین و در نهایت مدل بومی اجرای سیاست‌های پیشگیری و کنترل آلودگی هوا را پیشنهاد نمودند. سودمندی به بررسی ایرادها و نقاط ضعف قانون هوای پاک در مقایسه با قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا پرداخت و مساله آلودگی هوا را براساس نقاط قوت و ضعف قوانین موضوعی مورد بررسی قرار داد (Soudmandi, 2020). بیات و همکاران به بررسی و تحلیل اقتصادی هزینه‌های مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در شهر تهران پرداخت (Bayat et al., 2020). دشتی و همکاران به تجزیه‌وتحلیل ذی‌نفعان کلیدی پروژه کنترل آلودگی هوا در شهر تهران در طول چرخه حیات پروژه پرداختند و ۱۲ بازیگر کلیدی از میان ۲۳ بازیگر شناسایی شده توسط خبرگان را جدا نمودند (Dashti et al., 2020). رشیدی به بررسی گونه‌های مقاوم در فضای سبز تهران با هدف کاهش آلودگی هوا پرداخت (Rashidi., 2019). بیشترین ارتباطات معنی‌دار با شاخص‌های مقاومت به شرایط آلودگی در گونه اقاقیا و کمترین در گونه چنار مشاهده شد. گونه‌های پیشنهادی با هدف کاهش آلودگی هوا در فضای سبز شهر تهران به ترتیب اقاقیا، زبان گنجشک و چنار بودند. Hessami (2016) پژوهشی در مورد آلودگی هوا، چالش‌ها و راهکارها در شهر تهران انجام داد و مهمترین راهکارهای مدیریتی جهت حل معضل آلودگی هوا را معرفی کرد. Feng & Liao (2016) در مطالعه‌ای به بررسی قوانین، طرح‌ها و سیاست‌های پیشگیری و کنترل آلودگی هوا در چین پرداختند. آنها معضل آلودگی هوا در چین را از چشم‌انداز قانون‌گذاری، برنامه‌ریزی و سیاستگذاری مربوط به نقص در قوانین و مسایل بالقوه یکپارچگی میان قوانین، طرح‌ها و سیاست‌ها می‌دانند. Heger & Sarraf (2018) بیشترین سهم آلودگی هوا در شهر تهران را ناشی از ذرات معلق و ناوگان خودروهای سنگین شامل اتوبوس‌ها و کامیون‌ها به دلیل عمر بالا و فناوری قدیمی، عامل اصلی تولید ذرات معلق معرفی کردند.

از آینده‌پژوهی و تعیین پیشران‌های کلیدی در زمینه‌های گوناگون از جمله مدیریت مناطق، صنایع، علوم سیاسی، آمایش سرزمین استفاده شده است. محمدپور جابری و همکاران در پژوهشی با هدف شناسایی عوامل کلیدی توسعه استان خراسان شمالی و با رویکرد آینده‌نگاری راهبردی از تکنیک تحلیل اثرات متقاطع بهره بردند و جهت تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار میک‌مک استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق، ۱۷ عامل کلیدی در توسعه منطقه شناسایی نمود که می‌توانند به‌عنوان مبنای ترسیم سناریوها و تخصیص فضایی در سطح استان مورد استفاده قرار گیرند (Mohamadpourjaberi et al., 2016). صدیقی و همکاران در مطالعه‌ای به شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی آمایش منطقه‌ای براساس آینده‌پژوهی در شهرستان گرگان بهره گرفتند(Sedighi et al., 2019). هادی‌نژاد و همکاران از روش آینده‌پژوهی دلفی فازی و تحلیل اثرات متقاطع در جهت شناسایی پیشران‌های اصلی و کلیدی موثر بر تهدیدات آمریکا علیه ایران استفاده نمودند (Hadinejad et al., 2020). زالی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای به تجزیه‌وتحلیل عوامل موثر و کلیدی در ایجاد آلودگی هوا در کلان شهرهای کشورهای در حال توسعه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پنج عامل سبک مدیریت، حفاظت از محیط‌زیست، نظارت بر تولید آلاینده‌ها، برنامه‌ریزی بهنگام و تحقیق و توسعه در میان ۲۱ عامل شناسایی شده به‌عنوان عواملی کلیدی هستند که نقش اساسی در آلودگی هوا داشته‌اند (Zali et al., 2018).

داده‌های این پژوهش با بررسی منابع علمی و ادبیات تحقیق و همچنین از طریق مصاحبه و نشست‌های تخصصی با خبرگان مساله جمع‌آوری شده است. در این راستا، ابتدا عوامل تاثیرگذار بر مساله با بررسی منابع و نشست‌های تخصصی تعیین شده است. سپس با استفاده تکنیک کیفی PESTEL دسته‌بندی این عوامل صورت گرفت. در این فرایند، تعداد ۸۸ عامل تاثیرگذار بر مساله آلودگی هوا شناسایی شد. در مرحله بعد با استفاده از روش دلفی فازی نسبت به تلخیص عوامل اقدام گردید. سپس، براساس نظر تیم تحقیق ۳۶ عامل مهمتر استخراج شدند تا براساس تحلیل ساختاری، پیشران‌های آلودگی هوا شناسایی گردند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از تکنیک PESTEL، دلفی فازی و تحلیل اثرات متقاطع و نرم‌افزار MICMAC استفاده شده است.

تکنیک PESTEL

PESTEL سرنام واژه‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناوری، محیط‌زیستی و حقوقی است. در این پژوهش با بررسی ادبیات تحقیق و رجوع به نظر خبرگان کلیه عوامل ایجادکننده آلودگی هوا فهرست شد که با حذف موارد تکراری و ادغام موارد مشابه تعداد ۸۸ عامل به‌دست آمد. با توجه به تعداد زیاد عوامل و پراکندگی آنها براساس دیدگاه‌های مختلف، به کمک تکنیک کیفی PESTEL نسبت به طبقه‌بندی و ساختاردهی عوامل اقدام شد. با استفاده از تکنیک PESTEL می‌توان ۶ بخش اصلی اثرگذار بر مساله را شناسایی کرد. بررسی جنبه‌های مختلف این تکنیک برای مساله ضروری است. این چارچوب علاوه بر کمک به فهم مساله، یکی از ستون‌های مدیریت استراتژیک است (Khorasani & Heidari., 2020).

PESTEL بر فرایندهای درون یک سازمان تاثیر می‌گذارد و تجزیه‌وتحلیلی است که متمرکز بر عوامل محیطی موثر بر فعالیت سازمان یا سامانه است. بنابراین، ابزاری یاری‌رسان به مدیران است تا درک بهتری در مورد تهدیدها و فرصت‌ها داشته باشند. این تجزیه‌وتحلیل، چشم‌انداز جامع‌تری را برای مدیران در جهت اهداف فعلی و آینده فراهم می‌کند تا به‌طور کامل و موثر رقابت کنند. درک صحیح PESTEL همچنین یک استراتژی عالی برای مدیران در مورد نیروهای خارجی موثر بر مساله به جای می‌گذارد (Khorasani & Heidari., 2020). عوامل ایجادکننده آلودگی هوا براساس روش PESTEL طبقه‌بندی شده است (جدول ۲).

تکنیک دلفی فازی

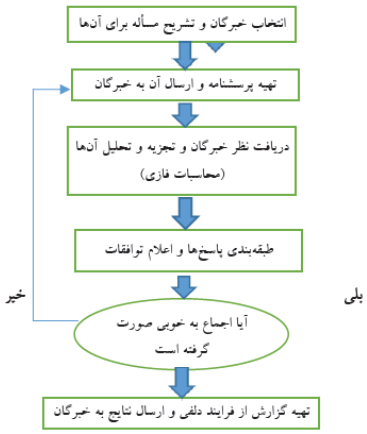
دلفی یک روش تصمیم‌گیری گروهی خبره‌محور است که به‌دنبال دستیابی به یک اجماع بر روی یک موضوع خاص می‌باشد (Ocampo et al., 2018). در روش دلفی کلاسیک، نظر خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود در حالی که افراد خبره از شایستگی‌های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده می‌کنند و این نشان‌دهنده احتمالی بودن عدم قطعیت حاکم بر این شرایط است (Azar & Faraji., 2016). با کاربرد تئوری فازی در فرایند دلفی، نقایصی مانند عدم دسترسی به اطلاعات دقیق، متاثر بودن اظهارنظرهای خبرگان و تصمیم‌گیرندگان از ذهنیات فردی و دشواری ارائه تمام دانش فرد در قالب تنها یک عدد، مرتفع می‌شود (Jafari & Montazes, 2008).

تکنیک دلفی براساس دیدگاه پاسخ‌دهندگان صورت می‌گیرد. در این تکنیک برای سنجش دیدگاه از عبارات کلامی استفاده می‌شود. عبارات کلامی در انعکاس کامل مکنونات ذهنی پاسخ‌دهنده محدودیت‌هایی دارد. برای نمونه عبارت «زیاد» برای فرد A که فرد سخت‌گیری است با عبارت «زیاد» برای فرد B متفاوت است. اگر برای کمّی کردن دیدگاه هر دو فرد از یک عدد قطعی استفاده شود، نتایج دارای اریب خواهد شد. به‌عبارت دیگر، اگرچه از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خبرگان برای اخذ تصمیم استفاده می‌شود، اما کمّی کردن دیدگاه خبرگان به روش سنتی، امکان انعکاس کامل سبک تفکر انسانی را ندارد. استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی[6] و بعضاً مبهم انسانی دارد و بنابراین بهتر است که با به‌کارگیری اعداد فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت (Habibi et al., 2015).

از روش دلفی می‌توان در دو حالت پیش‌بینی و غربالگری استفاده کرد. اگر هدف پیش‌بینی باشد عموما در چند دور انجام می‌شود ولی حالت غربالگری در یک دور قابل انجام است.

در شکل (۱) چارچوب نظری تکنیک دلفی در تحقیقات ارائه شده است.

6. Linguistic



شکل ۱. مراحل اجرای دلفی فازی

اعداد فازی مثلثی[۷]

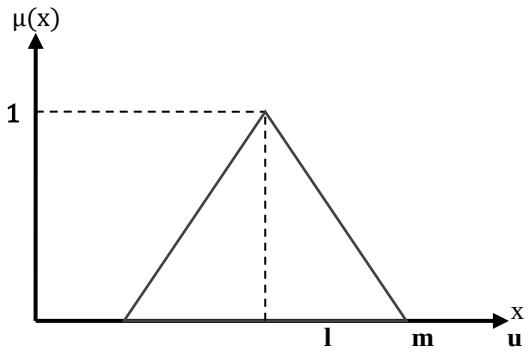
اعداد فازی نوعی خاص از مجموعه‌های فازی هستند. بنابراین با درک مفهوم مجموعه فازی می‌توان اعداد فازی را به سادگی فرا گرفت. در منطق کلاسیک هر عدد یک مقدار قطعی و مشخص است اما در منطق فازی هر عدد مقداری تقریبی است. عدد فازی یک مجموعه فازی با شرایط سه‌گانه زیر است:

- نرمال باشد.
- محدب باشد.
- مجموعه پشتیبان آن محدود باشد (Habibi et al., 2015).

عدد فازی مثلثی (TFN) یک عدد فازی است که با سه عدد حقیقی به صورت F= (l, m, u) نمایش داده می‌شود. کران بالا که با u نشان داده می‌شود بیشینه مقادیری است که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند. کران پایین که با l نشان داده می‌شود کمینه مقادیری است که عدد فازی F می‌تواند اختیار کند. مقدار m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به‌صورت زیر است:

$$\mu_f(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ \dfrac{u-x}{u-m} & m < x < u \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad (۱)$$

عدد فازی مثلثی F= (l, m, u) در فضای هندسی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.



7. Triangular Fuzzy Number, Tfn

شکل ۲. عدد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی بر اساس اطلاعات اندک ساخته می‌شوند. فرض کنید هنگام کار با مقادیر نامشخص، کوچکترین و بزرگترین مقادیر ممکن، قابل تعیین باشد. در این صورت بازه پشتیبانی [l, u] قابل تعریف است. اگر بتوانیم m را به‌عنوان بیشترین احتمال مقدار نامشخص تعیین کنیم آنگاه اوج در نقطه (m, 1) خواهد بود. بنابراین با سه مقدار m, u, l می‌توان اعداد فازی مثلثی را ایجاد کرد و برای آن تابع عضویت را نوشت (Habibi et al., 2015).

الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی جهت غربالگری

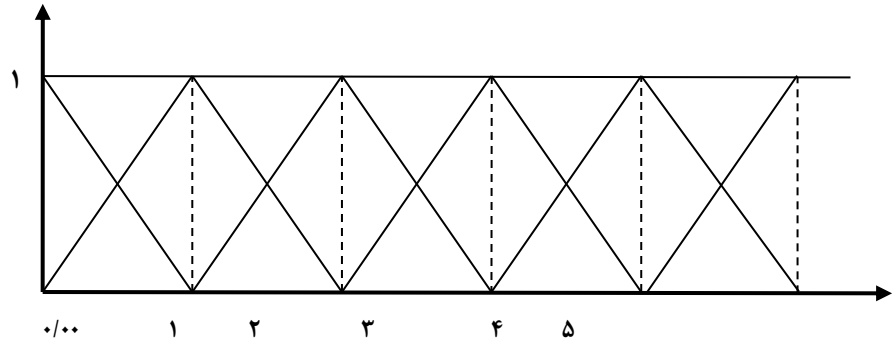
برای تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها و غربال مهمترین شاخص‌های شناسایی شده می‌توان از تکنیک دلفی با رویکرد فازی استفاده کرد. یکی از عمده‌ترین مزیت‌های تکنیک دلفی فازی نسبت به تکنیک دلفی سنتی جهت غربال شاخص‌ها آن است که می‌توان از یک دور برای تلخیص و غربال آیتم‌ها استفاده کرد. الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی شامل گام‌های زیر است:

- شناسایی طیف مناسب برای فازی‌سازی عبارات کلامی
- تجمیع فازی مقادیر فازی شده
- فازی‌زدایی مقادیر
- انتخاب شدت آستانه و غربال معیارها

در الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی برای غربالگری نخست باید طیف فازی مناسبی برای فازی‌سازی عبارات کلامی پاسخ‌دهندگان توسعه داد. برای این منظور می‌توان از روش‌های توسعه طیف فازی استفاده کرد یا از طیف‌های فازی متداول برای این منظور استفاده نمود (Habibi et al., 2015). برای نمونه طیف فازی مثلثی برای مقیاس پنج درجه لیکرت در بیان اهمیت شاخص‌ها به‌صورت زیر است:

جدول ۱. اعداد فازی مثلثی معادل طیف لیکرت ۵ درجه

خیلی بااهمیت	بااهمیت	متوسط	بی‌اهمیت	خیلی بی‌اهمیت
(۴, ۵, ۵)	(۳, ۴, ۵)	(۲, ۳, ۴)	(۱, ۲, ۳)	(۱, ۱, ۲)



شکل ۳. اعداد فازی مثلثی معادل طیف لیکرت ۵ درجه

پس از انتخاب یا توسعه طیف فازی مناسب، دیدگاه خبرگان گردآوری شده و به‌صورت فازی ثبت می‌شود. در گام دوم باید به تجمیع دیدگاه خبرگان پرداخت. راه‌های متعددی برای تجمیع فازی دیدگاه خبرگان پیشنهاد شده است. اگر دیدگاه هر کارشناس به‌صورت عدد فازی مثلثی (l, m , u) نمایش داده شود، ساده‌ترین روش محاسبه میانگین فازی دیدگاه خبرگان است:

$$F_{AVE} = \frac{\sum l}{n}, \frac{\sum m}{n}, \frac{\sum u}{n} \quad (۲)$$

پس از تجمیع فازی دیدگاه خبرگان باید به فازی‌زدایی[8] مقادیر به دست آمده پرداخت. در روش‌های مختلف که با رویکرد فازی صورت می‌گیرد پژوهشگر در نهایت به دنبال آن است که مقادیر فازی نهایی را به یک عدد قطعی و قابل درک تبدیل کند. معمولاً می‌توان تجمیع اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای را توسط یک مقدار قطعی[9] که بهترین میانگین مربوطه است، خلاصه کرد. این عملیات را فازی‌زدایی گویند. روش‌های متعدد و پیچیده‌ای برای فازی‌زدایی وجود دارد. یکی از روش‌های ساده برای فازی‌زدایی میانگین اعداد فازی مثلثی به صورت زیر است:

(۳)

$$F_{ave} = (L, M, U)$$
$$; x_m^2 = \frac{L+2M+U}{4};\ x_m^3 = \frac{L+4M+U}{6} x_m^1 = \frac{L+M+U}{3}$$
$$\text{Crisp number} = Z^* = \max(x_{max}^1, x_{max}^2, x_{max}^3)$$
$$DF_{ij} = \frac{[(u_{ij} - l_{ij}) + (m_{ij} - l_{ij})]}{3} + l_{ij}$$

پس از انتخاب روش مناسب و فازی‌زدایی مقادیر برای غربال آیتم‌ها، باید یک آستانه تحمل[10] در نظر گرفت (Habibi et al., 2015). آستانه تحمل در این پژوهش براساس نظر تیم تحقیق ۳/۹ در نظر گرفته شد البته این مقدار براساس دیدگاه پژوهشگران از پژوهشی به پژوهش دیگر می‌تواند متفاوت باشد. اگر مقدار قطعی حاصل از فازی‌زدایی دیدگاه تجمیع شده خبرگان، بزرگتر از آستانه تحمل باشد شاخص موردنظر تایید می‌شود. اگر این مقدار کوچکتر از آستانه تحمل باشد شاخص موردنظر حذف می‌شود. در این تحقیق از تکنیک دلفی فازی در یک دور جهت غربال مهمترین شاخص‌های ایجادکننده آلودگی هوا استفاده شد.

آینده پژوهی

این پژوهش تحلیلی هنجاری است که با کاربرد روش‌های کیفی آینده‌پژوهی مکتب فرانسوی یا LIPSOR به حل مسایل با پیچیدگی بالا می‌پردازد. هدف از این مرحله از پژوهش دستیابی به پیشران‌های اصلی و کلیدی ایجادکننده آلودگی هوا در شهر تهران است که اقدامی کاربردی- توسعه‌ای است. این پژوهش با ترکیب روش‌های آینده پژوهی (دلفی فازی و تحلیل اثرات متقاطع) انجام پذیرفته است. تحلیل اثرات متقاطع، روشی در جهت تشخیص روابط متقابل است به‌طوری که تاثیر هر روند بر روندهای دیگر را درجه‌بندی می‌کند. به عبارت دیگر این روش، یک روش نیمه کمّی است که در آن به جای روابط علت- معلولی ساده، روابط متقاطع بین خرد سیستم‌های مختلف در ماتریس را تحلیل می‌کند. تحلیل اثرات متقاطع، به‌عنوان ابزار تحقیقات در مورد آینده، نقش شاخص یک متغیر را در ارتباط با سایر متغیرهای درون یک سیستم آشکار می‌کند که نقش مهم و معناداری در توسعه سیستم در آینده ایفا می‌کنند (Hadinejad et al., 2020). در روش تحلیل اثرات متقاطع تلاش می‌شود تا تاثیر (یا احتمال تاثیر) یک متغیر بر متغیر دیگر پیش‌نگری شود. مجموع این اثرات متقاطع محاسبه شود. مهمترین رویکرد این روش این است که بخواهیم براساس رای متخصصان احتمال وقوع رویدادهای مختلف یا نیروهای پیشران متفاوت را به‌طور مستقل تعیین و علاوه‌بر آن، نظر ایشان را بر احتمال وقوع یک رویداد در صورت وقوع سایر رویدادها و تاثیر متقاطع آنها برهم جویا شده و بررسی کنیم (Hemati and Hajiani., 2014).

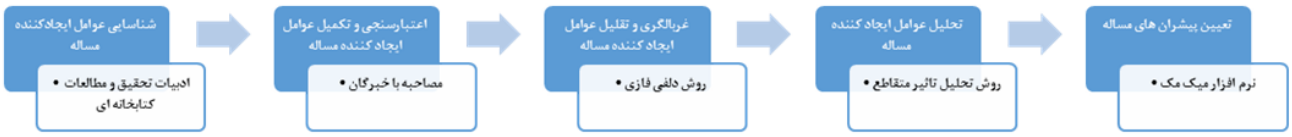
8. Defuzzification
9. Crisp
10. Thereshold

برای این منظور در تحقیق حاضر از نرم‌افزار MICMAC استفاده شده است. نرم‌افزار MICMAC با هدف انجام محاسبات کمّی ماتریس اثرات متقابل توسط گروه آینده‌پژوهی مکتب فرانسوی طراحی شده است (Godet, 1994). این نرم‌افزار برای انجام محاسبه‌های سنگین ماتریس اثرات متقاطع طراحی شده است. در این ماتریس، اهمیت متغیرها نسبت به یکدیگر با اعداد صفر (بدون تاثیر)، یک (تاثیر اندک)، دو (تاثیر متوسط)، سه (تاثیر زیاد) و P (تاثیر بالقوه) سنجیده می‌شود (Godet, 1994). در این نرم‌افزار ابتدا متغیرها و مولفه‌های مهم در حوزه موردنظر در ماتریسی مانند ماتریس تحلیل اثرات متقاطع وارد می‌شوند سپس میزان ارتباط میان آنها از سوی خبرگان مشخص می‌شود. متغیرهای موجود در سطرها، تاثیرگذار و متغیرهای موجود در ستون‌ها تاثیرپذیرند (Godet et al., 2008).

مقایسه زوجی براساس روش تحلیل ساختاری جهت بررسی روابط بین متغیرها در سامانه‌هایی با ابعاد چندگانه و پیچیده کاربرد دارد. تحلیل ساختاری روشی برای توصیف سامانه براساس تمام اجزای آن است و هدف از این مقایسه، ساده‌سازی روابط پیچیده جهت شناسایی متغیرهای کلیدی و پیشران در تغییر سامانه است (Stratigea, 2013).

با بررسی منابع علمی و ادبیات تحقیق در زمینه آلودگی هوا، ۸۸ عامل موثر بر ایجاد آلودگی هوا شناسایی شد. در ابتدا با استفاده از تکنیک کیفی PESTEL نسبت به طبقه‌بندی آن در ۶ گروه اقدام شد. سپس با رجوع به نظر خبرگان و با کمک روش دلفی فازی در حد آستانه ۳/۹ تعداد ۳۶ عامل انتخاب شد و در مرحله بعد به کمک روش تحلیل ساختاری نسبت به بررسی روابط زوجی میان متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. برای چنین مقایسه‌ای به‌صورت زوجی ماتریس ۳۶×۳۶ به معنای ۱۲۹۶ سلول جهت سنجش روابط است.

در این پژوهش در مرحله دلفی فازی از ۱۶ متخصص (۸ نفر با تحصیلات دکتری و ۸ نفر دانشجوی دکتری) در رشته‌های جامعه‌شناسی، محیط‌زیست، شهرسازی، مدیریت صنعتی و عمران محیط‌زیست و در مرحله تحلیل اثرات متقاطع از ۱۵ متخصص (۴ نفر با مدرک دکتری و ۱۱ نفر دانشجوی دکتری) در رشته‌های محیط‌زیست، مدیریت صنعتی و عمران محیط‌زیست درخواست شد تا مقایسه زوجی میان عوامل تاثیرگذار را انجام دهند. در شکل (۴) مراحل انجام تحقیق ارایه شده است.



شکل ٤. نمودار جریانی تحقیق

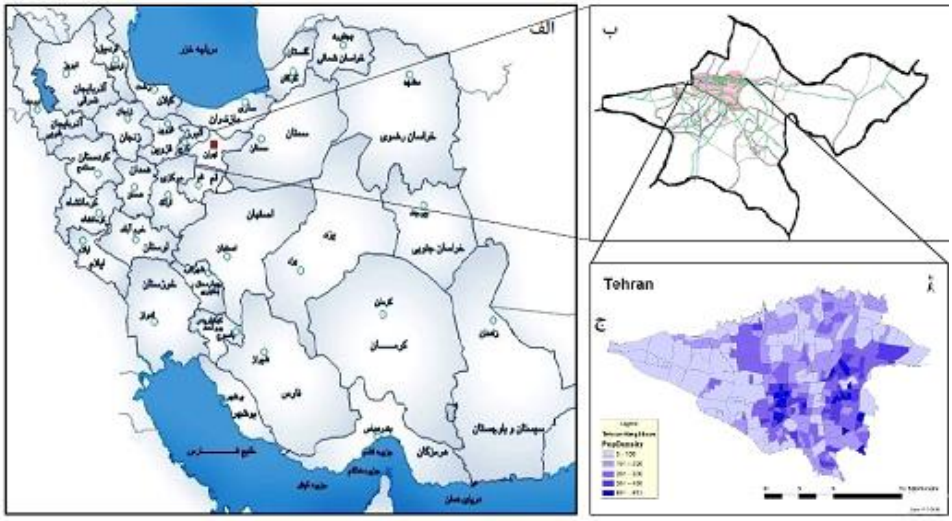
منطقه مورد مطالعه

کلانشهر تهران پرجمعیت‌ترین شهر ایران و پایتخت کشور، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. این شهر با حدود ۹ میلیون نفر جمعیت، بیست‌وچهارمین شهر پرجمعیت جهان است. شهر تهران واقع در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی می‌باشد (Rashidi, 2019). از دید ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه دشتی و کوهپایه‌ای البرز تقسیم می‌گردد. گستره کنونی آن از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است (Abbasmofrad et al., 2021). در شکل (۵) موقعیت شهر تهران ارایه شده است.

نتایج

در پژوهش‌های اکتشافی شناسایی مهمترین عناصر زیربنایی یک پدیده از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. جهت تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها و غربال مهمترین شاخص‌های شناسایی شده می‌توان از تکنیک دلفی با رویکرد فازی استفاده کرد. استفاده از یک دور برای تلخیص و غربال شاخص‌هاست. پس از تجزیه‌وتحلیل نظرات خبرگان با استفاده از دلفی فازی با هدف تلخیص و غربال معیارها، نظرات خبرگان در ۶ حد آستانه ۳، ۳/۵، ۳/۷، ۳/۸، ۳/۹ و ۴ طبقه‌بندی شد که براساس نظر تیم تحقیق و با توجه به هدف تحقیق حد آستانه ۳/۹ انتخاب شد که تعداد ۳۶ معیار برای مرحله بعد انتخاب شود که در جدول پیوست (الف) آمده است. در ادامه جهت بررسی روابط

زوجی میان متغیرهای انتخاب شده در مرحله قبل، ماتریس روابط متقاطع به‌صورت ۳۶×۳۶ با استفاده از نرم‌افزار MICMAC به‌کار گرفته شد. پرسش‌نامه‌ها توسط خبرگان پر شد و مجموعه پاسخ‌ها با استفاده از نما[11] به یک پاسخ واحد تبدیل شد و به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار MICMAC وارد شد که جزییات آن در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۵. نقشه موقعیت شهر تهران

جدول ۲. جزییات پاسخ خبرگان براساس روابط زوجی میان متغیرهای مساله

شاخص	اندازه ماتریس	تعداد دور	تعداد صفرها (بدون تاثیر)	تعداد یک ها (با تاثیر اندک)	تعداد دو ها (تاثیر متوسط)	تعداد سه ها (تاثیر زیاد)	تعداد p ها (تاثیر بالقوه)	تعداد کل	نرخ پرشدگی
مجموع	۳۶×۳۶	۲	۱۴۰	۲۱۶	۴۲۵	۵۱۴	۱	۱۱۵۶	٪ ۸۹/۱۹

ماتریس روابط متقابل براساس شاخص‌های آماری با دو بار چرخش داده‌ها از مطلوبیت و بهینه‌شدگی صد در صدی برخوردار شد که این موضوع نشان‌دهنده روایی بالای پرسش‌نامه و پاسخ‌های آن است (Hadinejad et al., 2020). نرخ پرشدگی[12] که درصد سلول‌های پرشده غیر از صفر (سلول‌هایی با ارزش‌های ۱، ۲، ۳ و P) به کل سلول‌ها است، میزان پیچیدگی روابط در سامانه را نشان می‌دهد، هر چه نرخ پرشدگی ماتریس بیشتر باشد، پیچیدگی روابط مستقیم بین متغیرها بیشتر بوده و در این شرایط تمرکز بر روابط غیرمستقیم و بالقوه با عدم قطعیت بیشتری همراه خواهد بود (Sedighi et al., 2019). محور عمودی، میزان تاثیرگذاری یک متغیر و محور افقی میزان تاثیرپذیری یا وابستگی یک متغیر از سایر متغیرها را نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، متغیرها را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:

متغیرهای گروه یک: متغیرهای نوآوری، اهمیت سیاست‌های کلی دولت، اثر تغییر دولت، تحقیق و توسعه، جمعیت، صنایع، نگرش جامعه، صنعتی شدن، فناوری و قوانین که بسیار تاثیرگذار بر سامانه هستند و تاثیرپذیری آنها اندک است. این گروه از متغیرها به دلیل تاثیرگذاری زیاد بر سایر متغیرها، طبیعتا مورد اهمیت هستند.

متغیرهای گروه دو: متغیرهای مسئولان پشتیبان محیط‌زیست، تعداد وسایل نقلیه، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک، قیمت حامل‌های انرژی، نظارت بر تولید آلاینده‌ها، الگوی مصرف، شهر هوشمند، هزینه سفر با حمل‌ونقل شخصی، فرهنگ‌سازی، اخذ هزینه آلایندگی،

11.Mode
12.Fillrate

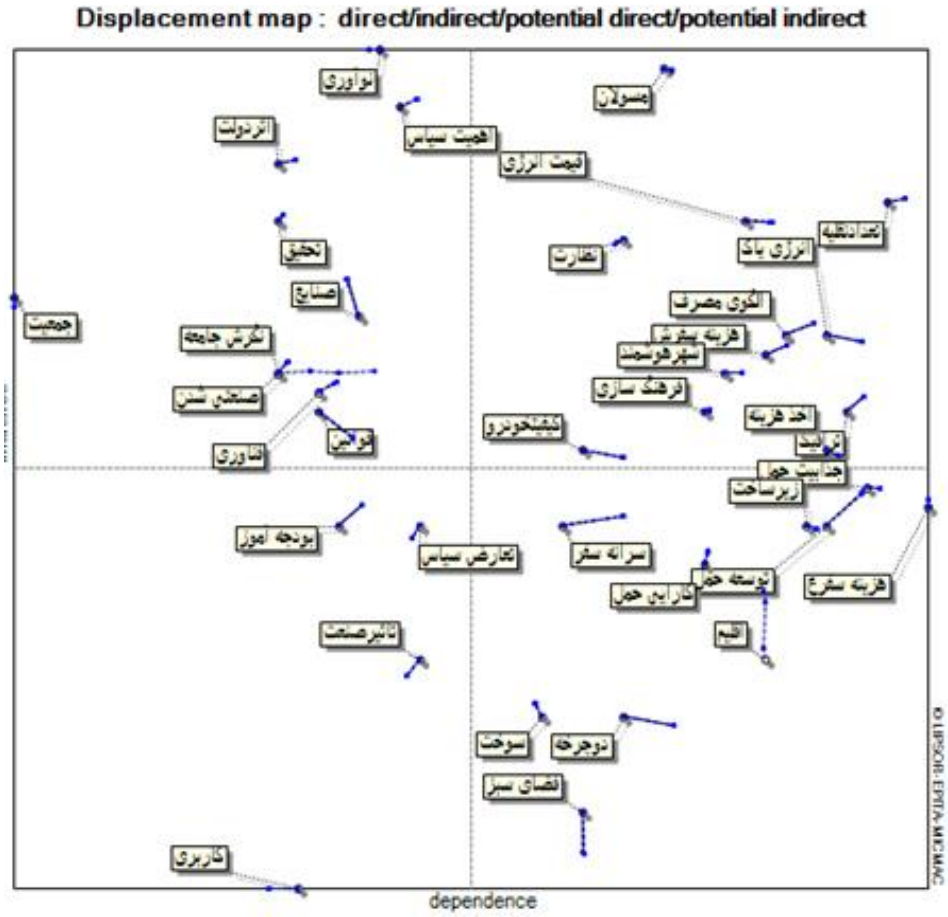
ترافیک، کیفیت خودرو که در زون دو هستند. این متغیرها هم تاثیرگذاری و هم تاثیرپذیر هستند، به همین دلیل متغیرهای ناپایدار محسوب می‌شوند که هر تغییری بر آنها می‌تواند تاثیری بر بقیه داشته باشد. این متغیـرها به‌عنوان متغیرهای کلیدی سامانه هستند که به دلیل ناپایداری، اختلاف نظر بر سر آنها زیاد است.

متغیرهای گروه سه: متغیرهای جذابیت حمل‌ونقل، هزینه سفر با حمل‌ونقل عمومی، توسعه حمل‌ونقل، سرانه سفر، اقلیم، کارایی حمل‌ونقل، زیرساخت، دوچرخه، سوخت، فضای سبز متغیرهای وابسته و تحت تاثیر متغیرهای گروه یک و دو هستند.

متغیرهای گروه چهار: متغیرهای تعارض سیاست‌ها، بودجه آموزش، تاثیر صنعت و کاربری اراضی هستند که نه تاثیری بر متغیرهای دیگر دارند و نه تاثیری می‌پذیرند. این متغیرها مستقل عمل می‌کنند.

ماتریس روابط غیرمستقیم از طریق ضرب متوالی ماتریس روابط مستقیم بین متغیرها به‌دست می‌آید؛ تا جایی که نسبت روابط به یکدیگر ثابت باقی بماند. با بررسی این روابط می‌توان متغیرهای پنهان در سامانه را شناسایی کرد (Sedighi et al., 2019).

شکل (۶) و جدول (۳) نتایج همپوشانی چهار ماتریس اثرات مستقیم، اثرات مستقیم احتمالی، ماتریس اثرات غیرمستقیم و ماتریس اثرات غیرمستقیم احتمالی جهت استخراج پیشران‌های عوامل ایجادکننده آلودگی هوا است.



شکل ٦. نتایج همپوشانی چهار ماتریس MDI, MPDI, MII, MPII

بحث و نتیجه‌گیری

بدون شک حل بحران آلودگی هوای شهر تهران یک مساله پیچیده، با حضور بازیگران اثرگذار متعدد است که از طرفی نیازمند تدوین برنامه مدون و عملیاتی جهت دستیابی به هدف است که خود نیازمند ساختاردهی مناسب به‌منظور تدوین استراتژی است. از طرف دیگر ساده‌سازی مساله و از قلم انداختن برخی از بازیگران اثرگذار و عدم دخالت دیدگاه‌ها و نظرات آنها است که می‌تواند منجر به ارایه

راهکارهایی ناکارآمد گردد. تدوین استراتژی در سطح کلان، فرایندی زمان‌بر و پرهزینه است که نمی‌توان به‌راحتی با آن برخورد کرد (Dashti et al., 2020). از این‌رو تدوین استراتژی با هدف حل بحران آلودگی هوای شهر تهران شامل شناسایی پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا است.

با پیشرفت‌های علمی و ظهور علم آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری، محققان برنامه‌ریزی سعی کرده‌اند از قابلیت این علم در توسعه فنون برنامه‌ریزی استفاده کنند به این ترتیب به تدریج روش‌ها و فنون آینده‌نگاری وارد بطن فعالیت‌های برنامه‌ریزی شد. یکی از این روش‌ها، تحلیل عوامل کلیدی و شناسایی پیشران‌ها است. در این روش سعی می‌شود عوامل کلیدی و پیشران‌های اصلی شناسایی شود سپس، با مدیریت پیشران‌های اصلی و با طراحی سناریوهای ممکن در آینده چارچوب برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انعطاف‌پذیری متناسب با مساله ارایه گردد.

جدول ۳. پیشران‌های موثر مستقل و وابسته و میزان اثر آن‌ها

		اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم	اثر محتمل مستقیم	اثر محتمل غیرمستقیم	جمع اثرات	رتبه	توضیحات
سیاسی	دخالت دولت	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۹	۳۲۸	۱۳۱۵	۴	تایید
	اهمیت سیاست‌های کلی دولت‌ها	۳۴۱	۳۴۱	۳۴۰	۳۴۰	۱۳۶۲	۳	تایید
اقتصادی	سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک	۲۹۵	۲۹۳	۲۹۴	۲۹۲	۱۱۷۴	۱۲	تایید
	قیمت حامل‌های انرژی	۳۱۸	۳۱۶	۳۱۷	۳۱۶	۱۲۶۷	۷	تایید
اجتماعی	رشد جمعیت	۳۰۲	۳۰۰	۳۰۲	۲۹۹	۱۲۰۳	۱۰	تایید
	تاثیر الگوی مصرف	۲۹۵	۲۹۶	۲۹۴	۲۹۶	۱۱۸۱	۱۱	تایید
	نظارت بر تولید آلاینده‌ها	۳۱۴	۳۱۲	۳۱۴	۳۱۲	۱۲۵۲	۸	تایید
	تعداد وسایل نقلیه	۳۲۲	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۱۲۸۵	۵	تایید
فناوری	نوآوری در مدیریت شهری	۳۵۲	۳۵۱	۳۵۲	۳۵۰	۱۴۰۵	۱	تایید
	کیفیت صنایع	۲۹۹	۳۰۵	۲۹۸	۳۰۵	۱۲۰۷	۹	تایید
	تحقیق و توسعه	۳۱۸	۳۱۸	۳۱۷	۳۱۷	۱۲۷۰	۶	تایید
محیط زیستی	مسئولان پشتیبان محیط‌زیست	۳۴۸	۳۴۶	۳۴۸	۳۴۶	۱۳۸۸	۲	تایید

آینده‌پژوهی دارای روش‌های متعددی است. ولی عموما پروژه‌های آن با ترکیب روش‌ها صورت می‌گیرد. این پژوهش نیز با ترکیب روش‌های دلفی فازی و تحلیل اثرات متقاطع انجام شده است. روش دلفی با طراحی سوالات مکرر به هم‌گرایی نظرات خبرگان کمک می‌کند و روش تحلیل اثرات متقابل نیز در شناسایی عوامل و تاثیر آنها بر یکدیگر بسیار مفید است. آن چه که باید در مورد ماتریس اثرات متقابل و نتایج آن گفت این است که این روش برای ساختاردهی و پیدا نمودن معیارها یا همان پیشران‌های اصلی و موثر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش نمودار یا ماتریسی تولید می‌شود که هر محدوده از آن نتایج مشخصی از اثرات متقابل پیشران‌ها را نشان می‌دهد. نقطه قوت این روش در ساختاردهی به موضوع، امکان همکاری گروهی و نظرخواهی از خبرگان و نیز استخراج معیارهای پیدا، پنهان، مستقیم و غیرمستقیم موثر یا تاثیرپذیر و معیارهای محتمل اثرگذار و تاثیرپذیر در آینده است.

در تحقیق حاضر با کمک روش دلفی فازی پیشران‌های اولیه از نگاه خبرگان تعدیل و تقلیل پیدا کرد و با کمک روش تحلیل اثرات متقابل پیشران‌های کلیدی شناسایی شد. پیشران‌های کلیدی، عواملی هستند که براساس نظرات خبرگان می‌توان انتظار داشت با تمرکز بر آنها، با کمترین هزینه (زمانی و مالی) بیشترین اثرگذاری بر مساله را ایجاد کند.

موفقیت در دستیابی به اهداف، وابسته به تعامل موثر بین عوامل کلیدی است. از مهمترین نتایج این تحقیق این است که با استفاده از عوامل شناسایی شده و با در نظر گرفتن اولویت و اثرگذاری و اثرپذیری آنها بر یکدیگر می‌توان وضعیت آلودگی هوا در شهر تهران را سنجید و راهکارهایی در جهت حل مساله به وضعیت مطلوب ارایه داد و به کمک رابطه پیشران‌ها، مدیران و تصمیم‌گیران می‌توانند سیاست و اقدامات مناسب را انتخاب و اجرا نمایند.

نحوه چینش معیارها در شکل به‌دست آمده از نرم‌افزار MICMAC نشان می‌دهد که الگوی L در آن وجود ندارد و از این‌رو سامانه و مساله مورد بررسی دارای عدم ثبات، ناپایداری و پیچیدگی است.

به طورکلی، پیشنهاد می‌شود، با تمرکز بر پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا در شهر تهران که عبارتند از: نوآوری در مدیریت شهری، مسئولان پشتیبان محیطزیست، اهمیت سیاست‌های کلی دولت‌ها، دخالت دولت‌ها، تعداد وسایل نقلیه، تحقیق و توسعه، قیمت حامل‌های انرژی، نظارت بر تولید آلاینده‌ها، کیفیت صنایع، رشد جمعیت، تاثیر الگوی مصرف و سرمایه‌گذاری در انرژی پاک، به‌عنوان عواملی که نقش تاثیرگذاری بر مساله ایفا می‌کنند.

نتایج به‌دست آمده به‌عنوان پیشران‌های کلیدی ایجادکننده آلودگی هوا با مطالعه Zali و همکاران در موارد نظارت بر تولید آلاینده‌ها و اهمیت تحقیق و توسعه همپوشانی دارد. از نتایج این تحقیق می توان در مطالعات بعدی به‌عنوان مبنای ترسیم سناریوها و برنامه‌ریزی آتی استفاده کرد تا دید شفاف‌تری از مساله و راه حل‌هایی در جهت مدیریت آن به‌دست آورد و سایر عوامل را تحت کنترل قرار داد تا در جهت حل مساله به سمت وضعیت مطلوب برنامه‌ریزی انجام داد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق بخشی از رساله دکتری با عنوان مدل‌سازی پیشران‌های ایجادکننده آلودگی هوا با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم در شهر تهران است که توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان حمایت شده است (شماره گرنت ۹۷۲۱۱۹۴۵۰۱). بدین‌وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان تشکر و قدردانی می شود.

منابع

Abbasmofrad, A., Hamzeh, F., Moradi, O. & Bahari, N. (2021). Investigating the Relationship between Air Pollution and Security with the Mediating Role of Nanotechnology in the Metropolis of Tehran. *Environment and Interdisciplinary Development*, *6*(74), 48-59. doi: 10.22034/envj.2022.314515.1158 (in Persian)

Amer, M. Tugrul U.D. & Antonie J. (2013). A review of scenario planning.*Futures* (46), 23–40.

Azar, A., & Faraji, H. (2016). *[Elm-e modiriyat-e fazi / Fuzzy management science]*. Tehran: Mehraban Publishing. (in Persian)

Bayat, R., Hassanvand, M. S. & Daroudi, R. (2020). Economic analysis of the cost of air pollution deaths in Tehran. *Urban Economics and Planning*, *1*(3), 188-197. doi: 10.22034/UE.2020.09.03.06 (in Persian)

Behroozi Lak, G. & Jalilvand, M. R. (2015). The Evolutions of the Transdisciplinary of Futures Studies: Case Study of America. *Interdisciplinary Studies in the Humanities*, *7*(1), 57-94. doi: 10.7508/isih. 2015.25. 003 (in Persian)

Borumand Kakhki, A. & Zahedi Motlagh, H. (2018). Survival level for urban naked body; dress or tie?. *Strategic Studies of public policy*, *8*(27), 329- 345. (in Persian)

Dashti, M., Shahbazi, M., Azar, A., Maleki, M.H. (2020). "Life cycle of the Tehran air pollution control project: an stakeholder analysis approach." Modiriat-e- farda, vol. 19, no. 64, pp. 23-38. SID. https://sid.ir/paper/378842/fa (in Persian)

Fateh Rad, M., Jalilvand, M.R., Mowlaei, M. M., Samiie, S., & Nasrolahi Vasati, L. (2014). Methodological Coordinates of Transdisciplinary Futures Studies as An Integrated Meta-Paradigm. Interdisciplinary Studies in The Humanities (*Iranian Journal of Cultural Research*), 6(1 (21)), 135-161. Sid. Https:// Sid.Ir/Paper/152438/En (in Persian)

Feng, L. & Wenjie, L. (2016). "Legislation, Plans and Policies for Prevention and Control of Air Pollution in China: Achievements, Challenges and Improvements", *Journal of Cleaner Production*, 112.

Godet, M. (1994). From anticipation to action, a handbook of strategic prospective. UNESCO publishing.

Godet, M., Durance, P., & Gerber, A. (2008). Strategic foresight. *LIPSOR Working Paper*. http://www. laprospective. fr/dyn/francais/actualites/SR10vEng.pdf

Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2004). *Scenarios and Strategies: A Toolbox for Problem Solving, Cahiers du LIPSOR*. Paris: Laboratory for Investigation in Prospective and Strategy.

Habibi, A., Sarafrazi, A., & Firouzi Jahantigh, F. (2015). Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items Asian Journal Of Research In Business Economics and Management. Vol. 5, No .2, pp.130-143.

Hadinejad, F., Minaee, H., & Abbasi, M. (2020). Combining Fuzzy Delphi Method and Cross-Impact Analysis to Determine the Main Predictors of Military Threats Against The Islamic Republic Of Iran. Strategic Studies of Public Policy (*Strategic Studies of Globalization Journal*), 10(35), 156-178. Sid. https://sid.ir/paper/405082/en (in Persian)

Health Effects Institute. (2019). State Of Global Air 2019.

Health Effects Institute. (2019). State of Global Air 2019. https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_fact_sheet.pdf

Heger, M., & Sarraf, M. (2018). Air Pollution in Tehran: Health Costs, Sources, and Policies.

Heger, M., & Sarraf, M. (2018). "Air Pollution in Tehran: Health Costs, Sources, and Policies".

Hemati, A., & Hajiani, E. (2014). A review of interpretive structural modeling (ISM) methods and introducing a correlation-based ISM approach. In *National Futures Studies Conference [Conference paper]. SID. **https://sid.ir/paper/821846/en*** (in Persian)

Hessami, Z. (2015). "Air Pollution – Challenges and Solutions".

Karimi, M., Khosnavaz, S., Shamsipour, A. & Moghbel, M. (2020). Modeling the Effect of Street Orientation on the Air Pollution Dispersion (District Six of Tehran Municipality). *Motaleate Shahri*, *9*(34), 77-90. doi: 10.34785/J011.2021.336 (in Persian)

Khorasani, M. & Heidari, G. (2020). Strategic Management of Shahriar Recreational Tourism Development Based on PESTEL Model. *urban tourism*, *6*(4), 73-94. doi: 10.22059/jut.2020.287102.698 (in Persian)

Mohamadpourjaberi, M., Ebrahimzadeh, I., Rafieian, M., & Saed Moocheshy, R. (2016). Identification and Analysis of Cross-Impacts of Key Factors and Assessing the Level of Regional Sustainability with a Strategic Foresight Approach (A Case Study of Northern Khorasan Province). *Geography and Environmental Sustainability*, *6*(3), 1-17. (in Persian)

Montazer, Gh. A., & Jafari, N. (2008). [Application of fuzzy Delphi method in designing tax policy in Iran (Persian)]. *The Economic Research*, *8*(1), 91-114. https://ecor.modares. ac.ir/article-18-2470-fa.html

Mousavi, M. N., Ghaderi, R., Taghilo, A. A. & Kahaki, F. (2018). Scenario Development in Realizability Territorial Spatial Arrangement (Case Study: Khorasan-e-Razavi). *Town and Country Planning*, *10*(1), 65-91. doi: 10.22059/jtcp.2018.247488.669826 (in Persian)

Ocampo, L., Ebisa, J. A., Ombe, J., & Geen Escoto, M. (2018). Sustainable ecotourism indicators with fuzzy Delphi method- A Philippine perspective. *Ecological Indicators*, *93*, 874-88. [DOI:10.1016/j.ecolind. 2018.05.060]

Peyghambarzadeh, S., Alvani, S., Amirkabiri, A. & Rabiee_Mondjin, M. (2021). Introducing a Native Model to Ensure the Implementation of Air Pollution Prevention and Control Policies in Iran; Study Case: Tehran. *Majlis and Rahbord*, *28*(105), 69-98. doi: 10.22034/mr.2021.436 (in Persian)

Rashidi, F. (2019). Air pollution tolerant Species in city green area. *Journal of Natural Environment*, *72*(2), 251-261. doi: 10.22059/jne.2018.257832.1521(in Persian)

Sardar, Z. (2010). The Namesake: Futures; futures studies; futurology; futuristic; foresight—What's in a name? *Futures*, 42, 177–184.

Sedighi, E., Salman Mahini, A., Mirkarimi, S. H., Daliri, H. & Fath, B. (2019). Identification and Analysis of Key Drivers of Change in Regional Land Use Planning based on Foresight Approach in Gorgan Township. *Town and Country Planning*, *11*(2), 205-233. doi: 10.22059/jtcp.2019.285863.670010 (in Persian)

Sedighi, E., Salmanmahini, A., Daliri, H., Fath, B. D. & Mirkarimi, S. H. (2022). The Analysis of Scenario Planning in Foresight and Frameworks of Quantitative and Qualitative Methods in Futures Studies. *Journal of Strategic Management and Future Studies*, *4*(2), 1-27. (in Persian)

Shirvani, M., Eivazi, M. & Ghasemi, H. (2017). The interdisciplinary concept of strategic foresight in the trans-disciplinary of futures studies: what is it and why does it matter? *Interdisciplinary Studies in the Humanities*, *9*(3), 1-24. doi: 10.22631/isih.2017.258 (in Persian)

Soudmandi, A. (2020). Irregularities and Weaknesses of the Clean Air Act Compared to the Prevention of Air Pollution Act. *Public Law Researsh*, *22*(68), 141-170. doi: 10.22054/qjpl.2021.12223 (in Persian)

Stratigea, A. (2013). Participatory policy making in foresight studies at the regional level- a methodological approach. *Regional science inquiry journal*, 5(1), 145-161.

Zali, N., Zamanipoor, M., & Ahmadi, H. (2018). Analysis Of Key Factors Influencing Air Pollution of Metropolies in Developing Countries By Year 2025 (Case Study: Tehran Metropolis, Iran). Anuario Do Instituto De Geociencias UFRJ. Vol. 41, 3/2018. pp.548-559.

Zebardast, E., & riazi, H. (2015). Built Environment Features and its Impact on Air Pollution (Case Study: Surrounding Areas of Fourteen Air Quality Monitoring Stations in Tehran). *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, *20*(1), 55-66. doi: 10.22059/jfaup.2015.56371 (in Persian)

پیوست (الف) غربالگری مهمترین معیارهای ایجاد کننده آلودگی هوا در ٦ دامنه

هوا در شهر معیارهای اصلی ایجادکننده آلودگی تهران			دامنه حد آستانه معیارها					
ابعاد		شاخص	۳	۳.۵	۳.۷	۳.۸	۳.۹	٤
سیاسی	۱	میزان اثر دخالت دولت	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۲	میزان تاثیر تغییر دولت‌ها	تایید					
	۳	میزان درجه اهمیت سیاست‌های کلی دولت‌ها	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۴	میزان تاثیر ذی‌نفعان	تایید	تایید				
	۵	میزان تاثیر تعارض سیاست‌ها	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶	میزان تاثیر سیاست محدوده طرح ترافیک	تایید					
	۷	میزان تاثیر سیاست‌های توسعه سریع اقتصادی	تایید	تایید				
	۸	میزان تاثیر سیاست‌های محدودیت انتشار	تایید	تایید				
	۹	میزان تاثیر سیاست‌های توسعه کم کربن	تایید	تایید				
	۱۰	میزان تاثیر سیاست‌های تحریمی	تایید					
اقتصادی	۱۱	میزان تاثیر نوسانات اقتصادی	تایید	تایید	تایید	تایید		
	۱۲	میزان تاثیر رکود اقتصادی	تایید					
	۱۳	میزان تاثیر رشد اقتصادی	تایید	تایید				
	۱۴	میزان تاثیر رشد اقتصادی وابسته به منابع طبیعی	تایید					
	۱۵	میزان تاثیر رشد اقتصادی غیر وابسته به منابع طبیعی	تایید	تایید	تایید	تایید		
	۱۶	میزان تاثیر نرخ اشتغال	تایید					
	۱۷	میزان تاثیر تنوع اقتصادی (صنعت، کشاورزی،خدمات، بازرگانی)	تایید	تایید				
	۱۸	میزان تاثیر صنعت	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۱۹	میزان تاثیر کشاورزی						
	۲۰	میزان تاثیر خدمات	تایید					
	۲۱	میزان تاثیر بازرگانی						
	۲۲	میزان تاثیر اخذ هزینه آلایندگی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۲۳	میزان تاثیر بازگشت درآمد (در قالب مالیات)	تایید					
	۲۴	میزان تاثیر توسعه زیرساخت (جاده، مترو، راه آهن)	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۲۵	میزان تاثیر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۲۶	میزان تاثیر سرمایه‌گذاری در کارایی و افزایش راندمان در بخش حمل و نقل شخصی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۲۷	میزان تاثیر هزینه سفر با حمل و نقل عمومی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۲۸	میزان تاثیر هزینه سفر با حمل و نقل شخصی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۲۹	میزان تاثیر قیمت خودرو	تایید					
	۳۰	میزان تاثیر قیمت حامل‌های انرژی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
اجتماعی	۳۱	میزان تاثیر رشد جمعیت	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۳۲	میزان تاثیر هرم سنی جمعیت	تایید					
	۳۳	میزان تاثیر تحصیلات شهروندان	تایید					
	۳۴	میزان تاثیر تفاوت جنسیتی						
	۳۵	میزان تاثیر شهرنشینی	تایید	تایید				
	۳۶	میزان تاثیر شهرهای اقماری	تایید					
	۳۷	میزان تاثیر حاشیه نشینی	تایید	تایید				
	۳۸	تاثیر الگوی مصرف	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۳۹	میزان تاثیر صنعتی شدن	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۴۰	میزان تاثیر نظارت بر تولید آلاینده‌ها	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۴۱	میزان تاثیر جذابیت حمل و نقل عمومی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۴۲	میزان تاثیر تعداد وسایل نقلیه	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۴۳	میزان تاثیر سرانه سفر با حمل و نقل عمومی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۴۴	میزان تاثیر مالکیت خودرو شخصی	تایید					
	۴۵	میزان تاثیر توسعه حمل و نقل شخصی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۴۶	میزان تاثیر تقاضای خودرو	تایید	تایید				
	۴۷	میزان تاثیر ترافیک	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید

	۴۸	میزان تاثیر کیفیت شبکه ارتباطات	تایید	تایید					
	۴۹	میزان تاثیر احداث پارکینگ‌های خودرو	تایید						
	۵۰	میزان تاثیر مسیرهای دوچرخه سواری	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۵۱	میزان تاثیر مسیرهای پیاده راه شهری	تایید	تایید					
	۵۲	میزان تاثیر بافت فرسوده شهری							
	۵۳	میزان تاثیر فرهنگ سازی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۵۴	میزان تاثیر تخصیص بودجه در جهت آموزش شهروندی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۵۵	میزان تاثیر آشفتگی‌های اجتماعی	تایید						
	۵۶	میزان تاثیر تمرکز جمعیت	تایید	تایید					
	۵۷	میزان تاثیر نگرش اجتماعی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۵۸	میزان تاثیر تغییر کاربری	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۵۹	میزان تاثیر ساختار طبقاتی (دغدغه یک قشر خاصی است یا کل جامعه)	تایید						
	۶۰	میزان تاثیر دورکاری	تایید	تایید					
تکنولوژیکی	۶۱	میزان تاثیر فناوری	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶۲	میزان تاثیر فناوری وارداتی	تایید	تایید	تایید	تایید			
	۶۳	میزان تاثیر نوآوری در مدیریت شهری	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶۴	میزان تاثیر کیفیت خودرو	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶۵	میزان تاثیر کیفیت صنایع	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶۶	میزان تاثیر کیفیت سوخت	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶۷	میزان تاثیر تحقیق و توسعه	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۶۸	میزان تاثیر شهرهوشمند	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۶۹	میزان تاثیر تجارت الکترونیک	تایید	تایید					
قانونی	۷۰	میزان تاثیر قوانین موضوعی	تایید	تایید					
	۷۱	میزان اجرای قوانین موضوعی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۷۲	میزان تاثیر الزام تصویب قوانین جدید	تایید	تایید					
	۷۳	میزان تاثیر الزام هزینه کرد درآمدهای حاصل از قوانین موضوعی	تایید	تایید					
محیط‌زیستی	۷۴	میزان تاثیر شیب سرزمین	تایید						
	۷۵	میزان تاثیر ارتفاع	تایید						
	۷۶	میزان تاثیر جهت دامنه							
	۷۷	میزان تاثیر سرانه فضای سبز و پوشش گیاهی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۷۸	میزان تاثیر عوامل اقلیمی	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید
	۷۹	میزان تاثیر متوسط دما	تایید	تایید					
	۸۰	میزان تاثیر مسولان پشتیبان محیط زیست	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	تایید	
	۸۱	میزان تاثیر زیر ساخت‌های سبز (پرچین، حصار و مانع سبز)	تایید	تایید					
	۸۲	میزان تاثیر بارندگی	تایید	تایید					
	۸۳	میزان تاثیر رطوبت	تایید						
	۸۴	میزان تاثیر شدت باد	تایید	تایید					
	۸۵	میزان تاثیر سایه اندازی پوشش گیاهی							
	۸۶	میزان تاثیر تراکم پوشش گیاهی	تایید	تایید					
	۸۷	میزان تاثیر تیپ پوشش گیاهی	تایید	تایید					
	۸۸	میزان تاثیر نوع پوشش گیاهی (درختی یا بوته‌ای یا چمن)	تایید	تایید					
		جمع شاخص‌های مورد تایید	۸۲	۶۳	۳۹	۳۹	۳۶	۲۵	