مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران با رویکرد مدلسازی ساختاری تفسیری

محمد شاه محمدی[۱]، یار محمد بای[۲*]، پروانه کیانی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد حقوق محیط زیست، گروه حقوق عمومی، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسؤول)

۲- دکترای تخصصی محیط زیست، عضو کمیسیون پژوهش سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران*

۳- کارشناسی ارشد کارآفرینی گرایش کسب و کار الکترونیک، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، دانشگاه پیام نور مرکز رشت، رشت، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲

کلمات کلیدی:
آلودگی هوا، مدل‌سازی ساختاری تفسیری، آلاینده‌های‌صنعتی، پالایشگاه، وارونگی دما

چکیده

پیشینه و هدف: آلودگی هوا بحرانی است که در حال حاضر بسیاری از کشورهای جهان با آن روبرو هستند. شهر تهران، مدت‌ها است که با مشکل آلودگی هوا مواجه است و حل آن به یکی از مطالبات مهم اجتماعی تبدیل شده و ابعاد بین‌المللی نیز یافته است. پدیده آلودگی هوای تهران سال‌هاست که تهران را درگیر کرده و در چندین سال گذشته با ورود به فصل سرد و زمستان پایتخت‌نشینان را با معضل جدی روبه‌رو می‌کند و با وجود تمام اقدامات انجام شده برای جلوگیری از ورود آلودگی باز هم شاهد روزهایی هستیم که مدارس تعطیل می‌شود و طرح زوج و فرد کردن ماشین‌ها نیز هم‌چنان ادامه می‌یابد؛ اما آلودگی قرص و محکم پابرجاست. نتایج مطالعات پیشین حاکی از تأثیر عوامل مختلفی از جمله عوامل جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی شهر، وارونگی دمایی و آلاینده‌های صنعتی در آلودگی هوا دارد. هدف از این پژوهش، ارائه مدلی برای شاخص‌های آلودگی هوای شهر تهران است.

مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر از لحاظ نوع و هدف پژوهش، کاربردی و از جنبه روش جمع‌آوری داده‌ها، توصیفی- تحلیلی می‌باشد. در این مطالعه، پژوهشگر پس از شناسایی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران با بهره‌گیری ازنظر خبرگان مربوطه، تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) را برای سطح‌بندی و تفسیر روابط مفهومی شاخص‌های مذکور به‌کاربرده است. با مرور ادبیات پژوهش و اخذ نظر خبرگان، موضوع در قالب شش شاخص (وارونگی دمایی، موقعیت جغرافیایی- اقلیمی، آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها، کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی، پایین‌بودن سرانه فضای سبز، تراکم بالای جمعیت تهران) مورد شناسایی قرار گرفت. سپس پرسشنامه ماتریسی ساخت‌یافته برای تعیین ارتباطات بینابینی این شاخص‌ها تدوین گردید. داده‌های حاصل از پرسشنامه با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری، تحلیل و در پنج سطح در یک شبکه تعاملی ترسیم شد.

نتایج: نتایج این پژوهش نشان داد هم عوامل صنعتی و هم عوامل اقلیمی می‌توانند بر آلودگی هوای تهران مؤثر باشند. با توجه به نتایج حاصل از مدلسازی، شاخص «آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها» در بالاترین سطح قرار گرفته است لذا انتقال کارخانجات سطح شهر و جلوگیری از احداث کارخانجات جدید داخل شهر به عنوان یک راهکار می‌تواند به کاهش آلودگی هوای شهر تهران کمک کند.

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: shahmohammadi.m@ut.ac.ir

بحث: هنگام وقوع وارونگی دمایی، هوا پایدار شده و ذرات در محدوده لایه وارونگی تجمع پیدا کرده و بر شدت آلودگی هوا می‌افزاید. در خصوص آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها بیشترین فرایند تولیدکننده آلودگی هوا در صنایع، پس از فرایند گرمایش، به فرایند ترکیب مواد اختصاص داشته و آلاینده‌های هوا به حالت دود و ذرات معلق بیشترین موارد را در بر می‌گیرد. همچنین عمل احتراق در موتور خودروهای قدیمی و بی‌کیفیت به‌خوبی انجام نمی‌شود و این اصلی‌ترین دلیل تولید مونوکسید کربن است. اقلیم از طریق تغییر عناصر آن مانند دما، بارش، فشار و باد شرایط آلودگی شهر تهران را کنترل می‌کند. هم‌چنین در مقایسه با شهرهای بزرگ جهان و جمعیت در آن‌ها، تهران از نظر وسعت رتبه ۱۲۰ تا ۱۳۰ را به خود اختصاص داده است لکن از نظر تراکم در هر کیلومترمربع، بین رتبه ۲۵ تا ۳۰ قرار گرفته است. این به آن معناست که در این شهر جمعیتی بیش از توان اکولوژیک و مساحت شهری انباشت شده که باعث ایجاد بحران‌هایی از جمله آلودگی هوا می‌شود.

مقدمــه

داشتن هوای پاک و برخورداری از محیط تنفسی عاری از آلودگی که امکان دم و بازدمیدن هوای سالم را برای انسان فراهم آورد، آرزوی بشر امروزی است. از این روست که کیفیت هوایی که تنفس می‌کنیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌گردد (Fallah *et al.*, 2015). آلودگی هوا یک تهدید بسیار بزرگ برای سلامتی انسان‌ها، آب و هوا و محیطزیست پیرامون ما می‌باشد. روند صعودی آلودگی هوا و تأثیرات زیانبار این آلودگی بر سلامت بشر یکی از چالش‌های مهم محیطزیستی در چند دهه‌های اخیر بوده است (Xie *et al.*, 2018). اثرات ترکیبی آلودگی هوای محیطی و خانگی سالانه باعث میلیون‌ها مرگ زودرس می‌شود که عمدتاً در نتیجه افزایش مرگ و میر ناشی از سکته مغزی، بیماری‌های قلبی و سایر بیماری‌های تنفسی است (Nejazti *et al.*, 2022).

در شرایط حاضر، مهم‌ترین معضل محیطزیستی شهر تهران، آلودگی هوای این شهر بوده که آثار زیان بار آن بر سلامت، محیطزیست و اقتصاد، بر کسی پوشیده نیست (Cheraghi, 2018). این پدیده امروزه از مهم‌ترین مشکلات محیطزیستی کلان‌شهرها به‌خصوص تهران است که با توجه به آثار زیانبار آن، شناخت عوامل مؤثر بر آن می‌تواند در کاهش این آثار مؤثر باشد (Ashrafi *et al.*, 2011).

در این خصوص مطالعات قابل توجهی انجام شده است. از جمله (Safavi & Alijani, 2016) در پژوهشی به بررسی تأثیر عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های طبیعی شهر اثر بسیار زیاد در آلودگی آن دارد. Fallah و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق دیگری به ریشه یابی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای تهران پرداختند. ایشان در پژوهش خود راهکارهایی جهت کاهش آلودگی شهر تهران ارائه نمودند. Cheraghi (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی تأثیر وارونگی دمایی بر آلودگی هوای شهر تهران پرداخت. نتایج تحقیق نشان داد تأثیر اقلیمی مانند بادهای آرام و پایداری هوا به همراه کمبود نزولات جوی و وارونگی هوا در آلودگی هوای تهران بسیار مؤثر هستند. Mohammadian (۲۰۱۷) در پژوهش خود به آلودگی هوای شهر تهران و اثرات آن پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های طبیعی شهر تهران اثر بسیار زیاد در آلودگی آن دارند مانند بادهای غربی و شرقی، وارونگی‌های دمایی که از ویژگی‌های دوره سرد آن هستند. شدت و فراوانی بارندگی به اندازه‌ای نیست که همیشه بتواند هوای تهران را بشوید. در تحقیق دیگری (Soleimani & Malek Hosseini, 2017) به بررسی آلاینده‌های تأثیرگذار بر آلودگی هوای تهران و راهکارهای کنترل با توجه به شاخص کیفیت AQI پرداختند. بنابر نتایج تجزیه آماری، گسترش حمل و نقل عمومی، خروج خودروهای فرسوده، افزایش مصرف گاز طبیعی و اجرای سخت‌گیرانه قوانین ترافیکی و صنعتی در ماه‌های خرداد، تیر، دی و روزهای ابتدایی هفته را مهم‌ترین عامل در جهت کاهش آلاینده ذرات

معلق در کیفیت هوای روزهای بسیار آلوده یا خطرناک شهر تهران مؤثر شناخته است.

با مداقه در تحقیقات پیشین ملاحظه می شود که اغلب مطالعات در خصوص آلودگی هوای شهر تهران بر تعیین عوامل مختلف، متمرکز می‌باشند اما یک مدل جامع تا کنون ارائه نشده است. بر همین اساس هدف پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران با رویکرد مدلسازی ساختاری تفسیری است. لذا این پژوهش به این سؤال پاسخ می‌دهد که "روابط مفهومی و سطح‌بندی میان شاخص‌های عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران چگونه است؟"

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر مبنای پارادایم اثبات‌گرایی بوده و به دلیل این‌که به قصد کاربرد نتایج یافته‌هایش برای حل مسأله خاص متداول در سازمان انجام می‌شود، ازلحاظ نوع و هدف پژوهش، کاربردی است. از جنبه روش جمع‌آوری داده‌ها، توصیفی- تحلیلی بوده؛ توصیفی است؛ زیرا پژوهشگر در اجرای آن، متغیرها را دست‌کاری نمی‌کند یا برای وقوع رویدادها شرایطی را به وجود نمی‌آورد. تحلیلی است، زیرا پژوهشگر با اطلاعات غیر کافی می‌تواند به نتایج منطقی دست یابد (Azar *et al.*, 2012). به دلیل آن‌که پژوهشگر با استفاده از پرسشنامه سعی در توصیف نگرش، افکار یا خصیصه‌های جامعه داشته، پژوهش از نوع کمی است.

در این پژوهش، پژوهشگر پس از شناسایی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران با بهره‌گیری ازنظر خبرگان مربوطه، تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) را برای سطح‌بندی و تفسیر روابط مفهومی شاخص‌های مذکور به‌کاربرده است.

برای تعیین روایی پرسشنامه روش‌های متعددی وجود دارد که با توجه به ماهیت پژوهش، از روش "روایی محتوا" استفاده شد؛ بدین ترتیب پس از استخراج عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران از ادبیات موضوع، با استفاده از روش Q-Sort و تنظیم پرسشنامه‌ای در صفحه گسترده اکسل با نظرخواهی از اساتید دانشگاهی این حوزه جهت تعیین عوامل برگرفته از ادبیات به‌عنوان شاخص‌های پژوهش برای دستیابی به روایی محتوایی استفاده شد.

برای سنجش پایایی از روش آزمون- پس آزمون[1] استفاده شده و پرسشنامه دو هفته بعد مجدداً برای خبرگان مورد نظر ارسال گردید تا اطمینان حاصل شود که همبستگی پاسخ‌ها، از هفتاد درصد بیشتر باشد.

تکنیک مورداستفاده در این پژوهش ایجاب می‌کند که اطلاعات از خبرگان و متخصصین مربوطه دریافت گردد. پس از استخراج ابعاد و شاخص‌های تحقیق با استفاده از مرور ادبیات پژوهش، ازنظر تعدادی از اساتید دانشگاهی این حوزه استفاده‌شده است، سپس شاخص‌های غربال‌شده به جامعه تحقیق داده شد (Lashkar Boluki *et al.*, 2011). در پژوهش خود تعداد خبرگان را بین ۴ الی ۱۵ نفر بیان نموده‌اند.

مراحل و جامعه تحقیق این پژوهش به‌قرار زیر می‌باشند:

۱. تعداد ۸ نفر از اساتید دانشگاهی حوزه پژوهش شامل نویسندگان، اساتید راهنما و مشاور پایان‌نامه‌ها و نویسندگان مقالات. ملاک خبرگی در این مرحله مشروعیت تخصصی پاسخگو بوده است؛ با توجه به خبره مبنا بودن پژوهش، دانش و تجربه پاسخ دهندگان برای یک قضاوت منطقی، کافی و مناسب بود.

۲. تعداد ۷ نفر از مدیران و کارشناسان در ارتباط با موضوع پژوهش. ملاک خبرگی در این مرحله درگیری پاسخ‌دهندگان در موضوع تحقیق و آشنایی فرد پاسخگو با مقوله آلودگی هوا بود.

در این پژوهش، تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری با سنجش روابط میان عوامل مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران به‌صورت دوبه‌دو به‌منظور سطح‌بندی و تعیین روابط مفهومی مابین شاخص‌های پژوهش به‌کاررفته است. مدل‌سازی تفسیری ساختاری، در تشخیص روابط درونی عناصر کمک می‌کند و یک روش مناسب برای تجزیه و تحلیل تأثیر یک عنصر بر عناصر دیگر می‌باشد. تکنیک ISM به این دلیل تفسیری می‌باشد که این امر یک قضاوت گروهی بوده و مشخص می‌کند کدام عوامل و چگونه با یکدیگر در ارتباط باشند؛ ساختاری است چراکه یک ساختار کلی از مجموعه‌ای از روابط به دست آمده در بین عوامل مختلف استخراج می‌شود و در نهایت این روش یک نوع مدل‌سازی می‌باشد چراکه روابط خاص شناسایی شده بین عوامل و نیز ساختار کلی ترسیم شده، در یک

[1] Test – Retest

مدل، پیاده‌سازی و عرضه می‌شود. مدلی که با استفاده از این متدولوژی به دست می‌آید، ساختاری از یک مسأله یا موضوع پیچیده، یک سیستم یا حوزه مطالعاتی را نشان می‌دهد که الگویی به‌دقت طراحی شده می‌باشد. به‌طورکلی "مدل‌سازی ساختاری تفسیری" تکنیکی است که بررسی پیچیدگی سیستم را امکان پذیر نموده و سیستم را به‌گونه‌ای ساختاردهی می‌کند که به‌سادگی قابل درک باشد. ازجمله مزایای این روش می‌توان به قابل درک بودن آن برای گستره بی‌شماری از کاربران، یکپارچگی آن برای گستره بی‌شماری از کاربران، یکپارچگی آن در ترکیب نظرات خبرگان و قابلیت کاربرد آن در مطالعه سیستم‌های پیچیده و دارای اجزای متنوع اشاره نمود (Esmailpour *et al.*, 2016). روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری شامل هفت مرحله بوده که این مراحل به‌طور کامل و به ترتیبی که در بخش نتایج آمده، انجام شده است.

نتایج

تجزیه و تحلیل داده‌های روش کیوسرت

با مرور گسترده ادبیات موجود در زمینه آلودگی هوای تهران، ۳۰ عامل شناسایی شد. برای حذف اثر مشکلات احتمالی ناشی از تعاریف نزدیک و هم‌پوشانی برخی از موارد و رسیدن به فهرست کوچک‌تر اما موردتوافق خبرگان از روش Q-Sort استفاده گردید. از این‌رو ابتدا فهرستی از ۳۰ عامل شناسایی‌شده در صفحه گسترده اکسل تهیه شد. سپس از هشت نفر از خبرگان حوزه پژوهش که شامل نویسندگان، اساتید راهنما و مشاور پایان‌نامه‌ها و نویسندگان مقالات بودند، درخواست شد تا مشخص کنند که آیا از نظر ایشان هر یک از ۳۰ مورد، به عنوان شاخص آلودگی هوای تهران شناخته می‌شوند یا خیر. سپس درصد توافق خبرگان برای هرکدام محاسبه شد. برای رسیدن به روایی قابل‌قبول سطح ۶۵ درصد توافق در نظر گرفته شد که Esmailpour و همکاران (۲۰۱۶) به آن اشاره‌کرده‌اند. درنتیجه از ۳۰ عامل مورد ارزیابی، ۶ شاخص با توافق بالای ۶۵ درصد خبرگان تعیین شدند که در جدول شماره یک آمده است.

جدول ۱- شاخص‌های نهایی استخراج‌شده با سطح ۶۵ درصد توافق به روش کیوسرت

ردیف	شاخص‌های نهایی غربال شده
۱	وارونگی دمایی
۲	موقعیت جغرافیایی- اقلیمی
۳	آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها
۴	کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی
۵	پایین بودن سرانه فضای سبز
۶	تراکم بالای جمعیت تهران

مرحله ۱: تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری

در این مرحله روابط بین شاخص‌های پژوهش به‌صورت دوبه‌دو و زوجی، با به‌کارگیری مدل‌سازی ساختاری تفسیری و استفاده از رابطه مفهومی «منجر به» مورد تحلیل قرار گرفت و خبرگان با استفاده از نمادهای زیر به تعیین روابط بین متغیرها پرداختند.

V: یعنی شاخص i به j منجر می‌شود؛ A: یعنی شاخص j به i منجر می‌شود؛

X: برای نشان دادن تأثیر دوطرفه؛ O: برای نشان دادن عدم وجود رابطه بین دو شاخص؛

ماتریس خود-تعاملی ساختاری از ابعاد و شاخص‌های پژوهش و مقایسه آن‌ها با استفاده از چهار حالت روابط مفهومی تشکیل‌شده است (Azar *et al.*, 2012). این ماتریس توسط ۷ نفر از مدیران و کارشناسان تکمیل گردید. جدول ماتریس از علامت‌هایی تشکیل‌شده که بیشترین تکرار را در نظرات خبرگان به خود اختصاص داده‌اند. نتایج در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

مرحله ۲: تشکیل ماتریس دسترسی اولیه

ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی (صفر و یک) حاصل می‌گردد. به‌منظور جایگزینی اعداد صفر و یک به‌جای نمادهای چهارگانه جدول ۲، برای استخراج ماتریس دسترسی اولیه، قوانین زیر مورداستفاده قرار می‌گیرند:

- اگر ورودی (i,j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد V باشد، در ماتریس دسترسی اولیه (i,j) عدد یک و ورودی (j,i) عدد صفر خواهد بود.

- اگر ورودی (i,j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد A باشد، در ماتریس دسترسی اولیه (i,j) عدد صفر و ورودی (j,i) عدد یک خواهد بود.
- اگر ورودی (i,j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد X باشد، در ماتریس دسترسی اولیه (i,j) عدد یک و ورودی (j,i) عدد یک خواهد بود.
- اگر ورودی (i,j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد O باشد، در ماتریس دسترسی اولیه (i,j) عدد صفر و ورودی (j,i) عدد صفر خواهد بود.
- درصورتی‌که i=j باشد، خانه مربوطه در ماتریس دسترسی عدد یک می‌گیرد. نتایج در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- ماتریس خودتعاملی ساختاری

	شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	وارونگی دمایی	X	V	V	V	V	V
۲	موقعیت جغرافیایی- اقلیمی	A	X	X	X	X	V
۳	آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها	A	X	X	A	X	X
۴	کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی	A	X	V	X	A	A
۵	پایین بودن سرانه فضای سبز	A	X	X	V	X	V
۶	تراکم بالای جمعیت تهران	A	A	X	V	A	X

جدول ۳- ماتریس دسترسی اولیه شاخص‌ها

	شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	وارونگی دمایی	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	موقعیت جغرافیایی- اقلیمی	۰	۱	۱	۱	۱	۱
۳	آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها	۰	۱	۱	۰	۱	۱
۴	کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی	۰	۱	۱	۱	۰	۰
۵	پایین بودن سرانه فضای سبز	۰	۱	۱	۱	۱	۱
۶	تراکم بالای جمعیت تهران	۰	۰	۱	۱	۰	۱

مرحله ۳: ماتریس دسترسی نهایی

پس از آن‌که ماتریس دسترسی اولیه به دست آمد، باید سازگاری درونی آن برقرار شود. بدین‌صورت که اگر (i,j) باهم در ارتباط باشند و نیز (j,k) باهم رابطه داشته باشند؛ آن‌گاه (i,k) باهم در ارتباط هستند (Azar *et al.*, 2012). در این ماتریس قدرت نفوذ و میزان وابستگی هر متغیر نیز نشان داده شده است. نتایج در جدول ۴ آمده و اعدادی که علامت * گرفته‌اند، نشان می‌دهند که در ماتریس دسترسی اولیه صفر بوده و پس از سازگاری تبدیل به عدد یک شده‌اند.

جدول ۴- ماتریس دسترسی نهایی (ماتریس دسترسی سازگار شده شاخص‌ها)

	شاخص‌ها	**۱**	**۲**	**۳**	**۴**	**۵**	**۶**	**قدرت نفوذ**
۱	**وارونگی دمایی**	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۶
۲	**موقعیت جغرافیایی- اقلیمی**	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۵
۳	**آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها**	۰	۱	۱	۱*	۱	۱	۵
۴	**کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی**	۰	۱	۱	۱	۱*	۱*	۵
۵	**پایین بودن سرانه فضای سبز**	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۵
۶	**تراکم بالای جمعیت تهران**	۰	۱*	۱	۱	۱*	۱	۵
میزان وابستگی		۱	۶	۶	۶	۶	۶	

مرحله ۴: تعیین روابط و سطح‌بندی شاخص‌ها

در این مرحله با استفاده از ماتریس دسترسی نهایی، پس از تعیین مجموعه‌های ورودی و خروجی، اشتراک این مجموعه‌ها برای هر یک از شاخص به دست می‌آید. سپس تعداد عناصر مجموعه ورودی و مجموعه مشترک را مشخص نموده و به‌صورت صعودی بر اساس کوچک‌ترین فراوانی به بزرگ‌ترین، عمل سطح‌بندی را انجام می‌دهیم. مجموعه خروجی یک شاخص شامل اجزایی از سیستم است که از آن جزء نشأت می‌گیرد (تعداد "۱" های هر ستون در ماتریس دسترسی نهایی) و مجموعه ورودی هر شاخص شامل اجزایی از سیستم است که به آن جزء منتهی می‌شود (تعداد "۱" های هر سطر در ماتریس دسترسی نهایی). جدول ۵ سطح‌بندی شاخص‌های پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۵- سطح‌بندی شاخص‌ها

شاخص‌ها	مجموعه خروجی	مجموعه ورودی	مجموعه مشترک	سطح‌بندی
وارونگی دمایی	۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۱	۱	۵
موقعیت جغرافیایی- اقلیمی	۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲	۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۵ و ۴ و ۳ و ۲	۲
آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها	۶ و ۵ و ۳ و ۲	۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۶ و ۵ و ۳ و ۲	۱
کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی	۴ و ۳ و ۲	۶ و ۵ و ۴ و ۲ و ۱	۴ و ۲	۲
پایین بودن سرانه فضای سبز	۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲	۵ و ۳ و ۲ و ۱	۵ و ۳ و ۲	۴
تراکم بالای جمعیت تهران	۶ و ۴ و ۳	۶ و ۵ و ۳ و ۲ و ۱	۶ و ۳	۳

مرحله ۵: ترسیم مدل شبکه تعاملات

در این مرحله با توجه به سطوح شاخص‌ها و ماتریس دسترسی نهایی و از طریق حذف روابط ثانویه، مدل نهایی به دست می‌آید که این شکل در مدل‌سازی ساختاری تفسیری، مدل ساختاری یا دیاگراف نامیده می‌شود. مدل پژوهش در شکل یک نمایش داده شده است.

تا بدینجا، گام‌های اجرایی تکنیک ISM در پژوهش حاضر تشریح شد که در نهایت منجر به ترسیم مدل نهایی با استفاده از سطوح شاخص‌ها و ماتریس دسترسی نهایی شد. این مدل شامل ۵ سطح می‌باشد که اهمیت سطوح از ۱ تا ۵ به‌صورت صعودی می‌باشد که آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها در سطح اول، کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی و موقعیت جغرافیایی-اقلیمی در سطح دوم، تراکم بالای جمعیت تهران در سطح سوم، پایین بودن سرانه فضای سبز در سطح پنجم و وارونگی دمایی در سطح ششم قرار دارد.

مرحله ۶: تجزیه‌وتحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی

در این مرحله متغیرها بر اساس قدرت نفوذ هر شاخص در شاخص‌های دیگر و میزان وابستگی هر شاخص به شاخص‌های دیگر در چهار سطح زیر دسته‌بندی کرد:

۱- سطح استقلال (خودمختار): شاخص‌هایی که حداقل وابستگی و قدرت نفوذ را در دیگر شاخص‌ها دارند.

۲- وابستگی: شاخص‌هایی که وابستگی زیادی به شاخص‌های دیگر دارند.

۳- ارتباط (پیوندی): شاخص‌هایی که رابطه دوطرفه‌ای با دیگر شاخص‌ها دارند.

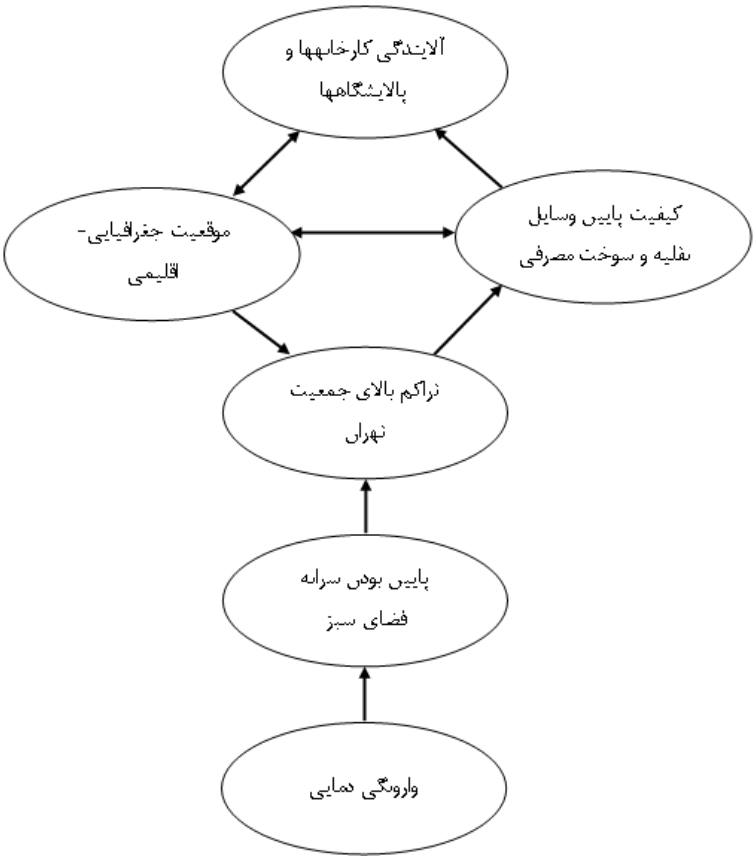
۴- نفوذ (عدم وابستگی): شاخص‌هایی که بر شاخص‌های دیگر نفوذ قابل‌توجهی دارند.

قابل‌توجه می‌باشد که در این تحقیق همه شاخص‌ها در سطح سوم قرار می‌گیرند، گروه سوم، متغیرهای ارتباطی (سطح ۳) می‌باشند که از قدرت نفوذ و وابستگی بالایی برخوردارند. درواقع هرگونه عملی بر روی این متغیرها باعث تغییر سایر متغیرها می‌شود.

سطح‌بندی مذکور نشان می‌دهد که همه شاخص‌های مؤثر بر آلودگی هوای تهران در ناحیه پیوندی قرارگرفته‌اند. متغیرهای این ناحیه، قدرت نفوذ و وابستگی بالایی دارند. ماتریس قدرت نفوذ-وابستگی پژوهش در جدول شماره ۶ نشان داده شده است.

در این جدول به تجزیه‌وتحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی شاخص‌ها بر اساس ماتریس قدرت نفوذ-

وابستگی پرداخته‌شده و شاخص‌های پژوهش در ۴ ناحیه خودمختار، وابسته، پیوندی و نفوذ موردبررسی قرار گرفته است. همانگونه که در ماتریس نفوذ- قدرت مشخص است شاخص‌های پژوهش همگی در ناحیه پیوندی قرار گرفته‌اند یعنی از قدرت نفوذ و وابستگی بالایی برخوردارند. درواقع هرگونه عملی بر روی این شاخص‌ها باعث تغییر سایر شاخص‌ها می‌شود. شاخص شماره ۱ در ناحیه نفوذ قرار دارد. این شاخص از قدرت نفوذ بالا با حداقل وابستگی برخوردار است.



شکل ۱- مدل ساختاری تفسیری پژوهش

جدول ۶- ماتریس قدرت نفوذ-وابستگی

قدرت نفوذ		وابستگی	
		کم	زیاد
زیاد		IV	III
		۱	۲و۳و۴و۵و۶
کم		I	II

چالش‌های روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)

- باوجود مزایای تکنیک ISM، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد ازجمله این‌که روابط محتوایی میان عوامل همیشه به دانش خبرگان و آشنایی آن‌ها با آن صفات بستگی دارد در نتیجه، این اریب[۲] در قضاوت کسانی که به‌عنوان خبره در خصوص روابط بین شاخص‌ها نظر می‌دهند، وجود دارد.
- محدودیت دیگر این‌که ISM هیچ‌گونه وزنی به معیارها تخصیص نمی‌دهد.
- ممکن است سایر متغیرهایی که تأثیر کمینه‌ای بر موضوع دارند در ایجاد مدل ISM در نظر گرفته نشوند.

بحث

در پژوهش حاضر، ابتدا عوامل مؤثر بر آلودگی هوای تهران شناسایی و سپس برای رسیدن به فهرست کوچک‌تر اما موردتوافق خبرگان، از روش Q-Sort استفاده گردید که در قالب شش شاخص (وارونگی دمایی، موقعیت جغرافیایی-اقلیمی، آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها، کیفیت پایین وسایل نقلیه و سوخت مصرفی، پایین بودن سرانه فضای سبز، تراکم بالای جمعیت تهران) تعیین گردیدند. سپس با استفاده از تکنیک ISM روابط میان شاخص‌ها مشخص و در قالب مدلی پنج سطحی طراحی گردید. با توجه به مدل به دست آمده و جایگاه قرارگیری شاخص‌ها در ماتریس قدرت نفوذ – وابستگی، آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها مهم‌ترین عامل در آلودگی هوای تهران شناخته شد.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری در عرصه آلودگی هوای تهران و حوزه‌های مختلف آن، صورت پذیرفته است لیکن در این پژوهش به بررسی ارتباط شاخص‌های مؤثر بر آلودگی هوای تهران به‌صورت زوجی در قالب یک مدل پرداخته است و درنهایت شاخص‌های کلیدی را که نفوذ زیادی روی دیگر شاخص‌ها دارند شناسایی نموده است.

روابط علی و معلولی تبیین شده در مدل پژوهش حاضر ضمن فراهم آوردن راهنمایی برای هدایت تلاش‌های اجرایی، اثربخشی تصمیمات مدیران را در شناسایی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای تهران ارتقا می‌دهد. اولویت‌بندی شاخص‌های پژوهش با مشخص نمودن نقاط قوت و ضعف آن‌ها می‌تواند به‌عنوان الگویی مناسب برای سیاست‌گذاری و تدوین استراتژی در ارتباط با سیاست‌های کلی و هم‌چنین در اقدامات اصلاحی یا حمایتی استفاده گردد.

نتایج این پژوهش نشان داد هم عوامل صنعتی و هم عوامل اقلیمی می‌توانند بر آلودگی هوای تهران مؤثر باشند. به‌طور مثال هنگام وقوع وارونگی دمایی، هوا پایدار شده و ذرات در محدوده لایه وارونگی تجمع پیدا کرده و بر شدت آلودگی هوا می‌افزاید. در خصوص آلایندگی کارخانه‌ها و پالایشگاه‌ها بیشترین فرایند تولید کننده آلودگی هوا در صنایع، پس از فرایند گرمایش، به فرایند ترکیب مواد اختصاص داشته و آلاینده‌های هوا به حالت دود و ذرات معلق بیشترین موارد را در بر می‌گیرد. هم‌چنین عمل احتراق در موتور خودروهای قدیمی و بی‌کیفیت به‌خوبی انجام نمی‌شود و این اصلی‌ترین دلیل تولید مونوکسیدکربن است. اقلیم از طریق تغییر عناصر آن مانند دما، بارش، فشار و باد شرایط آلودگی شهر تهران را کنترل می‌کند. هم‌چنین در مقایسه با شهرهای بزرگ جهان و جمعیت در آن‌ها، تهران از نظر وسعت رتبه ۱۲۰ تا ۱۳۰ را به خود اختصاص داده است لکن از نظر تراکم در هر کیلومترمربع، بین رتبه ۲۵ تا ۳۰ قرار گرفته است. این به آن معناست که در این شهر جمعیتی بیش از توان اکولوژیک و مساحت شهری انباشت شده که باعث ایجاد بحران‌هایی از جمله آلودگی هوا می‌شود.

در راستای نتایج تحقیق پیشنهاد می‌شود جهت کاهش آلودگی هوای شهر تهران بر روی موارد زیر مطالعات و شبیه سازی های عددی انجام شود.

- انتقال کارخانجات سطح شهر و جلوگیری از احداث کارخانجات جدید داخل شهر
- فراهم آوردن امکانات جهت گازسوز کردن خودروها
- مراعات اصول شهرسازی و در نظر گرفتن نکات معماری به‌منظور عبور خودروها و جلوگیری از ترافیک
- جلوگیری از توفان‌های شن و خاک
- ایجاد پارک‌های عمومی.

[۲] Bias

منابع

1. **Azar, A., Khosravani, F. and Jalali, R., 2012.** Research in soft operations, Industrial Management Organization Publications, Tehran. (In Persian with English abstract)
2. **Ashrafi, K., Heshiaripour, G., Najar Arabi, B. and Keshavarzi, H., 2011.** Daily prediction of carbon monoxide concentration using fuzzy neural-forward selection model based on atmospheric stability analysis: a case study, Tehran city. Journal of Earth and Space Physics 38(2), pp. 183-201. (In Persian with English abstract)
3. **Cheraghi, M., 2018.** Investigating the effect of temperature inversion on air pollution in Tehran. Specialized scientific quarterly of environmental studies, natural resources and sustainable development, third year, 4(10), 1-27. (In Persian with English abstract)
4. **Esmailpour, R., Azar, A. and ShahMohammadi, M., 2016.** Providing an interpretive structural model of supplier selection indicators based on corporate social responsibility. Industrial Management Studies, 15 (47), 45-70. (In Persian with English abstract)
5. **Fallah, M., Mirzahosseini, S., Taheri, P. and Akbarian, M., 2015.** Finding the root of factors affecting Tehran's air pollution and prioritizing solutions using the TOPSIS method, the third national industrial engineering research conference, Tehran, https://civilica.com/doc/517446. (In Persian with English abstract)
6. **Lashkar Boluki, M., Khodadad Hosseini, S.H., Hosseini, S.M. and Hamidizadeh, M., 2011.** Designing a sustainable strategy process model using a hybrid approach, strategic management thought, 6(2), autumn and winter, number 12. (In Persian with English abstract)
7. **Mohammadian, A., 2017.** Air pollution in Tehran and its effects, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran, Tehran, https://civilica.com/doc/847992. (In Persian with English abstract)
8. **Nejati, M., Sadeghi, Z.A. and Arabpour, M.A., 2022.** Forecasting CO2 Emissions in Iran Using Important Economic Indicators and Using Deep Learning Models. Environment and Interdisciplinary Development,7(75), 1-17. doi: 10.22034/envj.2022.149127. (In Persian with English abstract)
9. **Safavi, S.Y. and Alijani, B., 2016.** Investigation of geographical factors in Tehran air pollution, Geographical Researches, No. 58, pp. 112-99. (In Persian with English abstract)
10. **Soleimani, F. and Malek Hosseini, A., 2017.** Investigating pollutants affecting Tehran's air pollution and control strategies according to AQI quality index. Scientific and Research Quarterly of New Approaches in Human Geography, 10(4), 55-73. (In Persian with English abstract)
11. **Xie, X., Weng, Y. and Cai, W., 2018.** Cobenefits of CO2 mitigation for NOX emission reduction: A research based on the DICE model. Sustainability, 1.1109 .0

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Identifying and Prioritizing the Factors Affecting Air Pollution in Tehran with an Interpretive Structural Modeling Approach

Mohammad ShahMohammadi [1], Yarmohammad Bay [2*], Parvane Kiani [3]

1*- M.A. Student of Environmental Law, Department of Public Law, Faculty of Law and Political Science, University of Tehran, Tehran, Iran. (Corresponding Author).
2- PhD in Environment, Member of the Research Commission of the Environmental Protection Organization, Tehran, Iran.
3- M.Sc. in Entrepreneurship Field of Electronic Business, Department of Management, Faculty of Management, Payam Noor University of Rasht, Rasht, Iran.

Original Article

Received: 2022.05.11

Accepted: 2022.10.24

Keywords: Air Pollution, Interpretive Structural Modeling, Industrial Pollutants, Refinery, Temperature Inversion

Abstract

Introduction: Air pollution is a crisis that many countries around the world are currently facing. The city of Tehran has been facing the problem of air pollution for a long time and its solution has become one of the important social demands and has found international dimensions. The phenomenon of air pollution in Tehran has been affecting Tehran for many years, and in the past several years, with the arrival of the cold and winter season, the residents of the capital face a serious problem, and despite all the measures taken to prevent pollution, we still see days when schools are closed and the plan of even and odd cars also continues; but pollution is strongly standing. The results of previous studies indicate the influence of various factors including geographical factors, natural features of the city, temperature inversion and industrial pollutants in air pollution.
The purpose of this study is to provide a model for individuals with air pollution in Tehran.

Materials and Methods: The current research is applied in terms of the type and purpose of the research, and descriptive-analytical in terms of the data collection method. In this research, after identifying the factors affecting the air pollution of Tehran city, using the opinion of relevant experts, the researcher has used the interpretive structural modeling (ISM) technique to level and interpret the conceptual relationships of the mentioned indicators. By reviewing the research literature and taking the opinion of experts, the issue is identified in the form of six indicators (temperature inversion, geographical-climatic location, pollution of factories and refineries, low quality of vehicles and fuel consumption, low green space per capita, high population density of Tehran) Took; Then, a structured matrix questionnaire was developed to determine the interrelationships of these indicators. The data obtained from the questionnaire were analyzed using interpretive structural modeling and plotted on five levels in an interactive network.

Results: The results of this research showed that both industrial factors and climatic factors can be effective on air pollution in Tehran. According to result of the modeling, "pollution of factories and refineries" index was at the highest level. Therefore, transferring factories in the city and preventing the construction of new factories in the city as a solution can help reduce air pollution in Tehran.

* Corresponding Author's email: shahmohammadi.m@ut.ac.ir

Discussion: When a temperature inversion occurs, the air becomes stable and particles accumulate in the range of the inversion layer and increase the intensity of air pollution. Regarding the pollution of factories and refineries, most of the processes that produce air pollution in industries, after the heating process, are dedicated to the process of combining materials, and air pollutants in the form of smoke and suspended particles include the most cases. Also, the combustion process in the engine of old and low-quality cars is not done well, and this is the main reason for the production of carbon monoxide. Climate controls the pollution conditions of Tehran city through changing its elements such as temperature, precipitation, pressure and wind. Also, compared to the big cities of the world and their population, Tehran is ranked 120 to 130 in terms of size, but in terms of density per square kilometer, it is ranked between 25 and 30. This means that in this city, the population has accumulated more than the ecological capacity and urban area, which causes crises such as air pollution.