

مدلسازی ساختاری تفسیری اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی

(مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج)

محمد مهدی بهرامی خندان^۱

سعید کامیابی^{۲*}

mm_bkh2000@yahoo.com

محمد رضا زندمقدم^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۵

چکیده

زمینه و هدف: نقش دوسویه شهرها در ایجاد تنش‌های زیست محیطی و پتانسیل آنها برای تغییر جهت به سوی توسعه پایدار این مراکز را حساس و حایز اهمیت و با چالش‌های متعددی مواجه کرده است. به‌طوری‌که، امروزه چالش‌های محیط زیست و زیرساخت‌های شهری به عنوان یک مسئله جدی در مقابل شهروندان و مدیران شهری و تصمیم‌سازان عرصه زندگی مدنی قرار گرفته است. در این راستا، این پژوهش با هدف شناسایی اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی کلان‌شهر کرج و طراحی ارتباطات این عوامل می‌باشد.

روش بررسی: این پژوهش از نظر هدف گذاری کاربردی و از نظر روش انجام به صورت توصیفی - تحلیلی است. به منظور شناسایی عوامل موثر بر آلودگی‌های زیست محیطی، از روش تحلیل محتوا استفاده گردید. در بخش مدلسازی ساختاری تفسیری، از نظرات خبره دانشگاهی صاحب‌نظر در حوزه محیط زیست شهری استفاده شده است. ابزار جمع‌آوری داده‌ها پرسشنامه دویه دویی می‌باشد. داده‌ها و اطلاعات به دست آمده با استفاده از روش تحلیلی نوین ساختاری تفسیری (ISM) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و در نهایت با استفاده از تحلیل MICMAC نوع متغیرها با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری بر سایر متغیرها مشخص و خوشه‌بندی شدند.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد عامل آلودگی هوا یا کیفیت هوا با میزان قدرت نفوذ ۸ بیشترین تاثیرگذاری و به عنوان مهمترین عامل اثرگذار بر آلودگی زیست محیطی ناشی از توسعه شهر کرج می‌باشد. در سوی مقابل آلودگی‌های ناشی از صنعت ساخت و ساز و وارونگی هوا مشترکاً با میزان قدرت نفوذ ۲ کمترین تاثیر را بر آلودگی هوای کلان‌شهر کرج دارند.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت که در شهر کرج کیفیت هوا و آلودگی زیست محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین، لازم است که در برنامه‌ریزی توسعه شهری و جامعه‌سازی، رعایت ملاحظات زیست محیطی به عنوان یک اولویت برجسته مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: توسعه شهری، مدلسازی ساختاری - تفسیری، آلودگی محیط زیستی، توسعه پایدار.

۱- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

۳- دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

Interpretive structural modeling of the effects of urban development on environmental pollution (Case study: Karaj metropolis)

Mohammad Mehdi Bahrami Khandan¹

Saeed Kamyabi² *

mm_bkh2000@yahoo.com

Mohammad Reza Zand Moghadam³

Admission Date: January 3, 2024

Date Received: April 4, 2023

Abstract

Background and Objective: The dual role of cities in creating environmental tensions and their potential to change the direction towards sustainable development has made these centers sensitive and important and facing many challenges. So, today the challenges of the environment and urban infrastructure are facing citizens and city managers and decision makers in the field of civil life as a serious issue. In this regard, this research aims to identify the effects of urban development on the environmental pollution of Karaj metropolis and design the relationships of these factors.

Material and Methodology: This research is applied in terms of goal setting and descriptive-analytical in terms of method. In order to identify the factors affecting environmental pollution, content analysis method was used. In the interpretive structural modeling section, the opinions of academic experts in the field of urban environment have been used. The data collection tool is a two-by-two questionnaire. The obtained data and information have been analyzed using the new interpretive structural analytical method (ISM) and finally, by using MICMAC analysis, the types of variables have been identified and clustered according to their impact and effectiveness on other variables. became

Findings: The findings of the research showed that the factor of air pollution or air quality with the penetration power of 8 is the most effective and the most important factor affecting the environmental pollution caused by the development of Karaj city. On the other hand, the pollution caused by the construction industry and air inversion have the least impact on the air pollution of Karaj metropolis with the penetration power of 2.

Discussion and conclusion: According to the obtained results, it can be said that air quality and environmental pollution are very important in Karaj city. Therefore, it is necessary to consider environmental considerations as a prominent priority in planning urban development and community building.

Key words: urban development, structural-interpretive modeling, environmental pollution, Sustainable Development.

1- PhD student in Geography and Urban Planning, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2- Full Professor, Department of Geography, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.
*(Corresponding author)

3- Assistant Professor, Department of Geography, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

مقدمه

شهر بزرگترین بستر اجتماعات انسانی و مؤثرترین سیستم هوشمند تأثیرگذار بر شرایط و مشخصه‌های زیست محیطی زمین است و از همان آغاز مبدأ اصلی تحولات و رویدادهای عمده در بستر تاریخ و مکان، دگرگونی رهیافت و نگرش‌ها در فرایند حرکت برای دستیابی و تجربه بهترین شرایط مطلوب برای بشریت بوده است (۱).

در این بین شهرنشینی به عنوان دومین انقلاب در فرهنگ انسان، باعث دگرگونی در روابط متقابل انسان‌ها با یکدیگر شده، با افزایش جمعیت شهرنشین، بهره‌برداری از محیط تشدید می‌گردد (۲). در چند دهه گذشته رشد شتابان شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های صنعتی، زیرساخت‌های شهری را کاهش و ضایعات زیست‌محیطی را افزایش داده است (۳). و شهرها به‌طور فزاینده‌ای در معرض بحران‌های ناگوار، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه هستند (۴). افزایش ۳۵ درصدی غلظت گاز دی اکسید کربن نسبت به ۱۵۰ سال پیش در سال ۲۰۰۵، تایید بر این مسئله است (۵).

فقر، تخریب محیط‌زیست، رشد سکونتگاه‌های غیررسمی، توسعه بی‌قواره شهری، برهم خوردن سیما و منظر شهری، افزایش آلودگی‌های ناشی از زباله‌ها و نخاله‌های شهری، آلودگی هوا و منابع از جمله بحران‌های مربوط به این موضوع است (۶). آلودگی یکی از محصولات جانبی طبیعی توسعه فیزیکی سریع شهرهای بزرگ است (۷). صنعتی شدن، افزایش جمعیت و استفاده از وسایل نقلیه موتوری در شهرها به افزایش این سطح آلودگی کمک می‌کند (۸). در این بین این شهرها با یک چالش دو جانبه روبرو هستند. از یک طرف، آن‌ها می‌خواهند صنایع و شرکت‌هایی را جذب کنند که بتوانند به رشد و توسعه شهر آن‌ها کمک کنند (۹). از طرف دیگر، تجمع انواع خاصی از صنایع می‌تواند آلودگی هوا و آب را افزایش دهد و تمرکز مردم در شهرها اغلب با افزایش استفاده از حمل و نقل موتوری منبع اصلی هر دو آلودگی هوا است (۱۰). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این چالش‌ها از یک سو نتیجه ازدیاد تراکم جمعیت در مناطق کلان‌شهری و از سوی دیگر نادیده گرفتن مقررات زیست محیطی است (۱۱).

در این راستا، کلان شهر کرج هم با توجه به نزدیکی به شهر تهران به دنبال تمرکز فزاینده جمعیت و فعالیت و فشارهای ناشی از آن، رشد فوق العاده‌ای را تجربه کرده است که با خسارات فراوانی به محیط‌زیست اطراف آن، همراه بوده است. این شهر پس از تهران بزرگ‌ترین شهر مهاجرپذیر ایران است. امروزه به دلیل رشد بی‌رویه جمعیت ناشی از مهاجرت بر در سال ۱۳۹۵ چهارمین شهر پرجمعیت کشور و به عنوان یکی از ۸ شهر آلوده کشور محسوب می‌شود. امروزه بخش اعظم شهر کرج به علت گسترش شهر، تردد زیاد وسایل نقلیه و کارخانه‌ها، واحدهای تولیدی و صنعتی و کارخانجات در اثر مصرف فرآورده های نفتی از قبیل گازوئیل، مازوت در معرض خطر آلودگی هوا، خاک و آب قرار گرفته‌اند. به طوری که در زمستان و پاییز، پدیده وارونگی دما کاملاً قابل لمس است. اهمیت بررسی ارتباط میان اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی برای پی بردن به نوع و شدت روابط بین آن‌ها، برای تحلیل یکپارچه و اعمال سیاست‌های مناسب جهت کاهش آلودگی حائز اهمیت است. افزون بر این، در همسویی با چنین ضرورتی، این مقاله به مدل‌یابی اثرات زیست محیطی توسعه شهر کرج با استفاده از مدل تحلیل نوین ساختاری تفسیری (ISM) می‌پردازد. این هدف با طرح و تبیین دو پرسش اصلی ردیابی و مطالعه علمی شده است؛ ۱- مدل ساختاری-تفسیری اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی شهر کرج چگونه است؟ ۲- وضعیت خوشه‌بندی اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی شهر کرج چگونه است؟

صیادی و همکاران (۱۳۹۷)، در مقاله‌ای به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی شهر اصفهان با تأکید بر آلودگی هوا پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد شرایط زیست‌محیطی شهر اصفهان از نظر آلودگی هوا در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۰ به سمت ناپایداری سوق پیدا کرده است؛ به گونه‌ای که سال ۱۳۹۰ بیشترین میزان آلودگی را دارد؛ همچنین میزان گاز دی‌اکسید گوگرد و منوکسیدکربن بیش از سایر آلاینده‌ها در ناپایداری زیست‌محیطی شهر اصفهان تأثیر داشته است (۱۲).

حاجتی ضیایی و همکاران (۱۴۰۰)، در مقاله‌ای به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی خزش شهری در روند توسعه شهر رشت پرداخته‌اند. در تحقیق حاضر، برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی خزش شهری در شهر رشت، از روش ماتریس ارزیابی اثرات سریع (RIAM) استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که توریسم، فعالیت‌های کشاورزی، تنوع زیستی، فون و گونه‌های جانوری و آلودگی آب‌های سطحی بیشترین اثرات منفی را بر خزش شهری در شهر رشت دارند (۱۳).

حیدری و همکاران (۱۴۰۱)، در مقاله‌ای به تحلیل پایداری زیست‌محیطی شهر زنجان و بازتولید کیفیت فضای شهری در آن پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد تجمع عوامل جاذب سرمایه و فعالیت در بافت فرسوده بخش مرکزی شهر زنجان از یکسو و کمبود اشغال کامل اراضی از طرف دیگر؛ موجب تراکم و تمرکز شدید انواع فعالیت‌ها در این ناحیه شده است. این پدیده به اشباع کاربری‌ها، تجزیه بیش از حد اراضی، پیچیدگی نظام مالکیت و اجاره زمین، بهره‌کشی نامناسب و شدید از فضا منجر شده که خود زمینه‌ساز انواع آلاینده‌ها و تعارض‌های دیگر بوده است (۱).

لیو^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای به بررسی تأثیرات توسعه شهری بر کاربری‌های زمین در کشور چین پرداختند و نتایج آنان بر روی شهر چانگ کینگ نشان داد که انفجار شهری در چانگ کینگ در قالب پارک‌های صنعتی، جوامع مسکونی و توسعه غیررسمی در مناطق شهری مشهود است و به سرعت در حال گسترش به سمت مناطق اطراف شهر است. آن‌ها در مطالعاتشان دریافتند که انگیزه‌های مالی زمین موجب گسترش شهرنشینی در چانگ کینگ شده است (۱۴).

ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای به ارزیابی تأثیرات توسعه شهرهای چین بر رشد آلاینده‌های زیست‌محیطی پرداخته است. نتیجه این پژوهش نشانگر این بود که فرم‌های شهری مختلف (بر حسب تراکم‌های مسکونی، تمرکز شغلی و ترکیب کاربری زمین) به مقادیر گوناگونی زمین برای جمعیت و

فعالیت‌ها نیاز دارند که منجر به سطوح مختلفی از مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن می‌شود (۱۵).

بیکس^۳ (۲۰۲۳)، در مقاله به بررسی تأثیر آلودگی هوای شهر آدیس آبابا با سلامت عمومی شهروندان پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان داد صنایع و وسایل نقلیه موتوری قدیمی در شهر آدیس آبابا خطرات بالای بر سلامتی شهروندان دارد و لازم است مسافت‌ها بین محل کار و زندگی کاهش یابد و زیرساخت‌های لازم برای استفاده از حمل و نقل عمومی برای شهروندان فراهم گردد (۳).

نوآوری این پژوهش در قیاس با پژوهش‌های یاد شده قوام بخش این فرضیه است که تا کنون پژوهشی به مدلسازی اثرات آلودگی‌های زیست‌محیطی بر شهرها صورت نگرفته است. بیشتر تحقیقات یاد شده به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی و اثرات توسعه شهری بر افزایش دامنه آلودگی‌ها پرداخته‌اند. همچنین نوآوری دیگر این مقاله استفاده از روش تحلیلی نوین ساختار-تفسیری (ISM) است. مدلسازی ساختاری تفسیری روشی اکتشافی برای شناسایی روابط شاخص‌ها و سطح‌بندی آنها مبتنی بر پارادایم تفسیرگرایانه است. با استفاده از این روش می‌توان الگوی روابط علی و پیچیده میان یک مجموعه از عوامل را شناسایی کرد.

مروری بر مبانی نظری

گسترش جوامع انسانی و توسعه شهرنشینی موجب پیدایش پدیده‌هایی چون تخریب و آلودگی محیط‌زیست شده است. این امر تنها به یک کشور و یا یک قلمرو خاص مربوط نیست، بلکه مشکل کل جهان است و در برگیرنده مسائل مختلفی نیز هست (۱۶). لذا مساله بحران‌های زیست‌محیطی در سال‌های اخیر در محافل علمی اهمیت زیادی پیدا کرده و دیدگاه‌ها و نظریات مختلفی را در پی داشته است، زیرا طی سال‌ها عوامل زیادی به تخریب محیط‌زیست منجر شده است (۱).

با پشتوانه نظریه تکنیک محوری^۴ ظرف مدت دو قرن، رونق اندیشه‌های توسعه صنعتی، شهرگرایی و شهرنشینی مبتنی بر

3- Bikis

4- Technocentrism

1- Liu

2- Zheng

در این بین ارزیابی اثرات زیست محیطی برای شناسایی اثرات احتمالی بر روی محیط زیست و ارائه برنامه مدیریت زیست-محیطی در کاهش مشکلات مربوطه نقش مهمی دارد (۲۰). نگرانی‌های ناشی از ناپایداری زیست محیطی، نخستین بار در مقیاسی گسترده در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ بروز کرد و به دنبال آن مبحث زبان‌ها و خسارت‌های زیست محیطی مورد توجه قرار گرفت. سابقه توجه به موضوع توسعه پایدار و مباحث زیست محیطی نیز عمدتاً به سال‌های پس از جنگ جهانی دوم و به خصوص دهه ۱۹۶۰ میلادی مربوط می‌شود؛ یعنی زمانیکه راشل کارسون^۳ با انتشار کتاب بهار خاموش به خسارات ناشی از مواد شیمیایی در کشاورزی اشاره کرد که انتشار آن را می‌توان آغاز جنبش زیست محیطی مدرن در چارچوب الگوی توسعه پایدار شهری دانست (۲۱). یکی دیگر از منابع مهم در تحلیل علل مسائل زیست محیطی و تدوین اصول و راهکارهای سبز، کتاب کوچک زیباست نوشته شوماخر^۴ است که در سال ۱۹۷۴ انتشار یافت. کتاب مذکور این نظریه را که بشر می‌تواند همچنان با نرخ فزاینده‌ای به تولید و مصرف هر چه بیشتر در این سیاره محدود یعنی (زمین) بپردازد را مورد چالش جدی قرار می‌دهد (۲۲). لوفور فیلسوف فرانسوی بحث تحول فضاهای زیست محیطی را در مقیاسی فلسفی نگریسته است و با بیان مفهوم پردازی دیالکتیک، محیط زیست شهری را به واسطه قرارگیری در معرض تبدیل شدن به کالاهایی با قابلیت اقتصادی، در آستانه فروپاشی و نابودی تلقی نموده است (۲۳). بررسی سیر تحولات ارزیابی پیامدهای محیط زیستی در سطح جهان فراز و نشیب‌های زیادی را نمایان می‌سازد. پیشگام موضوع ارزیابی محیط زیستی در جهان ایالات متحده آمریکا است. برای نخستین بار در خلال کنفرانس حفاظت از محیط زیست آمریکا در سال ۲۹۵۸ میلادی، رئیس جمهور وقت آمریکا، خواهان آتیه نگری در مورد آلودگی‌ها شد. اما تا سال ۱۹۶۹ هیچ قانون موثر و مدونی در این زمینه به تصویب نرسید. اثر مک هارگدر در سال ۱۹۶۹ تحت عنوان "طراحی با طبیعت" بر ارزش ملاحظات پیش بینانه و منظم در مورد

بهره‌برداری فزاینده و بی‌رویه از منابع و ذخایر طبیعت، محیط-های طبیعی بکر و دست‌نخورده دچار زخم‌های عمیق و تخریب-های ترمیم‌ناپذیر شده و ایجاد کانون‌های بحران زیستی در شهرها و تخریب و نابودی منابع و ذخایر در نواحی طبیعی و تغییرات اقلیمی به عنوان اصلی‌ترین چالش جامعه جهانی رخ نموده است. در این راستا، در اواخر قرن بیستم آشتی میان توسعه شهری فزاینده برای نیازهای جمعیت شهرنشین از یکسو و ظرفیت‌های محدود محیط زیست از سوی دیگر به صورت دغدغه اصلی درآمده است. عبور از این چالش نیازمند بررسی و تجدید نظر اساسی در بنیان رابطه انسان، محیط، شهر و محدودیت‌های توسعه است (۱۷). در این چارچوب سالبان اخیر، مطالعات گوناگونی پیرامون مفهوم و ماهیت محیط زیست شهری در ابعاد مختلف آن صورت گرفته است که در چارچوب این بحث، ضمن مروری بر این پژوهش‌ها، از منظر مطالعات استراتژیک و آینده‌نگرانه نیز به ارائه تعاریفی از محیط زیست شهری پرداخته شده است. ادوارد سوجا^۱ پایداری زیست محیطی را از منظر فعالیت‌های انسانی در سطح فضاهای شهری بررسی کرده است و با بیان اثرگذاری دو سویه فعالیت‌های انسانی و محیط زیست شهری بر یکدیگر تحول در فضا را عامل اساسی در سنجش تکامل و پایداری فضا ارزیابی می‌کند که بی-توجهی به آن، فجایع جبران ناپذیری را در شهرها به بار خواهد آورد (۱۸).

از دیدگاه گیر آر دت^۲، فضا و محیط زیست شهری شهری عامل مشترک در تمام کنش‌ها و ماندگارترین میراث فرهنگی جوامع شهری است که در طول زمان دستخوش دگرگونی و تحول خواهد شد و با بر هم خوردن این تعادل، تداوم چرخه حیات با مشکل مواجه خواهند شد. در این راستا نظریه توسعه پایدار شهری برای حل مشکلات شهرها ارائه شده است. نظریه توسعه پایدار شهری، اصل بحث‌های طرفداران محیط زیست در باره مسائل زیست محیطی به خصوص محیط زیست شهری است که به دنبال نظریه توسعه پایدار برای حمایت از منابع ارائه شده است (۱۹)

محدودیت‌های محیط زیستی و اثرات توسعه تاکید داشت. اثر مک هارگر را می‌توان به عنوان طلایه دار ارزیابی اثرات زیست محیطی قلمداد کرد (۲۴).

روش پژوهش

این مقاله براساس روش توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف‌گذاری کاربردی است. به منظور شناسایی عوامل موثر بر آلودگی‌های زیست محیطی شهر کرج، از تحلیل محتوا استفاده شد. در ادامه این عوامل با استفاده از نظرات خبرگان و متخصصین دانشگاهی در حوزه شهری و محیط زیست مورد بررسی قرار گرفت. ابزار جمع‌آوری داده‌ها به صورت پرسشنامه محقق ساخته می‌باشد و روایی پرسشنامه با ملاک روایی صوری بررسی گردید.

روش نمونه‌گیری: روش دلفی و نیز روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ایجاب می‌کند که اطلاعات از خبرگان و متخصصان دریافت و تحلیل شود. برای انتخاب تیم دلفی و تیم ISM، چون هدف تعمیم نتایج نیست، از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شده است. معیارهای انتخاب خبرگان، تسلط نظری، تجربه عملی، تمایل و توانایی مشارکت در پژوهش و دسترسی است. نکته قابل توجه در تعیین تعداد خبرگان، کسب اطمینان از جامعیت دیدگاه‌های مختلف در پژوهش می‌باشد. تعداد خبرگان شرکت کننده در ISM مقالات بررسی شده معمولاً بین ۱۴ الی ۲۰ نفر انتخاب شده است (۲۵). با توجه به

معیارهای فوق، در نهایت تعداد ۱۸ نفر از خبرگان و متخصصان دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، برای شرکت و همکاری در فرآیند پژوهش انتخاب شده است.

روایی محتوایی: با استفاده از روش تحلیل محتوایی، اثرات توسعه شهری بر آلودگی زیست محیطی شناسایی شده و برای تفسیر روابط بین آن ابعاد و شاخص‌ها، مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) انجام شده است. زیرا این مدل، یک روش استقرار مطلوب برای شناسایی و تحلیل روابط بین ابعاد و شاخص‌ها است. روایی محتوایی پرسشنامه در این پژوهش به حد و میزانی اشاره دارد که یک ابزار منعکس کننده محتوای مشخص مورد نظر باشد. بر اساس روش لاوشه، برای ایجاد روایی محتوایی در پرسشنامه، ابتدا با مرور ادبیات در حوزه مورد مطالعه، دامنه محتوا و آیتم‌های ساخت پرسشنامه تدوین می‌شود، سپس از اعضای پانل محتوا خواسته می‌شود با انتخاب یکی از سه گزینه «ضروری»، «مفید اما نه ضروری» یا «غیر لازم»، به میزان مناسب بودن هر آیتم پاسخ دهند. بر این اساس، با کمک رابطه شماره یک، نسبت روایی محتوایی محاسبه شده و با توجه به سطح مورد نیاز برای معناداری آماری ($p < 0.05$) حداقل $CVR = 0.75$ برای هر مرحله جهت پذیرش آن مرحله به دست می‌آید (۲۶). به عنوان نمونه نسبت روایی محتوایی برای شهر کرج برابر ۰/۸ می‌باشد به صورت زیر محاسبه شده است. به عبارت روشن‌تر یعنی

$$CVR = \frac{\frac{N_e - N}{2}}{\frac{N}{2}} = \frac{19 - \frac{20}{2}}{\frac{20}{2}} = 0.8 \quad (1)$$

N_e = تعداد اعضای که پاسخ ضروری داد، N = تعداد کل

اعضای پانل

فرایند مدل‌سازی ساختاری تفسیری:

مدل‌سازی تفسیری-ساختاری یک روش سیستماتیک و ساختاریافته برای برقراری رابطه و فهم روابط میان عناصر یک سیستم پیچیده است که در سال ۱۹۷۴ توسط وارفیلد معرفی شد (۲۷). مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) فرایندی متعامل است که در آن، مجموعه‌ای از عناصر مختلف و مرتبط با همدیگر در یک مدل سیستماتیک جامع ساختار بندی می-شوند (۲۸). این روش روابط پیچیده میان عناصر یک سیستم را

پایایی: برای سنجش پایایی پرسشنامه ISM از روش آزمون مجدد استفاده شده است. بر این اساس، پرسشنامه مزبور دوباره به ۴ نفر از خبرگان و متخصصان که دسترسی مجدد به آن‌ها امکان‌پذیر بود، ارسال شد. در نهایت، مجموع همبستگی پاسخ-های اعلام شده از طرف خبرگان برای هر دو مرحله ۰/۷۸ محاسبه شد. این شاخص موید آن است که پرسشنامه دارای پایایی قابل قبولی می‌باشد.

قاعده دوم: طبق این قاعده که به قاعدهٔ تکرار معروف است، بر اساس اولین جدول با توجه به کوچک‌ترین مجموع فراوانی در ستون مجموع خروجی و مجموع مشترک، عنصر یا عناصر سطح‌بندی می‌شوند. عناصر سطح‌بندی شده از جدول حذف و مجدداً قاعده اجرا می‌شود. فرایند حذف و روابط غیر مستقیم تعمیم می‌یابد.

گام آخر: تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی (نمودار MICMAC). بر اساس قدرت وابستگی و نفوذ متغیرها می‌توان یک دستگاه مختصات تعریف و آن را به چهار قسمت تقسیم کرد. گروه اول، متغیرهای خود مختار (ناحیه ۱) که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند. گروه دوم، متغیرهای وابسته^۱ (ناحیه دوم) را شامل می‌شود که از قدرت نفوذ ضعیف، اما وابستگی بالایی برخوردارند. گروه سوم، متغیرهای پیوندی^۲ (ناحیه سوم) هستند. این متغیرها قدرت نفوذ و وابستگی بالایی دارند. گروه چهارم، متغیرهای مستقل (کلیدی)^۳ (ناحیه ۴) می‌باشند.

محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر کرج به عنوان مرکز استان البرز، با مساحتی بالغ بر ۱۷۵ کیلومتر مربع، طبق سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیتی معادل ۱۵۹۲۴۹۲ نفر دارد (۳۱). افزایش جمعیت فعال و رشدیابی بخش صنعت و خدمات شهری در فاصلهٔ دههٔ ۴۵ تا ۵۵ و کاهش شاغلین در بخش کشاورزی، گسترش فعالیت‌های ساختمانی، گرانی مسکن و زمین در شهر تهران و همجواری آن با کرج و سوق یافتن جمعیت جهت سکونت در شهر کرج، وجود منابع آب کافی، گسترش باغداری در کنار توسعه صنایع، قرارگیری شهر بر سر راه ارتباطی شهر تهران و دیگر شهرهای کشور، تفاوت‌های آب و هوایی و ملایمت هوای منطقه کرج نسبت به تهران و نیز هجوم جمعیت از تهران به کرج جهت سکونت و یا گذران تعطیلات آخر هفته و امثال آن سبب گردید تا منطقه شهری کرج از توسعه و رشد

بررسی می‌کند؛ به بیان دیگر، ابزاری است که به وسیله آن، گروه می‌تواند بر پیچیدگی بین عناصر غلبه کند (۲۹). این چارچوب روش‌شناسی، به ایجاد و جهت دادن به روابط پیچیدهٔ میان عناصر یک سیستم کمک می‌کند (۳۰). ایده اصلی مدل-سازی ساختاری تفسیری، تجزیه یک سیستم پیچیده به چند زیر سیستم، با استفاده از تجربه عملی و دانش خبرگان به منظور ساخت یک مدل ساختاری چند سطحی می‌باشد. گام-های این روش تحلیلی به صورت ذیل است که عبارتند از:

گام اول: شناسایی متغیرهای مربوط به مسئله. این مرحله با بررسی مطالعات گذشته و دریافت نظر کارشناسان انجام می‌شود.

گام دوم: تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری. در این مرحله، متغیرها به صورت دویه دو با هم بررسی می‌شوند و پاسخ‌دهنده با استفاده از نمادهای ذیل به تعیین روابط متغیرها می‌پردازد:

نماد V: یعنی i منجر به j می‌شود.

نماد A: یعنی j منجر به i می‌شود.

نماد X: ارتباط دوطرفه از i به j و برعکس

نماد O: هیچ ارتباطی بین i و j وجود ندارد.

گام سوم: ایجاد ماتریس دسترسی اولیه. در این مرحله، ماتریس خودتعاملی ساختاری به یک ماتریس دو دویی تبدیل می‌شود و ماتریس دسترسی اولیه به دست می‌آید. از طریق تبدیل نمادهای A و O به صفر و X و V به یک، ماتریس خودتعاملی ساختاری به ماتریس دو دویی تبدیل شده، که به اصطلاح ماتریس دسترسی اولیه خوانده می‌شود.

گام چهارم: ایجاد ماتریس دسترسی نهایی. پس از آنکه ماتریس دسترسی اولیه به دست آمد، با وارد کردن انتقال پذیری در روابط متغیرها، ماتریس دسترسی نهایی به دست می‌آید.

گام پنجم: بخش‌بندی سطح وارفیلد، دو قاعدهٔ اصلی برای سطح‌بندی بیان می‌کند.

قاعده اول: مجموع فراوانی عناصر را بر اساس ستون مجموع خروجی و مجموعه مشترک معین کرده، به ترتیب از کوچک-ترین تا بزرگ‌ترین فراوانی سطح بندی کنیم.

1- Dependent variables

2- Linkage variables

3- Autonomous variables

کوچک» داده شده است (شکل ۱). این شهر در سال ۱۳۹۵ با رشد سالیانه ۳/۱۴ درصد بالاترین رشد جمعیت و دارای ۱۲ منطقه شهری است (۳۲).

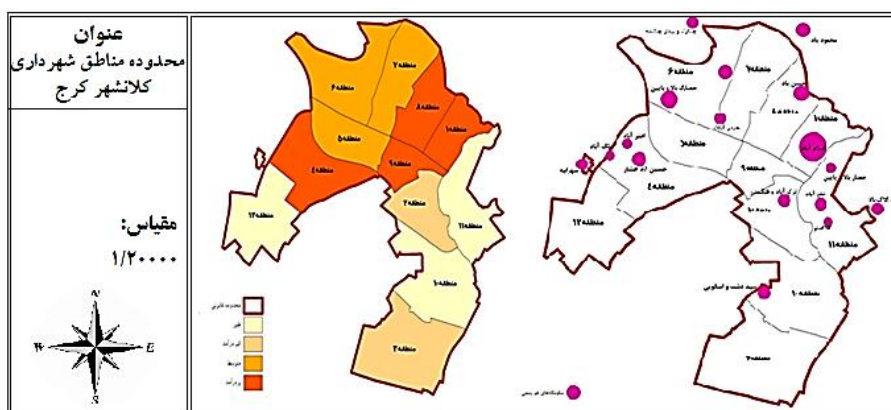
فزاینده‌ای برخوردار گردد و در سال‌های بعد این رشد بطور چشمگیری شدت یابد. کرج پس از تهران بزرگ‌ترین شهر مهاجرپذیر ایران است و به همین دلیل به آن لقب «ایران

جدول ۱- جمعیت شهر کرج از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵

Table 1. Population of Karaj city from 1956 to 2016

سال	۱۳۳۵	۱۳۴۵	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۰	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
جمعیت	۵۲۶/۱۴	۲۴۳/۴۴	۹۲۶/۱۳۷	۵۱۰/۶۱۱	۳۶۳/۸۰۶	۹۶۸/۹۴۰	۳۰/۳۱۸/۱	۶۲۶/۶۱۴/۱	۴۷۰/۹۷۳/۱

منبع: مرکز آمار ایران



شکل ۱- موقعیت کلان‌شهر کرج در ایران و استان البرز

Figure 1. Location of Karaj metropolis in Iran and Alborz province

ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۱

یافته‌ها

شناسایی اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست

محیطی شهر کرج

در این تحقیق پس از شناسایی مهمترین عوامل تاثیرگذار توسعه شهر کرج بر آلودگی زیست محیطی آن، این عوامل با استفاده از رویکرد ISM سطح‌بندی شدند. در مرحله اول

عوامل نهایی نشأت گرفته از موضوع مورد مطالعه با مطالعه ادبیات نظری استخراج شدند. این عوامل موثر پس از بررسی و تأیید توسط خبرگان در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- عوامل آلودگی زیست محیطی متأثر از توسعه شهر کرج

Table 2. Factors of environmental pollution affected by the development of Karaj city

ابعاد	ردیف	عوامل	منابع پشتیبان
آلودگی هوا	c1	آلودگی هوا	ولی پور پاشاکلایی و همکاران، ۱۳۹۹
	c2	وارونگی هوا	ولی پور پاشاکلایی و همکاران، ۱۳۹۹
آلودگی آب	c3	آب‌های زیر زمینی	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴ و ولی پور پاشاکلایی و همکاران، ۱۳۹۹
	c4	آب‌های سطحی	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴ ولی پور پاشاکلایی و همکاران، ۱۳۹۹
پوشش گیاهی و فضای سبز	c5	پوشش طبیعی	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴ و ولی پور پاشاکلایی و همکاران، ۱۳۹۹
	c6	فضای سبز	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صیدایی و همکاران، ۱۳۹۷
آلودگی خاک	c7	تغییر توپوگرافی	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صیدایی و همکاران، ۱۳۹۷
	c8	مواد زائد جامد	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صیدایی و همکاران، ۱۳۹۷
	c9	آلاینده خاک	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صیدایی و همکاران، ۱۳۹۷
	c10	فرسایش خاک	حسینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صیدایی و همکاران، ۱۳۹۷
آلودگی صوتی	c11	حمل و نقل و ترافیک	Poon et al., 2006
	c12	صنعت و ساخت‌وساز	Wang et al., 2014

ماتریس خود تعاملی ساختاری^۱ (SSIM)

پس از شناسایی اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی شهر کرج، این عوامل در ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM) وارد شد. مدل‌سازی ساختاری تفسیری پیشنهاد می‌نماید که از نظرات خبرگان بر اساس تکنیک‌های مختلف مدیریتی از جمله توفان فکری^۲، گروه اسمی^۳ و غیره در توسعه روابط محتوایی میان متغیرها استفاده شود. بنابراین این ماتریس با استفاده از چهار حالت روابط مفهومی تشکیل شد و توسط خبرگان تکمیل گردیده است. اطلاعات حاصله بر اساس متد مدل‌سازی ساختاری تفسیری جمع‌بندی شده و ماتریس خود تعاملی ساختاری نهایی تشکیل گردیده است. علائم و حالت‌های مورد استفاده در این رابطه مفهومی عبارتند از:

-
- 1- Structural Self – Interaction Matrix
 - 2- Brain storming
 - 3- Nominal Group

جدول ۳- ماتریس خود تعاملی ساختاری اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی

Table 3. Structural self-interaction matrix of the effects of urban development on environmental pollution

C12	C11	C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	j \ I
V	V	X	O	X	V	X	V	X	A	O	-	C1
O	O	A	X	O	V	A	O	A	O	-		C2
V	O	V	A	X	V	X	V	V	-			C3
O	X	V	X	X	A	O	V	-				C4
X	X	O	X	V	V	A	-					C5
V	X	V	O	V	A	-						C6
O	X	A	A	X	-							C7
X	A	A	O	-								C8
O	X	X	-									C9
O	X	-										C10
O	-											C11
-												C12

ماتریس دسترسی اولیه^۱

ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی (صفر-یک) حاصل گردیده است. برای استخراج ماتریس دسترسی، باید در هر سطر عدد یک را جایگزین علامت‌های V ; X و عدد صفر را جایگزین علامت‌های A ; و O و در ماتریس دسترسی اولیه شود، پس از تبدیل تمام سطرها، نتیجه حاصله ماتریس دسترسی اولیه نامیده می‌شود. سپس روابط ثانویه بین بعد / شاخص‌ها کنترل شده است. رابطه ثانویه به گونه‌ای است که اگر بُعد J منجر به بُعد I شود و بُعد K منجر به بُعد J منجر به بُعد K خواهد شد (جدول ۴).

1- Initial reachability matrix.

جدول ۴- ماتریس دسترسی اولیه

Table 4. Primary access matrix

C12	C11	C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	I \ J
1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	C1
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	C2
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	C3
0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	C4
1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	C5
1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	C6
0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	C7
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	C8
0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	C9
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	C10
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	C11
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	C12

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

ماتریس دسترسی نهایی^۱

پس از تشکیل ماتریس دسترسی اولیه اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی کرج با دخیل نمودن انتقال‌پذیری در روابط متغیرها، ماتریس دسترسی نهایی تشکیل می‌شود تا ماتریس دسترسی اولیه سازگار شود. بدین صورت که اگر (i,j) با هم در ارتباط باشند و نیز (j,k) باهم رابطه داشته باشند؛ آنگاه (i,k) با هم در ارتباط هستند. در این مرحله، کلیه روابط ثانویه بین متغیرها، بررسی می‌شود و ماتریس دسترسی نهایی مطابق جدول (۵) به‌دست آمده است. در این ماتریس قدرت نفوذ هر متغیر عبارت است از تعداد نهایی متغیرهایی (شامل خودش) که می‌تواند در ایجاد آن‌ها نقش داشته باشد. میزان وابستگی عبارت است از تعداد نهایی متغیرهایی که موجب ایجاد متغیر مذکور می‌شوند.

جدول ۵. ماتریس دسترسی نهایی

Table 5. The ultimate access matrix

قدرت نفوذ	C12	C11	C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	I
8	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	C1
2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	C2
7	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	C3
7	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	C4
5	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	C5
6	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	C6
4	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	C7
5	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	C8
7	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	C9
6	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	C10
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	C11
2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	C12
	5	7	6	5	9	8	4	7	6	2	4	4	میزان وابستگی

در جدول (۵)، قدرت نفوذ (میزان تأثیری که هریک از عوامل بر سایر عوامل دارند) ۱۲ عامل آلودگی شناسایی شده است. نتایج بیانگر این می‌باشد که عامل آلودگی هوا با میزان قدرت نفوذ ۸ بیشترین تأثیر و آلودگی‌های ناشی از صنعت ساخت و ساز و وارونگی هوا و با میزان قدرت نفوذ ۲ کمترین تأثیر را در بین آلودگی‌های زیست محیطی در شهر کرج دارند.

سطح‌بندی اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست

محیطی کرج

در این مرحله از پژوهش بعد از ماتریس دسترسی نهایی به سطوح مختلف دسته‌بندی می‌شود. برای تعیین سطح متغیرها در مدل نهایی، به ازای هر کدام از آن‌ها، سه مجموعه خروجی، ورودی و مشترک تشکیل می‌شود. در اولین جدول شاخص یا

متغیرهای که اشتراک مجموعه خروجی و ورودی آن یکی است، در فرآیند سلسله مراتب به‌عنوان مجموعه مشترک محسوب می‌شوند، به‌طوری که این متغیرها در ایجاد هیچ متغیر دیگری مؤثر نیستند. پس از شناسایی بالاترین سطح، آن متغیرها از فهرست سایر متغیرها کنار گذاشته می‌شود. این تکرارها تا مشخص شدن همه متغیرها، ادامه می‌یابد. نتایج حاکی از آن است که عامل آلودگی هوا یا کیفیت هوا (AQI) از بعد آلودگی هوا به عنوان قوی‌ترین عامل روند توسعه شهری بر افزایش آلودگی‌های زیست محیطی در شهر کرج عمل می‌کند که بیشترین قدرت نفوذ را داشته و همانند سنگ زیربنای مدل عمل می‌کند و برای کاهش و کنترل آلودگی‌های ناشی از توسعه شهری در کرج باید در وهله اول روی آن تأکید شد (جدول ۶).

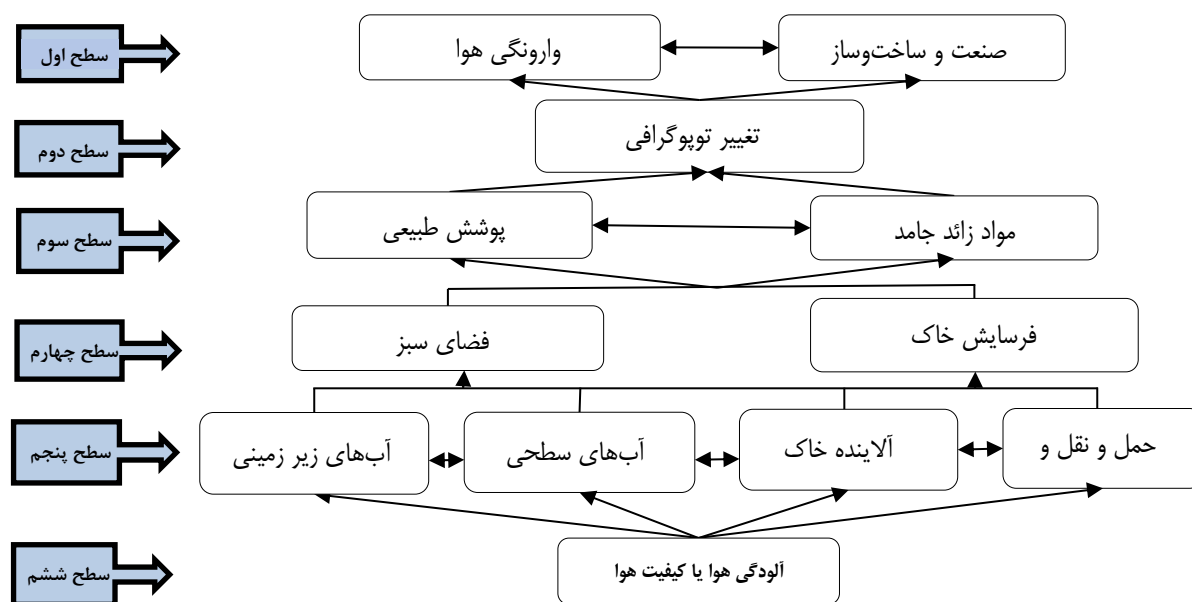
جدول ۶- سطح بندی اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی کرج

Table 6. Stratification of the effects of urban development on environmental pollution in Karaj

عوامل	مجموعه خروجی	مجموعه ورودی	مجموعه مشترک	سطح
آلودگی هوا	۱۲۰۱۱۰۸۰۷۰۵۴	۱۰۸۰۷۰۶۰۴	۱۰۸۰۷۰۴	ششم
وارونگی هوا	۹۰۷	۱۰۸۰۷۰۴	۹	اول
آب‌های زیر زمینی	۱۲۰۱۱۰۸۰۷۰۵۴	۹۰۸	۸۰۶	پنجم
آب‌های سطحی	۱۱۰۱۱۰۹۰۸۰۷۰۲۰۱	۱۱۰۹۰۷۰۳۰۱	۱۱۰۹۰۸۰۱	پنجم
پوشش طبیعی	۱۲۰۱۱۰۹۰۸۰۷	۱۲۰۱۱۰۹۰۴۰۳۰۱	۱۲۰۱۱۰۹	سوم
فضای سبز	۱۲۰۱۱۰۸۰۷۰۲۰۱	۱۱۰۷۰۳۰۱	۱۱۰۳۰۱	چهارم
تغییر توپوگرافی	۱۱۰۸۰۶۰۴۰۱	۱۱۰۸۰۷۰۳۰۲	۱۱۰۸	دوم
مواد زائد جامد	۱۲۰۷۰۴۰۳۰۱	۱۲۰۱۱۰۹۰۷۰۵۰۴۰۳۰۱	۱۲۰۷۰۴۰۳۰۱	سوم
آلاینده خاک	۱۱۰۱۱۰۷۰۵۰۳۰۲	۱۱۰۱۱۰۵۰۴۰۲	۱۱۰۱۰۵۰۴۰۲	پنجم
فرسایش خاک	۱۱۰۹۰۷۰۲۰۱	۱۱۰۹۰۷۰۳۰۱	۱۱۰۹۰۱	چهارم
حمل و نقل و ترافیک	۱۰۸۰۷۰۵۰۶۰۷۰۴	۱۰۸۰۷۰۵۰۴۰۱	۱۰۸۰۷۰۵۰۴	پنجم
صنعت و ساخت‌وساز	۸۰۵	۸۰۳۰۵۰۳۰۱	۸۰۵	اول

نماند تمامی این شاخص‌های یاد شده از مهم‌ترین عوامل کلیدی روند توسعه شهری در افزایش آلودگی‌های زیست محیطی شهر در کرج‌اند، ولی عامل‌هایی که در سطح بالای مدل‌سازی ساختاری تفسیری قرار گرفته‌اند، از تأثیرپذیری بیشتری برخوردارند. (شکل ۲).

همان‌طور که در جدول (۶) ملاحظه می‌شود اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی کرج، به شش سطح طبقه‌بندی شده‌اند. در گراف ISM روابط متقابل و تأثیرگذاری بین معیارها و ارتباط معیارهای سطوح مختلف بخوبی نمایان است که موجب درک بهتر فضای تصمیم‌گیری می‌شود. ناگفته



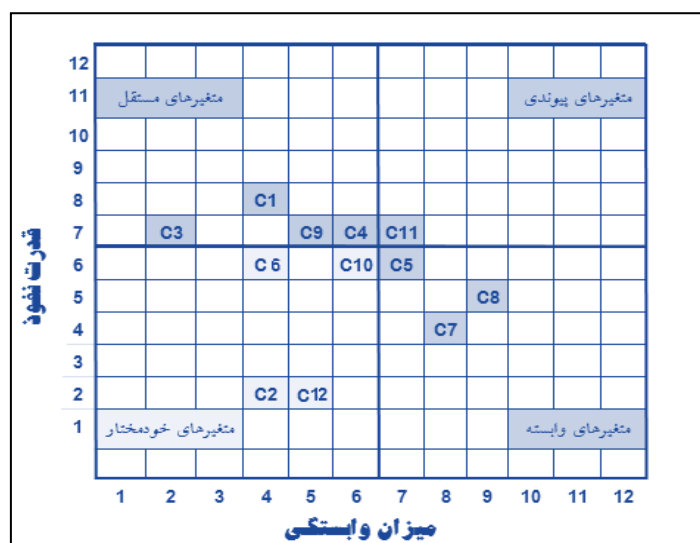
شکل ۲- مدل ساختاری تفسیری اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی کرج

Figure 2. Interpretive structural model of the effects of urban development on environmental pollution in Karaj

تحلیل MICMAC

در این مرحله با استفاده از MICMAC نوع متغیرها با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری بر سایر متغیرها مشخص خواهد شد، و پس از تعیین قدرت نفوذ یا اثرگذاری و قدرت وابستگی عوامل، تمامی عوامل اثرات توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی کرج را در یکی از خوشه‌های چهارگانه روش ماتریس اثر متغیرها در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند. همان‌طور که از شکل شماره (۳) نیز مشخص است، متغیرهای پوشش طبیعی (۵)، مواد زائد جامد (۸) و تغییر توپوگرافی (۷) بیشتر تحت تاثیر سایر عوامل بوده و از منظر سیستمی جزو عناصر اثرپذیر و وابسته می‌باشد. به عبارتی دیگر، برای ایجاد این متغیر عوامل زیادی دخالت دارند و خود آن‌ها کمتر می‌توانند زمینه‌ساز متغیرهای دیگر شوند. متغیرهای هم‌چون آلودگی هوا (۱)، آب-های سطحی (۴)، آلاینده خاک (۹) و آب‌های زیر زمینی (۳) جزو متغیرهای مستقل (کلیدی) برای آلودگی‌های زیست

محیطی شهر کرج به‌شمار می‌روند که توسعه این شهر تاثیر بسیار زیادی بر آلودگی‌های آن‌ها دارند که این متغیرها دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی کمتری دارند. متغیرهای وارونگی هوا (۲)، صنعت و ساخت‌وساز (۱۲)، فضای سبز (۶) و فرسایش خاک (۱۰) در گروه متغیرهای مستقل (خودمختار) قرار گرفتند که دارای قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف هستند. این متغیرها نسبتاً غیرمتصل به سیستم هستند و دارای ارتباطات کم و ضعیف با سیستم می‌باشند. همچنین متغیر حمل و نقل و ترافیک (۱۱) جزو متغیرهای پیوندی می‌باشد و از قدرت نفوذ و وابستگی بالایی برخوردار است. در واقع هرگونه عملی بر روی این متغیر باعث تغییر سایر متغیرها می‌شود. قدرت نفوذ و میزان وابستگی هر یک از عوامل تاثیرگذار توسعه شهر کرج بر آلودگی‌های زیست محیطی آن در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳- سطح‌بندی عوامل تاثیرگذار توسعه شهری بر آلودگی‌های زیست محیطی شهر کرج

Figure 3. Stratification of factors influencing urban development on environmental pollution in Karaj city

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، ایجاد گازهای گلخانه‌ای، ریختن پسماندها به داخل رودخانه‌ها، از بین بردن جنگل‌ها و بیابان‌زایی، و بهره‌برداری غیر بهینه از منابع آبی، ایجاد زباله‌های بدون بازیافت و مشکلات ناشی از ریزگردها، از جمله مسائل و مشکلات زیست محیطی کلانشهر کرج می‌باشد. در همین راستا، این پژوهش با هدف مدل‌سازی اثرات توسعه شهری بر

آلودگی‌های زیست محیطی شهر کرج انجام گرفت. مهمترین محدودیت‌ها در مسیر انجام این پژوهش عدم دسترسی به داده‌های به‌روز آلودگی هوا، آلودگی صوتی و آلودگی خاک شهر کرج بود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد عامل آلودگی هوا یا کیفیت هوا با میزان قدرت نفوذ ۸ بیشترین تاثیر و به عنوان متغیر اثرگذار بر آلودگی زیست محیطی شهر کرج بود. یافته-

های به دست آمده از تحلیل میک مک نشان داد متغیر حمل و نقل و ترافیک (۱۱) جزو متغیرهای پیوندی می‌باشد و از قدرت نفوذ و وابستگی بالایی برخوردار است. در واقع هرگونه عملی بر روی این متغیر باعث تغییر سایر متغیرها می‌شود. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های پژوهش (۶)، تطابق دارد به طوری که شاخص‌های آلودگی هوا و صوتی بیشترین تاثیرگذاری مستقیم را از توسعه فیزیکی آینده شهر جدید پرند به خود اختصاص داده‌اند. همچنین با نتایج پژوهش (۱۲)، همپوشانی دارد به طوری که نتایج این پژوهش نشان داد که میزان گاز دی‌اکسید گوگرد و منوکسیدکربن بیش از سایر آلاینده‌ها در ناپایداری زیست‌محیطی شهر اصفهان تأثیر داشته است.

در سوی دیگر آلودگی‌های ناشی از صنعت ساخت و ساز و وارونگی هوا مشترکاً با میزان قدرت نفوذ ۲ کمترین تاثیر را دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیش از نیمی از آلودگی هوا در شهر کرج ناشی از تردد خودروها و وسائط نقلیه موتوری می‌باشد که در شدت آلودگی هوا در آن نقش بسزایی را دارا است. هر چند در گذشته صنایع را مسئول عمده آلودگی هوا قلمداد می‌نمودند، لیکن در حال حاضر با روند روز افزون تعداد وسایل نقلیه، منبع اخیر به‌عنوان مهمترین عامل آلودگی هوا بوده و بالاترین رقم را از نظر عوامل آلوده کننده CH_4CO_2 و گازهایی از قبیل SO_2 و NO_2 محسوب گردیده است. با توجه به اوضاع اقلیمی، جغرافیایی کرج هم، در صورت افزایش بار آلودگی هوا و پایدار بودن وضعیت جوی بالاخص در فصول سرد سال خطر ایجاد پدیده وارونگی هوا و اینورژن شهر کرج را تهدید می‌نماید. در کنار این وجود شهرک‌های صنعتی در داخل و حومه کرج شامل منطقه سردرآباد ماهدشت، منطقه صنعتی جاده هلجرو، منطقه صنعتی رضوانیه، منطقه صنعتی جاده مخصوص، منطقه صنعتی زیبادشت، منطقه صنعتی آبیک، منطقه صنعتی سیمین دشت، شهرک صنعتی بهارستان، شهر صنعتی اشتهارد و فعالیت صنایع در این مناطق نیز موجبات آلودگی زیست محیطی متعددی را فراهم آورده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت که در شهر کرج کیفیت هوا و آلودگی زیست محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین، لازم است که در برنامه‌ریزی توسعه شهری و

جامعه‌سازی، رعایت ملاحظات زیست محیطی به عنوان یک اولویت برجسته مدنظر قرار گیرد. استفاده از منابع انرژی پاک، حمل و نقل عمومی موثر، توسعه فضای سبز، استفاده از فناوری‌های پایدار، حمایت از مناطق محیط زیست حساس و... تعدادی از راهکارهایی هستند که می‌توان به کاهش آلودگی زیست محیطی و بهبود کیفیت هوای شهر کرج کمک کنند. باید توجه داشت که برای کاهش آلودگی زیست محیطی و بهبود کیفیت هوای شهر کرج، نیاز به همکاری و تلاش مشترک جامعه و نهادهای مربوطه است. در نهایت، آگاهی‌بخشی عمومی و آموزش راه‌های کاهش آلودگی به عنوان بخشی از این تلاش‌ها بسیار مهم است.

پیشنهادهای

- اجرای برنامه‌های مدیریت پسماند و بازیافت موثر و کامل
- اجرای برنامه‌های کنترل ترافیک و حمل و نقل عمومی پایدار
- ترویج استفاده از ابزارهای حمل و نقل پایدار مانند دوچرخه، اتوبوس، مترو و...
- ترویج فعالیت‌های پیاده روی
- استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی به جای منابع انرژی فسیلی
- اجرای برنامه‌های مدیریت آب و بهینه سازی مصرف آب
- اجرای برنامه‌های کنترل آلودگی هوا و کاهش آلودگی صنعتی و خودروها
- ترویج کشت گیاهان خاص در شهر که قابلیت جذب آلاینده‌ها را دارند
- ترویج استفاده از مصالح سبز در ساخت و ساز
- ترویج فعالیت های زیست محیطی و مشارکت اجتماعی در تصمیم گیری های مربوط به زیست محیطی شهر

- Microstructure Noise. *Journal of Business and Economic Statistics*, 32(3), 457-467.
8. Wang, Z., L. Chen, J. Tao, Y. Zhang and Su, L. (2010). Satellite-based stimulation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method, *Remote Sensing of Environment*, Vol 114, 50-63.
 9. Hewitt, C. N., Ashworth, K., and MacKenzie, A. R. (2020). Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ), *Ambio*, 49(1), 62-73.
 10. Gracia, N, L., Soppelsa, M. E. (2019). Pollution and City Competitiveness A Descriptive Analysis, Policy Research Working Paper, Public Disclosure Authorized.
 11. Haliza, A. R., (2016). Air Pollution in Urban Areas and Health Effects Pencemaran Udara di Kawasan Bandar dan Kesan terhadap Kesihatan, *International Journal of the Malay World and Civilisation (Iman)* 4(Special Issue 2), 25-33.
 12. Seidaei, S-A., Hosseini, S-S., Yazdanbakhsh, B-Hadi. (2016). Environmental sustainability of Isfahan city with environmental environment, *Geography and Environmental Planning*, 1(29), 113-126. (In Persian)
 13. Hajjati Z, N., Samadzadeh, R., Nazm Far, H. (1400). Evaluation of the environmental effects of urban sprawl in the process of city development (case study: Rasht city), *Urban Structure and Function Studies*, 8(26), 55-30. (In Persian)
 14. Liu, Y., Fan, P., Yue, W., & Song, Y. (2018). Impacts of land finance on urban sprawl in China: The case of Chongqing, *Land Use Policy Journal*, 72, 420-432.
 15. Zheng, W., Ke, X., Xiao, B., and Zhou, T. (2019). Optimising land use allocation to balance ecosystem services and

با اجرای این پیشنهادات، می توان به طور موثری به جلوگیری از اثرات توسعه شهری بر آلودگی های زیست محیطی شهر کرج کمک کرد.

References

1. Heydari, M, T., Rahmani, M., Tahmasebi M H., Moharrami, S. (1401). an analysis of environmental sustainability and quality reproduction of urban space (case study: Zanzan city), *Human and Environment*, 3(20), 17-36. (In Persian)
2. Guangjin Tian, Zhi Qiao, Xinliang, X. (2014). Characteristics of particulate matter (PM10) and its relationship with meteorological factors during 2001-2012 in Beijing, *Environmental Pollution*, Vol 192, 266-274.
3. Bikis, A. (2023). Urban Air Pollution and Greenness in Relation to Public Health, *Journal of Environmental and Public Health*, vol. 2023, Article ID 8516622, 18 pages.
4. Firozi, M A., Mohammadi D, M., Saeedi, J. (2016). Evaluation of environmental sustainability indicators with an emphasis on air pollution and industrial pollutants, case study: Ahvaz metropolis, *Urban Ecology Research Quarterly*, 8(15), 13-28. (In Persian)
5. IEA, (2008). Issues behind Competitiveness and Carbon Leakage: Focus on heavy industry.
6. Valipour, K., Rezvani, A A., Piri, S. (1400). an analysis of the effects of the physical development of cities on the future of the urban environment (case study: Parand New City), *Urban Future Research Quarterly*, 1(1), 1-20. (In Persian)
7. Jing, B.-Y., Liu, Z., Kong, X.-B. (2014). On the Estimation of Integrated Volatility With Jumps and

- entropy, a case study: Alborz province cities, *Journal of Geographical Analysis of Space*, 9(32), 262-249. (In Persian)
23. Shields, R. (1998). London and New York: Routledge Encyclopedia of Philosophy, London.
 24. Yadollahi S, R., Ghafarian B, M., Alizadeh, M., Khatibizadeh, M. R. (2018). Environmental Impact Assessment of Tehran Iran Khodro Factory (EIA), *Environmental Science and Technology Quarterly*, 21(7), 123-135. (In Persian)
 25. Ali Akbari, E., Akbari, M. (2016). Interpretive structural modeling of factors affecting the livability of Tehran metropolis, *Space Planning and Planning*, 21 (1), 1-31. (In Persian)
 26. Jafari M, M., Akbari, M., Ataie, F., Razzaghi Ch, F. (2016). Structural-Interpretive Modeling of Factors Affecting the Development of Food Tourism (Case Example: Rasht City), *Human Settlements Planning Studies*, 12 (3), 681-698. (In Persian)
 27. Atash S, A., Feyzi, K., Kezazi, A., Elfat, L. (2016). Interpretive-structural modeling of supply chain risks in the petrochemical industry, *Industrial Management Studies Quarterly*, 4, 41, 39-63. (In Persian)
 28. Azar, A., Khosravani, P., Jalali, R. (2012). Research in soft operations of structuring approaches, *Industrial Management Organization*, first edition. (In Persian)
 29. Azar, A., Bayat, K. (2017). Designing a business process-oriented model with interpretive structural modeling (ISM) approach, *Information Technology Management Journal*, 1(1), 3-18. (In Persian)
 30. Faisal, M., Banwet, D.K. and Shankar, R. (2006). Supply chain risk mitigation: economic benefits - a case study in Wuhan, China. *J. Environ. Manag.* 248, 109306.
 16. Sarmadi, M.R., Masoumi Fard, M. (2014). study of the role of education based on information and communication technology in reducing environmental challenges with an emphasis on the urban environment, *Environmental Education and Sustainable Development Quarterly*, 4(2), 38-50. (In Persian)
 17. Masnavi, M., (2010). Sustainable urban ecosystem, paradigm or paradox? The necessity of revising the relationship between the city and the environment, *Manzar*, 3(16), 59-63. (In Persian)
 18. Soja, E. (2016). La ciudad y la justicia espacial (The city and spatial justice). In Bret, B., Gervais-Lambony, P., & Hancock, C. (eds.) *Justicia e injusticias espaciales*, 99-106.
 19. Heydari, A., Rahnema, M. R., Shokohi, M. A., Kharazmi, O. A. (2015). Analysis of spatial changes of urban environment in Mashhad metropolis using natural step future research model, *Geography and Environmental Sustainability*, 6(1), 1-19. (In Persian)
 20. Mosaferi, M., Gholampour, A., Nowroz, P., Roshan, R. (2013). Evaluation of the environmental effects of Hadi Shahr Industrial Town, *Civil and Environmental Engineering Journal*, 44(2), 93-103. (In Persian)
 21. Baker, R. J. (2008). CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation, Wiley & Sons, London.
 22. Emaduddin, S., Arian Kia, M., Baddest, B. (2018). Analysis and ranking of the levels of urban areas based on the components and indicators of instability of the urban environment using the integrated saw model and Shannon

causal components in the integration of the city body (case study: region one of Karaj Municipality), Geographical Studies of Mountainous Regions, 2 (3), 23-38. (In Persian)

modelling the enablers, Business Process Management, 12(4): 535-552.

31. Iran Statistics Center (2015). the results of the population and housing census of Karaj city. (In Persian)
32. Khodabin, M., Shia, I., Pourjafar, M. R., Khatibi, S. M R. (1400). investigation of