



پیش‌بینی میزان آلودگی هوای شیراز متأثر از گاز منواکسیدکربن و ذرات معلق با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم

محمدهاشم موسوی حقیقی^{۱*}، بهزاد صفائی^۲

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، Musavee@yahoo.com

دانشجوی دکتری مدیریت سیستم‌ها، دانشگاه شیراز، behzad.safaei@gmail.com

چکیده

اثرات زیست محیطی و بهداشتی آلاینده‌های هوا بطور گسترده و توسط تعداد کثیری از مقالات پژوهشی در بسیاری از نقاط جهان مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش با توجه به عامل زمان و رفتار بازخوردی متغیرهای کلیدی در بحث آلودگی و با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم، میزان آلودگی متأثر از گاز منواکسیدکربن و ذرات معلق در هوای شیراز و اثرات زیست محیطی آن برای افق زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ شبیه‌سازی شده است. این کار بر مبنای داده‌های فروردین ۱۳۹۱ تا دی ۱۳۹۲ و با استفاده از نرم افزار ونسیم دی اس اس صورت پذیرفته است. بر اساس یافته‌های تحقیق وسایل نقلیه شخصی سهم عظیمی در آلودگی هوای شیراز را ایفا کرده اند، میزان آلودگی هوای شیراز از تقریباً ۴/۰۸ بیلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۱ به ۵/۲۱۳ بیلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۶ افزایش خواهد یافت، که نشان از افزایش تقریبی ۲۳ درصدی آلودگی متأثر از منواکسیدکربن و ذرات معلق دارد و این لزوم توجه سیاست‌گذاران را در این زمینه نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، آلودگی هوای شیراز، گاز منواکسیدکربن، ذرات معلق، پویایی‌شناسی سیستم.

۱- مقدمه

امروزه آلودگی هوا یکی از مسایل عمده شهرهای بزرگ جهان، از جمله شهر مورد مطالعه این تحقیق (شیراز)، می‌باشد. اثرات زیست محیطی و بهداشتی آلاینده‌های هوا گسترده است و توسط مقاله‌های تحقیقاتی در بسیاری از مناطق جهان نشان داده شده است [۲۰]. برخی از پیامدهای کلیدی منجر شده از آلودگی هوا، ناشی از مرگ و میر به جهت ذرات معلق موجود در هوا است [۴۳]. آلودگی هوا یعنی افزایش میزان گازهای سمی و ذرات ریز جامد و مایع در هوا در غلظت‌هایی که تهدید کننده سلامتی هستند. مهمترین منابع آلودگی هوا عبارتند از وسایل نقلیه، کارخانجات صنعتی، دود ناشی از آتش سوزی، گرده‌های گیاهان، طوفانهای شن و ماسه روان، طوفان، گردوغبار و فعالیت آتشفشانها و آتش سوزی جنگل. مهمترین آلوده کننده‌های هوا نیز شامل: ذرات جامد^۳، ازت^۴، دی اکسید نیتروژن، منواکسید کربن، دی اکسید گوگرد، سرب، سولفات‌ها و سولفید هیدروژن، آکروئین و دیوکسین^۵ می‌باشند. هزاران اتومبیل روزانه با تزریق حجم عظیمی از مواد خطرناک، به خصوص اکسیدهای ازت

۱ و ۲- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

۳- دانشجوی دکتری مدیریت سیستم‌ها، دانشگاه شیراز، ایران.

۴- این ذرات از سد دفاعی طبیعی بدن عبور می‌کنند و به طور عمقی به ریه‌ها نفوذ و باعث تشدید آسم و اختلال عملکردیوی می‌شوند (particulate)

۵- این گاز از واکنش‌های شیمیایی در جو و تحت تاثیر نور آفتاب تولید می‌شود و محرک قوی سیستم تنفسی است.

۶- دیوکسین باعث تشدید اختلال در تکامل جنین و افزایش خطر سرطان می‌گردد.



اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

به هوا، علاوه بر به خطر انداختن سلامتی انسان به طور مستقیم، موجب بروز خسارت‌های غیر مستقیم دیگر نیز می‌گردند. بیماری‌های قلبی عروقی یکی از شایع‌ترین دلایل مرگ در آسیای جنوبی است که یکی از دلایل این بیماری، آلودگی هواست [۵]. حدود ۳۰ نوع مواد حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی می‌تواند به امراض قلبی، ریوی، تنگی نفس، افزایش بیماری‌های تنفسی در کودکان، افزایش برونشیت‌های مزمن، انقباضات عضله، بیماری‌های روده‌ای، عصبی، افزایش سرفه، ناراحتی‌های سینه، آسم و نیز وارد آمدن خسارات گاه جبران ناپذیر بر وظیفه ذهن و مغز و سایر اندام‌های انسان منجر شود. آلودگی هوا علاوه بر خسارات فوق، از طریق کاهش کارایی به علت ابتلا به امراض فوق می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت تولیدی انسان، زوال عمر و نهایتاً کاهش تولید ملی گردد [۶]. علاوه بر اثرات سوء آلودگی بر انسان، آلودگی هوا می‌تواند بر زیبایی محیط زیست، نور خورشید، درجه حرارت هوا، ارزش منازل و ... اثر بگذارد. آلودگی هوای شیراز چند سالی است که بصورت یک تهدید جدی در آمده است. هزاران خودرو در طول روز و شب مقدار زیادی گاز سمی دی اکسید و منواکسیدکربن و دی اکسید گوگرد و گازهای سمی خطرناک دیگر را در هوای شهر رها می‌کنند. موقعیت شیراز به دلیل توپوگرافی منطقه^۱ و قرار گرفتن شهر در میان دو رشته کوه، به ویژه در فصول سرد سال، موجب ساکن شدن هوا که در اصطلاح علمی پدیده اینورژن یا وارونگی دما نامیده می‌شود، می‌گردد. این پدیده موجب می‌شود که گازهای سمی و آلاینده در هوای بالای شهر حبس شود و بصورت چتری خطرناک درآید. از سویی، خطوط حمل‌ونقل نوین شهری مانند تراموا، قطار زیرزمینی و ... در این شهر مشاهده نمی‌شود و عمده وسیله ایاب و ذهاب مردم را وسیله نقلیه دودزا تشکیل می‌دهد. هزاران اتومبیل روزانه با تزریق حجم عظیمی از مواد خطرناک، علاوه بر به خطر انداختن سلامتی انسان به طور مستقیم، موجب بروز خسارت‌های غیر مستقیم دیگر نیز می‌گردد. در این پژوهش با استفاده از روش پویاشناسی سیستم، میزان آلودگی متاثر از گاز منواکسیدکربن و ذرات معلق در هوای شیراز برای افق زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ بر اساس داده‌های فروردین ۱۳۹۱ تا دی ۱۳۹۲ پیش‌بینی خواهد شد و بر اساس نتایج سناریوهای مختلف، سیاست‌هایی برای بهبود وضعیت پیشنهاد خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش به سه دسته از تحقیقات اعم از ذرات معلق، ترافیک و تحقیقات کلی در زمینه آلودگی هوا اشاره خواهد شد.

در سال ۲۰۰۵، آنتیه پتر^۲ وجود ارتباط بین بیماری‌های قلبی و ذرات معلق هوا را با استناد به مدارک اپیدمیولوژیکی بیان نمود. بر اساس نتایج این تحقیق ارتباط تنگاتنگی بین تغییرات روزانه غلظت‌های ذرات معلق هوای آزاد و مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی، پذیرش بیمارستانی، تشدید علائم بیماران دچار بیماری‌های قلبی-عروقی و واکنشهای زودرس فیزیولوژیکی وجود دارد [۷].

در سال ۲۰۰۶، گروگوری ولینیوس^۳ و همکاران طی یک بررسی ارتباط بین آلودگی هوای ناشی از ذرات و پذیرش بیماران دچار سکته قلبی را در ۷ شهر ایالات متحده بیان کردند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سطوح افزایش یافته‌ی آلودگی هوا (پایین تر از حدود تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا) باعث افزایش میزان پذیرش

^۱ - شیراز با مساحت ۱۷۸۸۹۱ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته و ارتفاعش از سطح دریا ۱۵۸۵ متر می‌باشد. این شهر دارای آب و هوای معتدل و خشک و دارای ۱۵۴۳۹۸۸ نفر جمعیت می‌باشد.

^۲ - Annette Peters

^۳ - Gregory A. Wellenius



بیماران دچار سکت قلبی در بیمارستان‌ها می‌شود. در این تحقیق نشان داده شد که اگر غلظت ذرات کوچکتر و مساوی ۱۰ میکرون، به میزان ۱۰ میکروگرم در متر مکعب افزایش یابد، پذیرش بیماران در همان روز ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت [۸]. دولت یونان در دهه ۱۹۸۰، با تنظیم تردد خودروها در سطح شهر بر اساس زوج و فرد بودن پلاک و تبدیل به احسن خودروهای فرسوده با تخصیص سوبسید قابل توجهی به صاحبان این خودروهای فرسوده، باعث کاهش قابل توجه آلاینده‌های منواکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن شد. وجود بیش از ۲ میلیون خودروی شخصی در این کشور کیفیت هوا را مورد تهدید قرار می‌داد که از سال ۱۹۹۶ دولت یونان قرانین جدیدتری را بمورد اجرا گذاشت، از جمله ممنوعیت تردد خودروها در مرکز شهر و محدودیت فعالیت صنایع که به مقدار قابل توجهی در کنترل آلودگی هوا موثر بوده است [۹]. در مطالعه‌ای که توسط دکتر ندافی و همکاران در سال ۱۳۸۱ در اصفهان انجام شد ۹ درصد روزها شاخص آلودگی هوا بالای استاندارد بود، که این نشان دهنده این است که شهر اصفهان با مشکل آلودگی هوا و در نتیجه اثرات آن بر سلامتی ساکنین مواجه هستند [۱۰].

طبق مطالعه‌ای در انگلستان که بمنظور تاثیرات راهبردهای مختلف حمل و نقل بر روی میزان آلودگی هوا انجام شد، تفاوت‌های عمده‌ای از لحاظ آلودگی بین سه مرکز شهر (نورویچ، آکسفورد، ساوتمتن) وجود داشت، که در دوره‌ی ۳۰ روزه هر یک از آلاینده‌ها روزی ۳ بار در شهر اندازه‌گیری شدند و سپس مورد تحلیل قرار گرفتند. برداشت‌های روزانه در ساعات ۲ نیمه شب، ۱۰ صبح و ۶ بعدازظهر انجام گرفت تا تاثیر نوسانات حجم ترافیک جاده‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. از نتایج بدست آمده مشخص شده که راهبرد دولت در مرکز شهرها برای کاهش جریانات ترافیک با استفاده از طرح‌هایی نظیر اختصاص مناطقی برای عابران پیاده، در پایین آوردن مقدار بعضی از آلاینده‌ها (مخصوصاً دی اکسید سولفور) بی نتیجه بوده، اما نقش موثری در کاهش بعضی دیگر از آلاینده‌ها (نظیر منواکسید کربن) داشته است با وجود اینکه در شهر آکسفورد اولویت نسبتاً زیادی به اتوبوس در مرکز شهر داده شده است اما مقدار زیادی اکسید نیتروژن در آن وجود دارد این مطلب عملاً بیان می‌دارد که افزایش در سهم حمل و نقل عمومی ممکن است عملاً باعث بالا رفتن میزان بعضی از آلاینده‌ها شود. انتشار از ترافیک متأثر از سرعت متوسط و الگوی رانندگی می‌باشد. بنابر این واضح است که اجرای محدوده با سرعت ۲۰ مایل در ساعت ممکن است بر روی انتشار وسایط نقلیه و همچنین بر روی کیفیت هوا اثر داشته باشد.

خوش اخلاق (۱۳۸۱)، در مقاله‌ای تحت عنوان تخمین خسارات وارده به ساکنان شیراز به دلیل آلودگی هوا با هدف تخمین بخشی از خسارات اقتصادی ناشی از آلودگی هوا در شهر شیراز از طریق رابطه آلودگی هوا و سطح رفاه انسان و یا تمایل نهایی به پرداخت (MWTP^۱) افراد برای اجتناب یا کاهش آلودگی هوا پرداخت و به این نتیجه رسید که، به طور متوسط هر شهروند شیرازی حاضر است برای جلوگیری از بدتر شدن کیفیت کنونی هوا، سالانه مبلغ ۲۹۲۷ ریال از مالیات^۲ هایش هزینه گردد. در حالیکه در وضعیت فعلی، مبلغ سرانه مصرف شده جهت این هدف ۹۰۰ ریال است که تنها ۳۰ درصد از مبلغ مورد تمایل واقعی شهروندان است [۱۱]. واثقی (۱۳۸۶) در مقاله‌ای تحت عنوان پیش بینی آلودگی هوای شیراز ابتدا با توجه به مواد آلوده کننده هوا، سری زمانی یک ساله شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI^۳) به صورت روزانه (۳۶۵ روز) را از طریق ایستگاه سنجش آلودگی هوای شیراز و با توجه به استانداردهای کیفیت هوا به دست آورده و سپس به منظور پیش بینی شاخص آلودگی هوا روش‌های مختلف رگرسیونی و غیررگرسیونی مورد بررسی قرار داد و با توجه به معیارهای اندازه گیری خطا (MAPE^۴)، مدل (ARMA^۴) فرآیند خود توضیح میانگین متحرک) به عنوان بهترین مدل برای پیش بینی

^۱ - Marginal Willingness to Pay (MWTP)

^۲ - Pollutant Standard Index (PSI)

^۳ - Mean Absolute Percentage Error

^۴ - Autoregressive Moving Average



شاخص آلودگی هوا انتخاب کرد. افندی زاده در مقاله‌ای تحت عنوان روش ارزیابی گزینه های مختلف سیستم حمل و نقل شهر تهران جهت کاهش آلودگی هوا، با هدف ارایه روشی واحد جهت مقایسه گزینه های مختلف کنترل آلودگی هوا ناشی از سیستم حمل و نقل شهری، بطوریکه بتوان نتایج راهکارهای مختلف را تحت یک وزن و با اطمینان بیشتری مقایسه نمود، تمامی پارامترهای موثر و مهم در آلودگی هوا توسط یک سیستم حمل و نقل شهری مطرح و بدلیل فشردگی مطالب همزمان روشی جهت تعیین این آلودگی ارایه داده است. خصوصیات سیستم حمل و نقل در این تحقیق بر اساس اطلاعات سیستم حمل و نقل شهر تهران توسعه یافته، که در این خصوص گزینه های مختلفی نیز مورد ارزیابی قرار داده است [۱۲].

قلی زاده (۱۳۸۸) در مقاله ای تحت عنوان ارتباط آلودگی آب و هوا با مرگ و میر جمعیت شهر تهران، از روش های آماری همبستگی و رگرسیون جهت تجزیه و تحلیل ارتباط آلودگی هوا با مرگ و میر استفاده کرد. نتایج نشان داد که ارتباط معناداری بین مرگ و میر ناشی از بیماری های مورد مطالعه با آلودگی هوا وجود دارد. افراد بالای ۶۵ سال حساسیت بیشتری به آلودگی هوا دارند. بیشترین ارتباط بین آلودگی و مرگ و میر ناشی از بیماری های قلبی-عروقی، تنفسی و سکنه مغزی به ترتیب مربوط به ماه اکتبر، ژانویه و نوامبر است [۱۳]. حمید دیهیم در مقاله ای تحت عنوان روش های اقتصادی مبارزه با آلودگی هوای تهران، اشاره می کند که آلودگی هوای تهران از منابع ایستا و از منابع متحرک است. وجود ۷۱ هزار کارخانه و استفاده زیاد از سوخت مازوت در این کارخانجات باعث شده است که ۹۶/۸ درصد سولفور دو اکسید و ۷۰/۷ درصد نیتروژن دو اکسید منتشر شده از منابع ایستا باشد. برای ایجاد انگیزه های اقتصادی برای مبارزه با آلاینده های منابع ایستا از روش های ۱- تخفیف ها و بخشش های مالیاتی ۲- پرداخت سوبسید (وام های تبصره ای) ۳- سیستم اخذ مالیات ۴- جرایم و هزینه های عدم همکاری ۵- سیستم کوپن های قابل فروش ۶- سیاست های جدید مثل برنامه جبرانی-سیاست حبایی- و شبکه و بانکداری انتشاری می توان استفاده کرد [۱۴].

بررسی مطالعات پیشین نشان می دهد که عمده تحقیقات انجام شده در خصوص آلودگی هوا مبتنی بر روش های اقتصادسنجی بوده است. با توجه به گستردگی تبعات ناشی از آلودگی هوا، این روشها بدلیل جزئی نگری بطور کامل قادر به ارزیابی و محاسبه آن نمی باشد. اما روش پویایی شناسی سیستم با توجه به جامعیت و نگرش سیستمی آن، در این رابطه می تواند مفید باشد. این روش اولین بار توسط فارستر (۱۹۷۸) برای شناسایی و تبیین رفتار سیستم های پیچیده و چگونگی تعامل آنها با یکدیگر مطرح گردید. وی معتقد بود که پویایی شناسی سیستم با تمرکز بر فرایند بازخورد و رابطه علی و معلولی قادر به شناخت و تبیین روابط بین سیستم های مختلف است و نسبت به روش های دیگر جامع تر است.

۳- روش شناسی تحقیق

این پژوهش از نظر هدف کاربردی-توسعه ای می باشد. به منظور بررسی رفتار آلودگی هوای شیراز (متاثر از گاز CO و ذرات معلق) از الگوی پویایی شناسی سیستم بهره گرفته شده است. این الگو نخستین بار توسط جی فارستر^۱ توسعه یافت [۱۵]. در واقع هنر الگو سازی به روش پویایی شناسی سیستم، پوشش و نمایش فرآیند بازخورد است که همراه با ساختار متغیرهای سطح و حالت، تاخیر زمانی و توابع غیرخطی، دینامیک سیستم را تعریف می کند. همه دینامیک ها از دو نوع حلقه بازخوردی مثبت (خود تقویت کننده^۲) و منفی (خود اصلاح کننده^۳) به وجود می آید. حلقه های منفی هدف جو هستند. این حلقه ها با

^۱ - Forrester

^۲ - Reinforcing

^۳ - Self-Balancing



ساختار جستجوگر خود توازن و پایداری را در سیستم تولید می‌کنند درحالیکه حلقه های مثبت موجب تشدید و تقویت یک فرایند در سیستم می شوند[۱۶].

گام های مدل سازی در این روش به شرح زیر می باشد:

۱. تعریف مساله
۲. تعیین فرضیه های پویا
۳. شبیه سازی و فرموله کردن الگو
۴. تست نتایج
۵. طراحی و ارزیابی سیاستها

۳-۱- تعریف مسئله و افق تحقیق

این مرحله به عنوان مهمترین بخش الگو سازی است که در آن هدف الگو، متغیرهای کلیدی و افق زمانی مشخص می‌شوند. با توجه به موضوع تحقیق، هدف الگو «پیش‌بینی میزان آلودگی متاثر از گاز مونوکسیدکربن و ذرات معلق در هوای شیراز» است. متغیرهای کلیدی این الگو شامل ذرات معلق، حجم ترافیک، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی، جذابیت سفرهای شخصی و میزان آلودگی هوا است. افق زمانی در نظر گرفته شده برای تحقیق یک دوره ۶۰ ماه است که از فروردین ۱۳۹۱ شروع و تا فروردین ۱۳۹۶ پایان می‌پذیرد. با توجه به اینکه داده‌های واقعی متغیر الگو تا دی ماه ۱۳۹۲ در دسترس است، برای سنجش اعتبار الگو، نتایج شبیه‌سازی تا دی ماه ۱۳۹۲ با داده‌های واقعی مقایسه می‌شود. سپس با توجه به شناسایی رفتار متغیرها، عملیات شبیه سازی آینده تا فروردین ۱۳۹۶ انجام می‌شود. مرز جغرافیایی تحقیق شهر شیراز می‌باشد و میزان آلودگی هوای ناشی از گاز منواکسیدکربن و ذرات معلق در این تحقیق برای دوره زمانی اشاره شده، پیش‌بینی شده است. الگوی پویایی سیستم امکان وارد کردن متغیرهای کیفی و کمی را به طور هم زمان در سیستم فراهم می‌کند. در الگوهای ریاضی امکان ویرایش پارامترهای کیفی وجود ندارد اما در الگو های پویا، با نوشتن معادلات غیردقیق برای متغیرهای کیفی و شبیه سازی عددی آن تاثیر این متغیرها بر روی کل سیستم می‌تواند در نظر گرفته شود[۱۷]. در جدول شماره یک متغیرهای تحقیق و چگونگی تعامل آنها با یکدیگر معرفی خواهد شد.

جدول شماره ۱: متغیرهای مورد استفاده در پژوهش

متغیرهای برون زا		متغیرهای درون زا	
compose capita of particulate via pollen	سرانه تشکیل ذرات معلق بوسیله پوشش گیاهی	pollen	پوشش گیاهی
pollution cleanup capita by wind	سرانه پاکسازی آلودگی بوسیله باد	particulate	ذرات معلق
wind	باد	air pollution	آلودگی هوا
particulate cleanup capita by rainfall	سرانه پاکسازی آلودگی بوسیله باران	shiraz population	جمعیت شیراز
rainfall	باران	number of trips per month	تعداد سفرها در ماه
contaminated gas	سرانه تشکیل آلودگی بوسیله ماشین	number of public	تعداد سفرهای عمومی در ماه



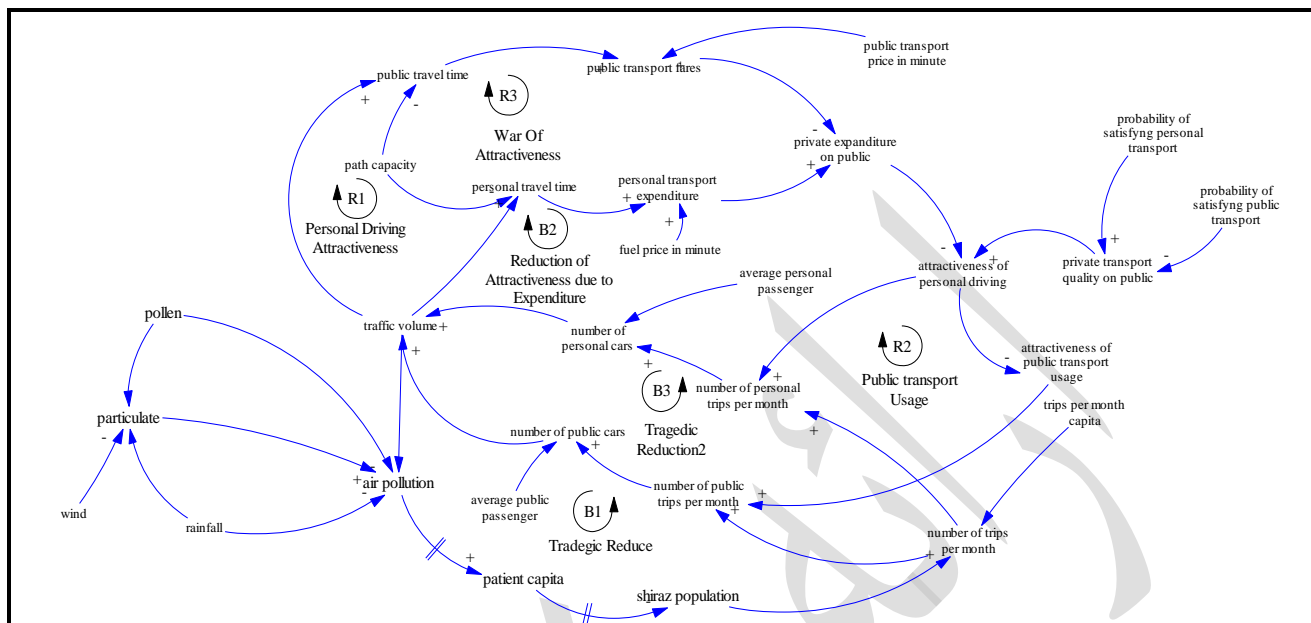
اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

متغیرهای درون زا		متغیرهای برون زا	
	trips per month		production capita via car
تعداد سفرهای شخصی در ماه	number of personal trips per month	سرانه پاکسازی آلودگی بوسیله پوشش گیاهی	pollution cleanup capita by pollen
تعداد ماشین های عمومی	number of public cars	متوسط تعداد فرزندان	average child
حجم ترافیک	traffic volume	متوسط طول عمر	average lifespan
زمان سفر عمومی	public travel time	مهاجرت به شیراز	migration to shiraz
زمان سفر شخصی	personal travel time	مهاجرت از شیراز	migration from shiraz
کرایه حمل و نقل عمومی	public transport fares	احتمال مرگ	death probability
نسبت هزینه شخصی به عمومی	private expenditure on public	سرانه سفر در هر ماه	trips per month capita
جذابیت رانندگی شخصی	attractiveness of personal driving	احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی	probability of satisfying public transport
جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی	attractiveness of public transport usage	احتمال رضایت از سفر شخصی	probability of satisfying personal transport
هزینه سفر شخصی	personal transport expenditure	کیفیت سفر شخصی به حمل و نقل عمومی	private transport quality on public
تعداد ماشین های شخصی	number of personal cars	قیمت استفاده از حمل و نقل عمومی در دقیقه	public transport price in minute
		متوسط تعداد سرنشینان شخصی	average personal passenger
		متوسط تعداد مسافران حمل و نقل عمومی	average public passenger
		قیمت سوخت در دقیقه	fuel price in minute

منبع: یافته های تحقیق

۳-۲- الگوی علی - معلولی تحقیق

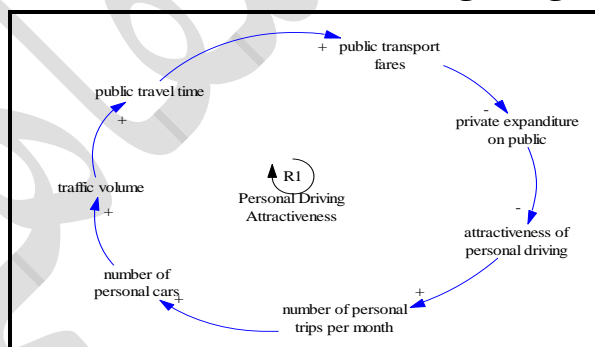
در این قسمت در ابتدا الگوی کلی تحقیق در شکل شماره یک نشان داده شده است و سپس حلقه های مثبت و منفی حائز اهمیت در الگو تفکیک شده و به تفصیل توضیح داده شده است.



شکل شماره ۱: الگوی علی- معلولی تحقیق (منبع: یافته های تحقیق)

۳-۲-۱- حلقه‌ها

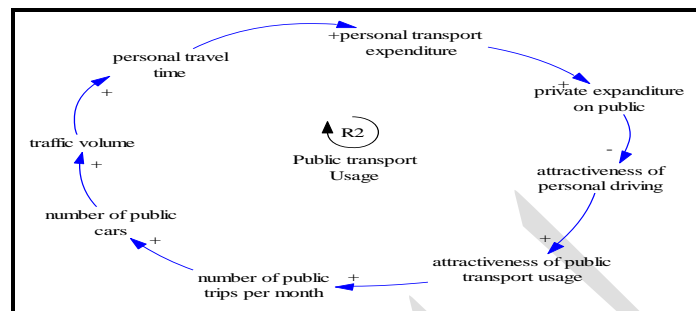
۳-۲-۱-۱- حلقه جذابیت رانندگی شخصی



شکل شماره ۲: حلقه جذابیت رانندگی شخصی (منبع: یافته های تحقیق)

در این حلقه با افزایش حجم ترافیک، زمان سفر عمومی افزایش می‌یابد، با افزایش میزان زمان سفر، هزینه سفرهای عمومی افزایش می‌یابد، و با این افزایش، نسبت هزینه سفرهای شخصی به سفر با وسایل حمل و نقل عمومی کاهش و میزان جذابیت سفر با خودروهای شخصی بیشتر می‌شود، و این منجر به افزایش ماشین‌های شخصی و به موازات آن افزایش ترافیک می‌شود. این حلقه افزایشی است.

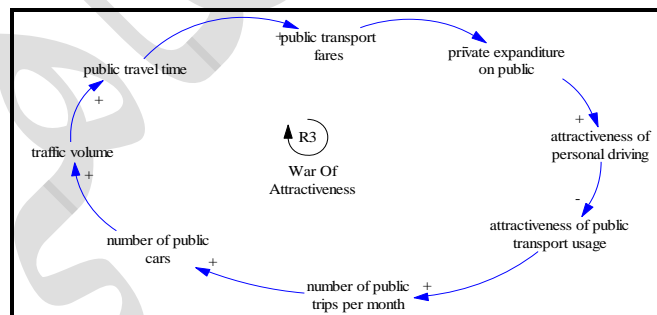
۳-۲-۱-۲- حلقه استفاده از حمل و نقل عمومی



شکل شماره ۳: حلقه استفاده از حمل و نقل عمومی (منبع: یافته‌های تحقیق)

در این حلقه با افزایش حجم ترافیک، مدت سفرهای شخصی افزوده و این منجر به افزایش نسبت هزینه سفرهای شخصی به عمومی می‌شود، این امر باعث کاهش جذابیت رانندگی شخصی و افزایش تمایل به استفاده از حمل و نقل عمومی و در نهایت منجر به استفاده بیشتر از حمل و نقل عمومی و افزایش ماشین‌های حمل و نقل عمومی می‌شود. این حلقه افزایشی است.

۳-۱-۲-۳- حلقه جنگ جذابیت‌ها



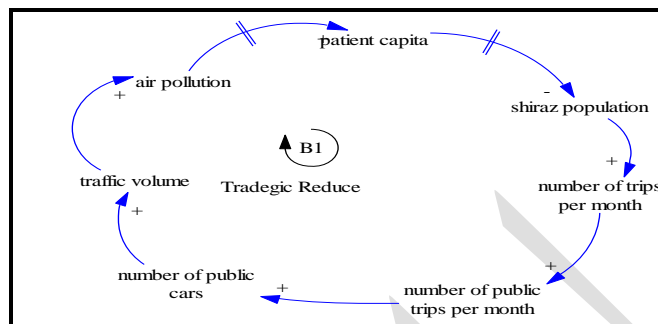
شکل شماره ۴: حلقه جنگ جذابیت‌ها (منبع: یافته‌های تحقیق)

در این حلقه با افزایش حجم ترافیک، زمان سفر عمومی افزایش می‌یابد، با افزایش میزان زمان سفر، هزینه سفرهای عمومی افزایش می‌یابد، و با این افزایش، نسبت هزینه سفرهای شخصی به سفر با وسایل حمل و نقل عمومی کاهش و میزان جذابیت سفر با خودروهای شخصی بیشتر می‌شود، و اقبال کمتری از سفر با ماشین‌های حمل و نقل عمومی می‌شود و این منجر به افزایش ترافیک می‌شود. این حلقه افزایشی است.

۳-۱-۲-۴- حلقه کاهش تراژدیک یک



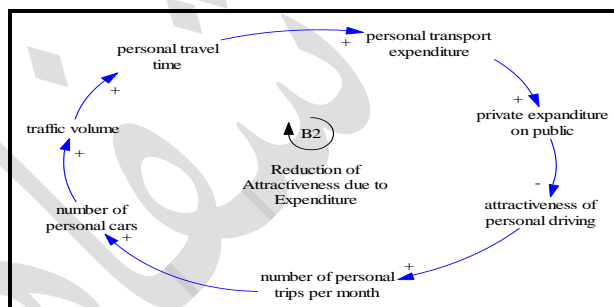
اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



شکل شماره ۵: حلقه کاهش تراژدیک (منبع: یافته‌های تحقیق)

این حلقه به خاطر وجود نرخ مرگ و میر و تاثیر معکوس آن روی جمعیت و در نتیجه تاثیر مثبت آن بر حجم ترافیک یک حلقه ی منفی یا اصلاحی است و نامگذاری این حلقه نیز بر همین اساس نیز تراژدیک نامگذاری گردیده است، یعنی با افزایش آلودگی هوا سرانه بیماری و همینطور مرگ و میر افزایش یافته و در نتیجه جمعیت کاهش می یابد. با کاهش جمعیت حجم ترافیک نیز کاهش می یابد و در نتیجه آلودگی هوا با کاهش ماشین های موجود در شهر کاهش می یابد. (این حلقه با تاخیر می نماید لذا نقش تاخیر در آن بسیار پر رنگ است).

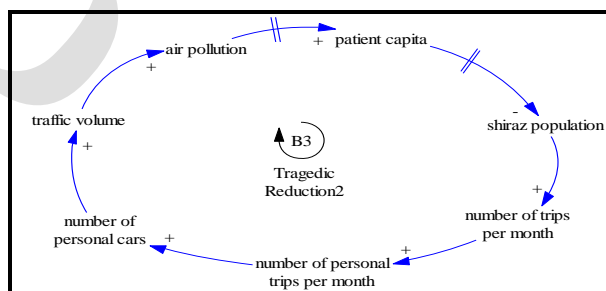
۳-۲-۱-۵- حلقه کاهش جذابیت به موازات افزایش هزینه‌ها



شکل شماره ۶: حلقه کاهش جذابیت به موازات افزایش هزینه‌ها (منبع: یافته‌های تحقیق)

در این حلقه با افزایش حجم ترافیک، مدت سفرهای شخصی افزوده و این منجر به افزایش نسبت هزینه سفرهای شخصی به عمومی می شود، این امر باعث کاهش جذابیت رانندگی شخصی و کاهش سفرهای شخصی و در نهایت کاهش تعداد ماشین های شخصی و کاهش ترافیک می گردد. این حلقه کاهشی است.

۳-۲-۱-۶- حلقه کاهش تراژدیک دو



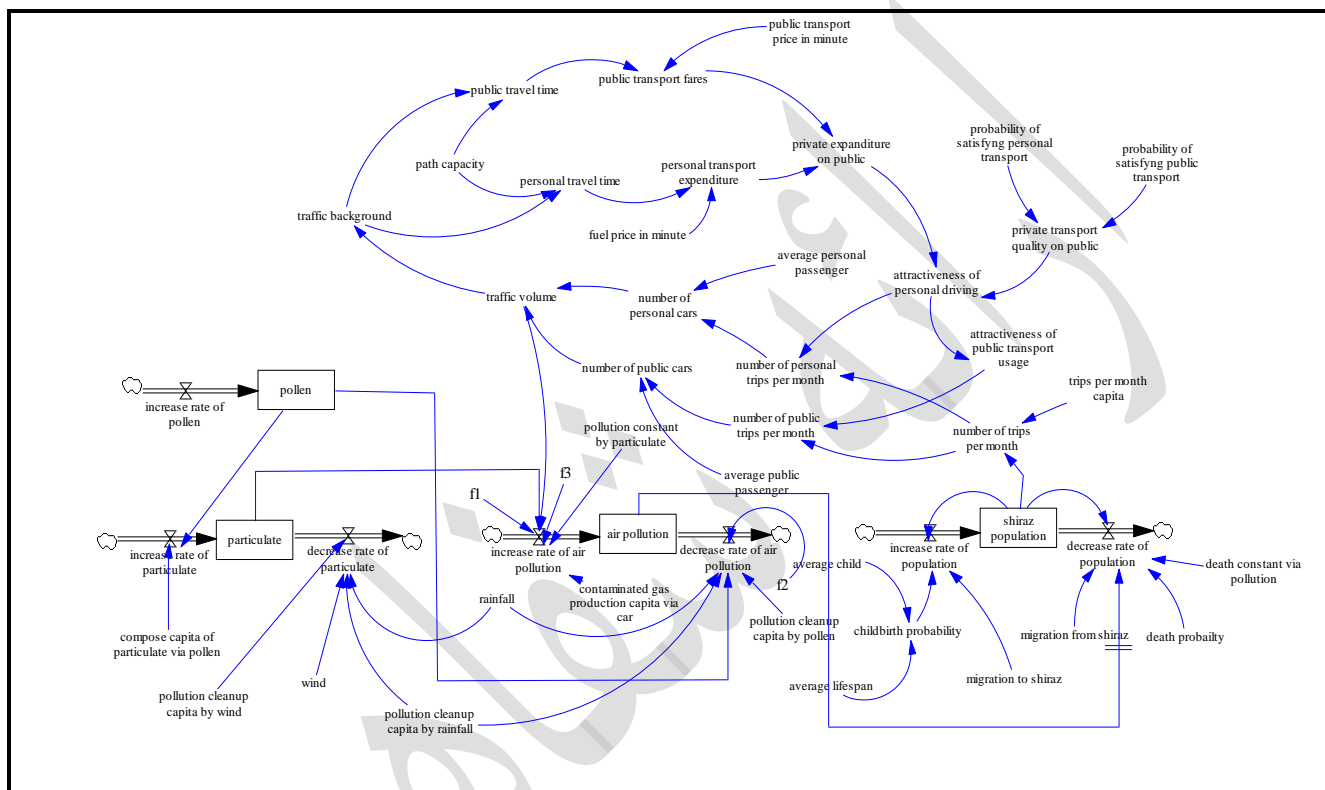
شکل شماره ۷: حلقه کاهش تراژدیک ۲ (منبع: یافته‌های تحقیق)

این حلقه به خاطر وجود نرخ مرگ و میر و تاثیر معکوس آن روی جمعیت و در نتیجه تاثیر مثبت آن بر حجم ترافیک یک حلقه ی منفی یا اصلاحی است، یعنی با افزایش آلودگی هوا سرانه بیماری و همینطور مرگ و میر افزایش یافته و در نتیجه



جمعیت ساکن در مناطق آلوده کاهش می‌یابد، با کاهش جمعیت، تعداد سفرها و در نتیجه تعداد ماشین‌ها و حجم ترافیک کاسته می‌شود و آلودگی کاهش می‌یابد.

۴- نتایج و بحث



شکل شماره ۸: الگوی شبیه سازی تحقیق (منبع: یافته های تحقیق)

شکل شماره یک در صفحات قبلی نمودار علت معلولی است که قسمت مفهومی الگوی سیستمی است و فقط جهت افزایشی و کاهشی و تاثیرات بازخوردی را نشان می‌دهد در حالی که در الگوی سیستمی ارائه شده در شکل شماره هشت قسمت مفهومی-مقداری الگو است که در آن نوع متغیر و جهت جریان مشخص شده است و آماده ورود روابط ریاضی الگو و سپس شبیه سازی آن است. متغیرهای مورد استفاده در این الگو به سه گروه تقسیم می‌شوند:

- متغیرهای حالت: این متغیرها نشان دهنده انباشت در یک دوره زمانی می‌باشند و در طول زمان بر اساس متغیر نرخ، افزایش و یا کاهش می‌یابند. مانند متغیرهای آلودگی هوا، ذرات معلق، پوشش گیاهی و جمعیت شیراز.
- متغیرهای نرخ: این متغیرها تعیین کننده متغیرهای حالت در سیستم می‌باشند. مانند متغیرهای نرخ افزایش آلودگی هوا، نرخ کاهش آلودگی هوا، نرخ افزایش جمعیت شیراز، نرخ افزایش پوشش گیاهی و

متغیرهای کمکی: این متغیرها حاوی متغیرهای دیگر بوده و مقدار آنها مستقل از مقدار متغیرها در دوره های زمانی قبل است. مانند مدت زمان سفر شخصی، جذابیت رانندگی شخصی، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی.

۴-۱- شبیه سازی و اعتبارسنجی الگو

پس از تعریف روابط بین متغیرها، اعتبار الگوی طراحی شده مورد ارزیابی قرار گرفت تا از عملکرد مطلوب آن اطمینان حاصل شود. به منظور بررسی رفتار متغیرهای تحقیق حائز اهمیت، داده های واقعی مورد نیاز از وب سایت های مرتبط به

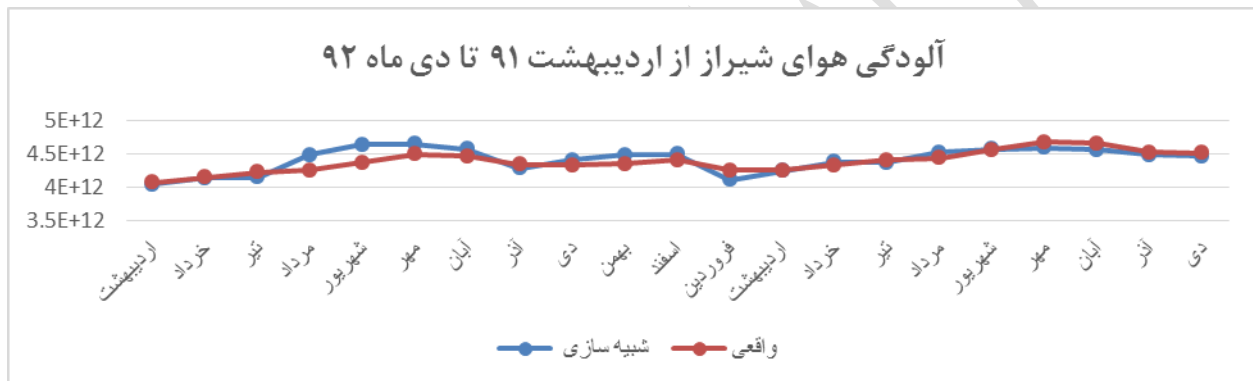


اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

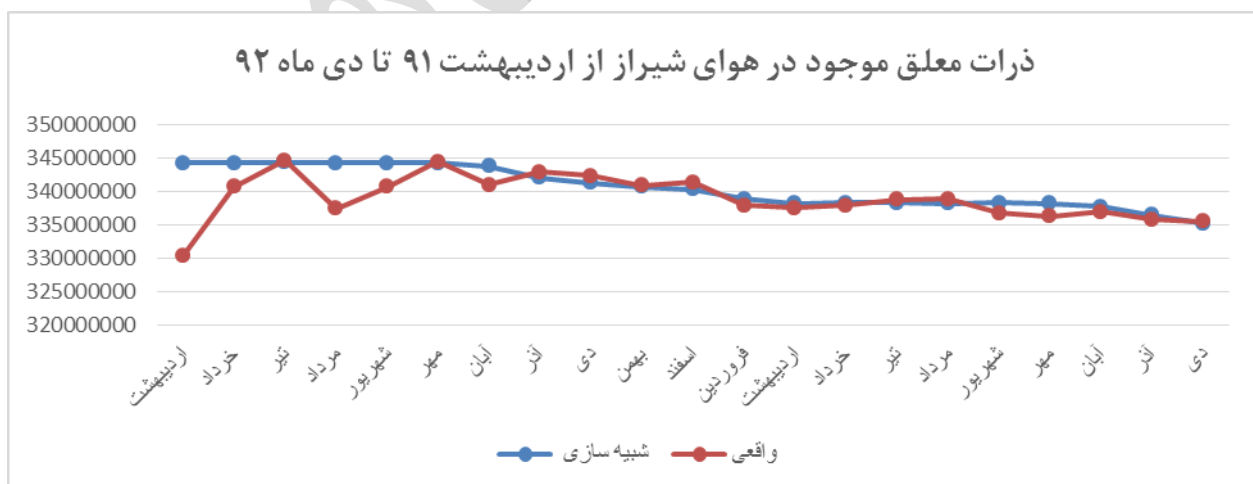
دست آمد و سپس در قالب روابط ریاضی و منطقی، ارتباط بین متغیرها برقرار گردید. برای اطمینان از اعتبار عملکرد الگو و روابط تعریف شده، آزمون‌هایی توسط نرم افزار Vensim DSS انجام شد که خلاصه نتایج آنها به شرح زیر است:

۱-۴- آزمون رفتار مجدد

هدف از انجام این آزمون مقایسه نتایج شبیه سازی با داده های واقعی جهت اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو است. به عبارتی دیگر در این حالت رفتار شبیه سازی شده برای الگو باز تولید می گردد تا با داده های واقعی مقایسه شود. همانطور که اشاره شد داده های مربوط به این تحقیق از سازمان محیط زیست شیراز، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز و تحقیقات هواشناسی کاربردی استان فارس جمع آوری و بررسی شده است. دوره مد نظر این مطالعه یک دوره ۶۰ ماهه است که از سال ۱۳۹۱ شروع شده و تا سال ۱۳۹۶ ادامه می یابد. همانطور که در شکل شماره (۹) و (۱۰) ملاحظه می شود، اطلاعات واقعی و نتایج شبیه سازی شده متغیرهای آلودگی هوای شیراز و ذرات معلق از اردیبهشت ۱۳۹۱ الی دی ماه ۱۳۹۲ نشان داده شده است. این نمودارها نشان می دهد که رفتار متغیرهای مورد بررسی به خوبی شبیه سازی شده است.



شکل شماره ۹: مقایسه مقدار آلودگی هوای شیراز از اردیبهشت ۹۱ تا دی ماه ۹۲ شبیه سازی شده با واقعیت



شکل شماره ۱۰: مقایسه مقدار ذرات معلق موجود در هوای شیراز از اردیبهشت ۹۱ تا دی ماه ۹۲ شبیه سازی شده با واقعیت

علاوه بر بررسی رفتار نموداری بازتولید الگو برای اطمینان از نتایج شبیه سازی شده، خطای متغیرهای کلیدی نیز براساس روشهای زیر محاسبه شد.



۲-۱-۴- آزمون محاسبه میزان خطا

به منظور محاسبه $RMSPE^1$ فرمول زیر بکار رفته است. در این روش میانگین انحراف داده های شبیه سازی شده (YS) از داده های اصلی (y^a) محاسبه میگردد و θ بیانگر تعداد مشاهدات می باشد.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} \left(\frac{y_{T+i}^s - y_{T+i}^a}{y_{T+i}^a} \right)^2} * 100 \quad (1)$$

روش دیگر برای سنجش انحراف مقادیر شبیه سازی شده از داده های واقعی، محاسبه UT است که طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$UT = \sqrt{\frac{\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2}{\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (y_{T+i}^s)^2 + \frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (y_{T+i}^a)^2}} \quad (2)$$

مقدار UT همواره بین صفر و یک خواهد بود، هرچه این مقدار به صفر نزدیکتر باشد، مقادیر شبیه سازی شده و واقعی انحراف کمتری از یکدیگر دارند. به منظور تعیین منابع انحراف نیز از آزمون های U استفاده شده است بگونه ای که همواره رابطه زیر بین این سه آزمون برقرار است:

$$U^m + U^s + U^c = 1 \quad (3)$$

در حالت ایده آل $U^s = U^m = 0$ و $U^c = 1$ خواهد شد. بیانگر سهمی از خطاست که به عنوان خطای سیستماتیک شناخته می شود. U^s خطای مربوط به اختلاف معیار داده ها و U^c نیز سهم خطای غیر سیستماتیک را نشان می دهد که فرمول آنها به صورت زیر می باشد.

$$U^m = (\bar{Y}^s - \bar{Y}^a)^2 / \left[\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (Y_{T+i}^s - Y_{T+i}^a)^2 \right] \quad (4)$$

$$U^s = (SDS - SDA)^2 / \left[\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (Y_{T+i}^s - Y_{T+i}^a)^2 \right] \quad (5)$$

$$U^c = [2 * (1-r) * (SDS * SDA)] / \left[\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} (Y_{T+i}^s - Y_{T+i}^a)^2 \right] \quad (6)$$

که \bar{Y}^a و \bar{Y}^s به ترتیب میانگین داده های شبیه سازی شده و واقعی، SDS و SDA به ترتیب انحراف معیار داده های شبیه سازی شده و واقعی و r ضریب هم بستگی بین داده های واقعی و شبیه سازی شده می باشد. جدول زیر نتایج آزمون های آماری را برای متغیر ذرات معلق و آلودگی هوای متأثر از منوکسید کربن و ذرات معلق نشان می دهد که نشانگر خوبی برازش داده های شبیه سازی شده با داده های واقعی است. در اینجا با توجه به نتایج جدول شماره دو و قبولی الگو در آزمون های سیستمی (آزمون های انجام شده شامل تست روابط ریاضی، تست ابعاد، تست مقادیر فرین و تست بازه زمانی است) می توان از نتایج الگو برای سناریو سازی و ارائه پیشنهادات اصلاحی در مراحل بعدی استفاده نمود.

جدول ۲: نتایج آزمونهای آماری مربوط به اعتبار سنجی الگو

¹ - Root Mean Squares Percentage Error (RMSPE)

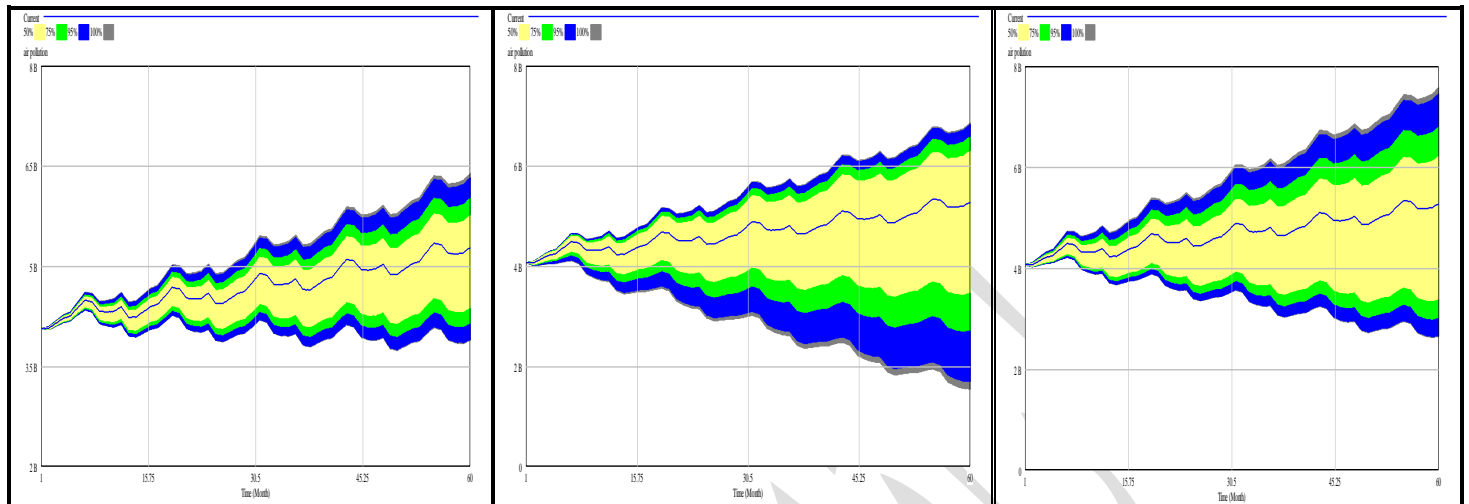


اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

نام آزمون	RMSPE	UT	U^m	U^s	U^c	$U^m + U^s + U^c$
میزان آلودگی متاثر از CO و ذرات معلق	۲/۵	۰/۰۱۸	۰/۰۵۸	۰/۰۶۵	۰/۸۷۷	۱
ذرات معلق	۱/۱	۰/۰۰۸	۰/۱۷۳	۰/۰۰۹	۰/۸۱۸	۱

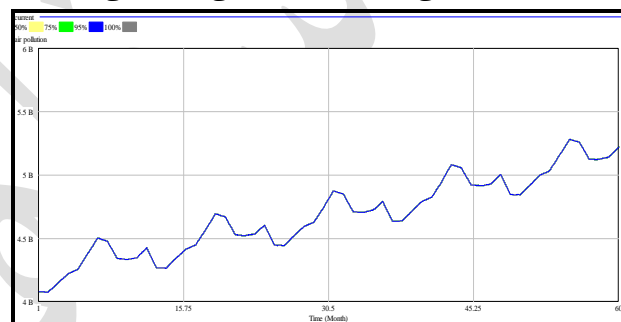
۴-۲- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت یکی از بخش‌های مهم در الگوهای پویایی‌شناسی سیستم محسوب می‌شوند. تحلیل حساسیت در حقیقت نشان دهنده میزان حساسیت متغیرهای کلیدی تحقیق، نسبت به پارامترهای تحقیق می‌باشد. بنابراین پارامترهای تحقیق را به یک اندازه تغییر داده و اثر آن را بر متغیرهای کلیدی بررسی می‌نماییم. در این بخش حساسیت آلودگی هوا، نسبت به میزان رضایت از حمل و نقل عمومی، هزینه‌های حمل و نقل عمومی و هزینه سفر شخصی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور احتمال میزان رضایت از حمل و نقل عمومی در فاصله بین ۲۰ تا ۴۵ درصدی، هزینه‌های حمل و نقل عمومی بین ۱۵ تا ۴۰ تومان در دقیقه و هزینه سفر شخصی بین ۶۰ تا ۹۰ تومان در دقیقه تغییر داده شد و اثر آن بر روی آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می‌شود سیاست‌هایی نظیر کاهش هزینه‌های حمل و نقل عمومی باعث افزایش جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی و کاهش ترافیک و کاهش آلودگی هوای شیراز می‌گردد. از سمت چپ نمودار اول نشان دهنده میزان تغییرات آلودگی هوای شیراز متاثر از هزینه سفر شخصی است. هزینه سفرهای شخصی در حالت پایه ۷۰ تومان در دقیقه در نظر گرفته شده است (سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز)، که با افزایش آن به میزان ۹۰ تومان در دقیقه از آنجایی که جذابیت سفرهای شخصی کاهش می‌یابد، میزان آلودگی از ۵/۲ بیلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۶ به ۴/۷۵ بیلیون مترمکعب می‌رسد و کاهش آن به میزان ۶۰ تومان با افزایش جذابیت رانندگی شخصی، منجر به افزایش آلودگی هوا به میزان ۵/۷۵ بیلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۶ می‌شود و این نشان از افزایش ۱۱ درصدی آلودگی هوا در سال ۱۳۹۶ دارد. نمودار دوم (نمودار میانی در شکل ۱۱) نشان دهنده میزان تغییرات آلودگی هوای شیراز متاثر از تغییرات کرایه حمل و نقل عمومی در دقیقه است، مقدار پایه آن ۳۰ تومان در نظر گرفته شده است (سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز)، که ۵۰ درصد کاهش و ۳۳ درصد افزایش داده شد و نتایج حاکی شبیه‌سازی حاکی از آن است که در حالتی که کرایه‌ها ۵۰ درصد کاهش می‌یابند، میزان آلودگی از ۵/۲ بیلیون مترمکعب تقریباً به ۳ بیلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۶ می‌رسد که حاکی از کاهش ۴۴ درصدی است و افزایش کرایه‌ها باعث افزایش آلودگی هوا به میزان ۶/۲ بیلیون مترمکعب خواهد شد که این به معنای افزایش ۲۰ درصدی آلودگی هوا در سال ۱۳۹۶ است. نمودار سوم از سمت چپ نشان دهنده میزان تغییرات آلودگی هوای شیراز متاثر از تغییر میزان رضایت از حمل و نقل عمومی است، همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حالت پایه میزان آلودگی هوا ۵/۲ بیلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۶ است، که اگر میزان رضایت از حمل و نقل عمومی پایه از ۲۵ درصد به ۴۵ درصد افزایش یابد این میزان تقریباً به ۳ بیلیون مترمکعب خواهد رسید که نشان از کاهش ۴۴ درصدی آلودگی هوا دارد و اگر میزان رضایت به ۲۰ کاهش یابد، میزان آلودگی هوا تقریباً به ۶/۱ بیلیون مترمکعب خواهد رسید که نشان از افزایش ۱۷ درصدی آلودگی هوا در سال ۱۳۹۶ را دارد.



شکل شماره ۱۱: تحلیل حساسیت احتمال "میزان رضایت از حمل و نقل عمومی"، "هزینه‌های حمل و نقل عمومی در دقیقه" و "هزینه سفر شخصی" (منبع: یافته‌های تحقیق)

در این قسمت سرانه فضای سبز شیراز که $15/73$ مترمربع است، ۵۰ درصد افزایش و کاهش داده شده، و همان گونه که در شکل شماره ۱۲ دیده می‌شود، تاثیری بر کاهش و یا افزایش میزان آلودگی شهر شیراز ندارد و از آنجایی که سهم وسیعی از میزان آلودگی هوای شیراز را وسایط نقلیه تشکیل می‌دهند، این امر منطقی به نظر می‌رسد.



شکل شماره ۱۲: تحلیل حساسیت سرانه فضای سبز (منبع: یافته‌های تحقیق)

۳-۴- شبیه سازی متغیرهای کلیدی

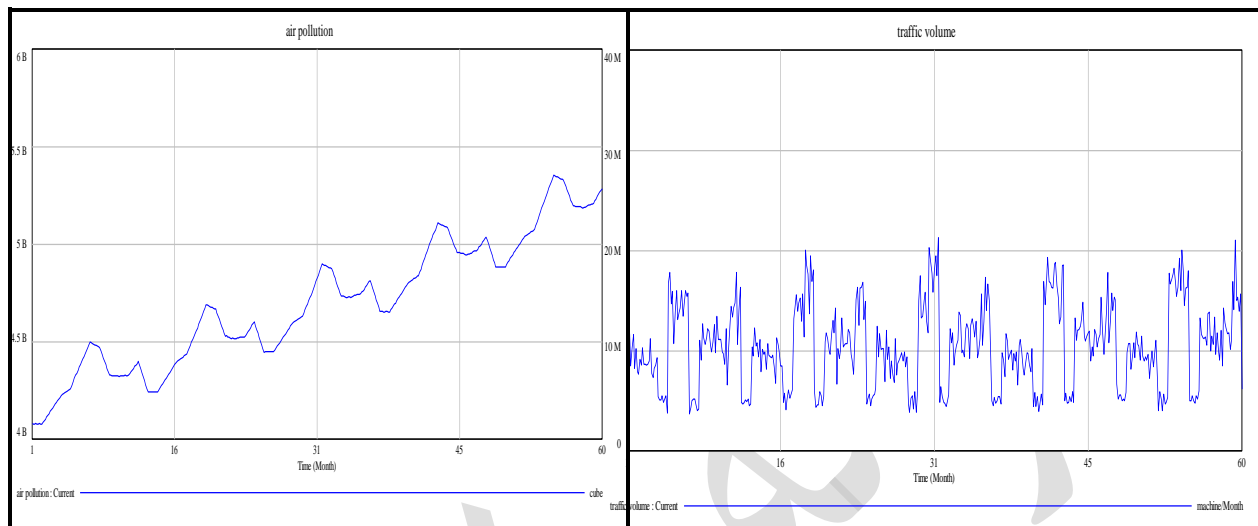
داده های گردآوری شده دربردارنده اطلاعات جذابیت رانندگی شخصی، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی، ترافیک و میزان آلودگی (ناشی از CO و ذرات معلق) شیراز از فروردین ۱۳۹۱ تا فروردین ۱۳۹۶ بصورت ماهانه می‌باشند. شکل شماره ۱۳ نمودار سمت چپ نشان می‌دهد میزان آلودگی هوای شیراز در هر سال رشد S۱ شکل (رشد ابتدا نمایی است، اما به تدریج کند می‌شود تا وقتی که وضعیت سیستم به یک سطح تعادل برسد. شکل منحنی شبیه یک "S" پهن است.) شکل همراه با جهش و نوسان دارد و اگر رفتار آن را هموار ۲ سازیم، در کل دوره شبیه سازی روندی صعودی دارد در حالی که نمودار سمت راست شکل شماره ۱۳ که حجم ترافیک (تعداد ماشین های شخصی و عمومی) دوره شبیه سازی را نمایش

¹ -S Shaped Growth

² - Smoothing



می‌دهد، رفتاری کاملاً نوسانی پایدار ۱ دارد (رفتار نوسانی یکی از اساسی‌ترین الگوهای رفتارهای پایه است که از باخورد منفی همراه با تاخیرهای زمانی در حلقه ناشی می‌شود).



شکل شماره ۱۳: شبیه‌سازی حجم ترافیک و میزان آلودگی هوای شیراز (منبع: یافته‌های تحقیق)

۴-۴- سناریوهای پیشنهادی

به منظور پیش‌بینی رفتارهای محتمل الگو در آینده سه سناریوی بهبود پیشنهاد شده است:

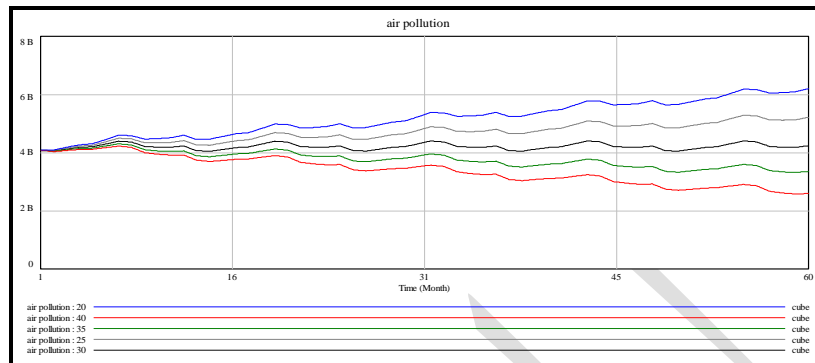
الف) میزان احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی و تاثیر آن بر آلودگی هوا و ترافیک شهر شیراز

در این سناریو احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی که در شرایط موجود ۲۵ درصد برآورده شده است [۱۹]، به میزان ۲۰، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد تغییر داده شد و شبیه‌سازی مدل حاکی از آن است که با افزایش میزان رضایت از حمل و نقل عمومی، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی افزایش، جذابیت رانندگی شخصی کاهش و میزان ترافیک و آلودگی کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل شماره ۱۴ نشان داده شده است در حالت پایه یعنی رضایت ۲۵ درصدی از حمل و نقل عمومی میزان آلودگی هوا تقریباً ۵/۲ بیلیون مترمکعب است، وقتی رضایت از حمل و نقل عمومی به ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، افزایش ۱۷ درصدی آلودگی هوا را موجب می‌شود. هنگامی که میزان رضایت به ۳۰ درصد می‌رسد، میزان آلودگی تقریباً ۲۰ درصد کاهش، وقتی به ۳۵ درصد می‌رسد، میزان آلودگی هوا تقریباً ۴۲ درصد کاهش می‌یابد و در نهایت با افزایش میزان رضایت به ۴۰ درصد، میزان کاهش آلودگی هوای شیراز در سال ۱۳۹۶ به ۵۲ درصد می‌رسد.

¹- Sustain Oscillatory



اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



شکل شماره ۱۴: سناریو احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی (منبع: یافته‌های تحقیق)

شبیه سازی ۱، با شرایط احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی ۲۵ درصد (طوسی)

شبیه سازی ۲، با شرایط احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی ۲۰ درصد (آبی)

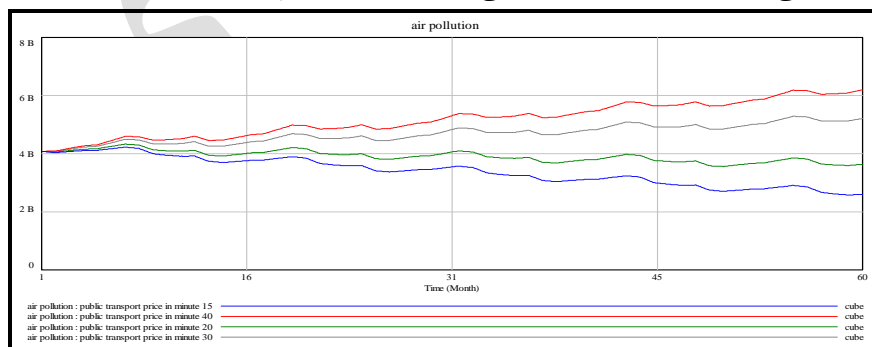
شبیه سازی ۳، با شرایط احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی ۳۰ درصد (سبز لجنی)

شبیه سازی ۴، با شرایط احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی ۳۵ درصد (سبز)

شبیه سازی ۵، با شرایط احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی ۴۰ درصد (قرمز)

ب) هزینه‌های حمل و نقل عمومی و تاثیر آن بر آلودگی هوا و ترافیک شهر شیراز

در این سناریو هزینه‌های حمل و نقل عمومی که در شرایط موجود ۳۰ تومان در دقیقه (با استفاده از داده‌های حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز) برآورد زده شده است، به میزان ۱۵، ۲۰، و ۴۰ تومان در دقیقه تغییر داده شد و شبیه‌سازی الگو حاکی از آن است که با کاهش هزینه حمل و نقل عمومی، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی افزایش، جذابیت رانندگی شخصی کاهش و میزان ترافیک و آلودگی کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل شماره ۱۵ نشان داده شده است در حالت پایه یعنی هزینه‌های حمل و نقل عمومی، ۳۰ تومان در دقیقه، میزان آلودگی هوا تقریباً ۵/۲ بیلیون مترمکعب است، وقتی کرایه حمل و نقل عمومی به ۲۰ تومان در دقیقه کاهش می‌یابد، کاهش ۲۷ درصدی آلودگی هوا را موجب می‌شود. هنگامی که کرایه حمل و نقل عمومی به ۱۵ تومان در دقیقه می‌رسد، میزان آلودگی تقریباً ۴۶ درصد کاهش، و در نهایت با افزایش کرایه حمل و نقل عمومی به ۴۰ تومان در دقیقه، میزان آلودگی هوای شیراز در سال ۱۳۹۶ به تقریباً ۶/۲ بیلیون متر مکعب می‌رسد که این حاکی از افزایش ۲۰ درصدی آلودگی هوا نسبت به مقدار پایه است.



شکل شماره ۱۵: سناریوی هزینه حمل و نقل عمومی (منبع: یافته‌های تحقیق)

شبیه سازی ۱ با شرایط کرایه حمل و نقل عمومی ۳۰ تومان در دقیقه (طوسی)

شبیه سازی ۲ با شرایط کرایه حمل و نقل عمومی ۲۰ تومان در دقیقه (سبز)

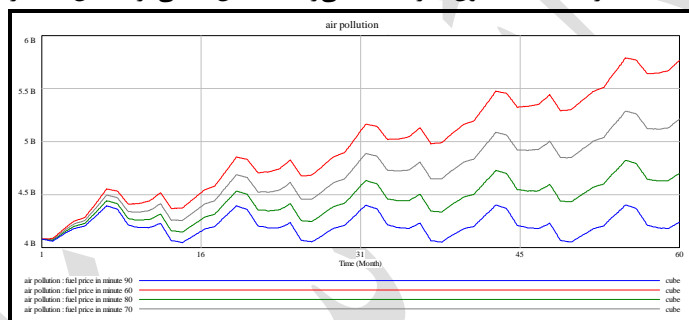


شبیه سازی ۳ با شرایط کرایه حمل و نقل عمومی ۴۰ تومان در دقیقه (قرمز)

شبیه سازی ۴ با شرایط کرایه حمل و نقل عمومی ۱۵ تومان در دقیقه مربع (آبی)

ج) هزینه سفر شخصی و تاثیر آن بر آلودگی هوا و ترافیک شهر شیراز

در این سناریو هزینه سفر شخصی که در شرایط موجود ۷۰ تومان در دقیقه در نظر گرفته شده است، به میزان ۶۰، ۸۰، و ۹۰ تومان در دقیقه تغییر داده شد و شبیه سازی مدل حاکی از آن است که با افزایش هزینه سفر شخصی، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی افزایش، جذابیت رانندگی شخصی کاهش و میزان ترافیک و آلودگی کاهش می یابد. همانطور که در شکل شماره ۱۵ نشان داده شده است در حالت پایه یعنی هزینه سفر شخصی، ۷۰ تومان در دقیقه، میزان آلودگی هوا تقریباً ۵/۲ بیلیون مترمکعب است، وقتی هزینه سفر شخصی به ۶۰ تومان در دقیقه کاهش می یابد، افزایش ۱۱ درصدی آلودگی هوا را موجب می شود. هنگامی که هزینه سفر شخصی به ۸۰ تومان در دقیقه می رسد، میزان آلودگی تقریباً ۸ درصد کاهش، و در نهایت با افزایش هزینه سفر شخصی به ۹۰ تومان در دقیقه، میزان آلودگی هوای شیراز در سال ۱۳۹۶ به تقریباً ۴/۲۵ بیلیون متر مکعب می رسد که این حاکی از کاهش ۱۸ درصدی آلودگی هوا است.



شکل شماره ۱۶: سناریوی هزینه سفر شخصی (منبع: یافته های تحقیق)

شبیه سازی ۱ با شرایط قیمت سوخت در دقیقه ۷۰ تومان (طوسی)

شبیه سازی ۲ با شرایط قیمت سوخت در دقیقه ۸۰ تومان (سبز)

شبیه سازی ۳ با شرایط قیمت سوخت در دقیقه ۶۰ تومان (قرمز)

شبیه سازی ۴ با شرایط قیمت سوخت در دقیقه ۹۰ تومان (آبی)

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از الگوی پویایی های سیستم آلودگی هوای شیراز مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از این روش و ترکیب متغیرهای ناهمگن (اقتصادی، اجتماعی و رفتاری) رفتارهای محتمل آلودگی هوای شیراز تحلیل شد. نتایج تحلیل نشان می دهد که جذابیت رانندگی شخصی، احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی، جذابیت استفاده از حمل و نقل عمومی و میزان تعرفه کرایه حمل و نقل عمومی عواملی اثر گذار در رفتار آلودگی هوای شیراز می باشند. بر اساس مطالعات طرح جامع کاهش آلودگی هوای شیراز بیش از ۷۰ درصد از سهم آلودگی هوای این شهر به دلیل تولید گازهای آلاینده مربوط به منابع متحرک (وسائط نقلیه موتوری) است. با توجه به اینکه نتایج تحقیق نیز گواهی بر این مدعا است و جذابیت استفاده از وسایل شخصی تاثیر بسزایی در آلودگی هوای شیراز دارد، اگر هر یک از شهروندان که با خودروی شخصی تردد می کند، حداقل یک یا دو روز هفته، از سیستم حمل و نقل عمومی استفاده کنند، نقش عمده و مهمی را در کنترل آلودگی هوا و کاهش هزینه های اجتماعی و اقتصادی خواهند داشت. از سوی دیگر بنا بر نتایج تحقیق احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی تاثیر بسزایی در کاهش آلودگی هوای شیراز دارد. افزایش میزان رضایت از حمل و نقل عمومی به ۴۰ درصد، میزان آلودگی هوای شیراز در سال ۱۳۹۶ را نسبت به حالت پایه (۵/۲ بیلیون مترمکعب) حدود ۵۰ درصد کاهش می دهد، لذا توجه و سیاست



گزاری مناسب در این زمینه، می‌تواند کمک شایانی به کاهش آلودگی هوای شهر شیراز نماید. حساسیت آلودگی هوا، نسبت به میزان احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی، هزینه‌های حمل و نقل عمومی و هزینه سفر شخصی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور احتمال میزان رضایت از حمل و نقل عمومی در فاصله بین ۲۰ تا ۴۵ درصدی، هزینه‌های حمل و نقل عمومی بین ۱۵ تا ۴۰ تومان در دقیقه تغییر و هزینه سفر شخصی بین ۶۰ تا ۹۰ تومان تغییر داده شد و اثر آن بر روی آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از آن بود که افزایش احتمال رضایت از حمل و نقل عمومی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل عمومی نقش بسزایی در کاهش آلودگی خواهند داشت.

سیاست‌هایی از قبیل ترویج فرهنگ استفاده از حمل و نقل عمومی، ایجاد خطوط اتوبوسرانی BRT، راه‌اندازی متروی شیراز، افزایش ظرفیت حمل و نقل عمومی و کاهش هزینه‌های استفاده از آن، تولید سوخت و خودروی استاندارد، اجرای دایمی طرح زوج و فرد، ممنوعیت تردد خودروهای فرسوده و دودزا، افزایش توجه به دوچرخه‌سواری و تمهیداتی در مورد ایجاد مسیرهای این وسیله، تغییر ساعات کار اداری، افزایش ظرفیت بزرگراه‌ها و معابر و پل‌سازی و در نهایت پوشش بیشتر مناطق شهری توسط حمل و نقل عمومی پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به لزوم تعریف مرز و محدوده تحقیق در روش پویایی‌شناسی سیستم تعداد محدودی متغیر در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش‌های آتی می‌توانند به بررسی متغیرهای دیگری نظیر دیگر شاخص‌های آلودگی هوا مانند ذرات جامد، اُزت، دی اکسید نیتروژن، منواکسید کربن، دی اکسید گوگرد، سرب، سولفات ها و سولفید هیدروژن، آکروئین و دیوکسین بپردازند. به علاوه الگو سازی و پیش بینی رفتار آلودگی هوای شیراز در این پژوهش صرفاً توسط روش پویایی سیستم مورد بررسی قرار گرفت؛ پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از چند روش بطور همزمان بهره گرفته شده و نتایج پیش بینی با تلفیق در الگوی پویایی‌شناسی سیستم با یکدیگر مقایسه و تحلیل شوند.

مراجع

- [1] Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., ... & Miller, H. L. (2007). **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, 2007.
- [2] Sujaritpong, S., Dear, K., Cope, M., Walsh, S., & Kjellstrom, T. (2014). **Quantifying the health impacts of air pollution under a changing climate—a review of approaches and methodology**. International journal of biometeorology, 58(2), 149-160.
- [3] Ren, C., Williams, G. M., Morawska, L., Mengersen, K., & Tong, S. (2008). **Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data**. Occupational and environmental medicine, 65(4), 255-260.
- [4] Stafoggia, M., Schwartz, J., Forastiere, F., & Perucci, C. A. (2008). **Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy**. American journal of epidemiology, 167(12), 1476-1485.
- [5] Yamamoto, S. S., Phalkey, R., & Malik, A. A. (2014). **A systematic review of air pollution as a risk factor for cardiovascular disease in South Asia: Limited evidence from India and Pakistan**. International journal of hygiene and environmental health, 217(2), 133-144.
- [6] Field, C. B., & Field, M. K. (1994). **"Environmental Economics. An Introduction"** Mc Graw Hill. Economics Series..
- [7] Peters, A. (2005). **Particulate matter and heart disease: evidence from epidemiological studies**. Toxicology and applied pharmacology, 207(2), 477-482.



[8] Wellenius, G. A., Schwartz, J., & Mittelman, M. A. (2006). **Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities**. The American journal of cardiology, 97(3), 404-408.

[۹] شرکت کنترل کیفیت هوا، (آبان، ۱۳۷۸)، ماهنامه دانستنیهای هوای پاک.

[10] Khorasani, M., Cheraghi, K., Nadafi, M., & Karami, N. (2002). **Survey and comparison of Tehran and Isfahan air quality in 2000 and representation of Improvement Methods**. Journal of Natural Resources, 55, 559-68.

[۱۱] خوش اخلاق، رحمان، حسن شاهی، مرتضی (۱۳۸۱). تخمین خسارات وارده به ساکنان شیراز به دلیل آلودگی هوا، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۶۱، ص ۷۵-۵۳.

[۱۲] واثقی، الهه؛ زیبایی، منصور (۱۳۸۷)، پیش‌بینی آلودگی هوای شیراز، محیط‌شناسی، دوره ۳۴، شماره ۴۷، ص ۶۵-۷۲.

[۱۳] قلی زاده، حسین، همکاران (۱۳۸۸)، ارتباط آلودگی آب و هوا با مرگ و میر جمعیت شهر تهران، مجله پژوهشی حکیم، دوره دوازدهم شماره دوم، ۷۱-۵۶.

[۱۴] دیهیم، حمید (۱۳۷۹)، روشهای اقتصادی مبارزه با آلودگی هوای تهران، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۵۶، ص ۱۴۷-۱۸۰.

[15] Forrester, J. W. (1997). **Industrial dynamics**. Journal of the Operational Research Society, 48(10), 1037-1041.

[16] Sterman, J.D. (2000). **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. McGraw-Hill, Boston.

[۱۷] شیخ خوزانی، زهره، حسینی، خسرو، رحیمیان، مهدی، (۱۳۸۹)، مدلسازی بهره برداری از مخازن چند منظوره به روش پویایی سیستم، مجله مدل سازی در مهندسی، شماره ۲۱.

[۱۸] آمارنامه حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز، ۱۳۹۱



The First National Conference of
The Iranian System **Dynamics** Society

اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



Forecasting Amount of Shiraz Air Pollution Based on CO and Particulate by Using System Dynamics Method

Mohammad Hashem Mousavi Haghighi^{1,*}, Behzad Safaei²

Researcher in "Fars Research Centre for Agriculture And Natural Resources", *Musavee@yahoo.com*

Phd student in systems management, Shiraz University, *Behzad.safaei@gmail.com*

Abstract

Widely Environmental and health effects of air pollutants are considered via many studies over the worlds. In this study with respect to the time and feedback behavior of key variables in air pollution and also by using SD, the amount of air pollution that is caused by CO, Particulate air in Shiraz and Environmental effects for the time horizon 1392 till 1396 are simulated. This work is based on the data that is gathered from farvardin 91 till dey 92 and are analysed via VENSIM DSS software. Based on research findings, A large share of personal vehicles play a main role in air pollution in shiraz and allocate a large share to themselves. The amount of air pollution increases from about 40.08 b in 1391 to 5.213 b in 1396. This indicates that the amount of pollution that is caused by CO and Particulate increases 23 percent and shows that policy makers should pay more attention to this area.

Keywords: forecasting, shiraz air pollution, CO, particulate, system dynamics method.

^{1,*} Researcher in "Fars Research Centre for Agriculture And Natural Resources"

² Phd student in systems management, Shiraz University