

## اثر تغییرات اقلیمی بر شدت و میزان آلودگی هوای شهر اصفهان

عباسعلی آروین<sup>۱\*</sup>، سعید دانا<sup>۲</sup>، سمیه آحسینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

<sup>۲</sup>کارشناس محیط زیست شهرداری اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup>کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه پیام نور اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۴

### چکیده

شدت و میزان آلودگی هوای نواحی شهری متأثر از تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی در سال‌های اخیر افزایش یافته است و اثر آن در شهرهای بزرگ صنعتی از جمله اصفهان مشهود است. به منظور بازمیابی و بررسی این تأثیر از اطلاعات و آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اصفهان جهت بررسی تغییرات اقلیمی و از داده‌های شاخص AQI برای بررسی شدت و میزان آلودگی استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داد در یک دوره ۶۳ ساله، ۱/۴۳ درجه سلسیوس متوسط سالانه دمای شهر اصفهان افزایش نشان می‌دهد که موجب گردیده شده و میزان و شدت آلودگی هوای شهر اصفهان در انتهای دوره (سال‌های ۹۷-۱۳۹۰) افزایش یابد. نتایج نشان داد بر اساس میانگین ماهانه شاخص AQI در ۸۳ ماه از ۹۶ ماه از سال ۹۰ تا ۹۷ در وضعیت زرد یا سالم برقرار است، در ۱۲ ماه وضعیت نارنجی و در یک ماه وضعیت قرمز حکمفرما است. ماه‌های فصل گرم با شرایط تقریباً ثابت عمدتاً زرد یا نارنجی است. ولی در فصل سرد بخاطر توربولانس جو، شرایط کاملاً دگرگون شده بطوری که هم تحت شرایط پایداری مطلق هوا و بروز اینورژن، با وضعیت قرمز و حتی وضعیت خطرناک و بحرانی مواجه است و هم تحت شرایط ناپایداری جوی، هوای کاملاً پاک بروز می‌کند. البته روزهای همراه با آلودگی رقم بزرگتری را به خود اختصاص داده است. لذا برای اینکه در ماه‌های سرد مواجه با وضعیت بحرانی و خطرناک در کیفیت هوا نشویم باید میانگین شاخص AQI را از ۸۴/۳ به زیر شاخص ۵۰ یعنی هوای پاک کاهش داد.

**واژه‌های کلیدی:** اصفهان، آلودگی هوا، شاخص کیفیت هوا (AQI)، روند تغییرات

### مقدمه

جوی مانند اکسیدهای نیتروژن و آزون افزایش می‌یابد و برای مثال دما اثر معناداری بر افزایش تراکم آزون شهری در بعدازظهرهای روزهای گرم تابستان داشته است (آروین، ۱۳۹۲: ۶۵). ارتباط بین دمای هوای شهری و میزان آلودگی هوا بخصوص در مورد آلاینده‌هایی مانند دی‌اکسید گوگرد و آزون از نظر آماری معنادار است و میزان مرگ و میر در دمای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس افزایش معناداری نشان می‌دهد (کاتسویانی و همکاران، ۱۹۹۳: ۲۳۵). اثرات زبان بار ناشی از عدم توازن در رشد اقتصادی از یک سو و گسترش آگاهی‌های عمومی در مورد محیط زیست از سوی دیگر منجر به طرح مسئله‌ای شده

یکی از مهمترین پیامدهای تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی افزایش شدت و میزان آلودگی هوا در شهرهای بزرگ است. اگر چه جزیره حرارتی شهری معلول شدت و میزان آلودگی هوا است لیکن بررسی‌ها نشان داده شدت جزیره حرارتی شهری تحت شرایط تغییر اقلیم افزایش می‌یابد و این می‌تواند شرایط زندگی در شهرها را به میزان قابل توجهی غیر قابل تحمل کند. با این حال در شرایط دمای بالاتر، میزان واکنش‌های شیمیایی و فتوشیمیایی آلاینده‌های ثانوی

\*نویسنده مسئول: a\_arvin@pnu.ac.ir

زمانی ماهانه، فصلی و سالانه ارتباط مستقیمی با افزایش آزون دارد، ولی رطوبت نسبی و وزش سریعترین باد، رابطه معکوس با افزایش مقدار آزون دارد. کیخسروی و همکاران (۱۳۹۱) در تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران به این نتیجه دست یافتند که در زمانی که ارتفاع اینورژن به زمین نزدیکتر می‌شود، بر شدت میزان آلودگی هوا افزوده شده به طوری که در اکثر ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، وضعیت هوا ناسالم یا خیلی ناسالم بوده است. کاوسی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از مدل‌های اتولجستیک مرکزی و روش کریجینگ، آلودگی هوای شهر تهران را بر اساس شاخص آلاینده CO در دی ماه ۱۳۹۰ بررسی کردند و نشان دادند مناطق شمالی، شرقی و مرکزی نواحی آلوده شهر تهران است که این نتیجه دور از انتظار نیست. زیرا که تمرکز بیشتر اماکن صنعتی تهران در غرب و جنوب شهر بوده و با توجه به وجود دیواره‌های کوهستانی در نواحی شمالی و شرقی، بادهایی که از سمت غرب آلودگی‌ها را به داخل شهر وارد می‌کنند راهی برای خروج نداشته و این امر سبب می‌شود تا هوای مناطق شرقی، شمالی و مرکزی اکثر اوقات آلوده باشند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی تحت عنوان شناسایی الگوهای همدید روزهای آلوده به ذرات معلق شهر شیراز به روش واکاوی خوشه‌ای به این نتیجه دست یافتند که عامل اصلی و موثر در ایجاد آلودگی در فصل سرد، وجود سامانه پرفشار در تراز دریا و سامانه اچرخندی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال می‌باشد. همچنین در فصل گرم سامانه کم فشار حرارتی در تراز دریا و سامانه چرخندی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شدت آلودگی مؤثر می‌باشد. صادقی و همکاران (۱۳۹۳) نقش الگوهای گردشی در مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد را مطالعه کرده و به این نتیجه دست یافتند که شکل‌گیری شرایط ناپایدار به واسطه عبور چرخندها می‌تواند افزایش غلظت آلاینده‌ها را در مشهد تا فراتر از مرز اضطراب را در پی داشته باشد به عبارتی، نمی‌توان برای تمامی روزهای آلوده در مشهد

است که از آن به عنوان چالش بزرگ در محیط زیست یاد می‌شود. تهدیدات ناشی از این عدم توازن، آنقدر آشکار و به لحاظ علمی ثابت شده است که جای تردید برای هیچ کس باقی نمی‌گذارد. تفاوت‌های فزاینده فقر و ثروت، رشد بی‌رویه جمعیت، خسارت‌های وارد شده به تنوع زیستی، تغییر اقلیم، تخریب لایه آزون و ...، جملگی تهدیداتی علیه حیات به شمار می‌روند. محیط زیست در سطح جهانی و ملی در معرض تهدیدهای جدی است. فهرست این تهدیدها از گرم شدن اقلیم زمین تا از دست رفتن تنوع زیستی و انواع آلودگی‌ها را شامل می‌شود. بنابراین باید در پی یافتن علل این تهدیدها برآمد و برای کاستن یا محو هر یک دست به عمل زد. هوا یکی از اساسی‌ترین عوامل محیط زیست به شمار می‌رود و بدون آن انسان حتی یک یا دو دقیقه قادر به زنده ماندن نیست. این در حالی است که آدمی می‌تواند بدون غذا چندین هفته و بدون آب چندین روز زندگی کند. هواسپهر<sup>۱</sup> پرتحرک‌ترین سیال محیط همواره راحت‌ترین محل دفع مواد ناخواسته بوده است. از زمانی که بشر از آتش بهره‌جسته هواکره به عنوان چاله دفع ضایعات بکار گرفته می‌شده است. هر جا که مقدار ضایعات وارده به هواسپهر از قابلیت آن در پراکنده کردن و فروپاشی ضایعات فزونی بگیرد مشکل بروز می‌کند. آلاینده‌های هوا به راه‌های مختلفی بر سلامت جسمی و روحی انسان اثر می‌گذارند. تاثیر آن بر فرد به دوز یا تراکم تماس و سایر عوامل از جمله حساسیت افراد بستگی دارد. یکی از راه‌های کاهش آلودگی هوا وضع استانداردهای خروجی یا محدودیت مواد خروجی در سطح قابل قبول است. با توجه به اهمیت موضوع در زمینه آلودگی هوا مطالعات بسیاری صورت پذیرفته است. برای مثال علایی (۱۳۷۶) ذرات معلق در هوای شهر تهران را جهت شناسایی سهم منابع مختلف آلاینده آنالیز و مدل‌سازی نمود و غلظت موجود در آن را در هر فصل تعیین کرد. بررسی ارتباط بین عناصر جوی و تغییرات آزون در شهر اصفهان توسط آروین (۱۳۹۰) نشان داد افزایش دما و ساعات آفتابی در سه بازه

۱. Atmosphere

وجود یک جو پایدار و تسلط پدیده وارونگی دمایی را به‌عنوان یک پیش شرط پذیرفت. شرعی پور و بیدختی (۱۳۹۳) با بررسی توزیع مکانی زمانی آلاینده های هوا در در شهر تهران برای ماههای سرد سال ۲۰۱۱-۲۰۱۳ به این نتیجه دست یافتند که توزیع مکانی زمانی میانگین آلاینده‌ها طی ماه دسامبر ۲۰۱۲ نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌های گازی از جنوب به شمال و غلظت آلاینده‌های ذرات معلق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می‌یابد. کرمپور و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق تحت عنوان بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر دریافتند که ارتفاع لایه مرزی در نمونه آلوده فصل سرد و گرم سال در ساعت صبحگاهی به ۱۲۰۰ متر رسیده در حالی که در ساعات بعدازظهر در نمونه سرد تا ۱۹۰۰ متری رشد کرده و در ماه‌های گرم این ارتفاع به بیش از ۶۰۰۰ متر رسیده است. لذا در روزهای همراه با وارونگی تابشی (روزهای آلوده) می‌توان با اطمینان بیشتری گفت که مرز لایه مرزی منطبق بر سقف لایه وارونه بوده است و این روش در این نوع وارونگی‌ها کارایی بیشتری برای تعیین ارتفاع لایه مرزی دارد. همچنین با استفاده از این روش مشخص شد عمده وارونگی دمایی که منجر به آلودگی هوای تهران می‌شود، از نوع فرونشینی می‌باشد. سلطانی گرد فرامرزی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با بررسی تحلیل همدیدی روزهای بسیار آلوده ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷ در شهر مشهد به این نتیجه دست یافتند که عبور امواج غربی از روی منطقه، استقرار پشته‌ای قوی در محدوده کوه‌های اورال و دریای خزر با یک اریب شرق سو، موجب شکل‌گیری مرکز و اچرخندی در حدفاصل دریای خزر تا بخش‌های شمالی خراسان تا ترازهای زیرین جو می‌گردد. طاوسی و حسین آبادی (۱۳۹۶) در تحقیق تحت عنوان ارزیابی شاخص‌های وارونگی دمایی لایه مرزی هوای شهر تهران در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۰ دریافتند که میانگین روزهای توام با پدیده وارونگی دما در دوره مورد مطالعه ۲۳۱ روز شامل ۸۹ درصد وارونگی تابشی ناشی از سرمایش شبانه سطح زمین و ۱۱ درصد

وارونگی فرونشینی (پویشی) بوده است که نتایج گویای حاکمیت وارونگی دما در بیشتر روزهای سال به ویژه در فصل تابستان می‌باشد. حسین آبادی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی تحت عنوان بررسی شرایط ترمودینامیکی وقوع وارونگی‌های دمایی شدید و آلودگی هوای شهر مشهد دریافتند که در طول دوره مورد مطالعه (۱۰ آذر تا ۱۰ دی ۱۳۹۶)، تنها یک روز شهر مشهد وارونگی دما را تجربه ننموده است. در مقابل در ۲۹ رو باقی مانده، انواع وارونگی دما با شدت‌های متفاوت از ضعیف تا بسیار شدید بر روی این شهر تسلط یافته است، به طوری که ۵۹ درصد از روزها دارای وارونگی شدید و بسیار شدید بوده اند. در بین روزهای مورد مطالعه، روز ۷ دی ماه، وارونگی بسیار شدید و اوج آلودگی هوا ( $AQI=171$ ) که وضعیت هشدار ثبت گردیده است که سبب تعطیلی مدارس شهر مشهد شده است بررسی‌ها نشان داد که استقرار سامانه پرفشار و فرونشینی هوا در ترازهای زیرین جو به همراه پایداری جو، سبب شکل‌گیری وارونگی دمایی در نزدیکی سطح زمین و وقوع وارونگی شدید ( $0.31 > 0.00$ ) شده است که این امر مانع جابجایی هوا شده و آلودگی شدید هوا در شهر مشهد را در این روز به همراه داشته است.

کایزر و همکاران (۲۰۰۲) با بهره‌گیری از مدل زنجیره مارکف به پیش‌بینی غلظت ذرات معلق در ایالت پنسیلوانیای آمریکا پرداختند که نتایج نشانگر توانایی این مدل در پیش‌بینی غلظت ذرات معلق می‌باشد. هلین و همکاران (۲۰۰۲) بر اساس شاخص استاندارد مواد آلاینده، کشور تایوان را به چهار بخش شمالی، مرکزی، شرقی و جنوبی تقسیم کردند و شاخص استاندارد آلودگی هوا این مناطق را برای یکسال تعیین کردند. موسیو پولوس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۴) در مقاله‌ای با عنوان «مدل سازی برای برآورد فرامرزی آلودگی هوا در جنوب شرق اروپا» پس از مدل سازی و طبقه‌بندی گردش‌های اتمسفری در سال ۱۹۹۵ در رابطه با جابجایی  $SO_2$  و  $NO_x$  در مرز یونان مشخص گردید که محاسبات روزانه مدل شباهت‌های

۱. Moussiopoulou

فضای سبز بر ذرات معلق بوده است. یاسمین (۲۰۱۱) وارونگی دما و اثرات زیست محیطی آن در شهر کراچی را با استفاده از داده‌های روزانه دما، دید افقی، رطوبت نسبی، گرد و غبار ایستگاه هواشناسی کراچی و داده‌های جو بالا (رادپوسوند) بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی وقوع وارونگی مربوط به ماه‌های تابستان است. بررسی تاثیر وارونگی‌های دمایی بر آلودگی هوا در شهر سیبو توسط کوپر (۲۰۱۳) نشان داد به علت موقعیت فرورفته فلات ترانسیلوانیا، وارونگی‌های دمایی باعث بروز دماهای بسیار پایین و همچنین ایجاد یک لایه هوای پایدار می‌شوند که موجب افزایش غلظت آلاینده‌های دی اکسید گوگرد  $SO_2$ ، دی اکسید نیتروژن  $NO_2$ ، مونوکسید کربن  $CO$  و ازن  $O_3$  در روزهای با وارونگی دما می‌شود. زنگ و ژانگ<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) در تحقیقی با مطالعه تاثیر عناصر هواشناسی بر تداوم آلودگی‌های سنگین هوا در منطقه چنگدو چین نشان داد که نه تنها فاکتورهای سطحی هواشناسی، بلکه ساختار لایه مرزی و وجود وارونگی‌های دمایی نقش مهمی در انتشار عمودی آلاینده‌ها ایفا می‌کند. روشن و همکاران (۲۰۲۰: ۱۲) به ارزیابی اثر خنک‌کنندگی باد در چهار ایستگاه نمونه ایران تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند و به این نتیجه رسیدند لازم است اثر مثبت باد در افزایش راحتی گرمایی بخصوص در نواحی شهری بهره‌گرفت. شبیه‌سازی‌های در این مقاله پیش‌بینی می‌کند سرعت بیشتر باد می‌تواند راحتی گرمایی را تا سال ۲۰۴۰ ارتقاء دهد. روشن و همکاران (۲۰۲۰: ۱) نقشه استرس گرمایی ایران را با استفاده از پنج شاخص زیست اقلیم در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ بررسی کردند و با استفاده از سناریو RCP۴.۵ به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ بسط دادند. نتایج نشان داد اگرچه این پنج شاخص روابط آماری معناداری با هم دارند لیکن توزیع فضایی متفاوتی را از استرس گرمایی نشان می‌دهد. همچنین بر اساس سناریو پیش‌بینی ذکر شده یک کاهش قابل توجه ۲۴/۵ درصدی در مناطق

با کل سال دارد و این مدل برای دوره‌های زمانی طولانی ابزار عملی مناسبی می‌باشد. چن و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) ارتباط بین آلودگی هوا و فرایندهای کوتاه الگوی فشار در شما چین را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که افزایش شاخص (API) با فشار بالا و پایین هوا، بخش عقبی کم فشار و کاهش آن با شیب‌های رو به بالای فشار مرتبط است. دونگ و همکاران (۲۰۰۹) با بهره‌گیری از مدل نیمه مارکف پنهان (HSMMS) به پیش‌بینی غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از  $2.5$  میکرون در شیکاگو پرداختند که نتایج آن نشان دهنده این است که این مدل در پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا کارایی بالایی دارد. بررسی سینوپتیکی وارونگی دما و همچنین نوسانات و روند دوره‌ای وارونگی در کالیفرنیا توسط یاکوبلیس و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد، همبستگی قوی بین سیستم‌های جوی بزرگ مقیاس و وقوع پدیده وارونگی دما وجود دارد و وقوع وارونگی‌های شدید با سیستم‌های پرفشار و وارونگی‌های ضعیف با سیستم‌های کم فشار همراه است. هنگامی که الگوی جریانات اقلیمی ناحیه‌ای تغییر می‌یابند، فراوانی و شدت وارونگی‌های دمای سطح پایین رفتار متفاوتی را نشان می‌دهد و روی کیفیت هوا تاثیر می‌گذارند. دایم و همکاران (۲۰۱۰) ارتباط بین غلظت‌های بالای ازن سطحی و الگوهای گردشی در تراز میانی جو را برای کلانشهر آتلانتا در ایالت جورجیا مورد مطالعه قرار دادند و به تیپ بندی همدید به روش دستی برای فصل تابستان پرداختند. سپس روزهای با غلظت ازن بالا در دوره مذکور استخراج و در مرحله سوم ارتباط بین تیپ‌های همدید در روزهای با غلظت بالای ازن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یین و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر فضای سبز پارک‌ها بر کاهش غلظت آلاینده‌ها در شش پارک واقع در شانگهای چین بررسی کردند که طبق نتایج آنها میزان کاهش در فصول سرد به ترتیب برای آلاینده‌های ذرات معلق  $SO_2$ ، ۲-۲۷ درصد و برای  $NO_2$ ، ۱-۲۱ درصد بوده است، بنابراین بیشترین اثر کاهشی

۲. Zeng &amp; Zang

۱. Chen et al.

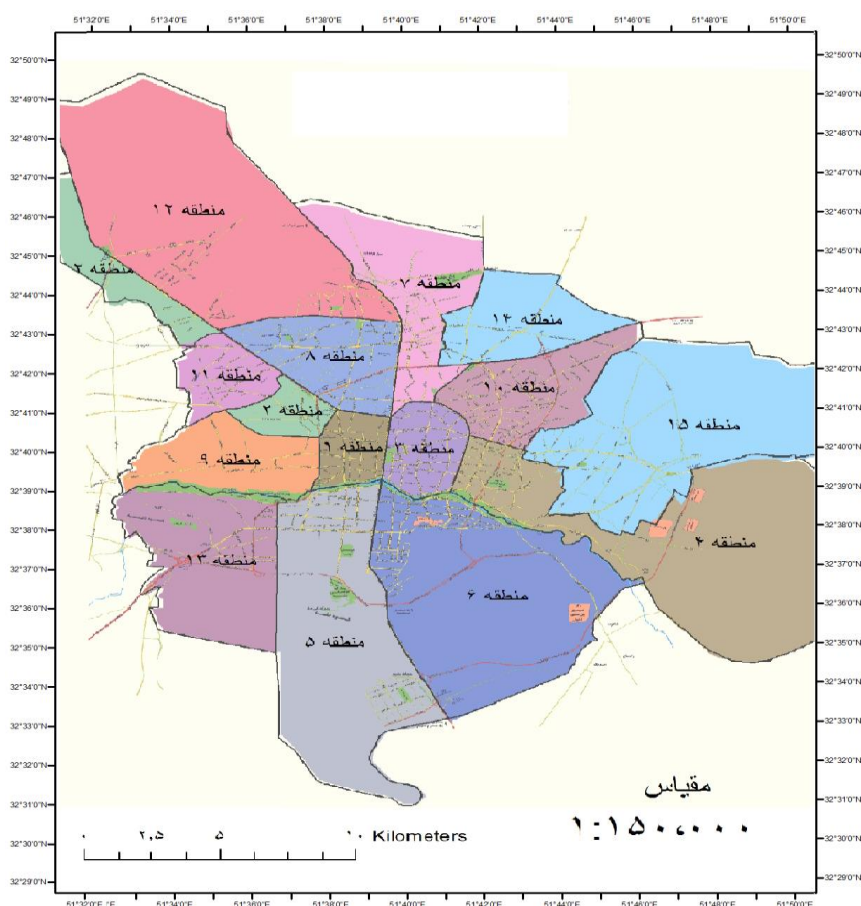
این تحقیق بدان پرداخته شده است.

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهر اصفهان است که با وسعت ۵۵۰ کیلومتر مربع در حدود ۰/۵ درصد مساحت استان اصفهان را شامل می‌شود. اصفهان با جمعیت ۱۹۶۱۲۶۰ نفر، ۳۸/۳ درصد جمعیت استان و ۲/۴۵ درصد جمعیت کشور را به خود اختصاص داده است. از نظر تراکم جمعیت دارای تراکم ۳۵۶۶ نفر بر کیلومتر مربع در ۱۵ منطقه شهری است. شهر اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی بعد از تهران و مشهد سومین شهر بزرگ ایران است (شکل ۱).

مستعد استرس گرمایی در نواحی ریسک بالا و خیلی بالا مشاهده خواهد شد.

شهر اصفهان با گسترش و توسعه وسیع در بخش صنعت و دارا بودن جمعیت در حدود ۲ میلیون نفری، با مشکلات ناشی از آلودگی هوا مواجه است که محدودیت‌های اقلیمی ناشی از خشکی و پایداری هوا این مشکل را تشدید کرده است، علاوه بر این مسائل زیست محیطی ناشی از آلودگی، آلاینده‌های هوا بر منابع دیداری نیز تاثیر نامطلوب دارد زیرا هواسپهر را بد رنگ و میدان دید را محدود می‌کند و شفافیت آن را تا به آن حد از بین می‌برد که تضاد قسمت‌های مختلف اشیای دور کاهش می‌یابد. از این رو بررسی آماری آلودگی این شهر، ابعاد تازه‌ای از شرایط حاکم بر آلودگی این شهر را برای ما روشن می‌کند که در



شکل ۱: نقشه شهر اصفهان و مناطق ۱۵ گانه

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش دو دسته از آمار و اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت؛ دسته اول مربوط به دمای هوا اصفهان بود که برای بررسی روند تغییرات این آمار در یک دوره آماری ۵۰ ساله (۱۹۶۸-۲۰۱۸) استفاده شد. دسته دوم مربوط به داده‌های شاخص کیفیت هوا (AQI) در ایستگاه‌های خودکار پایش کیفیت آلودگی (میدان لاله، آزادی، احمد آباد، بزرگمهر، بزرگراه خرازی، بلوار کشاورز، خیابان رودکی) بود که به منظور بررسی آماری آلودگی هوا شهر اصفهان طی دوره

زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفت. البته در برخی ماه‌ها و سال‌ها برخی ایستگاه‌ها به علت نقص فنی غیر فعال بوده است که چون از میانگین ایستگاه‌ها استفاده می‌شد، اطلاعات حداقل ۶ ایستگاه در میانگین‌گیری دخالت داده شده است. در ایستگاه‌های خودکار آلوده‌سنجی، کیفیت هوا بر اساس مقادیر ۷ گاز آلاینده ثبت می‌شود که البته دارای مقادیر عددی و نیز مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوتی هستند. از این رو برای جمع‌آوری تمام گازها، شاخص کیفیت هوا خلق شده است.

جدول ۱: طبقه بندی کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا یا AQI

۳۰۰-۲۵۰	۲۵۰-۲۰۰	۲۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	AQI
بحرانی	خطرناک	بسیار ناسالم	ناسالم	سالم	پاک	وضعیت

مأخذ: سازمان حفاظت محیط زیست کل استان اصفهان

آلودگی هوا با عموم مردم ارتباط برقرار نموده و این ضرورت مهم را برآورده می‌نماید. شاخص آلودگی هوا بیانگر تغییرات روزانه کیفیت در گسترده های شهری می‌باشد. این امر مقایسه آلودگی هوا در شهرهای مختلف را میسر می‌سازد. مقادیر عددی شاخص کیفیت هوا و شرایط متناظر با آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

## یافته‌های پژوهش

با توجه به اینکه اثر دما بر شدت و میزان آلودگی هوای شهرها در بسیاری از تحقیقات (کاتسویانی، ۱۹۹۳؛ آروین، ۱۳۹۲) تأیید شده است، روند تغییرات دمای اصفهان مورد بررسی قرار می‌گیرد. پیش از تعیین مدل روند، ابتدا از نرمال/ غیرنرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد. آزمون کالموگراف اسمیرنوف بر روی داده‌های دمای ماهانه و سالانه در یک دوره ۵۰ ساله نشان داد آماره  $0/134$  بزرگ‌تر از میزان مرجع  $0/05$  است و لذا داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. از این رو از مدل‌های رگرسیونی برای بررسی روند تغییرات استفاده گردید (جدول ۲).

شاخص کیفیت هوا<sup>۱</sup> (AQI) عددی بدون بُعد است که وضعیت کیفیت هوا را بر اساس اثر آن بر سلامتی انسان نشان می‌دهد. در واقع با توجه به اینکه در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا بر اساس مقادیر هر یک از گازهای آلاینده مانند، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید گوگرد، اُزون، ذرات معلق  $10$  و  $2/5$  میکرون، دی اکسید کربن و مونواکسید کربن اندازه‌گیری می‌شود و واحد اندازه‌گیری و نیز مقادیر عددی هر یک از آلاینده‌ها نیز کاملاً با هم تفاوت دارد، لذا برای درک بهتر کیفیت هوا، تمام این مقایر عددی بر اساس رابطه ریاضی به عددی بدون بُعد تبدیل شده که قبلاً بنام استاندارد آلودگی هوا یا  $PSI^2$  و امروز بنام AQI شناخته می‌شود. به عبارتی دیگر با توجه به اینکه دسترسی به اطلاعات به هنگام تغییرات سطوح آلاینده های هوا در شهرها ضروری می‌باشد و این عمل می‌بایست به روش ساده‌ای صورت گیرد که عموم مردم قادر به درک زبان فنی آلودگی هوا باشند، شاخص آلودگی هوا بوجود آمد که وضعیت هوا را بصورت کیفی برای مردم نشان می‌دهد. شاخص‌های

۱. Air Quality Index

۲. Pollution Standard Index

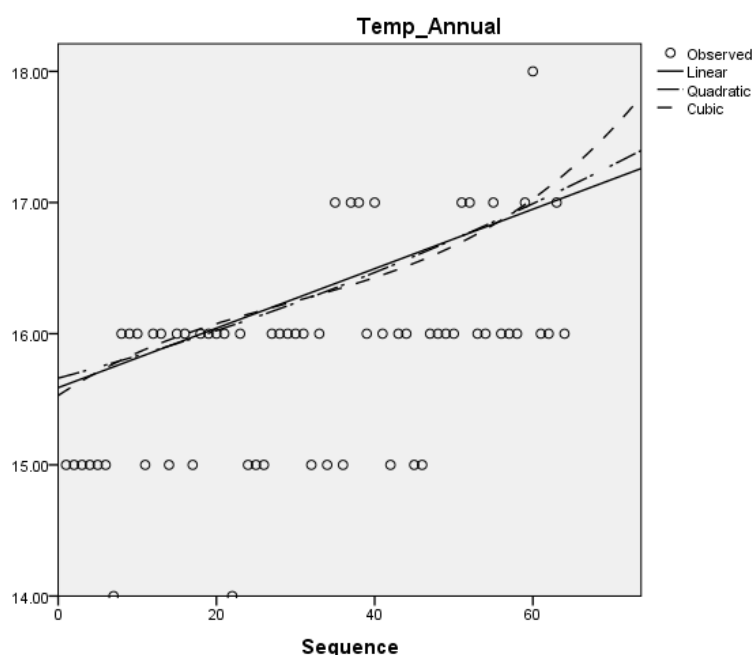
جدول ۲: مقدار آماره کالموگروف اسمینوف در خصوص آزمون بهنجار بودن توزیع داده‌ها

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		VAR۰۰۰۰۱
N		۵۰
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	۱۶,۴۶۴۸
	Std. Deviation	.۶۵۹۵۹
Most Extreme Differences	Absolute	.۱۳۴
	Positive	.۰۶۳
	Negative	-.۱۳۴
Test Statistic		.۱۳۴
Asymp. Sig. (۲-tailed)		.۰۲۵۰

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.



شکل ۲: برازش مدل درجه سوم، دوم و خطی با توزیع داده‌های دمای سالانه

در مقادیر حدی (بالا ترین و پایین ترین) بشکل شدیدتری بروز کند و نیز شدت آلودگی را افزایش دهد. افزایش روند سالانه تغییرات دما در شکل نشان دهنده روند قطعی افزایش طی ۶۳ سال گذشته است که تشدید جزیره حرارت شهری و نیز افزایش شدت و میزان آلودگی را در پی خواهد داشت.

به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر شدت و میزان آلودگی هوا، کیفیت هوای شهر اصفهان بر اساس شاخص AQI از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس بررسی‌های بعمل آمده میانگین شاخص AQI در شهر اصفهان ۸۴/۳ است که

از دیگر سو برازش توزیع داده‌ها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بر روی شکل شماره ۲ نشان داد، مدل‌های درجه سوم، دوم و خطی به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۶۱۰، ۰/۶۰۶ و ۰/۶۰۵ بهترین برازش را با توزیع داده‌ها نشان می‌دهد و در سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد تأیید قرار می‌گیرد.

بررسی ضرایب همبستگی با استفاده از همه مدل‌ها نشانگر همبستگی مثبت و روند افزایشی در مقادیر دما است. با توجه به ضریب بتای ۰/۲۲۷، مدل در طی ۶۳ سال گذشته، متوسط سالانه دمای شهر اصفهان ۱/۴۳ درجه سلسیوس افزایش داشته است که می‌تواند

است که در دی ماه ۱۳۹۲ رخ داده است. این شرایط به نظر می‌رسد بسیار خوب باشد. یعنی در ۸۶ درصد موارد بصورت میانگین کیفیت هوای شهر اصفهان در وضعیت سالم است. البته همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است شاخص عددی کیفیت هوا بین ۵۰-۱۰۰ در وضعیت زرد یا سالم قرار دارد. لیکن میانگین دوره آماری ۸۴/۳ است و وضعیت زرد نیز در بیشتر ماه‌ها بین ۸۰ تا ۹۰ است. این بدان معناست که شرایط زرد هوای اصفهان به نارتجی نزدیک‌تر است تا به سبز و تغییر اندک در شرایط هواشناختی بسرعت کیفیت هوای شهر اصفهان را به سمت وضعیت قرمز و قهوه‌ای یا بحرانی و خطرناک سوق می‌دهد. لذا باید تدابیر لازم اندیشیده شود تا کیفیت هوای اصفهان به سمت وضعیت سبز یا هوای پاک ارتقا یابد تا در مواقع پایداری هوا و وارونگی دمایی شاهد وضعیت بحرانی و خطرناک نباشیم.

بر اساس جدول رفرنس شماره ۱ بیانگر وضعیت سالم است. حداکثر متوسط ماهانه شاخص AQI در دوره مورد مطالعه برابر با ۱۶۱ است که در دی ماه سال ۹۲ رخ داده است. اگر چه متوسط شاخص در سال ۹۲ برابر با ۹۱/۵ است و کمتر از متوسط سال ۹۴ که برابر با ۹۵/۴ می‌باشد، لیکن به دلیل شرایط مقطعی هوا در فصل سرد، سال ۹۲ بسیار آلوده است و این بخاطر شرایط پایداری هوا در دی ماه ۹۲ بوده است. در جدول ۳ وضعیت متوسط ماهانه شاخص کیفیت هوا شهر اصفهان را از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ سال نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود بر اساس متوسط ماهانه شاخص AQI بیش از ۸۶ درصد ماه‌های سال شاخص در محدوده سالم قرار داد و در ۱۲ درصد ماه‌ها (۱۲ ماه) شاخص در محدوده نارتجی و ناسالم برای گروه‌های حساس و در یک ماه شاخص در محدوده قرمز یا ناسالم برای همه گروه‌ها

جدول ۳: متوسط ماهانه شاخص AQI در شهر اصفهان طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۹۷

۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	
۶۱	۷۸	۶۴	۸۷	۷۰	۷۲	۶۲	۸۸	فروردین
۶۷	۷۷	۶۹	۹۳	۶۸	۷۷	۸۸	۸۳	اردیبهشت
۷۶	۷۳	۷۴	۱۰۱	۷۲	۸۵	۸۷	۸۹	خرداد
۷۱	۸۶	۱۰۱	۹۵	۷۵	۹۱	۸۷	۹۸	تیر
۷۰	۶۸	۷۱	۸۹	۸۰	۸۳	۶۴	۸۴	مرداد
۷۸	۷۴	۸۸	۹۹	۷۱	۷۹	۶۶	۹۵	شهریور
۷۱	۸۶	۹۱	۹۷	۶۶	۸۶	۷۳	۹۰	مهر
۶۸	۱۰۷	۹۹	۱۰۰	۸۱	۹۶	۶۸	۷۷	آبان
۹۹	۱۰۲	۸۵	۱۰۸	۹۷	۹۵	۹۲	۱۰۳	آذر
۹۸	۱۱۲	۱۰۰	۱۰۴	۸۹	۱۶۱	۱۰۲	۹۴	دی
۸۲	۹۳	۸۰	۹۲	۷۷	۱۰۰	۸۱	۶۷	بهمن
۵۹	۵۹	۸۹	۸۰	۶۹	۷۴	۷۵	۸۴	اسفند
۷۵	۸۵	۸۵	۹۵	۷۷	۹۲	۷۹	۸۸	سالانه

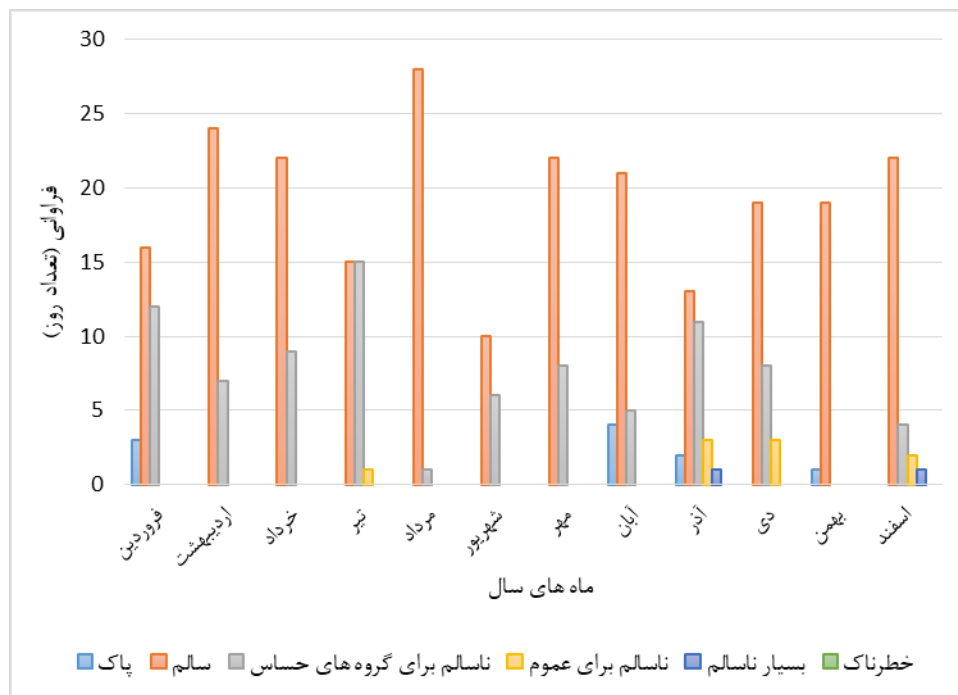
زمستان) شرایط در برخی موارد بدتر و بحرانی می‌شود و در برخی موارد شاهد وضعیت هوای پاک نیز هستیم و این بخاطر تغییرات شدید جوی در دوره سرد سال است که گاهی اوقات وزش باد و بارش، هوای پاک را به همراه دارد و گاهی پایداری هوا و شرایط اینورژن هوای بسیار آلوده را به همراه دارد. وضعیت آلودگی هوا و

برای اطلاع از کیفیت هوای شهر اصفهان، تغییرات شاخص AQI و وضعیت متناظر با آن بصورت نمونه برای سال ۱۳۹۷ بر روی شکل شماره ۳ بررسی شده است. بررسی کلی نشان می‌دهد شرایط هوا در شهر اصفهان در ماه‌های فصل گرم پیرامون وضعیت زرد و نارتجی است، ولی در فصل سرد (ماه‌های پاییز و



روزهای سالم در همه ماه‌ها از بقیه شاخص‌های کیفیت هوا بالاتر است و این نشان می‌دهد تا اصفهان به روزهای بحرانی‌تر نرسیده می‌توان کاری برای اصلاح شرایط زیست اقلیمی این شهر اندیشید و بکار بست.

مقدار عددی شاخص AQI طی ماه‌های مختلف نشان می‌دهد چه تعداد روز (فراوانی) دارای هر یک وضعیت پاک، سالم، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم برای عموم، بسیار ناسالم و خطرناک وجود دارد. همانطور که در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است فراوانی



شکل ۳: نمودار فراوانی روزهای با کیفیت متفاوت هوای طی ماه‌های مختلف در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۷

بالاترین شاخص گزارش شده مربوط به دی ماه بوده که از میدان آزادی با عدد ۲۸۶ گزارش شده است، در سال ۱۳۹۳ مقدار عددی حداقل و حداکثر شاخص مربوط به فصل پاییز، در سال ۱۳۹۴ مربوط به فصل بهار و تابستان، در سال ۱۳۹۵ مربوط به فصل زمستان و پاییز و در سال ۱۳۹۶ مربوط به فصل زمستان و تابستان است. در سال ۱۳۹۷ مقدار عددی حداقل و حداکثر شاخص موجود مربوط به فصل زمستان و تابستان است. در همین سال بالاترین شاخص گزارش شده مربوط به شهریور ماه بوده که از میدان احمد آباد با عدد ۱۷۳ گزارش شده است، بررسی میانگین شهر اصفهان نشان می‌دهد که بالاترین مقدار گزارش شده در دی ماه ۱۵۸ بوده است (جدول ۴). تفاوت در بروز حداقل/حداکثرهای آلودگی در فصول مختلف سال نشانگر این موضوع است که شدت‌های مختلف آلودگی

همچنین بررسی فصلی حداکثر و حداقل‌های شاخص AQI طی فصول مختلف نشان داد، میزان شاخص AQI در سال ۱۳۹۰ در فصول مختلف متفاوت بوده به طوری که مقدار عددی حداقل و حداکثر شاخص در این سال مربوط به فصل بهار و بالاترین مقدار عددی مربوط به فصل پاییز بوده است. در سال ۱۳۹۰ حداقل برابر با ۲۳ در پاییز بوده است. در همین سال بالاترین شاخص گزارش شده مربوط به آذرماه بوده که از میدان احمد آباد با عدد ۳۶۲ گزارش شده است، در سال ۱۳۹۱ مقدار عددی حداقل و حداکثر شاخص مربوط به فصل بهار است. بررسی میانگین شهر اصفهان نشان می‌دهد که بالاترین مقدار گزارش شده در اسفند ماه برابر با عدد ۲۳۷ بوده است. در سال ۱۳۹۲ مقدار عددی حداقل و حداکثر شاخص مربوط به بهار و زمستان می‌باشد. در سال ۱۳۹۲

تغییرات بیشتری همراه است می‌تواند در پیش‌یابی آلودگی هوا بسیار مؤثر باشد.

(بالاترین/پایین‌ترین) از شرایط جوی (پایداری/ناپایداری) تبعیت می‌کند. لذا پیش‌بینی‌های هواشناختی بخصوص در روزهای فصل سرد که با

جدول ۴: مقادیر عددی فصلی ثبت شده شاخص (AQI) ایستگاه های سنجش آلودگی هوا

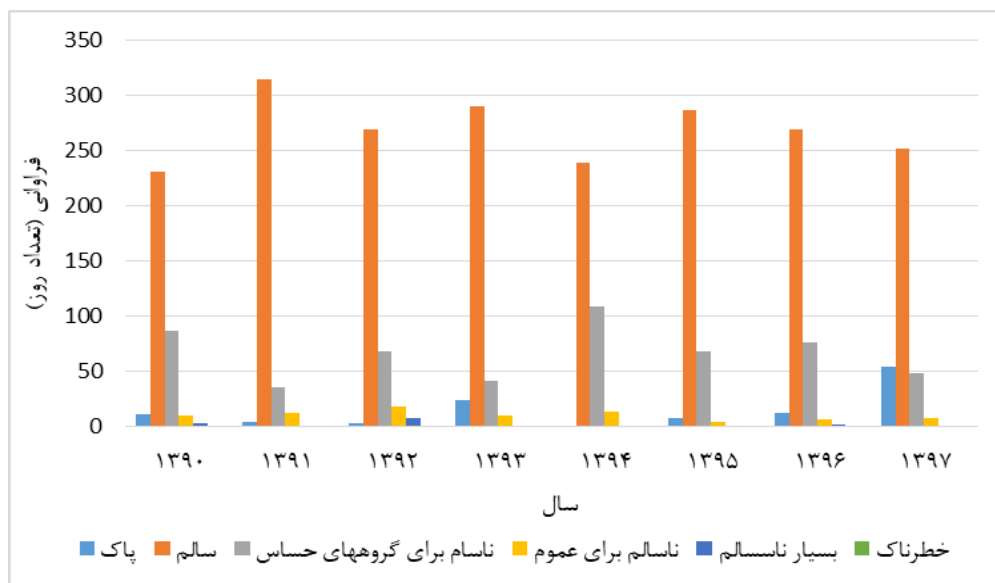
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	فصل	
				سال	
۲۴۸	۳۶۲	۱۶۶	۱۳۳	حداکثر	۹۰
۳۲	۲۳	۴۷	۴۶	حداقل	
۲۰۱	۲۱۲	۱۸۸	۳۵۲	حداکثر	۹۱
۴۱	۴۲	۴۷	۳۹	حداقل	
۳۱۰	۲۱۳	۱۵۸	۱۵۹	حداکثر	۹۲
۳۹	۴۹	۵۶	۲۷	حداقل	
۱۷۴	۲۱۶	۱۲۳	۱۱۲	حداکثر	۹۳
۴۲	۴۱	۵۱	۵۰	حداقل	
۱۵۶	۱۶۷	۱۵۸	۱۳۷	حداکثر	۹۴
۵۵	۴۸	۵۲	۴۷	حداقل	
۱۳۶	۱۹۸	۱۷۲	۱۵۵	حداکثر	۹۵
۵۹	۴۳	۵۶	۴۱	حداقل	
۱۸۹	۱۷۴	۲۵۲	۱۴۱	حداکثر	۹۶
۲۹	۶۰	۴۶	۵۲	حداقل	
۱۶۸	۱۶۵	۱۷۳	۱۲۲	حداکثر	۹۷
۱۶	۲۹	۳۹	۲۶	حداقل	

تعداد روزهای ناسالم برای عموم افزوده شده است. مجدد در سال ۹۵ نیز از تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس کم شده است و حتی بر تعداد روزهای سالم افزوده شده است. در سال ۹۶ بر تعداد روزهای پاک نیز افزوده شده لیکن روزهای ناسالم برای عموم نیز زیاد شده است. در سال ۹۷ تعداد روزهای پاک افزایش قابل توجهی داشته و از تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس کم شده و تعداد ناسالم برای عموم نیز بچشم می‌خورد. عدم پیروی افزایش یا کاهش تعداد روزهای ناسالم از روند مشخص، نشان دهنده این است که تغییرات آلودگی فقط تحت تأثیر منابع انتشار نیست بلکه از شرایط جوی تأثیر می‌پذیرد. بطوری‌که با توجه به افزایش جمعیت و تعداد خودرو طی سال ۹۰ تا ۹۷ انتظار می‌رود تعداد روزهای ناسالم افزایش یابد لیکن این روند وجود ندارد و این بدان معناست که عوامل

مقایسه وضعیت آلودگی هوای شهر اصفهان بر اساس فراوانی روزهای آلوده در طی سال‌های مختلف در شکل ۴ نشان می‌دهد، تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس روند مشخصی ندارد. برای مثال سال ۱۳۹۰ تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس نسبتاً بالا بوده و در سال ۱۳۹۱ از تعداد این روزها کاسته شده و بر عکس تعداد روزهای سالم افزایش چشمگیری داشته است و از بیشترین تعداد روزهای سالم برخوردار بوده است. لیکن مجدداً در سال ۱۳۹۲ تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس، حتی شرایط حادتر یعنی ناسالم برای عموم و بسیار ناسالم افزایش داشته است. با این حال در سال ۹۳ تعداد روزهای سالم و حتی پاک افزایش داشته است و از تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس کم شده است. ولی در سال ۹۴ تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس افزایش پیدا کرده است و حتی بر

آلودگی و افزودن به تعداد روزهای سالم و پاک مؤثر باشد. لیکن نداشتن روند مشخص در تعداد روزهای آلوده و سالم نشان دهنده نقش متغییرهای اقلیمی در تغییرات شدت و میزان آلودگی است. زیرا پایداری و ناپایداری جو نقش مؤثری در شدت و میزان آلودگی هوا دارد و با توجه به اینکه این شرایط طی سال‌های مختلف مرتبط با اغشاشات جوی و یا پایداری هوا ثابت نیست، لذا روند آلودگی بخصوص در ماههای فصل سرد تغییرات زیادی خواهد داشت.

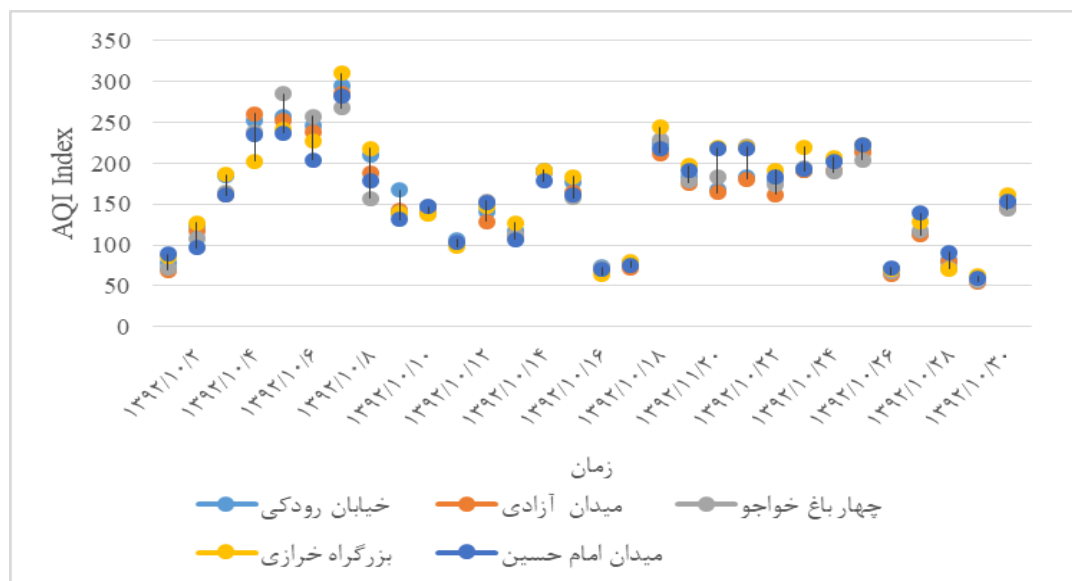
اقلیمی و هواشناختی نقش مؤثری در رقم زدن تعداد روزهای ناسالم در فصل سرد ایفا می‌کند. در غیر اینصورت بایستی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ بر تعداد روزهای آلوده و ناسالم افزوده می‌شد. لیکن نه تنها این رخ نداده بلکه روند مشخصی نیز در تعداد روزهای آلوده بچشم نمی‌خورد. البته سازمان محیط زیست اقدامات مؤثری را در جهت افزایش کیفیت سوخت خودروها و نیز کیفیت سوخت نیروگاه‌های اطراف شهر اصفهان انجام داده که می‌تواند در کاهش میزان



شکل ۴: وضعیت عمومی کیفیت هوا بر اساس فراوانی روزهای متناظر با کیفیت‌های مختلف طی دوره آماری ۱۳۹۰-۹۷

نقش شرایط جوی در شدت و میزان آلودگی بسیار حائز اهمیت است. افزایش شدت آلودگی در برخی ماه‌ها مرتبط با پایداری هوا از جمله دی‌ماه ۹۲ که بخاطر شرایط بلوکینگ پایداری به مدت یک ماه طول کشید واقعیت ثبت شده در نمودار شکل ۵ است که ذهن مردم و مسئولان را بخود مشغول داشته و هر ساله در فصل سرد سازمان محیط زیست را با چالش مواجه می‌سازد. همانطور که اشاره شد، اگر هوا پایدار و شرایط اینورژن برقرار باشد آلودگی وضعیت متوسط هوای سالم شهر اصفهان به وضعیت خطرناک و بحرانی تبدیل می‌گردد که نیازمند برنامه‌ریزی مناسب برای تبدیل میانگین شهر اصفهان از وضعیت هوای سالم به وضعیت هوای پاک است.

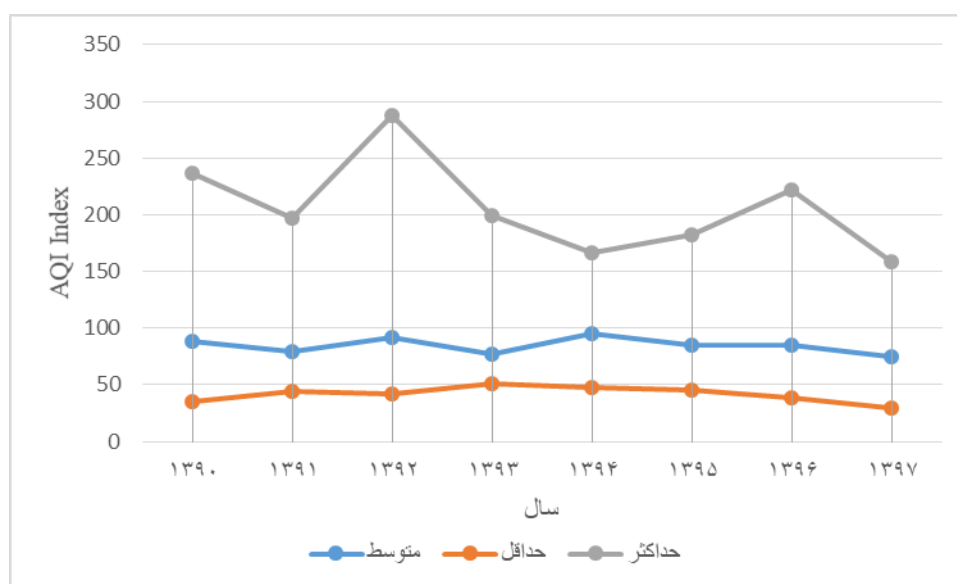
همانطور که در جدول ۵ مشاهده شد دی ماه سال ۹۲ متوسط ماهانه شاخص AQI برابر با ۱۶۱ یا در وضعیت قرمز قرار دارد. در شکل ۵ وضعیت شاخص AQI را برای کل ایستگاه‌های شهر اصفهان در دی ماه سال ۱۳۹۲ که آلوده ترین ماه طی دوره آماری مورد بررسی است نشان داده شده است. بررسی شرایط روزانه این ماه بر روی نمودار شماره ۵ نشان می‌دهد، در همه ایستگاه‌های مورد بررسی شاخص بالای ۱۵۰ یا در وضعیت قرمز قرار دارد و فقط در ۶ روز هوا در وضعیت سالم قرار دارد. در بسیاری از روزها کیفیت هوا در شرایط بسیار ناسالم و در ۱۰ روز سال هوا در وضعیت خطرناک و در ۴ روز هوا در وضعیت بحرانی قرار داشته است. کیفیت هوا در دی ماه ۹۲ بخاطر پایداری مطلق و غلبه سرمای هوا بوده است. بنابراین



شکل ۵: شاخص AQI در دی ماه سال ۱۳۹۲ به عنوان آلوده ترین ماه طی دوره آماری مورد بررسی

شهری مربوط است. همچنین اصلاح سوخت نیروگاه‌ها و کارخانجات اطراف اصفهان از مزوت و سوخت‌های سنگین به سوخت سبک مانند گاز طبیعی از دیگر اقدامات این سازمان است. این نمودار روندی کاهشی را از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ در وضعیت آلودگی هوا در سری حداقل، حداکثر و میانگین نشان می‌دهد (شکل ۶).

بررسی روند تغییرات مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر شاخص AQI در کل ایستگاه‌های سنجش و پایش آلودگی شهر اصفهان نشان می‌دهد کیفیت هوای شهر اصفهان رو به بهبود است. این موضوع به تلاش و فعالیت سازمان محافظت محیط زیست در اصرار به استفاده از بنزین با کیفیت یورو ۴ در اتومبیل‌های بنزین سوز و گاز سوز کردن اتوبوس‌ها



شکل ۶: نمودار روند تغییرات مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین شاخص AQI در دوره آماری ۹۷-۱۳۹۰.

### نتیجه گیری

بررسی کیفیت هوای شهری بر اساس شاخص‌های کمی می‌تواند واقعیت‌های ملموس‌تری از شرایط جو شهری را آشکار ساخته، راه را برای افزایش کیفیت هوای شهر هموار سازد. در این پژوهش کیفیت هوای شهر اصفهان بر اساس شاخص AQI تحت شرایط تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد دمای شهر اصفهان طی ۶۳ سال گذشته ۱/۴۳ درجه سلسیوس افزایش داشته است که مرتبط با تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی است. بر همین اساس شدت و میزان آلودگی هوا طی سالهای پایانی دوره آماری مورد بررسی (۱۳۹۰-۹۷) به شدت افزایش داشته است. میانگین کلی شاخص AQI در شهر اصفهان در طی همین دوره آماری برابر با ۸۴/۳ است که وضعیت سالم را نشان می‌دهد. بر اساس میانگین ماهانه شاخص AQI بیش از ۸۶ درصد ماه‌های سال شاخص در محدوده سالم قرار داد و در ۱۲ درصد ماه‌ها (۱۲ ماه) شاخص در محدوده نارنجی و ناسالم برای گروه‌های حساس و در یک ماه شاخص در محدوده قرمز یا ناسالم برای همه گروه‌ها است. حداکثر متوسط ماهانه شاخص AQI در دوره مورد مطالعه برابر با ۱۶۱ یا وضعیت قرمز است که در دی ماه سال ۹۲ رخ داده است.

بررسی کلی نشان می‌دهد شرایط هوا در شهر اصفهان در ماههای فصل گرم پیرامون وضعیت زرد و نارنجی است ولی در فصل سرد (ماه‌های پاییز و زمستان) شرایط در برخی موارد بدتر و بحرانی می‌شود و در برخی موارد شاهد وضعیت هوای پاک نیز هستیم. بروز این شرایط بخاطر تغییرات شدید جوی در دوره سرد سال است که گاهی اوقات وزش باد و

بارش، هوای پاک را به‌مراه دارد و گاهی پایداری هوا و شرایط اینورژن، هوای بسیار آلوده و خطرناک را به‌مراه دارد. افزایش تعداد روزهای با هوای سالم در سال‌های پایانی دوره، سال ۹۶ و ۹۷ نشان می‌دهد بر خلاف افزایش جمعیت و نیز افزایش تعداد خودرو طی سال ۹۰ تا ۹۷، تعداد روزهای ناسالم افزایش نیافته است. این بدان معناست که اقدامات سازمان محیط زیست در جهت افزایش کیفیت سوخت خودروها و نیز کیفیت سوخت نیروگاه‌های اطراف شهر اصفهان، نقش مؤثری در کاهش میزان آلودگی و افزودن به تعداد روزهای سالم و پاک داشته است. در غیر اینصورت بایستی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ بر تعداد روزهای آلوده و ناسالم افزوده می‌شد لیکن نه تنها این رخ نداده، بلکه روند مشخصی نیز در تعداد روزهای آلوده بچشم نمی‌خورد. البته نقش عوامل اقلیمی و هواشناختی در رقم زدن تعداد روزهای ناسالم را نباید نادیده گرفت. از این رو نداشتن روند مشخص در تعداد روزهای آلوده و سالم، نشان دهنده اثرپذیری شدت آلودگی از عوامل اقلیمی است. زیرا پایداری و ناپایداری جو نقش مؤثری در شدت و میزان آلودگی هوا دارد و با توجه به اینکه این شرایط طی سالهای مختلف مرتبط با اغشاشات جوی و یا پایداری هوا ثابت نیست، لذا روند آلودگی بخصوص در ماه‌های فصل سرد از تغییرات بیشتری برخوردار است. بروز شرایط بحرانی و خطرناک در روزهای با شرایط اینورژن و پایداری هوا نشانگر این است که باید میانگین ماهانه کیفیت هوا را از شرایط هوای سالم (میانگین شاخص ۸۴/۳) به شرایط هوای پاک یعنی زیر شاخص عددی ۵۰ کاهش داد تا در شرایط جوی مذکور کیفیت هوا به حالت بحرانی و خطرناک نرسد.

### منابع

۱. آروین، عباسعلی. ۱۳۸۹. تحلیل آماری از اثر عناصر جوی بر آزون سطحی شهر اصفهان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره دوم، ۷۷-۸۹.
۲. امیدوار، کمال، نارنگی‌فرد، مهدی، حاتمی، خداکرم، بیگلر، بهمن. ۱۳۹۳. شناسایی الگوهای همدید روزهای

- آلوده به ذرات معلق به روش واکاوی خوشه‌ای شهر شیراز، مجله مخاطرات محیطی، شماره چهارم، ۸۱-۹۴.
۳. بیدختی، علی‌اکبر، بنی‌هاشم، تاج‌الدین. ۱۳۸۳. لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، مجله محیط‌شناسی دانشگاه تهران، شماره ۲۰، صفحات ۵۱-۶۰.
۴. صادقی، سلیمان. مفیدی، عباس، جهانگیری، مهین. دوستان، رضا. ۱۳۹۳. نقش الگوهای گردشی مقیاس

- منطقه ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دهم، ۱-۳۵.
۵. کیخسروی، قاسم، لشکری، حسین. ۱۳۹۱. تحلیل رابطه بین ضخامت ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۷، ۲۳۱-۲۵۷.
۶. کریمپور، مصطفی، سلیقه، محمد، طولابی‌نژاد، میثم، زارعی چغابلیکی، زهرا. ۱۳۹۴. بررسی آلودگی هوای شهر تهران به روش وارونگی بحرانی هافتر، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۱، ۶۴-۵۱.
۷. شرعی‌پور، زهرا. بیدختی، علی‌اکبر. ۱۳۹۳. بررسی توزیع مکانی زمانی آلاینده های هوا در شهر تهران برای ماههای سرد سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۱، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۴، ۱۶۶-۱۴۹.
۸. طاوسی، تقی، حسین‌آبادی، نسرین. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص‌های وارونگی دمای لایه مرزی هوای شهر تهران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵، ۱۳۲-۱۲۰.
۹. سلطانی‌گرد فرامرزی، طاهره، مفیدی، عباس، گندمکار، امیر. ۱۳۹۴. بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد مورد مطالعه روزهای ۱۴ و ۱۳ نوامبر ۲۰۰۷، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۲، ۱۱۲-۹۵.
۱۰. حسین‌آبادی، نسرین، طاوسی، تقی، مفیدی، عباس، خسروی، محمود. ۱۳۹۷. بررسی شرایط ترمودینامیکی وقوع وارونگی‌های دمایی شدید و آلودگی هوای شهر مشهد مطالعه موردی ۱۰ آذر تا ۱۰ دی ماه ۱۳۹۶، دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد. ۹۱۴-۹۰۷.
۱۱. علایی، مهدی. ۱۳۷۶. نمونه‌گیری آنالیز و مدل‌سازی ذرات معلق هوایی شهر تهران، تهران، انتشارات سازمان هواشناسی.
۱۲. Diem, J.E., Hursey, M.A., Morris, I.R., Murray A.C., and Rodriguez, R.A. ۲۰۱۰. Upper-Level Atmospheric Circulation Pattern and Ground-level Ozone in the Atlanta Metropolitan Area. *J. Appl. Meteor. Climatol.* ۴۹ (۱۱): ۲۱۸۵-۲۱۹۶.
۱۳. Dong, M., Yang, D., Kuang, Y., He, D., Erdal, S., and Keneski, D. ۲۰۰۹. PM<sub>۲.۵</sub> Concentration prediction using hidden semi-markov model-based time series Data mining, *Expert Systems with Applications* ۳۶: ۹۰۴۶-۹۰۵۵.
۱۴. Hueilin, N., and Yang Chen, J. ۲۰۰۲. Use of pollution standard Index as the Indicator of air quality in Taiwan, *Coold and Aerosol Lab Dept, Atmospheric sciences. National Central University Chung-li Taiwan.*
۱۵. Iacobellis, S.F., Norris, J.R., Kanamitsu, M., Tyree, M., and Cayan, D.C. ۲۰۰۹. Climate variability and California low - level Temperature Inversions, *California climate change Center, CEC-۰۰۰-۲۰۰۹-۰۲۰-F: ۱-۴۷.*
۱۶. Kaiser M.S., Daniels, M.J., Furakawa, K., and Dioxin, P. ۲۰۰۲. Analysis of particulate matter air pollution using markov random field models of spatial dependence, *Environmentrics*, ۱۲(۵-۶): ۶۱۵-۶۲۸.
۱۷. Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustris, K., Asimakopoulos, D., Pouloupoulou, G., and Trichopoulos, D. ۱۹۹۸. Evidence for Interaction between Air Pollution and High Temperature in the Causation of Excess Mortality, *International Journal of Environmental Health*, ۴۸(۴): Published online: ۰۳ Aug ۲۰۱۰.
۱۸. Kober, A.U. ۲۰۱۳. The influence of temperature inversions on the air pollution in the city of Sibiu, *Riscurui Catastrofe* ۱۲: ۳۶-۴۵.
۱۹. Lin, Gong-Yah. ۱۹۸۱. Synoptic Markov chain model of smog probability in the south coast Air basin of colifornia. *Journal of The professional Geographer*, ۳۳(۲): ۲۲۸-۲۳۶. Published online: ۱۵ Mar ۲۰۱۰.
۲۰. Matthias, D., and Nicole, V.L. ۲۰۱۰. A new method to estimate air-quality levels using a synoptic-regression approach. Part I: Present-day O<sub>۳</sub> and PM<sub>۱۰</sub> analysis, *Atmospheric Environment*, ۴۴(۱۰): ۱۳۴۱-۱۳۵۵.
۲۱. Moussiopoulos, N., Helmis, C.G., Flocas, H.A., Louka, P., Assimakopoulos, V.D., Naneris, C., and Sahm, P. ۲۰۰۴. A Modelling Method for Estimating Transboundary air Pollution in Southeastern Europe, *Environmental Modelling & Software*, ۱۹(۶): ۵۴۹-۵۵۸.

۲۲. Roshan, Gh., Faghani, M., and Fitchett, J.M. ۲۰۲۰. Developing a thermal stress map of Iran through modeling a combination of bioclimatic indices, *Environ Monit Assess*, ۱۹۲-۵۴۹: ۱-۲۱.
۲۳. Roshan, Gh., Moghbe, M., and Attia, Sh. ۲۰۲۰. Evaluating the wind cooling potential on outdoor thermal comfort in selected Iranian climate types, *Journal of Thermal Biology*, ۹۲: ۱-۱۲.
۲۴. Yasmeen, Z. ۲۰۱۱. Inversion Layer and its Environmental Impact over Karachi, *Pakistan Journal of Meterology*, ۷: ۵۳-۶۲.
۲۵. Zeng, S., and Zang, Y. ۲۰۱۷. The Effect of Meteorological Elements on Continuing Heavy Air Pollution, A case study in the Changdu Area During the ۲۰۱۴ Spring Festival, *Atmosphere*, ۸(۴): ۸۵-۹۴.