

سهم مدیریت وارونگی اقلیمی در کنترل آستانه شاخص کیفیت هوای شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان)

محمدرضا محبوب‌فر - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
محمدحسین رامشت* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
حجت‌الله یزدان‌پناه - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
مهری اذانی - استادیار گروه جغرافیای شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

چکیده

وارونگی هوا^۱ پدیده اقلیمی است که سبب افزایش تراکم آلاینده‌ها در شهرهای پرجمعیت و صنعتی می‌شود؛ به طوری که عبور از آستانه کیفیت هوا مشکلات عدیده‌ای برای شهروندان به دنبال دارد. توجه مدیران برای مقابله با این مشکل بیشتر معطوف به عوامل آلاینده چون ترافیک است. اما باید دید اگر این پدیده در فصول مختلف وجود دارد و عوامل آلاینده نیز تغییر چندانی در طول سال ندارد، چه عاملی سبب عبور مقدار شاخص کیفیت هوا^۲ از آستانه می‌شود و اگر استمرار اینورژن موجب چنین وضعیتی است، می‌توان راهکارهای اقلیمی برای کاهش استمرار این وضعیت پیشنهاد کرد. این پژوهش کاربردی با روش تحلیل فضایی مؤلفه‌های اقلیمی (فشار و دما) و آلاینده‌های هوا (O₃, PM, Co, SO₂, NO₂) و با بهره‌گیری از روش همبستگی و تکنیک کریجینگ و با استفاده از تحلیلگر Surfer انجام گرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که:
* در حاکمیت اینورژن از طریق هسته‌های سلولی فشار و دما امکان تحریک سلول‌ها برای ایجاد آشفستگی وجود دارد.
* در ماه آبان و آذر با کنترل ترافیک و در دی‌ماه با کنترل آلوده‌کننده‌های صنعتی می‌توان از عبور شاخص کیفیت از حد مجاز جلوگیری کرد.

کلیدواژه‌ها: آستانه، اصفهان، اینورژن، شاخص کیفیت هوا (AQI).

مقدمه

همواره دما در لایه تحتانی جو^۳ به طور طبیعی با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد؛ یعنی هوای سطح زمین، که در مجاورت زیست‌کره واقع شده، گرم‌تر از سطوح بالاست. بنابراین، در چنین شرایطی تحرکات عمودی جو به راحتی مهیا و هوای سطح زمین با هوای پاک و پاکیزه سطوح بالایی جابه‌جا و تهویه طبیعی انجام می‌گیرد. اگر شرایط به گونه‌ای باشد که، با افزایش ارتفاع، دما نیز افزایش یابد، یعنی هوای مجاور سطح زمین سردتر از سطوح بالایی شود، در این حالت جابه‌جایی عمودی جوی متوقف می‌شود و به حالت پایدار باقی می‌ماند؛ به چنین حالتی وارونگی دمایی یا اینورژن گفته می‌شود (کریمی و درخشان، ۱۳۸۴: ۱). در مراکز شهری بزرگ، به خصوص شهر اصفهان، با توجه به موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی خاص آن، اثرهای اینورژن در افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی بسیار مشهود است (شفقی، ۱۳۸۱: ۵۹).

اما باید دانست که این پدیده در تمامی فصول سال به صورت طبیعی رخ می‌دهد؛ حال این سؤال مطرح است که علت آنکه در ماه‌های سرد رخ‌دادن این پدیده سبب عبور غلظت آلودگی از حد مجاز می‌شود چیست؟ پدیده اینورژن معمولاً با طلوع آفتاب استمرار نمی‌یابد و جو به حالت عادی برمی‌گردد. بنابراین، به طور کلی، می‌توان گفت علت بروز آستانه‌های غیرمجاز در آلودگی هوای شهرهای بزرگ استمرار این پدیده در فصول سرد است. اکنون با توضیحات مختصر فوق می‌توان مسئله را با ادبیات دیگری مطرح کرد و آن اینکه استمرار پایداری هوا در شهرهای بزرگ و صنعتی شرایط وقوع عبور آستانه‌های غیرمجاز آلودگی را سبب می‌شود. اگر پذیریم که امکان رخ‌دادن پدیده اینورژن در تمامی روزها وجود دارد و استمرار آن فقط در تعداد اندکی از روزها، آن هم در فصل سرد، سبب دردسرساز شدن این پدیده می‌شود، می‌توان این پرسش را مطرح کرد که آیا می‌توان شرایط جوی‌ای فراهم ساخت که ناپایداری جوی به‌وجود آید و یا به‌گونه‌ای عمل کرد که استمرار اینورژن به حدی میل نکند که آلودگی از مرز آستانه‌های غیرمجاز عبور کند؟ به عبارت دیگر، مسئله اصلی در این تحقیق آن است که آیا امکان مدیریت آلودگی هوای اصفهان به نحوی که غلظت آلودگی جوی به آستانه بحران‌زا میل نکند، وجود دارد؟ اگر پاسخ مثبت باشد، چگونه با تمسک به مدیریت هوا می‌توان مدلی برای کنترل آستانه بحران آلودگی هوا طراحی کرد؟ به عبارت دیگر، بحرانی‌شدن غلظت آلودگی هوا مسئله اصلی این پژوهش است و به دنبال آن باید به این سؤالات پاسخ گفت که نقش اساسی در بحران آلودگی هوا در شهر اصفهان مربوط به کدام یک از عوامل جغرافیایی است؟ آیا عوامل جغرافیایی مؤثر در بحران آلودگی هوا در شهر اصفهان قابل کنترلند؟ و اگر چنین امری محتمل نباشد، کدام عنصر آلوده‌کننده سهم بیشتری در آلودگی و عبور آن از مرز آستانه دارد؟ بدیهی است پاسخ این پرسش‌ها مدیران شهری را در تصمیم‌گیری کنترل آلودگی‌ها در زمان احتمالی بروز این پدیده یاری خواهد داد.

منطقه مورد مطالعه در نوار فوق حاره یا کمربند پرفشار جنب حاره قرار گرفته است که مهم‌ترین ویژگی سیاره‌ای آن کمبود بارش و وقوع اینورژن در این ناحیه است. منطقه مورد مطالعه طول جغرافیایی برابر ۱ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵ ثانیه و عرض جغرافیایی شمال برابر ۱ درجه و ۲۶ دقیقه و ۲۰ ثانیه را دربر می‌گیرد (درویش‌محمدی، ۱۳۹۱: ۱۲-۱۳). اهمیت پدیده اینورژن در کنترل آستانه کیفیت هوا، به‌ویژه در مناطق فوق حاره، محققان متعددی را ترغیب به پژوهش در زمینه سازوکار پدیده وارونگی کرده و تحقیقات ارزشمندی در این حوزه انجام گرفته که می‌توان از افراد زیر نام برد:

تاداتیل و گوش (۱۹۹۲) وارونگی دمای لایه سطحی را در جنوب شرقی دریای عرب در طول زمستان بررسی کردند. براساس نتایج این تحقیق، معکوس شدن دمایی در این منطقه یک ویژگی فصلی پایدار است و وقوع آن به آب‌های ساحلی محدود می‌شود. گلدریچ (۲۰۰۹) ارتباط شهرسازی و توپوکلیم و ارتباط مشخصات توپوگرافی مانند ارتفاع، جهت شیب، و شیب را بر روی اقلیم شهری بررسی کرد. وی در این تحقیق مدعی شده است که بین عامل توپوگرافی و بروز پدیده اینورژن همبستگی وجود دارد. دواستل و همکاران (۲۰۱۰) فراوانی و شدت وارونگی‌های دمای سواحل اقیانوس شمالی را با استفاده از نیم‌رخ دما مطالعه کردند. براساس نتایج این پژوهش، اینورژن یکی از ویژگی‌های غالب جوی است. این پدیده بیشتر در فصل زمستان بروز می‌کند و یکی از اثرهای آن تجمع آلوده‌کننده‌ها در لایه تروپوسفر است. عمارسایخان (۲۰۱۴) به بررسی آلودگی هوا در شهر اولان باتار مغولستان پرداخت و اعلام کرد که آلودگی هوا به مشکل اصلی در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه تبدیل شده است. رندون (۲۰۱۴) به ارتباط بین وارونگی هوا

و کیفیت هوا در مناطق شهری آلمان پرداخت. در این تحقیق، از وسایل حمل و نقل به عنوان آلوده‌کننده‌های هوا نام برده شده است. همچنین، نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که در زمان استمرار پدیدهٔ اینورژن جزیرهٔ گرمایی شهری نیز گسترش می‌یابد که در تجمیع آلاینده‌های جوی مؤثر است. لئوکاف و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر وارونگی دمایی بر شدت آلودگی هوا در شهر اینس براک استرالیا پرداختند. در این پژوهش، رفع اینورژن تا حدود بسیار زیادی با تلاطم هوا همراه بوده است و در این شرایط، آلودگی هوا به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. فرتلی و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعهٔ تأثیر الگوهای جوی محلی در غلظت ذرات معلق ۱۰ میکرون در شهر ناپل ایتالیا پرداختند. بر این اساس، در زمان استمرار اینورژن بحران‌های شدید آلودگی هوا رخ داده است. ماستیک (۲۰۱۶) نسبت به اندازه‌گیری دمای وارونگی در ساریو اقدام کرد و به تحلیل تجمع آلاینده‌های هوا در این شهر پرداخت. براساس نتایج این طرح، آلودگی هوا در مناطق مسکونی و پُرتراфик در زمان وقوع اینورژن افزایش یافته است. لاواکس و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعهٔ توزیع غلظت آلایندهٔ CO₂ در زمان‌های رخداد وارونگی هوا در شهر پارک پنسیلوانیا پرداخت. مطابق با نتایج این تحقیق، غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند CO₂ در شرایط وارونگی هوا در مناطق مسکونی و پُرتراфик منطقهٔ مورد مطالعه افزایش یافته است. پی و شیلاینگ (۲۰۱۶) به تغییرات طولانی‌مدت مقادیر آلودگی هوا در شرایط وارونگی دمایی در سطح ایالات متحدهٔ امریکا اشاره کرد. براساس نتایج این تحقیق، رویدادهای هواشناسی، مانند امواج گرما، دما، و رکود اتمسفر (اینورژن)، می‌توانند به طور قابل توجهی کیفیت هوا را تحت تأثیر قرار دهند و باعث تشدید یا کاهش آلودگی هوا شوند. در این پژوهش، همچنین، مشخص شد که تغییرات فصلی می‌تواند در بروز یا عدم بروز اینورژن مؤثر باشد.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۲) به تأثیرپذیری شدت جزیرهٔ گرمایی شهری تهران از الگوهای همدیدی جو اشاره کرده‌اند. آن‌ها نشان دادند که در زمان حاکمیت شرایط پُرفشاری، به علت سکون هوا، شدت جزیرهٔ گرمایی افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که در شرایط کم‌فشاری عکس این حالت رخ می‌دهد. وضعیت و شدت وارونگی‌های سطح پایین شهر تبریز طی دورهٔ ۲۰۰۴-۲۰۰۸ توسط جهان‌بخش و روشنی (۱۳۹۲) بررسی شد؛ نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر وارونگی‌های بسیار شدید که در فصل زمستان اتفاق افتاده از نوع تابشی است و ۷۰ درصد وارونگی‌های دمای دومرحله‌ای که نقش ویژه‌ای در تداوم وارونگی دارند در فصل زمستان به‌ویژه در ماه ژانویه رخ می‌دهد. کیخسروی و لشکری (۱۳۹۳) به تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی در شهر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زمانی که ارتفاع اینورژن به سطح زمین نزدیک شده بر شدت آلودگی هوا افزوده شده است. مهدیان ماه‌فیروزی و همکاران (۱۳۹۴) به اثرهای گسترش فضای سبز بر الگوی جزیرهٔ گرمایی شهری در بوستان ولایت شهر تهران پرداختند. نتایج این پژوهشگران بیانگر آن است که جمعیت شهرنشین زیاد، الگوی شهرسازی نامنظم، سرانهٔ فضای سبز نامناسب، و توزیع ناهمگن فضای سبز در شهر تهران موجب افزایش شدت و چندهسته‌ای شدن جزیرهٔ گرمایی شده است.

درویش‌محمدی (۱۳۹۱) به بررسی تأثیر توپوکلیم بر روی وارونگی هوای شهر اصفهان در هفت روز وارونگی هوا (۹، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، و ۲۰ آذر) با استفاده از داده‌های رادیوسوند و ایستگاه‌های زمینی در آذر ۱۳۸۹ در مقیاس روزانه پرداخت. نتایج تحقیق او نشان داد: سلول‌های بسته با تفاوت فشار و دمای قابل توجه بر روی شهر اصفهان تشکیل نمی‌شود، بلکه در حومهٔ آن تشکیل می‌شود. همچنین، سلول‌های بستهٔ حرارتی با جهت شمالی-جنوبی بر روی مورچه‌خورت و شهرضا و سلول‌های بستهٔ فشاری با جهت شمالی-شرقی بر روی میمه و ورزنه تشکیل می‌شوند. ادارهٔ کل مدیریت بحران استانداری اصفهان (۱۳۹۱) در طی پژوهشی با نام «طرح جامع خطرپذیری و مدیریت بحران استان اصفهان- بحران‌های جوی: آلودگی هوا، وارونگی دما، و گرد و غبار» به موضوع امکان‌سنجی مدیریت بحران‌های جوی

استان اصفهان پرداخت. براساس نتایج این پژوهش، اقدامات در وضعیت‌های هشدار و اضطرار و بحران مهم‌ترین دستورالعمل‌های مدیریتی در جهت سازمان‌دهی گروه‌های مختلف درگیر در کنترل آلودگی هواست. اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان (۱۳۹۲) در طرح پژوهشی با نام «برنامه جامع کنترل کیفی هوای اصفهان» به موضوع اهمیت کنترل آلودگی هوا در اصفهان پرداخته و در همین راستا وظایف اجرایی سازمان‌ها و دستگاه‌های مرتبط در این خصوص را تبیین کرده است.

همان‌طور که از مطالعات فوق مشهود است، عوامل مشترک بسیاری در این تحقیقات وجود دارد که می‌تواند مبنای مناسبی برای طراحی یک مدل مدیریت بحران آلودگی هوا در کلان‌شهرهای ایران باشد. در همین راستا، در مطالعه پیش رو، پس از معرفی اینورژن و پیامدهای این پدیده اقلیمی، به سهم مدیریت وارونگی اقلیمی در کنترل شاخص کیفیت هوای شهری اصفهان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق در این پژوهش بیشتر بر یک روش تفهیمی و تابع اصول تحلیل داده‌های اقلیمی و آلاینده‌های جوی استوار است. تحقیق حاضر با هدف شناسایی عوامل جغرافیایی مؤثر در مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان انجام گرفته و برای دستیابی به اهداف تحقیق موضوع آستانه‌های بحرانی آلودگی هوا مطرح است. بنابراین، داده‌های مورد استفاده و پهنه مورد استفاده شامل شهر اصفهان و مناطق اطراف آن به گستره دامنه شمالی تا میمه، دامنه جنوبی تا شهرضا، دامنه شرقی تا سجزی، و دامنه غربی تا نجف‌آباد است. محدوده زمانی تحقیق هم به واسطه آنکه میزان تراکم آلودگی‌ها در ماه‌های آبان، آذر، و دی‌ماه گزارش شده، داده‌های مربوط به این مقطع زمانی تحلیل شده است؛ ضمن آنکه برای تدارک شرایط اقلیمی عمومی این منطقه از داده‌های سی‌ساله سازمان هواشناسی ایران (فشار و دما) از سال ۱۳۶۵ لغایت سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. با توجه به اینکه هدف اصلی در این تحقیق تحلیل درازمدت آستانه‌های شاخص کیفیت هوا (AQI) نبوده، بلکه واکاوی و شناسایی الگوی تغییرات این شاخص بوده است، برای به‌دست‌آوردن الگوی مکانیسم این تغییرات از آمار شاخص کیفیت هوای شهر اصفهان (AQI شامل متغیرهای O₃, PM, Co, SO₂, NO₂) طی دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۹۵ و همچنین شاخص‌های هواشناسی در ماه‌های مختلف سال طی دوره آماری ۱۳۶۵-۱۳۹۵ استفاده شده است. برای تحقق اهداف تحقیق، در گام نخست، تحلیل اطلاعات اقلیمی و عوامل آلوده‌کننده جوی در اصفهان در دستور کار قرار گرفت. این اطلاعات شامل داده‌های فشار و دماست. بنابراین، برای تدارک این داده‌ها از آمار سی‌ساله سازمان هواشناسی کشور شامل نه ایستگاه هواشناسی (میمه، مورچه‌خورت، فرودگاه یا شرق اصفهان، اصفهان، ورزنه، نجف‌آباد، زرین‌شهر، مبارکه، و شهرضا) بهره گرفته شد. سپس، به پهنه‌بندی و تحلیل شرایط عمومی جوی در منطقه مطالعاتی شامل نقشه‌های متوسط دمای سالیانه و متوسط فشار سالیانه اقدام گردید. در ادامه، می‌بایست معلوم می‌شد که چه عامل اقلیمی در گذر حد آستانه‌ها شاخص آلودگی (AQI > 150) مؤثر است. لذا، داده‌های نه ایستگاه هواشناسی در منطقه مطالعاتی بررسی و به تحلیل اینورژن در سطوح مختلف دما و فشار مبادرت گردید. بر این اساس، به تهیه و سپس تحلیل نقشه‌های فشار و دما در سطوح مختلف اقدام شد (صد نقشه) و از میان آن‌ها تراز ۱۶۷۰، ۱۶۸۰، و ۱۸۶۰ متری به واسطه تشکیل سلول‌های بسته فشاری و حرارتی انتخاب شدند. در ادامه، شاخص تحریک‌پذیری سلولی $\left(\frac{f}{k}\right)$ (C.E) محاسبه شد. در این فرمول، $k = \frac{D}{\Delta t, p}$ و $f = \text{جرم نیوتونی تفاوت دما و فشار سلولی است}$. در فرمول $k = \frac{D}{\Delta t, p}$ ، k آومتري فاصله- تفاوت سلولی است.

در گام نهایی نیز آمار آلودگی هوا (داده‌های شاخص کیفیت هوا) از ابتدا تا پایان دوره زمانی ثبت آمار شاخص کیفیت هوا یعنی دوره پانزده ساله ۱۳۸۰-۱۳۹۵ از چهارده ایستگاه سنجش آلودگی هوا شامل میدان احمدآباد (ایستگاه شماره ۱)، میدان آزادی (ایستگاه شماره ۲)، خیابان رودکی (ایستگاه شماره ۳)، خیابان چهارباغ خواجه (ایستگاه شماره ۴)، بزرگراه شهید خرازی (ایستگاه شماره ۵)، میدان امام حسین (ایستگاه شماره ۶)، خیابان پروین (ایستگاه شماره ۷)، میدان بزرگمهر (ایستگاه شماره ۸)، شهر سگزی (ایستگاه شماره ۹)، شهر مبارکه (ایستگاه شماره ۱۰)، زرین شهر (ایستگاه شماره ۱۱)، شهر نجف‌آباد (ایستگاه شماره ۱۲)، شاهین شهر (ایستگاه شماره ۱۳)، و خمینی شهر (ایستگاه شماره ۱۴) متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست اخذ شد و بررسی روی روزهایی که آلودگی به آستانه بحران رسیده است متمرکز گردید.

داده‌های آلودگی هوا از چهارده ایستگاه سنجش آلودگی هوا شامل O_3 , PM , Co , SO_2 , NO_2 اخذ شد و پس از محاسبه شاخص کیفیت هوا و تعیین نسبت آلوده‌کننده‌ها با استفاده از روش کریجینگ، به تهیه نقشه‌های شاخص آلودگی هوا در روزهای بحرانی و سپس تحلیل آن‌ها از طریق تحلیلگر Surfer اقدام شد. در ادامه، به شناسایی و تحلیل عوامل اقلیمی و مدیریتی در کنترل آستانه‌های شاخص کیفیت هوا مبادرت گردید.

یافته‌های پژوهش

برای تحقق اهداف این پژوهش دو مرحله کاری تعریف شده است:

الف) تحلیل اینورژن دمایی و فشاری؛

ب) تحلیل عناصر آلوده‌کننده شهری.

الف) تحلیل پدیده اینورژن در اصفهان

با توجه به داده‌های اسنادی و نتایج استخراج شده، ویژگی‌های اینورژن در اصفهان می‌بایست تحلیل می‌شد و شدت، استمرار، و ارتفاع اینورژن در سطوح ارتفاعی متعدد آشکار می‌گردید. برای دستیابی به وضعیت وارونگی دمایی و فشاری در سطوح مختلف، داده‌های نه ایستگاه هواشناسی در منطقه مطالعاتی همراه داده‌های رادیوسوند بررسی شد و تحلیل اینورژن در سطوح مختلف دما و فشار میسر گشت و سپس به تهیه نقشه‌های دما و فشار در روزهای بحرانی مبادرت گردید. این بررسی‌ها شامل صد نقشه در ارتفاعات گوناگون متعدد است که با واکاوی آن‌ها دو سطح ۱۶۷۰ و ۱۶۸۰ متری از سطح دریا برای دما و سطح ۱۸۶۰ متری برای فشار، که دارای سلول‌های بسته بودند، انتخاب گردید. در واقع، ارتفاعات فوق سطوحی هستند که در جو سلول‌های بسته و دمایی و فشاری با اختلافات خاص شکل می‌گیرند (نقشه‌های ۱، ۲، و ۳).

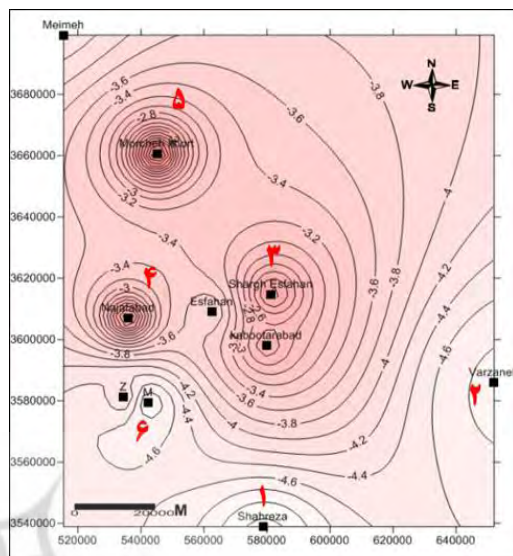
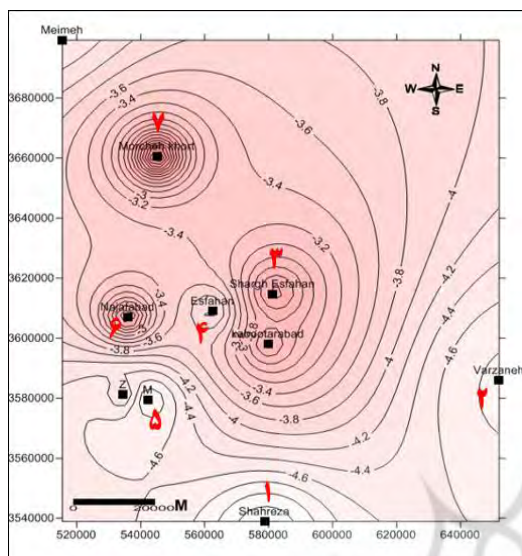
تحلیل داده‌ها به خوبی نشان می‌دهد:

- وارونگی دمایی در اصفهان حداکثر تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری از سطح تراز دریا دیده می‌شود و پس از آن فرایند معمول توزیع دما و فشار در پروفیل جو حاکم می‌شود.

- وارونگی دمایی در ارتفاع ۱۶۷۰ متری: حالت وارونگی شدید دمایی در ارتفاع ۱۶۷۰ متری در نقشه ۱ حکایت از وجود شش سلول دمایی در منطقه مورد مطالعه دارد که بیشترین اختلاف دمای سلولی مربوط به سلول ۲ و ۵ در مناطق ورزنه و مورچه‌خورت است. فاصله این دو سلول با یکدیگر معادل ۱۲۱ کیلومتر است. ضمناً دمای هسته سلول‌های بسته این دو نقطه برای ورزنه ۴/۴ و برای مورچه‌خورت ۰/۸ است (نقشه ۱).

- وارونگی دمایی در ارتفاع ۱۶۸۰ متری: حالت وارونگی شدید در ارتفاع ۱۶۸۰ متری در نقشه ۲ حکایت از وجود هفت سلول حرارتی دارد که بیشترین اختلاف دمای سلولی مربوط به سلول‌های ۲ و ۷ (ورزنه و مورچه‌خورت) و

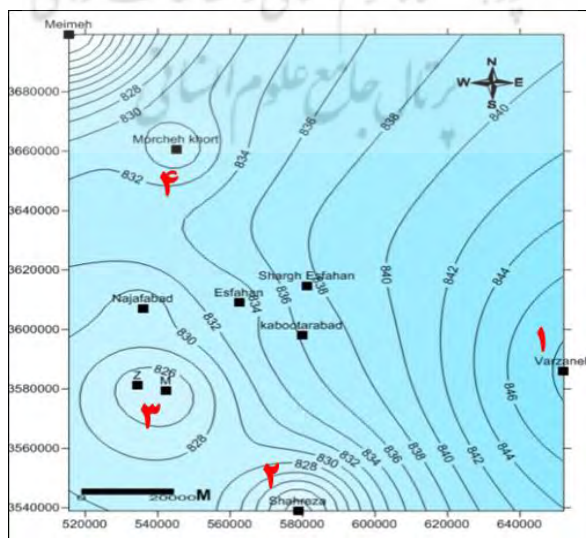
سلول‌های ۵ و ۷ (مبارکه و مورچه‌خورت) است. فاصله کمترین سلول با بیشترین سلول به ترتیب برابر ۱۲۸ کیلومتر برای ورزنه- مورچه‌خورت و ۱۶۴ کیلومتر برای مبارکه- مورچه‌خورت است. ضمناً، دمای هسته سلول‌های بسته این دو نقطه برای ورزنه ۴/۴ و برای مورچه‌خورت ۰/۸ است.



نقشه ۱. سلول‌های دمایی در ارتفاع ۱۶۷۰ متر
ترسیم: پژوهشگران - اقتباس از: درویش محمدی (۱۳۹۱)

نقشه ۲. سلول‌های دمایی در ارتفاع ۱۶۸۰ متر
ترسیم: پژوهشگران - اقتباس از: درویش محمدی (۱۳۹۱)

- وارونگی فشاری: حالت وارونگی شدید در ارتفاع ۱۸۶۰ متری در نقشه ۳ حکایت از وجود چهار سلول فشاری دارد که بیشترین مقدار فشار سلولی مربوط به سلول ۱ (ورزنه) و کمترین مقدار مربوط به سلول ۲ (شهرضا) است. فاصله کمترین سلول با بیشترین سلول فشاری برابر ۸۷ کیلومتر است. ضمناً، فشار هسته سلول‌های بسته این دو نقطه برای ورزنه ۸۴۴ و برای شهرضا ۸۲۰ است.



نقشه ۳. سلول‌های فشاری در ارتفاع ۱۸۶۰ متر
ترسیم: پژوهشگران - اقتباس از: درویش محمدی (۱۳۹۱)

با عنایت به داده‌های سلول‌های دمایی در ارتفاع ۱۶۷۰ و ۱۶۸۰ متری و سلول‌های فشاری در ارتفاع ۱۸۶۰ متری، برای به‌دست‌آوردن بهترین حالت ممکن در تحریک‌پذیری اکنون به محاسبه شاخص تحریک‌پذیری سلولی مبادرت می‌شود. گفتن این مطلب ضروری است که هرگاه مقدار تحریک‌پذیری بیشتر باشد، شرایط لازم برای تحریک‌پذیری و ناپایداری جو بیشتر فراهم خواهد بود، لذا با محاسبه این شاخص طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۵ برای ایستگاه‌های اقلیمی در منطقه اصفهان جدول‌های ۱، ۲، و ۳ به‌دست آمد.

جدول ۱. مقدار شاخص تحریک‌پذیری سلول دمایی در ارتفاع ۱۶۷۰ متر

رتبه	نام سلول	k	f	C.E×1000
۷	شهرضا- ورزنه	۲۱۷/۵	۲/۳	۱۰
۱	شهرضا- مبارکه	۱۳۵	۶	۴۰
۶	شرق اصفهان- نجف‌آباد	۱۲۲/۵	۱/۶	۱۳
۹	نجف‌آباد- مبارکه	۵۳/۴	۰/۴	۷
۶	شرق اصفهان- مبارکه	۵۲/۷	۰/۷	۱۳
۸	نجف‌آباد- مورچه‌خورت	۵۱	۰/۵	۹
۷	ورزنه- نجف‌آباد	۴۷	۰/۵	۱۰
۱۱	مورچه‌خورت- مبارکه	۴۵/۵	۰/۱	۲
۳	شهرضا- شرق اصفهان	۴۵	۱/۳	۲۸
۵	شرق اصفهان- مورچه‌خورت	۳۸	۰/۶	۱۵
۱۰	شهرضا- مورچه‌خورت	۳۷/۸	۰/۲	۵
۴	شهرضا- نجف‌آباد	۳۷/۷	۱	۲۶
۲	ورزنه- شرق اصفهان	۳۶/۸	۱/۴	۳۸
۱۰	ورزنه- مورچه‌خورت	۳۵/۵	۰/۲	۵

منبع: محاسبات پژوهشگران

جدول ۲. مقدار شاخص تحریک‌پذیری سلول‌های دمایی در ارتفاع ۱۶۸۰ متر

رتبه	نام سلول	k	f	C.E×1000
۱۳	شهرضا- ورزنه	۲۱۷/۵	۲/۳	۱۰
۴	شهرضا- مبارکه	۱۳۵	۶	۴۰
۹	شهرضا- اصفهان	۱۲۳	۲/۴	۱۹
۱۴	اصفهان- مبارکه	۱۲۰	۱	۸
۱۱	ورزنه- اصفهان	۹۵	۱/۶	۱۶
۱۵	مبارکه- نجف‌آباد	۶۹/۵	۰/۵	۷
۱۲	شرق اصفهان- مبارکه	۵۸	۰/۷	۱۲
۱۲	ورزنه- نجف‌آباد	۵۶	۰/۷	۱۲
۷	شهرضا- نجف‌آباد	۵۲	۱/۳	۲۵
۶	شهرضا- شرق اصفهان	۵۰/۶	۱/۴	۲۷
۱۷	مبارکه- مورچه‌خورت	۴۵/۵	۰/۱	۲
۵	ورزنه- شرق اصفهان	۴۰/۵	۱/۶	۳۹
۱۶	شهرضا- مورچه‌خورت	۳۸	۰/۲	۵
۱۶	ورزنه- مورچه‌خورت	۳۵/۵	۰/۲	۵
۱۰	شرق اصفهان- مورچه‌خورت	۳۳	۰/۶	۱۸
۸	نجف‌آباد- مورچه‌خورت	۳۲	۰/۷	۲۱
۲	اصفهان- نجف‌آباد	۲۸	۱۰	۳۵۷
۱	شرق اصفهان- اصفهان	۲۱	۱۸/۵	۸۸۰
۳	اصفهان- مورچه‌خورت	۱۹/۶	۱	۵۱

منبع: محاسبات پژوهشگران

جدول ۳. مقدار شاخص تحریک‌پذیری سلول‌های فشاری در ارتفاع ۱۸۶۰ متر

رتبه	نام سلول‌ها	k	f	C.E×1000
۶	مبارکه- مورچه‌خورت	۴۱	۲۵/۵	۶۲۱
۵	شهرضا- مورچه‌خورت	۱۲	۴۶/۵	۳۸۷۰
۴	ورزنه- مورچه‌خورت	۹	۴۲/۷	۴۷۴۰
۲	شهرضا- مبارکه	۹	۲۳۲	۲۵۷۰۰
۳	ورزنه- شهرضا	۳/۶	۹۱/۴	۲۵۳۰۰
۱	ورزنه- مبارکه	۳/۶	۱۶۵	۴۵۸۰۰

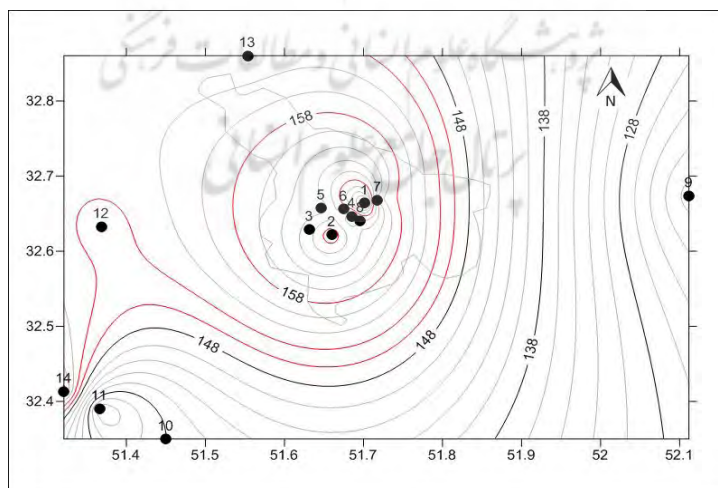
منبع: محاسبات پژوهشگران

ب) تحلیل شرایط آلودگی بحرانی جوی در منطقه مطالعاتی

براساس داده‌های چهارده ایستگاه سنجش آلودگی هوا مستقر در منطقه اصفهان و مطابق با گزارش‌های سازمان حفاظت محیط زیست مجموعاً اصفهان به طور متوسط در سال دوازده روز دارای آلودگی بحرانی است که از آستانه می‌گذرد ($AQI > 150$). این دوازده روز در ماه‌های آبان، آذر، و دی اتفاق افتاده است. از این دوازده روز، چهار روز در آبان، شش روز در آذر، و دو روز در دی ماه گزارش شده است (محاسبات پژوهشگران).

تحلیل روزهای بحرانی آلودگی هوا در ماه آبان

در ماه آبان، آلوده‌ترین ایستگاه میدان احمدآباد با چهار روز و بعد از آن ایستگاه‌های داخل شهر (میدان آزادی، خیابان رودکی، خیابان چهارباغ خواجو، بزرگراه شهید خرازی، میدان امام حسین، خیابان پروین، و میدان بزرگمهر) گزارش شده است. به طور کلی، در ماه آبان آلودگی از زمین‌شهر به سمت مرکز شهر اصفهان افزایش می‌یابد و ناگهان در شرق اصفهان در محدوده سگری به صفر میل می‌کند. با توجه به تغییرات تدریجی و براساس قانون همجواری (کریجینگ)، نقشه روند تغییرات آلودگی هوا برای منطقه براساس تعداد روز ترسیم شد: (نقشه ۴)

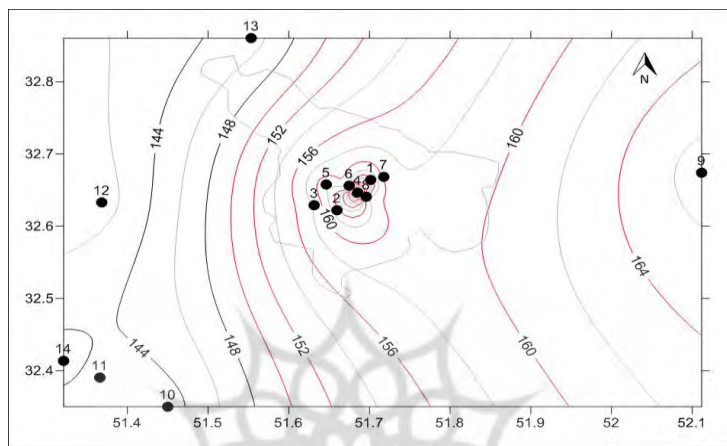


نقشه ۴. روند تغییرات روزانه شاخص آلودگی هوا در ماه آبان

ترسیم: پژوهشگران

تحلیل روزهای بحرانی آلودگی هوا در ماه آذر

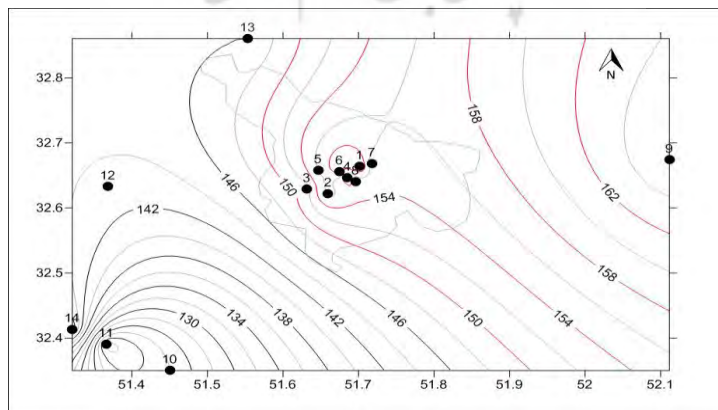
در ماه آذر، آلوده‌ترین ایستگاه احمدآباد با شش روز و بعد از آن ایستگاه‌های داخل شهر (میدان آزادی، خیابان رودکی، خیابان چهارباغ خواجه، بزرگراه شهید خرازی، میدان امام حسین، خیابان پروین، و میدان بزرگمهر) گزارش شده است. به طور کلی، در ماه آذر، میزان درصد آلاینده‌های جوی که از آستانه می‌گذرند از غرب به شرق افزایش می‌یابد و برخلاف آبان‌ماه دارای روند نزولی در شرق نیستند. در یکی از شش روز آذرماه و پُرآلوده‌ترین روز این ماه، نقشه آلودگی هوا در شهر اصفهان به صورت زیر است: (نقشه ۵)



نقشه ۵. روند تغییرات روزانه شاخص آلودگی هوا در ماه آذر
ترسیم: پژوهشگران

تحلیل روزهای بحرانی آلودگی هوا در ماه دی

در ماه دی، آلوده‌ترین ایستگاه بزرگراه شهید خرازی با دو روز و بعد از آن ایستگاه‌های داخل شهر (میدان آزادی، خیابان رودکی، خیابان چهارباغ خواجه، بزرگراه شهید خرازی، میدان امام حسین، خیابان پروین، و میدان بزرگمهر) گزارش شده است. به طور کلی، در ماه دی میزان درصد آلاینده‌های جوی که از آستانه می‌گذرند از جنوب غرب به شمال شرق افزایش می‌یابد و دارای روند نزولی در شرق نیست. در یکی از دو روز دی‌ماه و پُرآلوده‌ترین روز این ماه نقشه آلودگی هوا به صورت زیر است: (نقشه ۶)



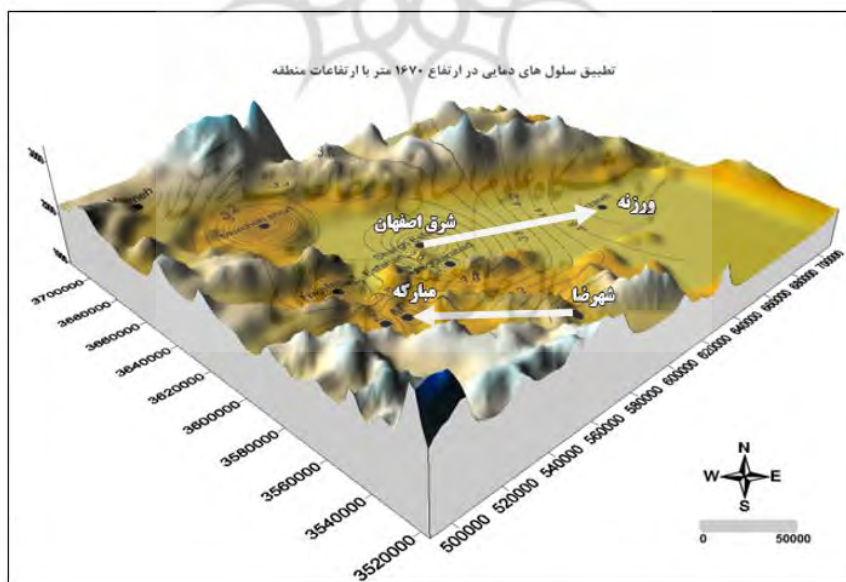
نقشه ۶. روند تغییرات روزانه شاخص آلودگی هوا برای منطقه مطالعاتی در ماه دی
ترسیم: پژوهشگران

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل آماری اطلاعات رادیوسوند و پروفیل جوی حکایت از آن دارد که پدیدهٔ اینورژن در منطقهٔ اصفهان در روزهای متعددی از سال رخ می‌دهد و آنچه در ارتباط با سؤال پژوهش مطرح است استمرار زمان اینورژن است. به عبارت دیگر، پدیدهٔ اینورژن را نمی‌توان عامل اصلی در بروز بحران آلودگی تلقی کرد؛ بلکه استمرار این حالت و پایداری اینورژن عامل افزایش غلظت آلاینده‌های جوی و گذر از آستانهٔ بحرانی است. از طرف دیگر، میزان آلاینده‌های جوی در اصفهان اگرچه دارای نوسانات مقطعی (روزهای تعطیل و غیرتعطیل) است، به طور کلی، می‌توان گفت که منابع آلودگی‌کنندهٔ جوی در منطقهٔ اصفهان تقریباً ثابت است. بنابراین، می‌توان چنین بیان کرد که استمرار حالت اینورژن به عبور غلظت آلاینده‌ها از حد مجاز منجر می‌شود. از این گزاره می‌توان چنین استنتاج کرد که با دو شیوه بتوان از وقوع حالت بحرانی آلودگی جوی جلوگیری کرد: ۱. کاهش استمرار اینورژن؛ ۲. مدیریت آلوده‌کننده‌های شهری.

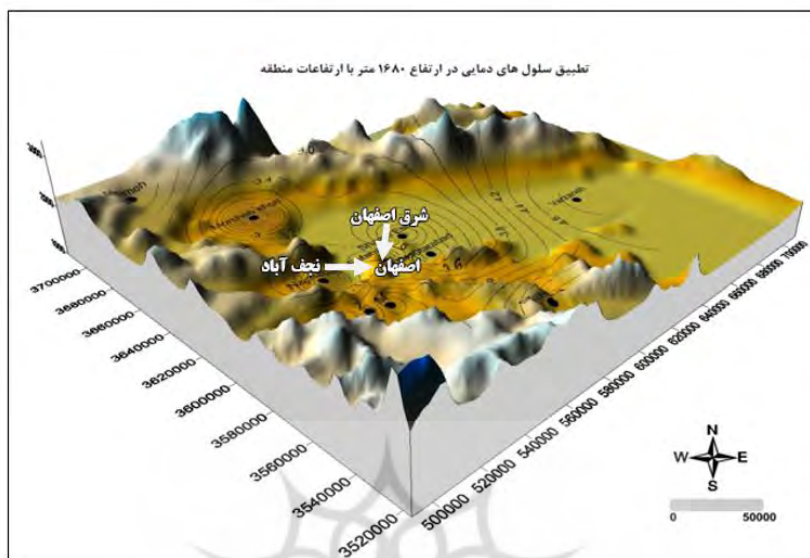
نقشه‌های ۱، ۲، و ۳- که در روزهای بحرانی آلودگی هوا در ارتفاعات ۱۶۷۰، ۱۶۸۰، و ۱۸۶۰ متری برای عوامل فشار و دما تهیه شده‌اند- حکایت از آن دارد که در روزهای بحرانی آلودگی هوا در اصفهان سلول‌های بستهٔ دمایی و فشاری خاصی در منطقهٔ اصفهان تشکیل می‌شود که مرکز این سلول‌ها با یکدیگر دارای تفاوت‌های رقمی خاصی است. بنابراین، برای آنکه بتوان در مورد تحریک‌پذیری آن‌ها اقدام کرد، بحث مربوط به تعریف شاخص‌های تحریک‌پذیری و تفاوت سلولی مطرح شد و جدول‌های ۱، ۲، و ۳ ارائه شد.

با عنایت به همین جدول‌ها، سلول هواشناسی شهرضا- مبارکه و سپس سلول هواشناسی ورزنه- شرق اصفهان دارای بیشترین مقدار شاخص تحریک‌پذیری در ارتفاع ۱۶۷۰ متر هستند و می‌توان با اثرگذاری بر روی این دو سلول دمایی ناپایداری هوا ایجاد کرد؛ به طوری که به رفع استمرار پدیدهٔ اینورژن در شهر اصفهان منجر شود (شکل ۱).



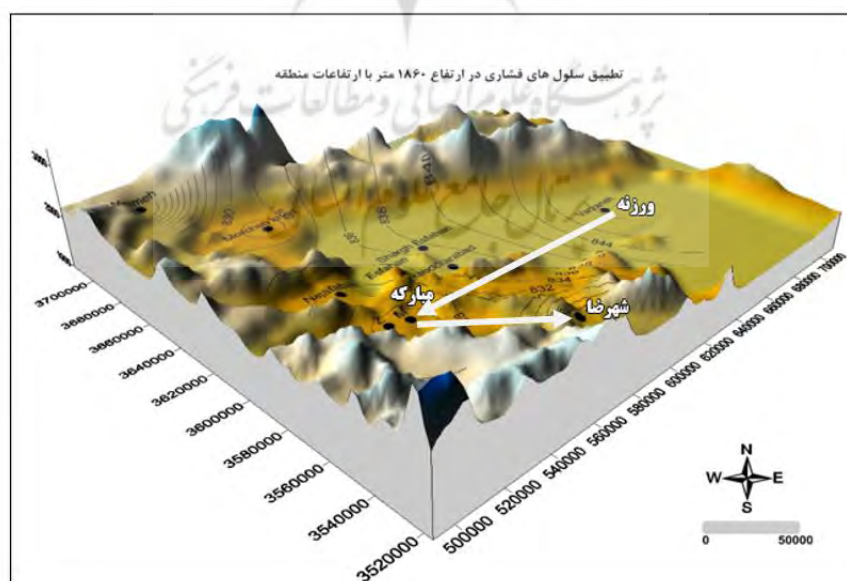
شکل ۱. تطبیق سلول‌های دمایی در ارتفاع ۱۶۷۰ متر با ارتفاعات منطقه
ترسیم: پژوهشگران

همچنین، سلول‌های دمایی شرق اصفهان- اصفهان و اصفهان- نجف‌آباد دارای بیشترین مقدار شاخص تحریک‌پذیری در ارتفاع ۱۶۸۰ متر هستند و می‌توان، با اثرگذاری بر روی این دو سلول دمایی، ناپایداری هوا ایجاد کرد و با استمرار پدیدهٔ اینورژن در مناطق بحرانی آلودگی هوا در اصفهان را از بین برد (شکل ۲).



شکل ۲. تطبیق سلول‌های دمایی در ارتفاع ۱۶۸۰ متر با ارتفاعات منطقه
ترسیم: پژوهشگران

و این در حالی است که سلول‌های فشاری ورزنه- مبارکه و شهرضا- مبارکه دارای بیشترین مقدار شاخص تحریک‌پذیری در ارتفاع ۱۸۶۰ متر بوده‌اند و می‌توان، با اثرگذاری بر این دو سلول، ناپایداری هوا ایجاد کرد (شکل ۳).



شکل ۳. تطبیق سلول‌های فشاری در ارتفاع ۱۸۶۰ متر با ارتفاعات منطقه
ترسیم: پژوهشگران

اما در مورد مدیریت آلاینده‌ها باید گفت، با توجه به دستاوردهای پژوهش و تحلیل آلاینده‌ها، می‌توان مدلی ارائه داد که به کنترل آلودگی هوای شهر اصفهان منجر شود. این مدل براساس کنترل ترافیک (تولیدکننده آلاینده‌های CO، SO₂ و O₃) و در پاره‌ای موارد با تعدیل فعالیت صنایع (تولیدکننده آلاینده‌های SO₂، NO₂ و O₃) در بخش‌های خاصی از شهر طراحی شده و امکان کنترل شاخص کیفیت هوا را فراهم می‌آورد. نحوه کنترل شاخص کیفیت هوا طی ماه آبان در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نحوه کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه آبان

نام ایستگاه	شماره ایستگاه	کاهش یا حذف آلاینده‌ها
میدان احمدآباد	۱	SO ₂ یا CO
میدان آزادی	۲	SO ₂
خیابان رودکی	۳	SO ₂ یا NO ₂ و O ₃
خیابان چهارباغ خواجو	۴	SO ₂ یا NO ₂ و O ₃
بزرگراه شهید خرازی	۵	SO ₂ یا NO ₂ و O ₃
میدان امام حسین	۶	SO ₂ یا NO ₂ و O ₃
خیابان پروین	۷	SO ₂ یا NO ₂ و O ₃
میدان بزرگمهر	۸	SO ₂ یا NO ₂ و O ₃
شهر سگزی	۹	-
شهر مبارکه	۱۰	-
زرین شهر	۱۱	-
شهر نجف‌آباد	۱۲	O ₃ یا NO ₂
شاهین شهر	۱۳	O ₃ یا NO ₂
خمینی شهر	۱۴	O ₃ یا NO ₂

اما در مورد ایستگاه‌های خارج شهر، مانند مناطق شهری نجف‌آباد، شاهین‌شهر، و خمینی‌شهر، امکان کنترل آلودگی هوا فقط از طریق تعدیل فعالیت صنایع وجود دارد. شهرهای مبارکه، سگزی، و زرین‌شهر نیز از این قاعده مستثنا بوده‌اند؛ زیرا آلودگی آن‌ها به حد بحرانی نمی‌رسد. در نتیجه، می‌توان گفت مدل زیر در مورد کنترل آلودگی هوا در آبان‌ماه در شهر اصفهان صادق است. مدل کنترل بحران آلودگی هوا در شهر اصفهان دارای الگوهای چندگانه‌ای برای ماه‌های آبان، آذر، و دی است که از جدول‌های ۴، ۵، و ۶ و همچنین عناصر مدیریت اقلیمی به‌دست آمده است.

مدل کلی آبان‌ماه عبارت است از:

$$A.P.C_{isf.aban}^* = (C.M^{**}) (U.M^{***})$$

$$A.P.C_{isf.aban}^* = (C.E^{****}) (C.CO \text{ or } C.SO_2)$$

$$A.P.C_{isf.aban}^* = (C.E) (C.NO_2 \text{ or } C.O_3)$$

* Air Pollution Control

** Climatic Management

*** Urban Management

**** Cell Excitability

برای کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه آذر در ایستگاه‌های داخل شهر به کاهش یا حذف آلاینده‌های SO₂ یا CO یا NO₂ و O₃ از طریق تعدیل فعالیت صنایع یا کاهش ترافیک شهری اقدام شد. نحوه کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه آذر در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. نحوه کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه آذر

نام ایستگاه	شماره ایستگاه	کاهش یا حذف آلاینده‌ها
میدان احمدآباد	۱	NO2 و O3 یا SO2 یا CO
میدان آزادی	۲	SO2 و NO2 و O3
خیابان رودکی	۳	NO2 و O3
خیابان چهارباغ خواجه	۴	SO2 یا CO
بزرگراه شهید خرازی	۵	NO2 و O3
میدان امام حسین	۶	SO2 یا NO2 و O3
خیابان پروین	۷	NO2 یا O3
میدان بزرگمهر	۸	SO2 یا NO2 و O3
شهر سگزی	۹	SO2 یا NO2 و O3
شهر مبارکه	۱۰	-
زرین شهر	۱۱	-
شهر نجف‌آباد	۱۲	-
شاهین شهر	۱۳	-
خمینی شهر	۱۴	-

در مورد ایستگاه‌های خارج شهر، آلودگی در سگزی به حد بحرانی می‌رسد و امکان کنترل آلودگی هوا فقط از طریق تعدیل فعالیت صنایع وجود دارد. شهرهای مبارکه، زرین شهر، نجف‌آباد، شاهین شهر، و خمینی شهر نیز از این قاعده مستثنا هستند؛ زیرا آلودگی آن‌ها به حد بحرانی نمی‌رسد؛ در نتیجه، می‌توان گفت مدل زیر در مورد کنترل آلودگی هوا در آذرماه در شهر اصفهان صادق است.

مدل کلی آذرماه عبارت است از:

$$A.P.C_{isf.azar} = (C.M) \quad (U.M)$$

$$A.P.C_{isf.azar} = (C.E) \quad (C.CO \text{ or } C.SO2)$$

$$A.P.C_{isf.azar} = (C.E) \quad (C.NO2 \text{ or } C.O3)$$

برای کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه دی در ایستگاه‌های داخل شهر به کاهش یا حذف آلاینده‌های SO2 یا NO2

و O3 از طریق تعدیل فعالیت صنایع یا کاهش ترافیک شهری باید اقدام کرد. نحوه کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه دی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نحوه کنترل شاخص کیفیت هوا در ماه دی

نام ایستگاه	شماره ایستگاه	کاهش یا حذف آلاینده‌ها
میدان احمدآباد	۱	SO2 یا NO2 و O3
میدان آزادی	۲	NO2 یا O3
خیابان رودکی	۳	NO2 یا O3
خیابان چهارباغ خواجه	۴	NO2 یا O3
بزرگراه شهید خرازی	۵	NO2 یا O3
میدان امام حسین	۶	NO2 و O3
خیابان پروین	۷	NO2 یا O3
میدان بزرگمهر	۸	NO2 یا O3
شهر سگزی	۹	NO2 و O3
شهر مبارکه	۱۰	-
زرین شهر	۱۱	-
شهر نجف‌آباد	۱۲	-
شاهین شهر	۱۳	-
خمینی شهر	۱۴	-

در مورد ایستگاه‌های خارج شهر، آلودگی در سگزی به حد بحرانی می‌رسد و امکان کنترل آلودگی هوا فقط از طریق تعدیل فعالیت صنایع وجود دارد. شهرهای مبارکه، زرین‌شهر، نجف‌آباد، شاهین‌شهر، و خمینی‌شهر از این قاعده مستثنا بوده‌اند؛ زیرا آلودگی آن‌ها به حد بحرانی نمی‌رسد؛ در نتیجه می‌توان گفت مدل زیر در مورد کنترل آلودگی هوا در دی‌ماه در شهر اصفهان صادق است.

مدل کلی دی‌ماه عبارت است از:

$$\begin{aligned} A.P.C_{isf.dey} &= (C.M) \quad (U.M) \\ A.P.C_{isf.dey} &= (C.E) \quad (C.SO2) \\ A.P.C_{isf.dey} &= (C.E) \quad (C.NO2 \text{ or } C.O3) \end{aligned}$$

سپاسگزاری

از زحمات سرکار خانم مرضیه درویش‌محمدی، که در تهیه آمارهای داده‌های رادیوسوند و ترسیم نقشه‌های عوامل اقلیمی در نرم‌افزار Surfer کمال همکاری را با پژوهشگران داشته‌اند، بی‌نهایت سپاسگزاریم.



منابع

- اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان (۱۳۹۲). برنامه جامع کنترل کیفی هوای اصفهان.
- اداره کل مدیریت بحران استانداری اصفهان (۱۳۹۱). طرح جامع خطرپذیری و مدیریت بحران استان اصفهان - بحران‌های جوی: آلودگی هوا، وارونگی دما، و گرد و غبار.
- جهان‌بخش اصل، س. و روشنی، ر. (۱۳۹۲). بررسی وضعیت و شدت وارونگی‌های سطح پایین شهر تبریز طی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۴): ۴۵-۵۴.
- درویش محمدی، م. (۱۳۹۱). توپوکلیم و پدیده وارونگی (مطالعه موردی: شهر اصفهان - ۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.
- شفقی، س. (۱۳۸۱). جغرافیای اصفهان، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
- عزیزی، ق.؛ شمسی‌پور، ع.ا.؛ مهدیان ماه‌فروزی، م. و میری، م. (۱۳۹۲). تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهری تهران از الگوهای همدیدی جو، فصل‌نامه محیط‌شناسی، ۴: ۵۵-۶۶.
- کریمی، م. و درخشان، ح. (۱۳۸۴). بررسی وارونگی دمایی (وارونگی) در شهر اصفهان، مجموعه مقالات دوازدهمین اجلاس ژئوفیزیک ایران، ص ۱-۶.
- کیخسروی، ق. و لشکری، ح. (۱۳۹۳). تحلیل رابطه بین ضخامت و ارتفاع وارونگی و شدت آلودگی هوا در شهر تهران، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۴۹: ۲۳۱-۲۵۷.
- مهدیان ماه‌فروزی، م.؛ شمسی‌پور، ع.ا. و عزیزی، ق. (۱۳۹۴). اثرات گسترش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی شهری (مطالعه موردی: بوستان ولایت)، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۳(۱): ۸۵-۹۹.
- Amarsaikhan, D.; Battsengel, V.; Nergui, B.; Ganzorig1, M. and Bolor, G. (2014). A Study on Air Pollution in Ulaanbaatar City, Mongolia, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2: 123-128.
- Azizi, G.; Shamsipour, A.; Mahdian Mahforouzi, M. and Miri, M. (2013). Effectiveness of the Urban Heat Islands of Tehran from the Climatic Synoptical Models, *Environment Seasonal Magazine*, 4: 55-66.
- Darvish Mohamadi, M. (2010). Topoclimate and Inversion (Case Study: Isfahan City), M.A Thesis in Major of Physical Geography, University of Isfahan, Supervisor: Dr. Ramesht, M.H., PP. 1-88.
- Devasthale, A.; Willen, U.; Karlsson, K.G. and Jones, C.G. (2010). Quantifying the Clear-Sky Temperature Inversion Frequency and Strength over the Arctic Ocean during Summer and Winter Seasons from AIRS Profiles, *The Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 2835-2858.
- Esfahan Province Environment Conservation General Office (2013). *Comprehensive Plan for Esfahan Air Quality Control*.
- Esfahan Province General Governor's Crisis Management General Office (2012). *Comprehensive Risk Taking and Crisis Management of Esfahan Province - Climatic Crises: Air Pollution, Temperature and Dust Inversion*.
- Fortelli, A.; Scafetta, N. and Mazzarella, A. (2016). Influence of Synoptic and local Atmospheric Patterns on PM10 air- Pollution levels: a Model Application to Naples (Italy), *Meteorological Observatory*, Department of Earth Sciences, Environment and Georesources, University of Naples, PP.10 - 80.

- Goldreich, Y. (2009). Updating the Urban Topoclimatology – A Review, *the 7th International Conference on Urban Climate*, 29 June-3 July 2009, Yokohama, Japan, PP. 1-4.
- Jahanbakhsh Asl, S. and Roshani, R. (2013). Analyzing the Conditions and Intensity of Low Level Inversions of the City of Tabriz during 2004 to 2008, *Geographical Research Seasonal Magazine*, Edition Year: 20(4): 45-54.
- Karimi, M. and Derakhshan, H. (2005). *The Study of Temperature Inversion in Isfahan*, Collection of Articles Twelfth Conference of Geophysics in Iran, PP. 1-6.
- Keykhosravi, G. and Lashkari, H. (2014). Analysis of the Relation between Thickness and Altitude of Inversion and Intensity of Air Pollution in Tehran, *Geography and Planning Seasonal Magazine*, 49: 231-257.
- Lauvaux, T.; Natasha, L.; Aijun, D.; Scott, J.; Richardson, M.; Cambaliza, O.; Kenneth, J.; Brian, G.; Kevin, R.; Jianhua, H.; Darragh, O.; Yang Song, A.; Tomohiro, O.; Risa, P.; Igor, R. and Sarmiento, D. (2016). High-Resolution Atmospheric Inversion of Urban CO₂ Emissions during the Dormant Season of the Indianapolis Flux Experiment, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.
- Leukauf, D.; Gohm, A.; Mathias W. and Johannes, S. (2015). The Impact of the Temperature Inversion Breakup on the Exchange of Heat and Mass in an Idealized Valley: Sensitivity to the Radiative Forcing, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54: 2199.
- Mahdian Mahforouzi, M.; Shamsipour, A.A. and Azizi, G. (2015). Effects of Green Space Expansion on the Patterns of Urban Heat Island (Case Study: Velayat Urban Park), *Geographical Urban Planning Research Seasonal Magazine*, 3(1): 85-99.
- Mastic, A.; Musemic, R. and Dzaferovic, E. (2016). Temperature Inversion Measurements in Sarajevo Valley Using Unmanned Aerial Vehicles, *Proceedings of the 27 th, DAAAM International Symposium*, pp. 423-427, Vienna, Austria.
- Pei, H. and Shiliang, W. (2016). Long-term Changes in Extreme Air Pollution Meteorology and the Implications for Air Quality, *Scientific Reports*, Doi: 10.1038/srep23792 1- 2016.
- Rendon, A.; Juan, F. and Palaclo, C. (2014). Temperature Inversion Breakup with Impacts on Air Quality in Urban Valleys Influenced by Topographic Shading, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54: 302.
- Shafaghi, S. (2002). *Geography of Isfahan*, Printing one, University of Isfahan Press.
- Thadathil, P. and Gosh., A.K. (1992). Surface Layer Temperature Inversion in the Arabian sea during Winter, *Journal of Oceanography*, 48: 293-304.