مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۴۰۲، سال ۱۱، شماره ۲: ۱۷۸-۲۰۰

بررسی برگشت‌پذیری آلودگی هوای اصفهان پس از وقوع بارش

سیدعلی شاهرضائی[۱]، رسول میرعباسی نجف‌آبادی[۲]، سیدمجتبی موسوی[۳]، نفیسه سادات شاهرضائی[٤] و شراره محمودی[٥]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران،
[۲]دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران
[۳]مدیر بهره‌برداری و نگهداری از سد و نیروگاه زاینده‌رود و کوهرنگ، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ایران
[٤] دانش‌آموخته کارشناسی، مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ملایر، ایران
[٥] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست گرایش مهندسی آلودگی هوا، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: افزایش روزافزون جمعیت و صنعتی شدن جوامع باعث افزایش آلودگی محیط‌زیست به ویژه آب و هوا شده است. در چند دهه اخیر، آلودگی هوا در کلانشهرها به عنوان یک چالش جدی که سلامت جامعه را تهدید می‌کند، مطرح شده است. از سوی دیگر، کمبود آب و خشک شدن رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها باعث افزایش کانون‌های گرد و غبار در اطراف شهرها شده که این خود باعث تشدید آلودگی هوا گردیده است. عوامل اقلیمی نیز بر تغییرات آلودگی هوا تاثیرگذارند. بارش یکی از پدیده‌هایی است که می‌تواند به طور ناگهانی آلودگی هوا را کاهش دهد و تا مدتی بعد از اتمام بارش، کیفیت هوا در وضعیت مطلوب باقی می‌ماند. هدف از این مطالعه، بررسی زمان برگشت غلظت آلودگی هوا به شرایط پیش از وقوع بارش می‌باشد.

مواد و روش ها: در حال حاضر آلودگی هوای کلانشهر اصفهان با استفاده از ۹ ایستگاه پایش کیفیت هوا توسط حمل و نقل ترافیک شهرداری اصفهان به صورت لحظه‌ای مورد آمایش قرار می‌گیرد. در این مطالعه، از میان این ۹ ایستگاه که به صورت پراکنده در سراسر اصفهان مستقر شده‌اند، ایستگاه فیض که جزء مناطق پر تردد به لحاظ عبور و مرور وسایل نقلیه می‌باشد، انتخاب شد. سپس آلودگی هوای ایستگاه فیض بر اساس میزان غلظت آلاینده‌ها با توجه به استانداردهای ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت تاثیر وقوع بارش بر آلودگی هوای منطقه مورد مطالعه بررسی گردید.

یافته ها: بر اساس میزان CO موجود در هوا، بیشترین زمان برگشت‌پذیری به آلودگی پایه پس از بارش، مربوط به رویدادهای بارش ۲۰ اسفند، ۱۲ بهمن و ۱۹ اسفند ۱٤۰۰ به ترتیب با ٤٦، ۳۷ و ۳۱ ساعت می‌باشد. این در حالی است که با در نظر داشتن $PM_{2.5}$، بیشترین زمان برگشت‌پذیری آلودگی مربوط به ۱۳ اردیبهشت، ۷ بهمن و ۲۵ دی می‌باشد که به ترتیب زمان برگشت‌پذیری این آلاینده به آلودگی پایه به ترتیب ۵۹، ۵۱ و ٤۹ ساعت بوده است. با در نظر گرفتن NO_2، بیشترین زمان برگشت‌پذیری آلودگی مربوط به ۱۹ و ۱٦ اسفندماه می‌باشد که به ترتیب ٦٤ و ٤۷ ساعت پس از اتمام بارش میزان NO_2 به مقدار پایه خود بازگشته است. این درحالی است که با در نظر داشتن آلاینده SO_2، بارشی که در ۱۵ آبان‌ماه رخ داده است، تاثیر خود را حدوداً تا سه روز بعد بر روی SO_2 گذاشته است، بنابراین طبق آمار موجود در تمام ساعات روز ۱٦ آبان میزان SO_2 کمتر از آلودگی پایه بوده است.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که در سال ۱٤۰۰، با در نظر گرفتن CO موجود در هوا ۹۹ درصد از موارد ثبت شده در ایستگاه فیض در وضعیت کیفیت هوای خوب و ۱ درصد از موارد ثبت شده در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار دارند و با مد نظر قرار دادن میزان SO_2 موجود در هوا، حدوداً ۹۹/۸ درصد از موارد ثبت شده در وضعیت کیفیت هوای خوب و حدوداً ۰/۲ درصد در حالت کیفیت هوای متوسط قرار دارند. بررسی میزان NO_2 موجود در هوا نشان داد که ۹۸ درصد موارد ثبت شده در وضعیت کیفیت هوای خوب و ۲ درصد در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار دارند. با توجه به $PM_{2.5}$ موجود در هوا ۲٦ درصد در حالت خوب، ٤۸ درصد در وضعیت کیفیت هوای متوسط، ۱۸ درصد در حالت کیفیت هوای غیربهداشتی برای گروه‌های حساس، ۷ درصد در شرایط کیفیت

* دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران
نویسنده مسئول: **sayyed.ali.shahrezaie@gmail.com** ، شماره تماس: ۰۹۱۳۷۹۴۰۹۴۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

هوای غیربهداشتی و ۱ درصد در وضعیت هوای بسیار غیربهداشتی قرار دارند. لازم به توضیح است در ساعات محدود و بسیار اندکی شاخص $PM_{2.5}$ در حالت وضعیت کیفیت هوای خطرناک قرار داشت. نهایتاً نتایج این مطالعه نشان داد که در برخی از روزها وقوع بارش تاثیر قابل توجهی بر کاهش آلودگی هوا نداشته است، در حالی که در برخی از روزها، بارش موجب کاهش قابل توجه آلودگی هوا شده است و حتی پس از گذشت ۲۱۵ ساعت، آلودگی هوا به مقدار پایه نرسیده است. هر چند ممکن است پس از قطع بارش عوامل دیگری از جمله وزش باد هم بر پایین ماندن غلظت آلودگی هوا موثر بوده باشند.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، بارش، برگشت‌پذیری، شهر اصفهان، شاخص کیفیت هوا، AQI

مقدمه

به تغییرات نامطلوب ایجاد شده در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع اصلی حیات و زندگی بشر یعنی خاک، آب و هوا آلودگی محیط‌زیست تعبیر می‌نمایند. آلودگی یکی از معضلات زیان‌آوری است که معمولاً در جریان بهره‌برداری از منابع طبیعی و استفاده از سوخت‌های فسیلی به محیط‌زیست وارد می‌شود. با صنعتی شدن جوامع بشری این پدیده رو به افزایش است[۱]. آلودگی هوا یکی از بزرگترین مشکلات جهان امروز به شمار می‌رود، به گونه‌ای که اغلب شهرهای بزرگ جهان با آن روبه‌رو هستند. در بسیاری از کلانشهرهای کشورهای در حال توسعه، به خصوص در قاره آسیا، به دلیل مقیاس وسیع و سرعت بالای شهرنشینی، مشکلات زیست‌محیطی روزبه‌روز در حال افزایش می‌باشد[۲]. آلاینده‌های موجود در جو باعث صدمه به تمامی انسان‌ها، حیوانات و حتی گیاهان آن منطقه می‌گردد[۳]. در مطالعات متعددی رابطه بین آلودگی هوا و بیماری‌های جسمی و روانی مانند اختلالات قلبی و عروقی، عفونت دستگاه تنفسی و برونشیت و همچنین التهابات ریوی مورد بررسی قرار گرفته است[۴]. نتایج مطالعات انجام شده حاکی از آن است که آلودگی هوا اثرات بالقوه‌ای بر سلامت انسان دارد که شامل افزایش مرگ و میر، افزایش مراجعه به بیمارستان‌ها، افزایش تغییرات در عملکرد فیزیولوژیکی بدن به خصوص تنفسی و قلبی- عروقی می‌باشد[۵ و ۶]. ذرات معلق حاصل از منابع انسان‌ساز و منتشر شده در جو دارای اندازه و قطر بخصوصی نمی‌باشند و هر کدام در محدوده خاصی قرار دارند[۷]. PM_1، $PM_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۱، ۲/۵ و ۱۰ میکرون می‌باشند[۸ و ۹]. اصفهان یکی از شهرهای صنعتی در ایران می‌باشد که کارخانه‌های بسیاری در اطراف آن وجود دارد و یکی از بزرگترین مشکلات این شهر، آلودگی هوا است، به طوری‌که در بسیاری از روزهای سال، وضعیت هوای این شهر ناسالم می‌باشد و حتی موجب تعطیلی ادارات و مدارس می‌شود[۱۰، ۱۱ و ۱۲]. بر اساس مطالعات انجام شده توسط مختاری و همکاران، بیش از ۸ درصد از مرگ و میرهای غیرتصادفی در شهر اصفهان ناشی از آلودگی ذرات معلق $PM_{2.5}$ می‌باشد[۱۳]. تاکنون مطالعات متعددی به بررسی کیفیت هوا پرداخته شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. ملک‌زاد و همکاران به بررسی کیفیت هوا در حومه فرودگاه مهرآباد پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که غلظت بیشتر آلاینده‌ها در کنار فرودگاه بیشتر از مناطق مسکونی پر ترافیک می‌باشد و فرودگاه می‌تواند به عنوان یک منبع آلوده‌کننده مهم به شمار آید[۱۴]. طولابی و همکاران به ارزیابی شاخص کیفیت هوا در اطراف پالایشگاه شهر بندرعباس پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند با توجه به اینکه غلظت ذرات معلق و دی‌اکسید گوگرد و در نتیجه میزان شاخص AQI در تعدادی از روزهای نمونه‌برداری شده بیشتر از حداکثر غلظت مجاز استاندارد بوده، بنابراین کنترل منابع انتشار آلاینده در نواحی محلی و صنعتی در این منطقه ضروری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

می‌باشد[۱۵]. صیدایی و همکاران به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی شهر اصفهان با تأکید بر آلودگی هوا پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند شرایط زیست‌محیطی شهر اصفهان از نظر آلودگی هوا از سال ۱۳۸٦ تا سال ۱۳۹۰ به سمت ناپایدار سوق پیدا کرده است، به گونه‌ای که در سال ۱۳۹۰ میزان آلودگی به بیشترین مقدار خود رسیده است. نتایج آن‌ها نشان داد که گاز دی‌اکسید گوگرد و منوکسید کربن بیش از سایر آلاینده‌ها در ناپایداری زیست‌محیطی شهر اصفهان تأثیرگذار بوده‌اند[۱۶]. حسینی و همکاران، به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی شهر اهواز با تأکید بر آلودگی هوا با استفاده از روش FPPSI پرداختند. آنها تغییرات پنج آلاینده اصلی شامل CO، SO_2، NO_2، O_3 و PM_{10} را طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد که شرایط زیست‌محیطی شهر اهواز طی این دوره زمانی به خصوص غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون به طرف ناپایداری سوق پیدا کرده است[۱۷]. توکلی آلودگی هوا در بازارهای سنتی و سرپوشیده میدان نقش جهان اصفهان در سال ۱۳۹۷ – ۱۳۹۸ را مورد بررسی قرار داده است. یافته‌های او نشان داد که ظرفیت پایین سیستم تهویه هوا از یک طرف و تردد موتور سیکلت‌ها همراه با فعالیت‌های شغلی متنوع، موجب افزایش آلودگی در بازار سنتی اصفهان شده است[۱۸]. کشور ایران از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌گردد و از میزان بارش نسبتاً کمی برخوردار است. توزیع بارش در کشور از نظر زمانی و مکانی یکنواخت نبوده و اغلب بارش‌ها در نواحی شمالی، غرب و جنوب غربی کشور رخ می‌دهد. از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر باعث افزایش دما و کاهش بارش در اغلب نقاط کشور شده است. این موارد باعث کمبود آب در نقاط مختلف کشور شده است. به همین دلیل میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به شدت افزایش یافته که منجر به خشک شدن رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و چشمه‌ها و افت سطح آب در آبخوان‌ها شده است که پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی از جمله افزایش گرد و غبار، فرونشست زمین، افزایش آلودگی آب و هوا را به دنبال داشته است[۱۹]. افزایش غلظت آلودگی هوا در مناطق شهری به خصوص شهرهای صنعتی مانند اصفهان با ایجاد جزیره گرمایی می‌تواند بر پراکنده‌سازی ابرها در آن منطقه و به تبع آن بر میزان بارش آن ناحیه تاثیر مستقیم و غیرمستقیم بگذارد. لذا مقدار بارش و وضعیت هوا تاثیرات متقابلی بر کیفیت یکدیگر دارند. همچنین تاکنون مطالعات متعددی در زمینه بررسی تاثیر کیفیت هوا بر کیفیت آب باران و بالعکس توسط محققان انجام گرفته است. عبدمنافی و همکاران تاثیر آلودگی حاد هوا بر خرد فیزیک ابر و کیفیت آب باران در شهر تهران را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که غلظت یون‌ها به خصوص یون‌های انسان ساخت، مانند نیترات، نیتریت، کلراید و فلوراید در نمونه آب باران مربوط به شاخص AQI آلوده نسبت به شرایط با شاخص AQI پاک، بالاتر می‌باشند. همچنین آلودگی ذره‌ای در ابرهای با فاز مخلوط (نوع ابرهای مورد مطالعه در این تحقیق) باعث کاهش شعاع موثر قطرک ابرها قبل از وقوع بارش، افزایش ضخامت نوری، افزایش ارتفاع ابر، بارش بیشتر و کاهش دمای بالای (قله) ابر می‌گردد[۲۰]. شاهرضائی و همکاران به بررسی کیفیت آب باران در شهر اصفهان تحت تاثیر آلودگی هوا پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند EC آب باران همبستگی بالایی با ارتفاع بارش دارد، در حالی‌که pH آب باران با ارتفاع بارش همبستگی ندارد. آن‌ها نتیجه گرفتند بارش‌های نسبتاً کم موجب افزایش چشمگیر EC آب باران شده است. این کاهش میزان ارتفاع بارش، موجب افزایش میزان CO و $PM_{2.5}$ در هوای موجود نیز شده است. ارتفاع بارش بر روی میزان pH آب باران بی‌تاثیر بوده است، در حالی‌که با افزایش ارتفاع بارش، میزان EC آن به شدت کاهش یافته است. به طور کلی ارتفاع بارش تاثیر قابل توجهی بر غلظت EC آب باران دارد[۲۱]. بنابراین هم بارش می‌تواند بر کیفیت هوا تاثیرگذار باشد و هم کیفیت هوا می‌تواند بر کیفیت آب باران تاثیر بگذارد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

در این مطالعه، به منظور ارزیابی تاثیر وقوع بارش بر کیفیت هوا، آلودگی هوای منطقه ٦ اصفهان و برگشت‌پذیری آن پس از پایان بارش به حالت قبل از وقوع بارش مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

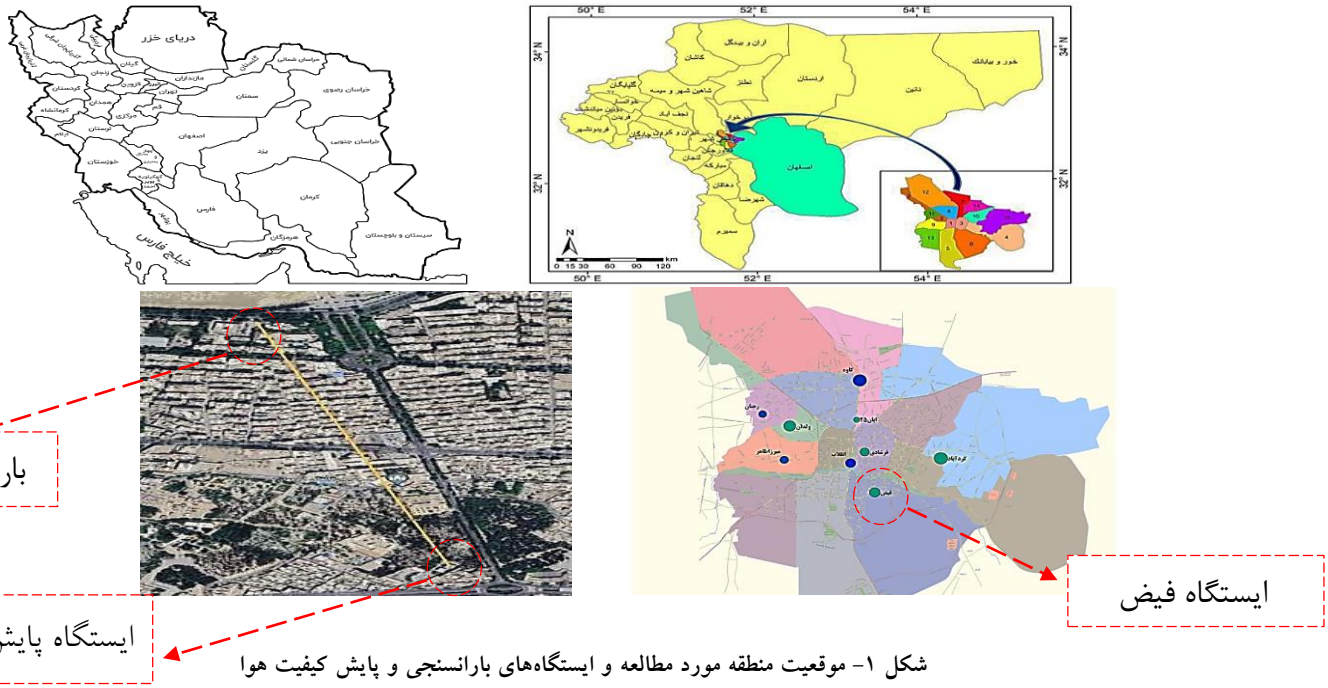
شهرستان اصفهان در طول جغرافیایی ۲′ ۵۱° شرقی و عرض جغرافیایی ٤٥′ ۳۲° شمالی و ارتفاع ۱٥٤۳/٥ متری نسبت به سطح آزاد دریا در استان اصفهان قرار دارد. شهرستان اصفهان بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن دارای اقلیمی خشک و فرا سرد می‌باشد. استان اصفهان با مساحتی بیش از ۱۰۷۰۰۰ کیلومتر مربع دارای تنوع جغرافیایی متشکل از ارتفاعات، اراضی دشتی و کوهپایه‌ای می‌باشد. طبق آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۲ اصفهان دارای ۲۳ شهرستان، ۱۰۷ شهر و ۱۲۷ دهستان می‌باشد[۲۲]. با توجه به آخرین سرشماری رسمی انجام شده در سال ۱۳۹٥ جمعیت استان اصفهان ٥۱۲۰۸٥۰ نفر می‌باشد که از این تعداد ٤٥۰۷۳۰۹ نفر در نقاط شهری زندگی می‌کنند. بر اساس این آمار میزان شهرنشینی در استان اصفهان معادل ۸۸ درصد برآورد شده است[۲۳]. در ادامه به ارائه توضیحاتی در مورد منطقه ٦ اصفهان پرداخته شده است.

منطقه ٦ اصفهان از سمت شمال به خیابان آبشار، از طرف غرب به خیابان چهارباغ بالا و خیابان هزار جریب و از سمت شرق به بزرگراه شهید کشوری محدود می‌باشد. مساحت این منطقه حدوداً معادل ۱۱٦۷/۹ هکتار و با احتساب اراضی نظامی به طور تقریبی معادل ۲۲۹۸/۸ هکتار می‌باشد[۲٤].

برای انجام تحقیق حاضر اطلاعات مورد نیاز مربوط به شاخص‌های کیفیت هوا (CO، SO_2، NO_2 و $MP_{2.5}$) اندازه‌گیری شده در ایستگاه فیض در سال ۱٤۰۰ از سازمان ترافیک حمل و نقل شهری استان اصفهان دریافت شده است. تمامی اطلاعات دریافتی بر اساس واحد ارائه شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا تنظیم و مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که اطلاعات مربوط به بارش از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان واقع در منطقه ٦ شهرداری اصفهان دریافت گردید. با توجه به اینکه آمار بارش به صورت تجمعی ارائه شده بود، ابتدا آمار را به صورت روزانه تبدیل و سپس اطلاعات مورد تحلیل قرار گرفت. فاصله بین ایستگاه پایش کیفیت هوا تا ایستگاه باران‌سنجی حدوداً ۱/۱ کیلومتر می‌باشد. در شکل ۱ منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های بارانسنجی و پایش کیفیت هوا

در جدول ۱ مشخصات آماری هر یک از پارامترهای کیفیت هوا در ایستگاه فیض در سال ۱۴۰۰ آورده شده است. با توجه به جدول ۱ بیشترین خطای استاندارد مربوط به $PM_{2.5}$ و معادل ۰/۳۰۰۹۸۸ می‌باشد. این در حالی است که کمترین خطای استاندارد مربوط به NO_2 و معادل ۰/۰۰۰۱۷ می‌باشد.

. جدول ۱- مشخصات آماری پارامترهای کیفیت هوا در ایستگاه فیض در سال ۱۴۰۰

ردیف	آماره	NO_2	SO_2	$PM_{2.5}$	CO
		ppm	Ppm	$\mu g/m^3$	ppm
۱	میانگین	۰/۰۲۴۴۷۶	۰/۰۰۸۰۸۷	۲۹/۶۴۱۰۵۰	۰/۸۰۷۸۶۲
۲	خطای استاندارد	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۳۰۰۹۸۸	۰/۰۱۰۸۹۰
۳	میانه	۰/۰۲۳۰۲۴	۰/۰۰۶۲۹۰	۲۲	۰/۵۱
۴	نما	۰/۰۱۰۰۱۰	۰/۰۰۰۴۷۰	۱۷	۰/۱۷
۵	انحراف استاندارد نمونه‌ای	۰/۰۱۳۶۶۰	۰/۰۰۵۹۶۷	۲۴/۴۴۶۷۹۰	۰/۸۳۹۳۴۳
۶	واریانس نمونه‌ای	۰/۰۰۰۱۸۷	۰/۰۰۰۰۳۶	۵۹۷/۶۴۵۵۰	۰/۷۰۴۴۹۷
۷	کشیدگی	-۰/۰۷۰۵۵	۱/۵۱۱۵۱۷	۱۴/۴۸۴۰۴۰	۸/۰۴۱۰۵۹
۸	چولگی	۰/۵۴۸۶۵۰	۰/۶۸۱۱۸۹	۲/۸۷۸۰۳۹	۲/۴۹۲۸۸۲
۹	دامنه تغییرات	۰/۰۸۴۵۶۰	۰/۰۵۷۸۵۰	۲۹۸	۶/۹۳
۱۰	کمترین مقدار	۰/۰۰۰۲۷۰	۰	۰	۰
۱۱	بزرگترین مقدار	۰/۰۸۴۸۳۰	۰/۰۵۷۸۵۰	۲۹۸	۶/۹۳
۱۲	فاصله اطمینان برای میانگین نمونه‌ای	۰/۰۰۰۳۳۳	۰/۰۰۰۱۴۹	۰/۵۹۰۰۳۳	۰/۰۲۱۳۴۹

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

روش کار

نحوه محاسبه شاخص کیفیت هوا

شاخص روزانه برای هر کدام از غلظت‌های استاندارد شده آلاینده‌ها در ایستگاه مورد نظر با استفاده از رابطه ۱ و جدول ۳ محاسبه می‌گردد. بنابراین بیشترین میزان از میان زیر شاخص‌ها به عنوان شاخص نهائی و آلاینده‌ای که نمایانگر بالاترین زیر شاخص می‌باشد، به عنوان آلاینده مسئول (آلاینده‌ای که بیش از حد مجاز می‌باشد) شناخته می‌شود[۲۵].

$$I_p = \frac{I_{Hi}-I_{Lo}}{BP_{Hi}-BP_{Lo}}\left(C_p - BP_{Hi}\right) + I_{Lo} \quad (۱)$$

که در آن، Ip شاخص محاسبه شده برای آلاینده مورد بررسی، C_P غلظت گرد شده آلاینده مورد بررسی، BP_{Hi} غلظت استاندارد موجود در طبقه‌ای از جدول ۳ که معادل و یا بیشتر از غلظت گرد شده آلاینده مورد بررسی می‌باشد، BP_{Lo} غلظت استاندارد موجود در طبقه‌ای از جدول ۳ که معادل و یا کمتر از غلظت گرد شده آلاینده مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود، I_{Hi} بیشترین میزان شاخص کیفیت هوا در طبقه‌ای از جدول ۳ که غلظت آلاینده مورد بررسی در آن طبقه قرار می‌گیرد و I_{Lo} کمترین میزان شاخص کیفیت هوا در طبقه‌ای از جدول ۲ که غلظت آلاینده مورد بررسی در آن طبقه قرار می‌گیرد[۲۶].

جدول ۲- طبقات آلاینده‌ها به منظور محاسبه شاخص کیفیت هوا[۲۷]

ردیف	شاخص طبقات کیفیت هوا	CO (8hr,ppm)	PM_{10} (24hr,$\mu g/m^3$)	SO_2 (24hr,ppm)	NO_2 (1hr,ppm)	O_3 (1hr,ppm)
۱	۰-۵۰	۰/۰-۴/۴	۰-۵۴	۰/۰-۰/۰۳۴	-	-
۲	۵۱-۱۰۰	۴/۵-۹/۴	۵۵-۱۵۴	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	-	-
۳	۱۰۱-۱۵۰	۹/۵-۱۲/۵	۱۵۵-۲۵۴	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	-	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴
۴	۱۵۱-۲۰۰	۱۲/۵-۱۵/۴	۲۵۵-۳۵۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	-	۰/۱۶۵-/۲۰۴
۵	۲۰۱-۳۰۰	۱۵/۵-۳۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۰/۶۵-۱/۲۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴
۶	۳۰۱-۴۰۰	۳۰/۵-۴۰/۴	۴۲۵-۵۰۴	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴	۱/۲۵-۱/۶۴	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴
۷	۴۰۱-۵۰۰	۴۰/۵-۵۰/۴	۵۰۵-۶۰۴	۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۱/۶۵-۲/۰۴	۰/۵۰۵-۰/۶۰۴

با توجه به شاخص AQI کیفیت هوا به طبقه‌های مختلف از جمله خوب، متوسط، غیربهداشتی برای گروه‌های حساس، غیربهداشتی، بسیار غیربهداشتی و خطرناک دسته‌بندی می‌گردند. هر کدام از این طبقه‌ها رنگ و دستورالعمل خاص خود را دارند که نمایانگر سطح متفاوت از تأثیر آلودگی هوا بر سلامتی انسان‌ها می‌باشد. در جدول ۳ رنگ و دستور العمل ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، برای هر کدام از طبقه‌ها ارائه شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

جدول ۳- رنگ و دستور العمل‌های ارائه شده برای طبقات شاخص کیفیت هوا[۲۸]

ردیف	شاخص طبقات کیفیت هوا	رنگ	توصیف‌کننده	دستور العمل
۱	۵۰-۰	سبز	پاک	ندارد.
۲	۱۰۰-۵۱	زرد	قابل قبول	معمولاً افراد حساس باید فعالیت‌های طولانی مدت خارج از منزل را محدود نمایند.
۳	۱۵۰-۱۰۱	نارنجی	غیربهداشتی برای گروه‌های حساس	کودکان و بزرگسالان فعال و افرادی که دچار بیماری‌های تنفسی مانند آسم هستند، باید فعالیت‌های طولانی مدت خارج از منزل را محدود نمایند.
۴	۲۰۰-۱۵۱	قرمز	غیربهداشتی	کودکان و بزرگسالان فعال و افرادی که دچار بیماری‌های تنفسی مانند آسم هستند، (به خصوص کودکان) باید فعالیت‌های طولانی مدت خارج از منزل را اجتناب نمایند.
۵	۳۰۰-۲۰۱	ارغوانی	بسیار غیربهداشتی	کودکان و بزرگسالان فعال و افرادی که دچار بیماری‌های تنفسی مانند آسم هستند، (به خصوص کودکان) باید فعالیت‌های طولانی مدت خارج از منزل را حذف نمایند.
۶	۵۰۰-۳۰۱	زرشکی	خطرناک	تمامی افراد باید از هر گونه فعالیت در خارج از منزل جداً خودداری نمایند.

در حال حاضر آلودگی هوای اصفهان بزرگ با استفاده از ۹ ایستگاه پایش کیفیت هوا توسط حمل و نقل ترافیک شهرداری اصفهان به صورت لحظه‌ای مورد آمایش قرار می‌گیرد. از میان این ۹ ایستگاه که به صورت پراکنده در سراسر اصفهان مستقر شده‌اند، ایستگاه فیض که منطقه‌ای نسبتاً پر تردد به لحاظ عبور و مرور وسایل نقلیه محسوب می‌شود، برای این مطالعه انتخاب شده است. ایستگاه پایش کیفیت هوای فیض در منطقه ٦ اصفهان و در فاصله تقریبی ۱/۱ کیلومتری از ایستگاه باران‌سنجی پل خواجو واقع در شرکت آب منطقه‌ای اصفهان قرار دارد. در این مطالعه، ابتدا ارتفاع بارش و زمان وقوع آن در ایستگاه باران‌سنجی در سال ۱٤۰۰ مورد بررسی قرار گرفت.

سپس آلودگی هوای منطقه مذکور بر اساس میزان غلظت آلاینده‌های CO، SO_2، NO_2 و $PM_{2.5}$ با توجه به استانداردهای ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت تاثیر بارش باران بر آلودگی هوای منطقه مورد مطالعه بررسی گردید. به منظور ارزیابی تاثیر بارش بر آلودگی هوا ابتدا برای هر فصل به صورت جداگانه یک میزان آلودگی پایه بر اساس میانگین آلودگی اتفاق افتاده در آن فصل مشخص شده است. سپس میزان فاصله زمانی که هر آلاینده پس از شروع وقوع بارش به آلودگی پایه بر می‌گردد، مشخص شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

نتایج

زمان و ارتفاع بارش‌های ثبت شده

در جدول ٤ ارتفاع و زمان وقوع بارش‌های ثبت شده در سال ١٤٠٠ در ایستگاه باران‌سنجی پل خواجو متعلق به شرکت آب منطقه‌ای اصفهان ارائه شده است.

جدول ٤- ارتفاع و زمان وقوع بارش ثبت شده در ایستگاه بارانسنجی پل خواجو

ردیف	تاریخ	ارتفاع بارش (mm)	ردیف	تاریخ	ارتفاع بارش (mm)
۱	۱۴۰۰/۰۱/۱۴	۰/۵	۱۳	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	۰/۵
۲	۱۴۰۰/۰۲/۱۳	۱/۰	۱۴	۱۴۰۰/۱۰/۱۰	۰/۵
۳	۱۴۰۰/۰۲/۲۳	۰/۵	۱۵	۱۴۰۰/۱۰/۱۲	۱/۰
۴	۱۴۰۰/۰۲/۲۵	۲/۵	۱۶	۱۴۰۰/۱۰/۲۵	۵/۵
۵	۱۴۰۰/۰۸/۱۴	۱۷/۰	۱۷	۱۴۰۰/۱۱/۰۷	۰/۵
۶	۱۴۰۰/۰۸/۱۵	۰/۵	۱۸	۱۴۰۰/۱۱/۱۲	۵/۰
۷	۱۴۰۰/۰۸/۱۶	۰/۵	۱۹	۱۴۰۰/۱۱/۲۳	۳/۰
۸	۱۴۰۰/۰۸/۲۵	۰/۵	۲۰	۱۴۰۰/۱۲/۰۶	۳/۵
۹	۱۴۰۰/۰۸/۲۶	۳/۵	۲۱	۱۴۰۰/۱۲/۱۶	۲/۵
۱۰	۱۴۰۰/۰۹/۰۱	۱/۰	۲۲	۱۴۰۰/۱۲/۱۹	۱/۰
۱۱	۱۴۰۰/۰۹/۰۲	۰/۵	۲۳	۱۴۰۰/۱۲/۲۰	۳/۵
۱۲	۱۴۰۰/۰۹/۲۸	۴/۰	۲۴	۱۴۰۰/۱۲/۲۳	۲/۰

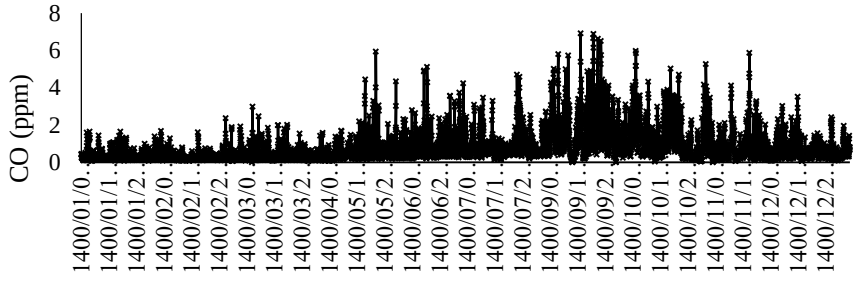
همانگونه که در جدول ٤ مشاهده می‌شود در سال ١٤٠٠، ٢٤ بارش در ایستگاه پل‌خواجو ثبت شده است و مجموع بارش‌ها در این سال ٦٠/٥ میلی‌متر می‌باشد. بالاترین ارتفاع بارش ثبت شده معادل ١٧ میلی‌متر بوده که در تاریخ ١٤ آبان‌ماه ١٤٠٠ رخ داده است.

تغییرات آلاینده مونواکسید کربن (CO)

در شکل ٢ سری زمانی آلاینده مونواکسید کربن (CO) در ایستگاه فیض استان اصفهان در سال ١٤٠٠ ارائه شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

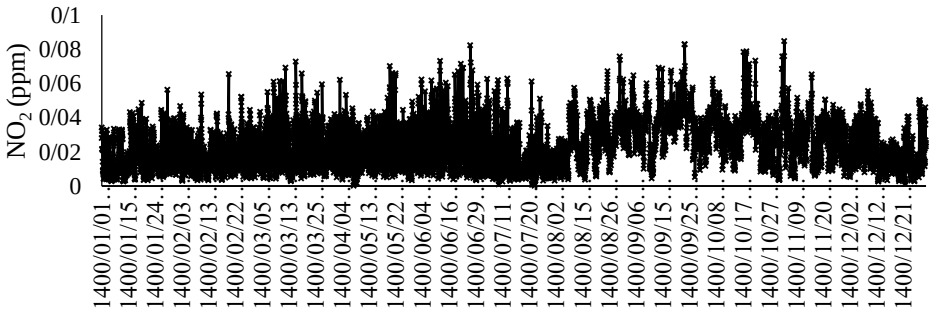


شکل ۲- تغییرات CO در ایستگاه فیض اصفهان در سال ۱۴۰۰

با توجه به شکل ۲، بیشترین میزان CO در سال ۱۴۰۰ معادل ۶/۹۳ ppm می‌باشد که در ۱۴ آذرماه ساعت ۹ شب اتفاق افتاده است. این در حالی است که کمترین میزان CO در ایستگاه فیض معادل صفر ppm می‌باشد که مربوط به ساعت ٤ صبح روز ۲۸ آذرماه می‌باشد.

تغییرات دی اکسید نیتروژن (NO_2)

در شکل ۳ تغییرات (NO_2) در ایستگاه فیض استان اصفهان در سال ۱۴۰۰ نشان داده شده است.



شکل ۳- تغییرات NO_2 در ایستگاه فیض اصفهان در سال ۱۴۰۰

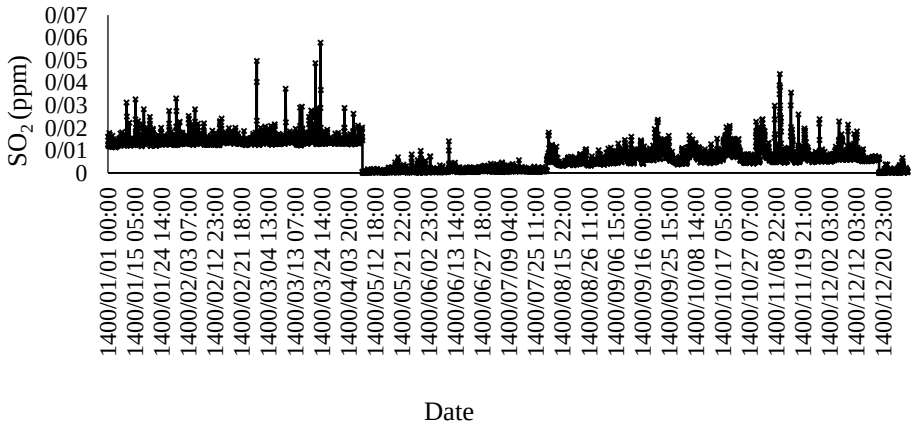
با توجه به شکل ۳، بیشترین میزان دی اکسید نیتروژن (NO_2) در ایستگاه فیض در سال ۱۴۰۰ معادل ۰/۰۸٤۸۳ ppm می‌باشد که در روز ٤ بهمن‌ماه ساعت ۱۱ ظهر اتفاق افتاده است. این در حالی است که کمترین میزان NO_2 معادل ۰/۰۰۰۲۷ بوده که در ۳ مردادماه ساعت ۱۲ ظهر رخ داده است.

تغییرات دی اکسید گوگرد (SO_2)

تغییرات دی اکسید گوگرد (SO_2) در ایستگاه فیض اصفهان در سال ۱۴۰۰ در شکل ٤ ارائه است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

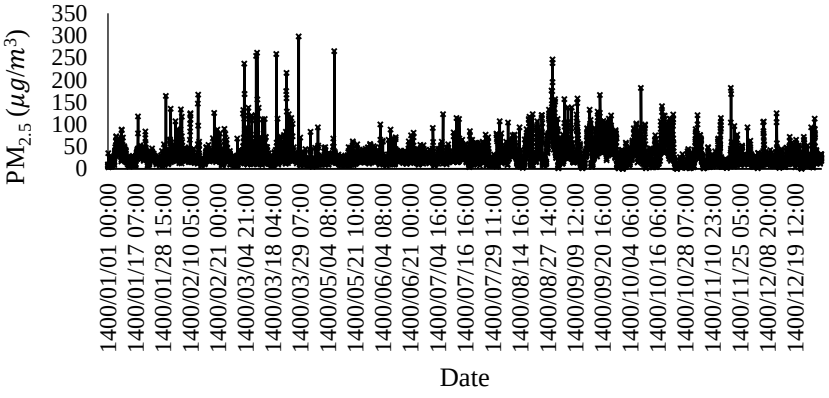


شکل ٤- تغییرات SO_2 در ایستگاه فیض اصفهان در سال ١٤٠٠

با توجه به شکل ٤، بیشترین میزان دی اکسید گوگرد (SO_2) در ایستگاه فیض در سال ١٤٠٠ معادل ٠/٠٥٧٨٥ ppm می‌باشد که در مورخ ٢٤ خردادماه ساعت ٤ صبح اتفاق افتاده است. این در حالی است که کمترین میزان دی اکسید گوگرد (SO_2) معادل صفر ppm می‌باشد که در ٢٠ اسفند ساعت ٦ صبح ثبت شده است.

تغییرات $PM_{2.5}$ در ایستگاه فیض

در شکل ٥ تغییرات $PM_{2.5}$ در ایستگاه فیض اصفهان در سال ١٤٠٠ ارائه شده است.



شکل ٥- تغییرات $PM_{2.5}$ در ایستگاه فیض اصفهان در سال ١٤٠٠

با توجه به شکل ٥، بیشترین میزان $PM_{2.5}$ در ایستگاه فیض در سال ١٤٠٠ معادل ٢٩٨ $\mu g/m3$ می‌باشد که در روز ٢٨ خردادماه ساعت ٤ عصر اتفاق افتاده است. این در حالیست‌که کمترین میزان $PM_{2.5}$ معادل صفر $\mu g/m3$ می‌باشد که در ساعت ٦ و ٩ صبح روز ٣٠ آذر، ساعت ٩ و ١٠ شب مورخ ٢٤ دی‌ماه و ساعت ٦ صبح روز ٢٢ اسفندماه ثبت شده است.

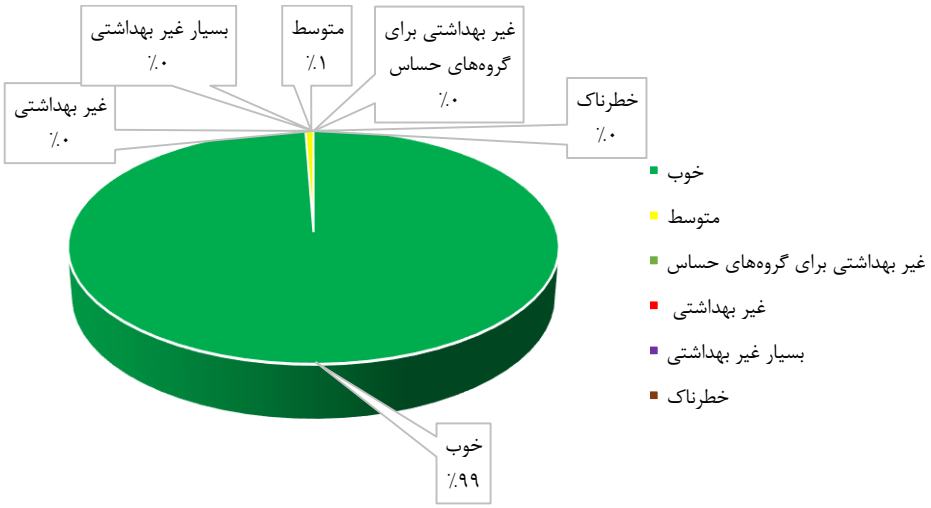
تعیین طبقات کیفیت هوا

در تصاویر ٦ تا ٩ طبقات کیفیت هوا برای هر یک از آلاینده‌های CO، SO_2، NO_2 و $PM_{2.5}$ با توجه به

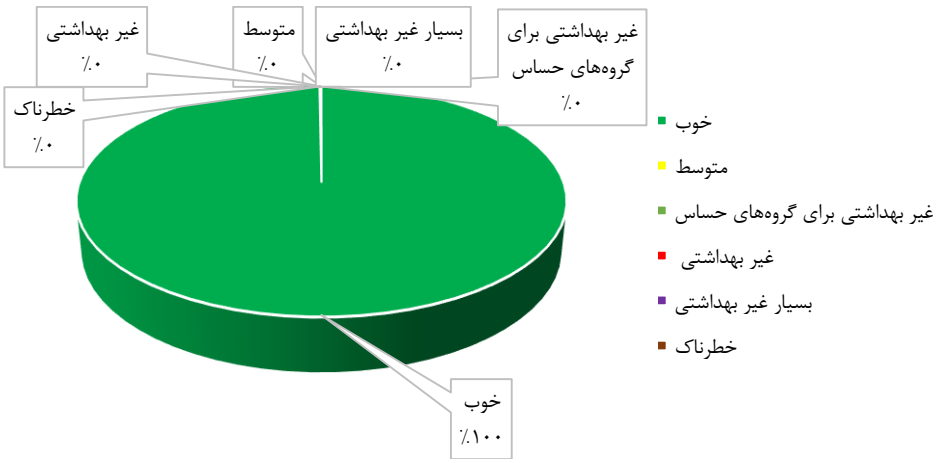
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

جداول ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا مشخص شده است. در این تصاویر رنگ سبز نمایانگر کیفیت هوای خوب، رنگ زرد نشان‌دهنده کیفیت هوای متوسط، رنگ نارنجی نشان‌دهنده کیفیت هوای ناسالم برای گروه‌های حساس، رنگ قرمز نشان‌دهنده کیفیت هوای ناسالم، رنگ بنفش نمایانگر کیفیت هوای خیلی ناسالم و رنگ خرمایی نشان‌دهنده خطرناک بودن کیفیت هوا می‌باشد.



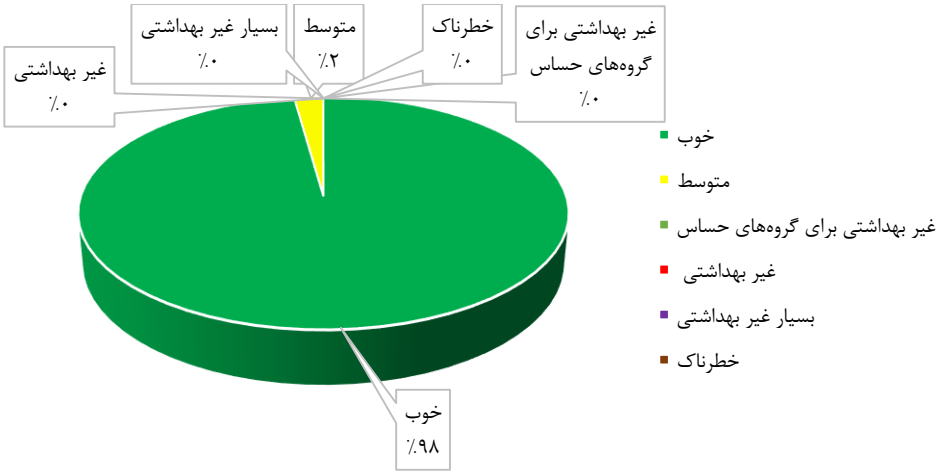
شکل ٦- تعیین طبقات کیفیت هوا بر اساس CO



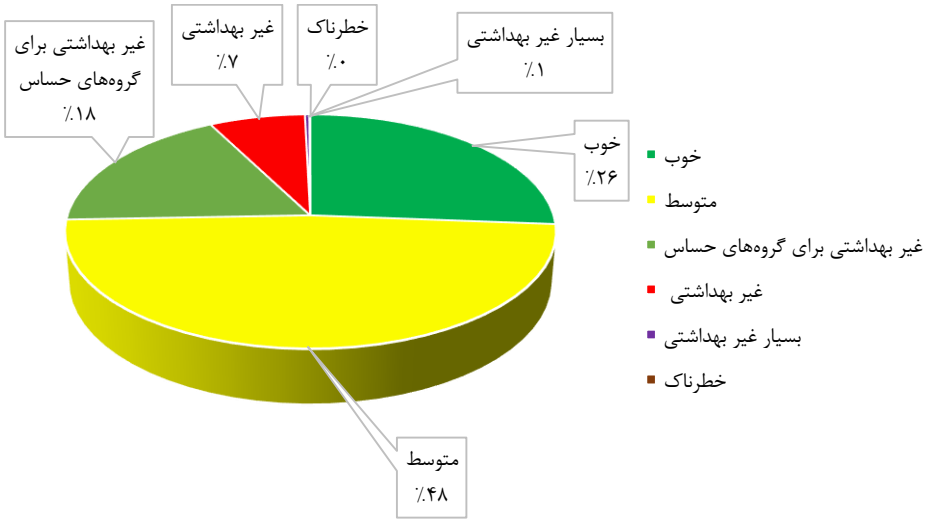
شکل ۷- تعیین طبقات کیفیت هوا بر اساس SO_2

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]



شکل ۸- تعیین طبقات کیفیت هوا بر اساس NO_2



شکل ۹- تعیین طبقات کیفیت هوا بر اساس $PM_{2.5}$

با توجه به شکل ٦، آلاینده CO در ۹۹ درصد از موارد ثبت شده در ایستگاه فیض در سال ۱٤۰۰ در وضعیت طبقه خوب و ۱ درصد از موارد ثبت شده در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار داشته است. با توجه به شکل ۷، حدوداً ۹۹/۸ درصد از موارد ثبت شده از آلاینده SO_2 در وضعیت کیفیت هوای خوب و حدوداً ۰/۲ درصد در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار داشته است. با توجه به شکل ۸، ۹۸ درصد از موارد ثبت شده از آلاینده NO_2 در وضعیت کیفیت هوای خوب و ۲ درصد در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار داشته است. با توجه به شکل ۹، ۲٦ درصد از موارد ثبت شده از آلاینده $PM_{2.5}$ در وضعیت کیفیت هوای خوب، ٤۸ درصد در حالت کیفیت هوای متوسط، ۱۸ درصد در حالت کیفیت هوای غیربهداشتی برای گروه‌های حساس، ۷ درصد در شرایط کیفیت هوای غیربهداشتی و ۱ درصد در وضعیت هوای بسیار غیربهداشتی قرار داشته است. لازم به توضیح است در ساعات محدود و بسیار اندکی از اطلاعات ثبت شده از شاخص $PM_{2.5}$ در حالت وضعیت کیفیت هوای خطرناک قرار داشته است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

تعیین آلودگی پـایـه به تفکیک هر فصل

در جدول ۵ میانگین هر کدام از پارامترهای کیفیت هوا در ایستگاه فیض به تفکیک هر فصل محاسبه و به عنوان آلودگی پایه آن فصل در نظر گرفته شده است.

جدول ۵- میزان آلودگی پایه (میانگین) هر کدام از پارامترهای کیفیت هوا در ایستگاه فیض

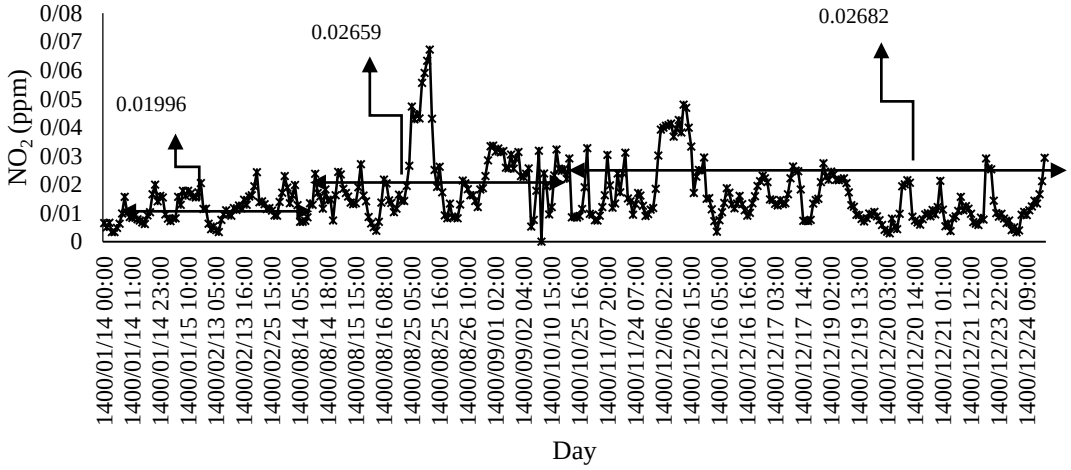
ردیف	فصل	NO_2 (ppm)	SO_2 (ppm)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)
۱	بهار	۰/۰۱۹۹۶	۰/۰۱۴۷۱	۲۸/۹۶	۰/۳۶۵
۲	تابستان	۰/۰۲۴۷	۰/۰۰۳	۲۲/۲۸	۰/۷۳۶۵
۳	پاییز	۰/۰۲۶۵۹	۰/۰۰۵	۳۷/۶۹	۱/۳
۴	زمستان	۰/۰۲۶۸۲	۰/۰۰۷۱	۲۷/۱۳	۰/۹۶۵۷

برگشت‌پذیری آلودگی هوا پس از بارش

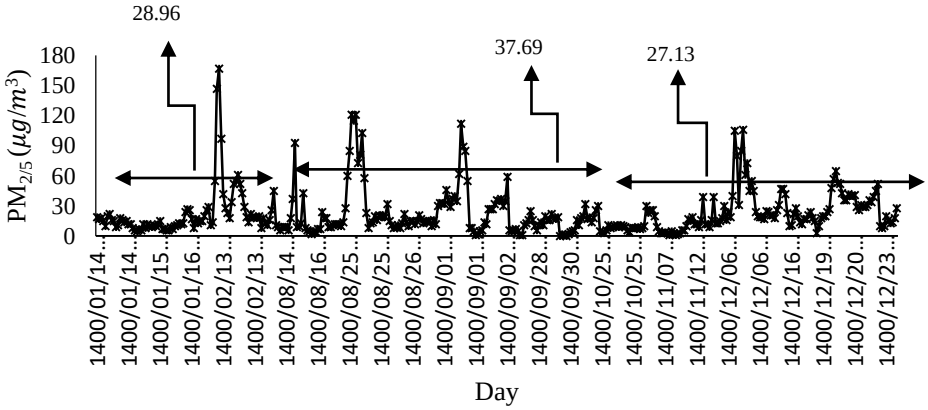
در این قسمت ابتدا میانگین هر آلاینده برای هر کدام از پارامترهای آلودگی هوا در تمام فصول سال ۱۴۰۰ محاسبه و به عنوان آلودگی پایه در نظر گرفته شد (جدول ۵). سپس مدت زمانی که پس از پایان بارش طول کشیده تا میزان پارامتر مورد نظر به مقدار پایه آن فصل برگردد، به عنوان برگشت‌پذیری آلودگی هوا پس از بارش در نظر گرفته شد. برای این منظور سری زمانی هر پارامتر آلودگی در شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ رسم و مقدار پایه در هر فصل روی این نمودار به صورت خط مشخص شده است. در مرحله بعد با انطباق زمان وقوع و اتمام رویدادهای بارش با این نمودار، برگشت‌پذیری آلودگی هوا به دست آمد که در جدول ٦ ارائه شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]



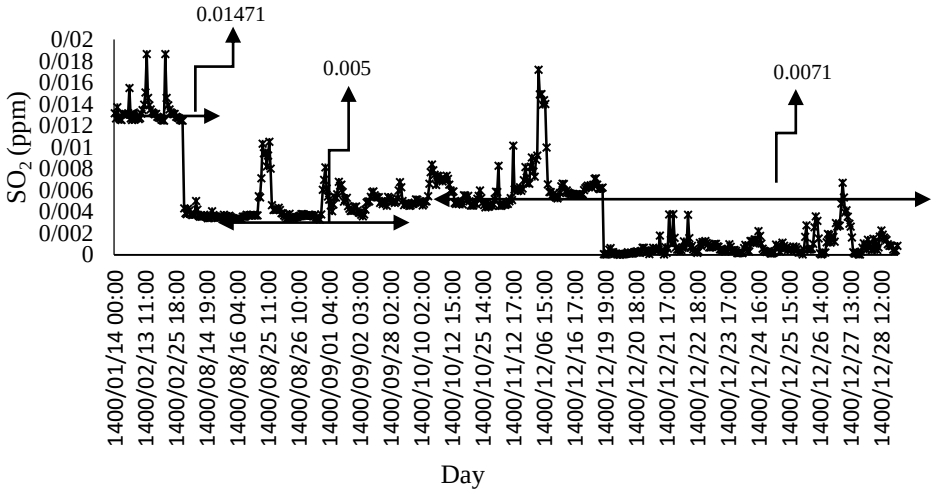
شکل ۱۰- سری زمانی NO_2 در ایستگاه فیض اصفهان و مقدار پایه آن در هر فصل



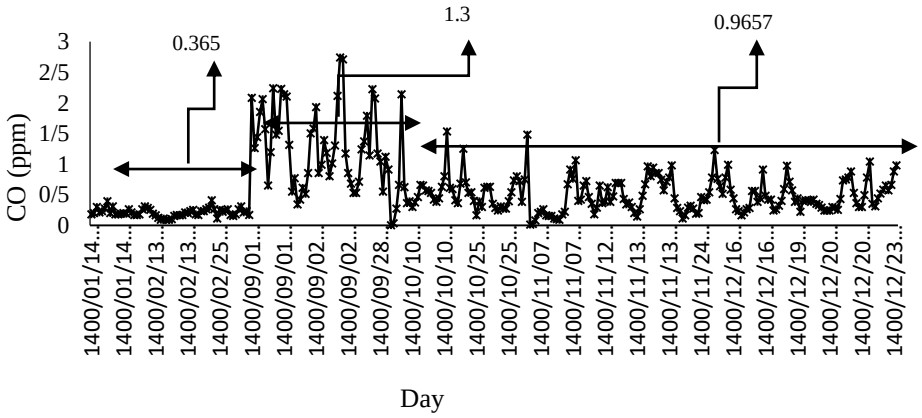
شکل ۱۱- سری زمانی $PM_{2.5}$ در ایستگاه فیض اصفهان و مقدار پایه آن در هر فصل

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]



شکل ۱۲- سری زمانی SO_2 در ایستگاه فیض اصفهان و مقدار پایه آن در هر فصل



شکل ۱۳- سری زمانی CO در ایستگاه فیض اصفهان و مقدار پایه آن در هر فصل

در جدول ٦ مدت زمان برگشت آلودگی هوا پس از پایان هر رویداد بارش برای هر یک از آلاینده‌ها بر حسب ساعت مشخص شده است. شایان ذکر است که در برخی از روزهای بارانی، به دلایلی مانند نقص فنی، آمار آلودگی هوا در دسترس نبوده است که در جدول ٦ با خط تیره مشخص شده است. همچنین برخی از بارش‌ها در روزهای متوالی رخ داده‌اند و این باعث شده که تا چند روز بعد از اتمام بارش کیفیت هوا پاک بماند، به طوری‌که در یک روز خاص در تمامی ساعت‌ها هوا پاک باشد که این حالت در جدول ٦ با علامت ستاره مشخص شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

جدول ٦- مدت زمان برگشت آلودگی هوا به میزان پایه پس از اتمام هر رویداد بارش (بر حسب ساعت)

ردیف	تاریخ وقوع بارش	NO_2 (ppm)	SO_2 (ppm)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)
۱	۱۴۰۰/۰۱/۱۴	۳۹	۳۴	۳۷	۷
۲	۱۴۰۰/۰۲/۱۳	۲۲	۱۲	۵۹	۲۳
۳	۱۴۰۰/۰۲/۲۳	–	–	–	–
۴	۱۴۰۰/۰۲/۲۵	۱۱	۴۲	۱۷	۲۲
۵	۱۴۰۰/۰۸/۱۴	۳۰	۱۰	۱۰	–
۶	۱۴۰۰/۰۸/۱۵	۲۰	۳۹	۴	–
۷	۱۴۰۰/۰۸/۱۶	۴	*	۲۱	–
۸	۱۴۰۰/۰۸/۲۵	۴	۳۸	۲۶	–
۹	۱۴۰۰/۰۸/۲۶	۱۹	*	۱۲	–
۱۰	۱۴۰۰/۰۹/۰۱	۲	۱۸	۱۸	۸
۱۱	۱۴۰۰/۰۹/۰۲	۷	۷	۱۰	۷
۱۲	۱۴۰۰/۰۹/۲۸	۴	۱۱	۳۵	۶
۱۳	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	–	–	۳۳	–
۱۴	۱۴۰۰/۱۰/۱۰	۱۲	۲۰	۶	۱۷
۱۵	۱۴۰۰/۱۰/۱۲	۵	۲۶	۸	۶
۱۶	۱۴۰۰/۱۰/۲۵	۸	۱۳	۴۹	۲۳
۱۷	۱۴۰۰/۱۱/۰۷	۱۵	۱۸	۵۱	۱۸
۱۸	۱۴۰۰/۱۱/۱۲	۱۲	۱۲	۱۶	۳۷
۱۹	۱۴۰۰/۱۱/۲۳	۱۴	۹	۱۵	۱۶
۲۰	۱۴۰۰/۱۲/۰۶	۵	۷	۷	۵
۲۱	۱۴۰۰/۱۲/۱۶	۴۷	۳۷	۷	۲۲
۲۲	۱۴۰۰/۱۲/۱۹	۶۴	۱۰	۸	۳۱
۲۳	۱۴۰۰/۱۲/۲۰	*	۲۱۵	۰	۴۶
۲۴	۱۴۰۰/۱۲/۲۳	۳۲	*	۹	۱۰

با توجه به جدول ٦ و با در نظر داشتن میزان CO موجود در هوا، بیشترین زمان برگشت‌پذیری به آلودگی پایه پس از بارش، مربوط به رویدادهای بارش ۲۰ اسفند، ۱۲ بهمن و ۱۹ اسفند به ترتیب معادل ٤٦، ۳۷ و ۳۱ ساعت می‌باشد. کمترین زمان برگشت آلاینده CO به مقدار پایه مربوط به ٦ اسفند و ۱۲ دی می‌باشد که به ترتیب ۵ و ٦ ساعت بوده است.

با توجه به جدول ٦ و با در نظر داشتن $PM_{2.5}$ بیشترین زمان برگشت‌پذیری آلودگی هوا مربوط به ۱۳ اردیبهشت، ۷ بهمن و ۲۵ دی می‌باشد که به ترتیب زمان برگشت‌پذیری این آلاینده به آلودگی پایه معادل ۵۹، ۵۱ و ٤۹ ساعت بوده است. این در صورتی است‌که با در نظر داشتن $PM_{2.5}$ بارشی که در ۲۰ اسفند اتفاق افتاده است، هیچ تاثیری بر کاهش این آلاینده نداشته است و موجب شده این آلاینده در تاریخ مذکور حتی برای ۱ ساعت هم کمتر از آلودگی پایه نگردد.

با توجه به جدول ٦ و با در نظر داشتن آلاینده SO_2، بارشی که در ۱۵ آبان‌ماه رخ داده است تاثیر خود را حدوداً تا ۳ روز بعد بر روی این آلاینده گذاشته است، بنابراین طبق آمار موجود در تمام ساعات روز ١٦ آبان میزان SO_2 کمتر از آلودگی پایه می‌باشند. با توجه به اینکه زمان برگشت‌پذیری آلودگی هوا در ۱۵ آبان تا ۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

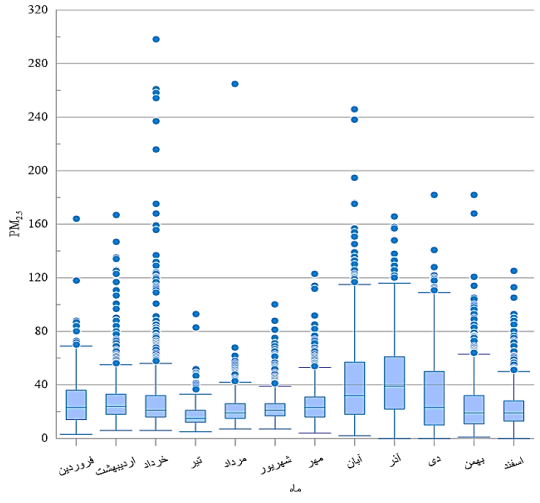
روز بعد از آن تلفیق شده است، لذا در جدول ٦ زمان برگشت آلوگی هوا در ١٦ آبان با ستاره مشخص شده است. این امر برای تاریخ‌های ٢٥ و ٢٦ آبان نیز قابل مشاهده است. بارشی که در ٢٥ آبان‌ماه اتفاق افتاده موجب پاکسازی هوا در کل روز ٢٦ آبان‌ماه شده است، هرچند آلودگی هوا در ٢٧ آبان‌ماه مجدد به بالاتر از آلودگی پایه برگشته است. با در نظر داشتن پارامتر SO_2 بارشی که در ٢٠ اسفندماه ١٤٠٠ رخ داده است، موجب شده که مقدار این آلاینده تا ٢١٥ ساعت بعد از وقوع بارش کمتر از میزان آلودگی پایه گردد. بارشی که در این تاریخ اتفاق افتاده است به عنوان بیشترین زمان برگشت‌پذیری آلودگی هوا محسوب می‌شود. این در حالیست‌که کمترین زمان برگشت‌پذیری آلاینده SO_2 مربوط به ٢ آذر و ٦ اسفند می‌باشد که در هر دو تاریخ، ٧ ساعت پس از قطع بارش، آلاینده دی‌اکسید گوگرد به مقدار آلودگی پایه خود بازگشته است.

با توجه به جدول ٦ و با در نظر داشتن NO_2، بیشترین زمان برگشت‌پذیری آلودگی مربوط به ١٩ و ١٦ اسفندماه می‌باشد که به ترتیب ٦٤ و ٤٧ ساعت پس از وقوع بارش میزان NO_2 به مقدار پایه خود بازگشته است. بارش اتفاق افتاده در ١٩ اسفندماه موجب کمتر شدن میزان دی اکسید نیتروژن موجود در هوا در تاریخ ٢٠ اسفند نیز شده است و تاثیر خود را حدوداً تا ٣ روز پس از شروع بارش گذاشته است. در حالی‌که کمترین زمان برگشت آلودگی هوا مربوط به ١ آذرماه می‌باشد که ٢ ساعت پس از پایان بارش، میزان NO_2 فراتر از مقدار آلودگی پایه خود شده است. به گونه‌ای که بارش به وقوع پیوسته در ١٤ آبان، که به عنوان بیشترین بارش سال ١٤٠٠ با ارتفاع ١٧ میلی‌متر بوده است تنها ٣٠ ساعت پس از بارش، میزان NO_2 به مقدار پایه برگشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت‌که علاوه بر بارش، عوامل دیگری نیز بر زمان برگشت‌پذیری آلودگی در هر فصل تاثیر دارند.

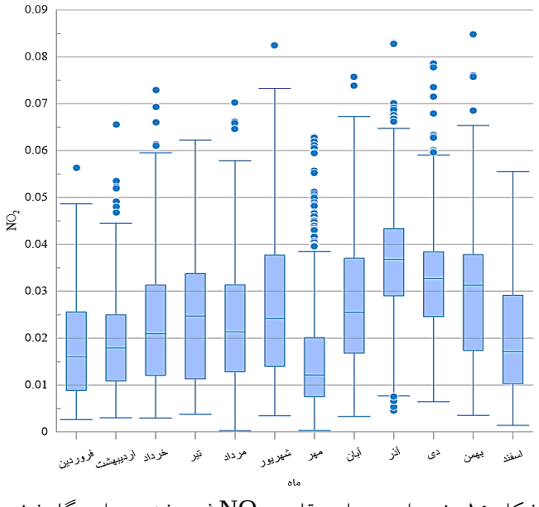
بحث

بررسی پراکندگی داده‌ها با استفاده از نمودار جعبه‌ای

در شکل‌های ١٤ تا ١٧ پراکندگی داده‌های موجود در هر یک از آلاینده‌ها با استفاده از نمودار جعبه‌ای ارائه شده است.



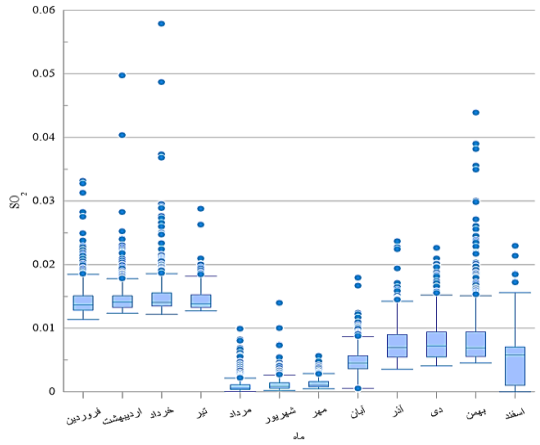
شکل ١٤- نمودار جعبه‌ای مقادیر $PM_{2.5}$ ثبت شده در ایستگاه فیض در سال ١٤٠٠



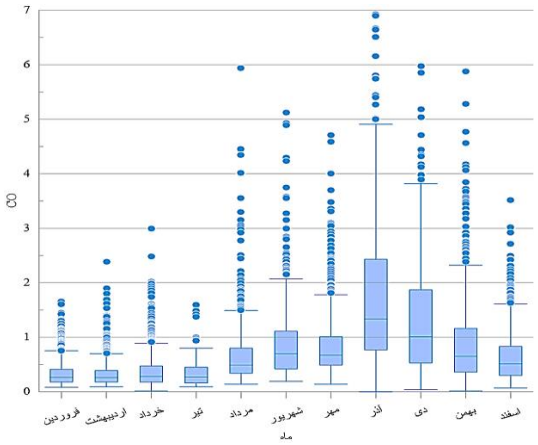
شکل ١٥- نمودار جعبه‌ای مقادیر NO_2 ثبت شده در ایستگاه فیض در سال ١٤٠٠

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]



شکل ۱۶- نمودار جعبه‌ای مقادیر SO_2 ثبت شده در ایستگاه فیض در سال ۱۴۰۰

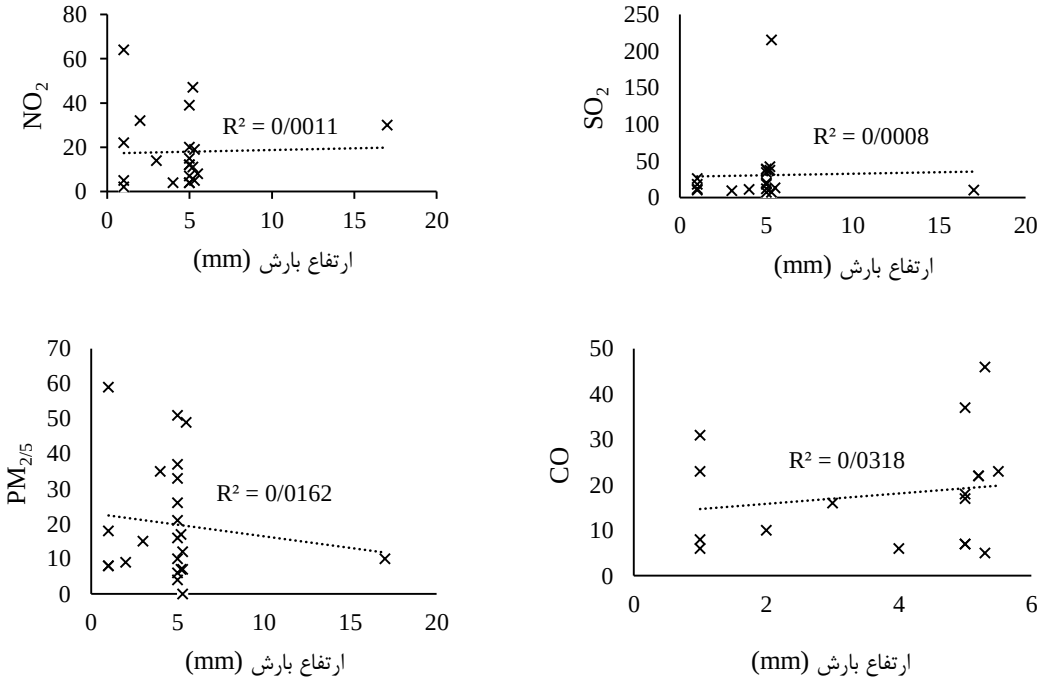


شکل ۱۷- نمودار جعبه‌ای مقادیر CO ثبت شده در ایستگاه فیض در سال ۱۴۰۰

با توجه به شکل ۱۴ تغییرات آلاینده $PM_{2.5}$ در خردادماه بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد. در مورد آلاینده‌های NO_2، SO_2 و CO بیشترین تغییرات به ترتیب در ماه‌های مهر و خرداد مشاهده شده است. قابل ذکر است که در ایستگاه فیض به منظور تعویض قطعه‌ای از فیلتراسیون CO هیچگونه اطلاعاتی در آبان ۱۴۰۰ موجود نمی‌باشد.

همبستگی ارتفاع بارش با مدت زمان برگشت آلودگی

در شکل ۱۸ میزان همبستگی ارتفاع بارش اتفاق افتاده با مدت زمان برگشت آلودگی هوا برای هر کدام از شاخص‌های کیفیت هوا مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱۸- همبستگی بین زمان برگشت هر یک از پارامترهای شاخص کیفیت هوا با میزان ارتفاع بارش

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

همانطور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود بین ارتفاع بارش و زمان برگشت‌پذیری همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرچند وقوع بارش موجب کاهش آلودگی هوا می‌شود، ولی علاوه بر بارش، عوامل دیگری همچون دمای هوا، سرعت باد، شدت و مدت بارش و میزان تولید آلاینده نیز بر برگشت‌پذیری آلودگی به میزان پایه هر فصل تاثیر دارند.

در مقام مقایسه مطالعه حاضر با سایر مطالعات مشابه که انجام شده است نتایج حاکی از آن است که با وجود تمهیدات به کار رفته به منظور کنترل آلودگی هوا در اصفهان، مانند اعمال قانون طرح زوج و فرد و تردد خودروها و همچنین کنترل معاینه فنی وسایل نقلیه و ... کیفیت هوای اصفهان در برخی از روزهای سال با مواردی که در مصوبات قانون هوای پاک سال ۱۹۷۰ مطرح شده است، فاصله زیادی دارد[۲۹ و ۳۰]. با توجه به نتایج مطالعاتی که در گذشته انجام شده است، بیشترین میزان AQI اتفاق افتاده در اصفهان مربوط به فصل پاییز می‌باشد. در تحقیق حاضر نیز با در نظر گرفتن میزان آلودگی پایه نتایج نشان می‌دهد میزان $PM_{2.5}$ در فصل پاییز معادل ۳۷/۶۹ می‌باشد که مقدار آن بیش از سایر فصل‌ها است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در سال ۱۴۰۰، با در نظر گرفتن CO موجود در هوا، ۹۹ درصد از موارد ثبت شده در ایستگاه فیض در وضعیت کیفیت هوای خوب و ۱ درصد از موارد ثبت شده در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار دارند. این در حالی است‌که با مد نظر قرار دادن میزان SO_2 موجود در هوا حدوداً ۹۹/۸ درصد از موارد ثبت شده در وضعیت کیفیت هوای خوب و حدوداً ۰/۲ درصد در حالت کیفیت هوای متوسط قرار دارند. این در حالیست‌که با در نظر داشتن میزان NO_2 موجود در هوا ۹۸ درصد موارد ثبت شده در وضعیت کیفیت هوای خوب و ۲ درصد در شرایط کیفیت هوای متوسط قرار دارند. با مد نظر قرار دادن $PM_{2.5}$ موجود در هوا ۲۶ درصد در حالت خوب، ۴۸ درصد در حالت کیفیت هوای متوسط، ۱۸ درصد در حالت کیفیت هوای غیربهداشتی برای گروه‌های حساس، ۷ درصد در شرایط کیفیت هوای غیربهداشتی و ۱ درصد در وضعیت هوای بسیار غیربهداشتی قرار دارند. لازم به توضیح است در ساعات محدود و بسیار اندکی از اطلاعات ثبت شده از شاخص $PM_{2.5}$ در حالت وضعیت کیفیت هوای خطرناک قرار دارند.

نتایج بررسی زمان برگشت آلودگی هوا پس از اتمام بارش، به میزان آلودگی پایه در ایستگاه فیض اصفهان نشان داد که در برخی از روزها وقوع بارش تاثیر زیادی بر کاهش آلودگی هوا نداشته است، در حالی که در برخی از روزها، وقوع بارش موجب کاهش قابل توجه آلودگی و تداوم آن حتی تا ۲۱۵ ساعت پس از اتمام بارش شده است. با این حال همبستگی معنی‌داری بین ارتفاع بارش و زمان برگشت‌پذیری وجود ندارد. به نظر می‌رسد که عوامل دیگری همچون دمای هوا، سرعت باد، شدت و مدت بارش نیز بر زمان برگشت‌پذیری تاثیر داشته باشند. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی اثر این عوامل نیز مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان به دلیل همکاری‌های لازم در جهت دسترسی به آمار و اطلاعات مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

References

1. Haj Rasouliha S, Amini H, Hodji M and Najafi P. (2006). Biotracing of air and soil pollution in Isfahan region. Journal of Research in Agricultural Sciences. 2(2): 39-54. (In Persian).
2. Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H, Heydar, J and Moazen, S. (2014). A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran. Transportation Research Part. 31, 21–36. (In Persian).
3. Mahboobfar M, Ramesht M, Yazdanpanah H and Azani M. (2018). Investigating the process of changes in the Air Quality Index in order to manage the air pollution crisis in the City of Isfahan. Urban Management. 17(50): 323-336. (In Persian).
4. Safavy, S.N, Mousavi, M, Dehghanzadeh Reihani, R, Shakeri, M. (2016). Seasonal and spatial zoning of Air Quality Index and Ambient Air Pollutants by Arc-GIS for Tabriz City and assessment of the current executive problem. Journal of Health. 7(2): 77-158. (In Persian).
5. Azizifar M, Naddafi K, Mohammadian M, Safdari M and Khazaei M. (2011). Air Pollution Quality Index (AQI) and density of PM1, PM2.5 and PM10 in the air of Qom. Qom University of Medical Sciences Journal. 5(2): 59-63. (In Persian).
6. Kermani M. (2002). Study of TSP and PM10 Quantities and Constitutive Material in the Ambient Air Shariati Hospital in Tehran, MSc. Thesis, Tehran University of Medical Sciences. (In Persian).
7. Wark K, Warner C. (1998). Air Pollution, Its Origin and Control. 3rd ed. Addison Wesley Longman: Inc.
8. USEPA. Characteristics of Particles. 2007. Available From: http://www.epa.gov/eogapti1/module3/distribu/distribu.htm.
9. USEPA. What is Visibility Important. 2006. Available From: http://www.Airinfonow.org/html/visibility.html.
10. Assari R, Modaresi M.R, Haghjouy Javanmard S.H, Lahijanzadeh A.R, Poursafa P, Sadeghian B and Kelishadi R. (2010). The relationship between air pollution and serum level of Thrombomodulin and Tissue Factor in a representative sample of adolescents aged 10-18 years in Isfahan, Iran. Journal of Isfahan Medical School. 28(109): 425-436. (In Persian).
11. Modarres R, Khosravi Dehkordi A. (2005). Daily air pollution time series analysis of Isfahan city. Int J Environ Sci Technol, 2(2593): 62. (In Persian).
12. Talebi SM, Tavakoli Ghinani T. Levels of PM10 and its chemical composition in the atmosphere of the city of Isfahan. Ir J Chem Engin 5(3): 62-7. (In Persian).
13. Mokhtari M, Jafari N, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A. (2017). Estimation of health effects of PM2.5 exposure using Air Q model in Isfahan during 2013. Health and Development Journal. 6(1): 74-84. (In Persian).
14. Malekizad F, Mirzahosseini A and Moattar F. (2019). Air quality assessment around Mehrabad Airport. Journal of Environmental Science and Technology. 21(5): 95-107. (In Persian).
15. Tulabi A, Zare MR, Zare M, Mahvi A, Shahriari A, Sarkhosh M et al. (2011). Assessment of air quality index in proximity of Bandar Abbas oil refinery. Medical Journal of Hormozgan University. 16(2): 123-133. (In Persian).
16. Seiday SE, Hedayati Moghadam Z, Fathi E, Jamshidi M. and Jamshidi A. (2012). Stratification and analysis of housing indicators of rural areas of Isfahan province using factor and cluster analyses. Urban Regional Studies and Research. 4(15): 37-52. (In Persian).
17. Hosseini S, Nader Khani Z and Yazdanbakhs B.A. (2017). Evaluation of the environmental sustainability of Ahvaz with an emphasis on air pollution (Using FPPSI method). 70(2): 309-317. (In Persian).
18. Tavakoli A. (2020). Evaluation of indoor air pollution in traditional bazaars- Case study in Naqsh-e-Jahan square of Isfahan in 2018-2019. Journal of Research in Environmental Health. 5(4): 273-282. (In Persian).
19. Shokati H, Sojoodi Z and Mashal M. (2022). Optimization and feasibility of using rainwater harvesting systems in Ardabil. Journal of Water and Soil. 36(3): 351-363. (In Persian).
20. Abdmanafi D, Mashkouti A.H. and Hejam S. (2016). A case study of the effect of acute air pollution on cloud physics and rainwater quality in Tehran. The sixth National Conference on Air and Noise Pollution Management. Tehran. Iran. (In Persian).
21. Shahrezaie, S.A., Radfar, M., Mirabbasi Najafabadi, R., Moughadas, M., Shahrezaie, N.S and Mahmoudi, S. (2023). Investigating the quality of Isfahan city rainwater under the influence of air pollution 2018-2019. Journal of Environmental Health Engineering. 10(4): 412-433. (In Persian).
22. Piri H and Mobarki M. (2022). Determining cultivation pattern of Isfahan agricultural crops using water footprint and virtual water. Environment and Water Engineering. 8(2): 507-518. (In Persian).
23. Iran's Population and Housing Census-2016. (2016). The Statistical Center of Iran.
24. Zarrabi A, Mohammadi J and Abdulahi, A.A. (2009). Investigation and evaluation of land use in fourteen areas of Isfahan using comparative method and LQi model using GIS software. Applied Research Journal of Geographical Sciences. 10(13): 173-202. (In Persian).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

25. U.S. Environmental Protection Agency (1999). Air Quality Index Reporting; Final Rule. Part III. 40 CFR Part 58. EPA, Washington. 42530-42549.

26. Shahrezaie S.A, Mirabbasi R, Shahrezaie N.S and Khosravi M. (2022). Investigating air pollution in metropolitan Isfahan metropolitan in 2021-2022 based on AQI index. Journal of Environmental Health Engineering. 9(4): 442-456. (In Persian).

27. U.S. Environmental Protection Agency (2012). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality- the Air Quality Index (AQI). National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). 29 pp.

28. U.S. Environmental Protection Agency (2009). Air Quality Index: AGuide to Air Quality and Your Health. National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). 12 pp.

29. Mohammadian Y., Gorgani Firoozjani M. and Javadi Kahriz I. (2021). The evaluation of Tabriz mega-city air quality according to air quality index (AQI), in 2011. Human and Environment. 18(4): 95-107. (In Persian).

30. Segal C. 2015. Climate Regulation under the Clean Air Act in the Wake of Utility Air Regulatory Group V. EPA. Harvard Environmental Law Review. 39(1): 1-8.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

Journal of Environmental Health Engineering, January 2023; Vol.11, No. 2: 178 - 200

Investigating the revertability of air pollution in Isfahan after precipitation

Sayyed Ali Shahrezaie[1], Rasoul Mirabbasi Najafabadi[2], Seyyed Mojtaba Mousavi[3], Nafiseh Sadat Shahrezaie[4] and Sharareh Mahmoudi[5]

1 .Graduated MSc, Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran,
2.Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran
3. Manager of Operation and Maintenance of Zayanderoud and Koohrang Dam and Power Plants, Isfahan Regional Water Authority, Iran
4.Bachelor's degree, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Malayer University, Iran
5.Master's Student in Environmental Engineering, Air Pollution Engineering, Faculty of Environment, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, Isfahan, Iran.

Email: sayyed.ali.shahrezaie@gmail.com

Receved: 2 February 2024, Accepted: 8 April 2024

ABSTRACT

Background: The ever-growing population and the industrialization of societies have led to an increase in environmental pollution, especially water and air pollution. In recent decades, air pollution in large cities has become a serious challenge that threatens the health of society. On the other hand, the water deficiency and the drying up of rivers, lakes and wetlands have led to an increase in dust production around cities, which in turn has worsened air pollution. Climatic factors also have an impact on changes in air pollution. Precipitation is one of the phenomena that can abruptly reduce air pollution, and air quality remains in a favorable state for some time after precipitation ceases. The aim of this study is to investigate the time when air pollution returns to the conditions before the occurrence of precipitation.
Methods: Currently, air pollution in the Isfahan metropolitan area is measured at 9 air quality monitoring stations by the Transportation and Traffic Department of Isfahan Municipality. In this study, Faiz station, which is located in an area with high traffic volume in terms of vehicle traffic, was selected among these 9 stations, which are scattered throughout Isfahan. In this study, the air pollution of Faiz station was evaluated based on the concentration of pollutants according to the standards of the US Environmental Protection Agency. Finally, the influence of precipitation on air pollution in the study area was examined.
Results: looking at the CO concentration in the air, it was observed that the maximum time of reversal of baseline pollution after precipitation is associated with the precipitation events of March 11, February 1 and March 10 with 46, 37 and 31 hours, respectively. For $PM_{2.5}$ concentrations, the maximum reversibility of pollution was recorded on May 3, January 27 and January 15, with the reversibility of this pollutant to baseline pollution being 59, 51 and 49 hours, respectively. For NO_2, the maximum reversibility of pollution was recorded on March 10 and 7, which respectively 64 and 47 hours after the end of the precipitation, the amount of NO_2 returned to its baseline value. As for the pollutant SO_2, the effect of the precipitation of November 6 on SO_2 lasted until about 3 days later, so that according to the available data, the amount of SO_2 is lower than the baseline pollution at all hours of November 7.
Conclusion: The results show that in terms of CO in the air, there was good air quality in 99% of the cases recorded at the Faiz station and average air quality in 1% of the cases, and that in terms of SO_2 in air, there was good air quality in about 99.8% of the cases recorded and average air quality in about 0.2% of the recorded cases. The study of the NO_2 concentration in the air showed that 98% of the recorded cases classified in good air quality and 2% in average air quality. As for $PM_{2.5}$ concentration, 26% of the time was in good condition, 48% in average air quality, 18% in unhealthy air quality for sensitive groups, 7% in unhealthy air quality and 1% in very unhealthy air quality. It should be mentioned that the $PM_{2.5}$ concentration reached a hazardous air quality condition in some hours. Finally, the results of this study showed that on some days the occurrence of precipitation had no significant effect on the reduction of air pollution, while on other days precipitation caused a significant reduction in air pollution and air

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]

pollution had not reached the baseline level even after 215 hours. It is possible that after the rain stopped, other factors such as wind were effective in keeping air pollution low.

Keywords: Air pollution, Precipitation, Isfahan city, revertability, air quality index, AQI

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-09-10]

[DOI: 10.61186/jehe.11.2.178]