

# بررسی کیفیت آب باران شهر اصفهان تحت تأثیر غلظت آلودگی هوا

در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

سیدعلی شاهرزائی<sup>۱</sup>، مهدی رادفر<sup>۲</sup>، رسول میرعباسی نجف آبادی<sup>۳</sup>، مهرداد مقدس<sup>۴</sup>، نفیسه سادات شاهرزائی<sup>۵</sup>، شراره محمودی<sup>۶</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

<sup>۴</sup> دانش‌آموخته دکتری، سازه‌های آبی، دانشگاه تهران، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ایران

<sup>۵</sup> دانشجوی کارشناسی، مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ملایر، ایران

<sup>۶</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست گرایش مهندسی آلودگی هوا، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

## چکیده

زمینه و هدف: آلودگی آب و هوا یکی از مهمترین مشکلاتی است که مردم امروزه در سرتاسر جهان به ویژه در شهرهای بزرگ با آن رو به رو هستند. رشد روزافزون جمعیت و همچنین افزایش وسایل نقلیه و تعداد کارخانه‌های صنعتی در شهر اصفهان موجب شده این شهر نیز به عنوان یکی از بزرگترین شهرهای صنعتی ایران محسوب گردد. اصفهان پس از تهران به عنوان دومین شهر آلوده ایران بشمار می‌آید. شهرستان اصفهان در بسیاری از روزهای سال با بحران آلودگی هوا مواجه می‌باشد که این آلودگی به صورت مستقیم و غیرمستقیم اثرات نامطلوبی بر تمامی ابعاد زندگی مردم این شهر دارد. از جمله این تأثیرگذاری‌ها می‌توان به کیفیت آب باران این منطقه اشاره نمود که به آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه می‌پیوندد و بر کیفیت آن‌ها نیز اثر می‌گذارد. این چرخه ادامه خواهد داشت و آلودگی هوا بر کیفیت آب شرب، کشاورزی، افزایش بیماری‌های تنفسی و در یک کلام بر سلامت جامعه آن منطقه تأثیر می‌گذارد.

مواد و روش‌ها: در تحقیق حاضر به بررسی اثرگذاری میزان آلودگی هوای اصفهان بر کیفیت آب باران منطقه ۱۰ شهرداری اصفهان پرداخته شده است. کیفیت آب باران بر اساس استاندارد ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی به منظور استفاده در شرب، استاندارد ارائه شده توسط APHA برای آب‌های جاری، استاندارد کشور چین برای مصارف کشاورزی، استاندارد ایران برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور ارزیابی کیفیت هوای منطقه، آمار ایستگاه سازمان هواشناسی اصفهان مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای هواشناسی بر اساس استانداردهای ارائه شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا مورد تحلیل قرار گرفته است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان EC آب باران حساسیت بیشتری نسبت به میزان pH برای بررسی مقدار آن در آب باران دارد، بطوری‌که در بسیاری از نمونه‌ها با مد نظر قرار دادن میزان pH کیفیت مطلوب داشته، اما با در نظر گرفتن میزان EC همان نمونه کیفیت نامطلوبی را داشته است. نتایج پایش کیفیت هوا بر اساس میزان PM<sub>2.5</sub> در روزهای بارش نشان داد که ۵ روز در حالت پاک، ۱۳ روز در سطح قابل قبول و ۶ روز غیربهداشتی برای گروه‌های حساس بوده است. نتیجه‌گیری: رواناب شهری اصفهان برای شرب نیازمند تصفیه است، ولی کیفیت آن برای کشاورزی مناسب است. نتایج نشان داد که

EC آب باران همبستگی بلایی با ارتفاع بارش دارد، در حالیکه pH آب باران با ارتفاع بارش همبستگی ندارد. نتایج حاکی از آن است که بارش‌ها با ارتفاع نسبتاً کم موجب افزایش چشمگیر EC آب باران شده است. این کاهش میزان ارتفاع بارش، موجب افزایش میزان CO و PM<sub>2.5</sub> 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. بطور کلی ارتفاع بارش تاثیر قابل توجهی بر غلظت EC آب باران دارد. نتایج نشان داد که در تمام روزهای بارندگی، میزان آلاینده‌های CO، SO<sub>2</sub> و O<sub>3</sub> در حالت پاک قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب باران، ذرات معلق، آلودگی هوا، شهر اصفهان

## مقدمه

یکی از اساسی‌ترین مسائل مورد بررسی توسط برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب، تأمین آب سالم به منظور مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق مختلف بخصوص مناطق خشک که با بحران کم آبی مواجه‌اند، می‌باشد. لذا جمع‌آوری و استفاده از آب باران با کیفیت در بسیاری از موارد کمک شایانی به تأمین آب در آن منطقه می‌نماید. رشد روز افزون جمعیت و همچنین گسترش نیاز آن‌ها بهره‌برداری از منابع آبی مختلف را تحت الشعاع قرار داده و به دنبال آن مصرف بی‌رویه آب باعث بروز مشکلاتی مانند کاهش سطح آب زیرزمینی، نشست زمین و همچنین کاهش کیفیت آب سطحی شده است.<sup>۱</sup> به منظور تأمین بخشی از نیاز آبی می‌توان از سیستم‌های استحصال آب باران استفاده نمود. این سیستم‌ها می‌توانند به طور چشمگیری تقاضا را از منابع آب عمومی کاهش دهند و راه حل مناسبی به منظور مقابله با کمبود آب باشند و از لحاظ اقتصادی مزایا و منافع بسیاری برای کشور دارند.<sup>۲</sup> امروزه آلودگی هوا یکی از مهمترین مسائل شهرهای بزرگ جهان محسوب می‌شود و به عنوان یک چالش اصلی در بحث مدیریت کشورها تبدیل شده است. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی در هر سال ۳ میلیون نفر بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند و افراد زیادی از بیماری‌های ناشی از آن رنج می‌برند.<sup>۳</sup> در طی سال‌های اخیر آلودگی هوا در کلان‌شهر اصفهان به بحران جدی تبدیل شده است و این شهر به عنوان یکی از بزرگترین شهرهای ایران و یکی از کلان

شهرهای آلوده دنیا می‌باشد که بعد از شهر تهران مقام دوم آلودگی را در کشور ایران به خود اختصاص داده است.<sup>۴</sup> بر اساس مطالعات انجام شده در محدوده اصفهان از مجموع کل آلاینده‌های روزانه در اصفهان، ۱۳ درصد مربوط به صنایع شهری، ۱۱ درصد متعلق به منابع خانگی و ۷۶ درصد مربوط به منابع آلوده‌کننده ناشی از ترافیک می‌باشند. خودروهای بنزینی و موتورسیکلت‌ها، مهم‌ترین عامل آلودگی هوا در اصفهان به شمار می‌روند.<sup>۵</sup> معمولاً پیش‌بینی می‌شود آب باران به طور کامل خالص باشد، این در حالیست که با توجه به تماس آن با گازهای مخلوط در هوا، گرد و خاک، ذرات معلق، مقادیر قابل چشم‌گیری از آن‌ها را در خود حل نموده و به زمین می‌آورد. گازهای مانند ازن، اکسیژن و گاز کربنیک در آب باران وجود خواهند داشت و بنابراین کیفیت آن را تغییر می‌دهند.<sup>۶</sup> بر اساس مطالعات انجام شده در طی خشکسالی‌های زیادی که در استرالیا اتفاق افتاده است، تأثیر باران اسیدی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد در اماکنی که ساختمان‌سازی و گرد و خاک بیشتر باشد، مقدار غلظت یون‌های موجود در باران اسیدی بیشتر بوده و باران اسیدی‌تر می‌باشد.<sup>۷</sup> بیشترین آلاینده‌های شهری شامل منوکسید کربن، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ازن و غبار می‌باشند. در تشکیل مه دود، عناصر آب و هوایی مانند دما، رطوبت، تابش، پایداری جو، وارونگی دما و سمت و سرعت باد مؤثر می‌باشند. اگر هوا پایدار باشد و ارتفاع لایه وارونگی دما پایین باشد، آلاینده‌ها متراکم شده و غلظت آلودگی در نزدیکی سطح

اهواز، اراک، تهران، اصفهان، شیراز، تبریز و مشهد به ترتیب در ۸۵، ۷۳، ۷۰، ۶۰، ۴۷، ۷۳ و ۲۹ درصد از روزهای سال بیش از حد مجاز می‌باشد<sup>۱۱</sup>. ریچاردسون و همکاران، روش‌های مختلف استحصال آب باران را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند سطوح آسفالت، آلودگی‌های نفتی، ذرات جدا حمل شده از آسفالت جاده و خیابان‌ها، حمل رسوبات به جا مانده از چرخ وسایل نقلیه و همچنین ذرات گرد و غبار موجود در سطوح آسفالت از موارد آلوده‌کننده رواناب سطوح شهری به حساب می‌آیند<sup>۱۲</sup>. تجریشی اصل، به بررسی کیفی آب باران به منظور استفاده در کاربری‌های مختلف در منطقه یک شهر تهران پرداخته است. وی نتیجه گرفت در تمام نمونه‌های آب باران و رواناب، متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در محدوده مجاز تعیین شده توسط استاندارد ایران قرار دارند و فقط در ۱۶/۶۷ درصد نمونه‌های رواناب میزان یون سدیم و هدایت الکتریکی بیشتر از مقادیر استاندارد می‌باشد. غلظت فلزات نیکل، وانادیوم و روی نیز در تمام نمونه‌ها کمتر از محدوده مجاز قرار داشت<sup>۱۳</sup>. جونالاگدا و همکاران، به بررسی ترکیب شیمیایی آب باران و کیفیت هوا در کشور زیمباوه پرداختند. آن‌ها داده‌های مربوط به همان دوره کیفیت آب باران با تجزیه و تحلیل نمونه‌های بارش از پنج مکان انتخاب شده در زیمباوه برای سال ۱۹۹۰-۱۹۹۱ تعیین نمودند. سطوح نیترات، کلرید، سولفات، آمونیوم، پتاسیم، سدیم و یون‌های کلسیم، علاوه بر pH مقادیر هدایت الکتریکی را تعیین نمودند. در ادامه آن‌ها نسبت کاتیون به آنیون را بر اساس داده‌های تجربی برای نمونه‌های آب باران محاسبه و وضعیت کیفیت محیط جوی در زیمباوه را مورد ارزیابی قرار دادند<sup>۱۴</sup>. تو و همکاران، به بررسی شاخص بهداشت کیفیت هوا و عوارض آسم در تورنتو کانادا پرداختند. آن‌ها دریافتند که در یک روز مشخص با افزایش یک واحد AQHI<sup>۱</sup> تعداد مراجعه‌کنندگان به مراکز خدمات درمانی مخصوص آسم در

زمین بالا می‌رود. این در حالیست که اگر جو ناپایدار باشد و باد بوزد، مواد زاید از جو شهری خارج و پس از صعود به سمت لایه‌های بالاتر، با هوای آن قسمت مخلوط شده و در نهایت رقیق می‌گردد<sup>۱۵</sup>. دیانتی تیلکی و همکاران، به بررسی کیفیت میکروبی آب باران ذخیره شده در آب انبارهای مناطق روستائی شهرستان گمیشان در سال ۱۳۹۲ پرداختند. آن‌ها دریافتند از مجموع ۶۰۴ نمونه آب که در آزمون‌های کلیفرم کل و گرمپای مورد ارزیابی قرار گرفتند، ۹۴ مورد یا به عبارتی ۲۳/۱۴ درصد حاوی آلودگی کلیفرم کل و ۲۸ مورد یا به عبارتی ۶/۸۹ درصد دارای آلودگی کلیفرم گرمپای بوده‌اند. در بین وضعیت بهداشتی آب انبارها و آلودگی کلیفرم کل و گرمپای در آب انبارها رابطه معنی‌داری وجود داشت. با توجه به وجود شرایط غیربهداشتی در آب انبارهای مورد بررسی، توصیه شد که تدابیری در خصوص بهداشتی‌سازی آب انبارها صورت گیرد و یا کاربری آب انبارها از شرب به غیرشرب تغییر پیدا کند<sup>۹</sup> ارفع‌نی و همکاران، به بررسی مقایسه‌ای کیفیت بهداشتی هوای کلانشهرهای تهران، اصفهان و شیراز در سال ۱۳۹۰ پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند کیفیت هوای شهرهای تهران، اصفهان و شیراز به ترتیب ۳۴۱، ۳۲۲ و ۸۵ روز در سال از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران بیشتر می‌باشد و هر سه شهر در اکثر روزهای سال ذرات معلق آلاینده بیش از حد مجاز می‌باشند. نتایج نشان داد که کیفیت هوای هر سه شهر بهداشتی نبوده و هوای دو شهر تهران و اصفهان نسبت به شهر شیراز از وضعیت نامطلوب‌تری برخوردار می‌باشند<sup>۱۰</sup>. کرمانی و همکاران، شاخص بهداشتی کیفیت هوا و کاربردهای آن در هفت شهر ایران را در سال ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند بر اساس شاخص بهداشت کیفیت هوا، میزان آلودگی در هفت کلانشهر کشور در وضعیت نامطلوبی قرار دارند و بر این اساس آلودگی هوا در شهرهای

<sup>۱</sup>Air Quality Health Index (AQHI)

مدفوعی، کلیفرم‌های کل، استافیلوکوک آرنوس و سودوموناس آئروژینوزا اشاره نمود. هدف از مطالعه حاضر، بررسی ارتباط بین آلودگی هوا و کیفیت آب باران در شهر اصفهان می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر منطقه ۱۰ اصفهان که منطقه‌ای نسبتاً پر جمعیت می‌باشد و حدوداً در مرکز شهر اصفهان قرار دارد و از مناطق شلوغ شهر از نظر تردد و عبور و مرور و سایل نقلیه محسوب می‌شود، انتخاب شده است. اصفهان با مساحتی حدوداً برابر ۱۰۷۰۴۴ کیلومتر مربع، معادل ۶/۴۹ درصد مساحت کل کشور را دارا می‌باشد. این شهر در ناحیه مرکزی ایران در محدوده جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است.<sup>۱۹</sup> استان اصفهان از سمت شمال توسط استان‌های قم، سمنان و مرکزی، از طرف شرق توسط استان‌های یزد و خراسان، از طرف جنوب توسط استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و فارس و از سمت غرب توسط استان‌های لرستان و چهارمحال بختیاری احاطه شده و همسایه می‌باشد.<sup>۲۰</sup> با توجه به آخرین سرشماری رسمی انجام شده در سال ۱۳۹۵ جمعیت استان اصفهان ۵۱۲۰۸۵۰ نفر می‌باشد که از این تعداد ۴۵۰۷۳۰۹ نفر در نقاط شهری زندگی می‌کنند.

بر اساس این آمار میزان شهرنشینی در استان اصفهان معادل ۸۸ درصد برآورد شده است.<sup>۲۱</sup> نمائی از منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

آن روز مشخص ۵/۶ درصد افزایش یافته است. بر اساس مطالعات آن‌ها تعداد افراد بستری شده در بیمارستان در همان روز ۱/۲ درصد افزایش یافته است.<sup>۱۵</sup> چن و همکاران، از شاخص‌های سلامت کیفیت هوا به منظور بررسی رابطه بین خطرات آلودگی هوا و ارتباط آن با سلامت عموم مردم شهر شانگ‌های چین استفاده کردند. آن‌ها متوجه شدند با افزایش مقدار شاخص AQHI مرگ و میر و همچنین تعداد بیماران بستری شده در بیمارستان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ میلادی نیز افزایش یافته است.<sup>۱۶</sup> شاهرضائی و رادفر، به بررسی کیفیت آب باران اصفهان و شهرکرد با توجه به استانداردهای موجود پرداختند. آن‌ها بیان کردند در صورت در نظر گرفتن پارامتر pH در شهرستان اصفهان در ۳ آذر ۱۳۹۷ و ۲۳ فروردین ۱۳۹۸ کیفیت آب باران با توجه به استاندارد کیفیت آب آشامیدنی ایران مناسب نیست.<sup>۱۷</sup> گلباز و همکاران، به بررسی کیفیت هوای شهر تهران در سال ۱۳۸۷ با تکیه بر شاخص کیفیت هوا پرداخته‌اند. آن‌ها بیان کردند با توجه به مطالعات انجام شده در سال ۱۳۸۷، ۴۳ روز کیفیت هوا از حد استاندارد حفاظت محیط زیست آمریکا کمتر شده است و ۳۲۳ روز دیگر از حد استاندارد تجاوز نموده است.<sup>۱۸</sup> به منظور ارزیابی کیفیت آب هر منبع محقق می‌تواند غلظت عوامل موثر بر کیفیت آب را بسته به مصرف مورد نظر و همچنین دسترس بودن داده‌ها ارزیابی نماید. عوامل و پارامترهای متعددی بر کیفیت آب موثر می‌باشند:

از عوامل موثر بر کیفیت آب مورد مطالعه پارامترهای فیزیکوشیمیایی می‌باشند. این پارامترها شامل هدایت الکتریکی، pH و کدورت هستند. هدایت الکتریکی با هدایت سنج یا EC<sup>۲</sup> متر، pH با pH متر و کدورت نیز با استفاده از کدورت سنج اندازه‌گیری می‌شود. از دیگر عوامل موثر بر کیفیت آب، پارامترهای میکروبی می‌باشند که می‌توان به باکتری‌های شمارش پلیت هتروتروفی، کلیفرم مدفوعی، استریپتوکوک

<sup>۲</sup>Electrical conductivity (EC)

استانداردهای بسیاری برای بررسی کیفیت آب توسط محققین و دانشمندان جهان ارائه شده است. در جدول ۱ چند نمونه از شاخص‌ترین استانداردها به منظور بررسی کیفیت آب باران اصفهان انتخاب و در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفته است.

به کمک رابطه ۱ و جدول ۲ امکان محاسبه میزان شاخص روزانه برای هر کدام از غلظت‌های استاندارد شده آلاینده‌ها در ایستگاه مورد نظر فراهم شده است. لذا بیشترین میزان از میان زیر شاخص‌ها به عنوان شاخص نهائی و آلاینده‌ای که نمایانگر بالاترین زیر شاخص می‌باشد، به عنوان آلاینده مسئول یا به عبارتی آلاینده‌ای که بیش از حد مجاز می‌باشد معرفی می‌گردد.

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

در رابطه ۱ پارامترها بدین شرح می‌باشند:  $I_p$  شاخص محاسبه شده برای آلاینده مورد بررسی،  $C_p$  غلظت گرد شده آلاینده مورد بررسی،  $BP_{Hi}$  غلظت استاندارد موجود در طبقه‌ای از جدول ۲ که معادل و یا بیشتر از غلظت گرد شده آلاینده مورد بررسی می‌باشد،  $BP_{Lo}$  غلظت استاندارد موجود در طبقه‌ای از جدول ۲ 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 ۲ 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<sup>۲۲</sup>.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

## روش کار

در این پژوهش، بارش‌های به وقوع پیوسته از آبان‌ماه ۱۳۹۷ تا فروردین ۱۳۹۸ توسط بشر پلاستیکی مدرج (منقح شده) از پشت‌بام مسکونی واقع در منطقه مذکور جمع‌آوری شده است. نمونه بارش‌ها پس از جمع‌آوری درون ظرفی درب‌دار در محیطی تاریک و با دمایی نسبتاً یکسان برای تمام نمونه‌ها، نگهداری شده‌اند (تمام نمونه‌ها در شرایط مشابه هم نگهداری شده‌اند). هر نمونه پس از گذشت چند روز از زمان وقوع بارش به آزمایشگاه خاکشناسی واقع در دانشگاه شهرکرد انتقال یافته و مورد آزمایش قرار گرفته است. به منظور بررسی کیفیت آب باران اصفهان دو پارامتر فیزیکوشیمیایی شامل EC و pH مورد بررسی قرار گرفته است. این دو پارامتر توسط دستگاه EC متر و pH سنج کالیبره شده واقع در آزمایشگاه مذکور مورد آنالیز قرار گرفته‌اند.

جدول ۱- بررسی استاندارد کیفیت آب بر اساس پارامترهای pH و EC<sup>۱۳</sup>

ردیف	استاندارد	پارامتر	
		PH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
۱	WHO برای آب آشامیدنی	۸/۵-۶/۵	کمتر از ۲۵۰
۲	APHA برای آب‌های جاری	۸/۵-۶/۵	۱۵۰ تا ۵۰۰
۳	چین برای مصارف کشاورزی	۹-۶	-
۴	کیفیت آب آشامیدنی ایران	۹/۲-۶/۵	-
۵	کیفیت آب ایران برای مصارف کشاورزی	۹-۶	۲۲۵۰ تا ۷۵۰

جدول ۲- طبقات آلاینده‌ها به منظور محاسبه شاخص کیفیت هوا<sup>۱۳</sup>

ردیف	شاخص طبقات کیفیت هوا	CO (8hr,ppm)	PM <sub>10</sub> (24hr, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (24hr,ppm)	NO <sub>2</sub> (1hr,ppm)	O <sub>3</sub> (1hr,ppm)
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	-	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴
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

پس از مشخص نمودن طبقات آلاینده‌ها با استفاده از جدول ۲ می‌توان با استفاده از جدول ۳ دستورالعمل‌های احتیاطی را برای مردم در شرایط مختلف اعلام کرد.

جدول ۳- رنگ و توصیف‌کننده شاخص‌های کیفیت هوا<sup>۲۴</sup>

ردیف	شاخص طبقات کیفیت هوا	رنگ	توصیف‌کننده	دستور العمل
۱	۰-۵۰	سبز	پاک	ندارد.
۲	۵۱-۱۰۰	زرد	قابل قبول	معمولاً افراد حساس باید فعالیت‌های طولانی مدت خارج از منزل را محدود نمایند.
۳	۱۰۱-۱۵۰	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	۱۵۱-۲۰۰	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	۲۰۱-۳۰۰	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	۳۰۱-۵۰۰	زرشکی	خطرناک	تمامی افراد باید از هر گونه فعالیت در خارج از منزل جداً خودداری نمایند.

## نتایج

### بررسی نتایج حاصل از کیفیت آب باران اصفهان

در جدول ۴ نتایج حاصل از کیفیت آب باران شهر اصفهان ارائه شده است

جدول ۴- کیفیت آب باران اصفهان بر اساس پارامترهای pH و EC

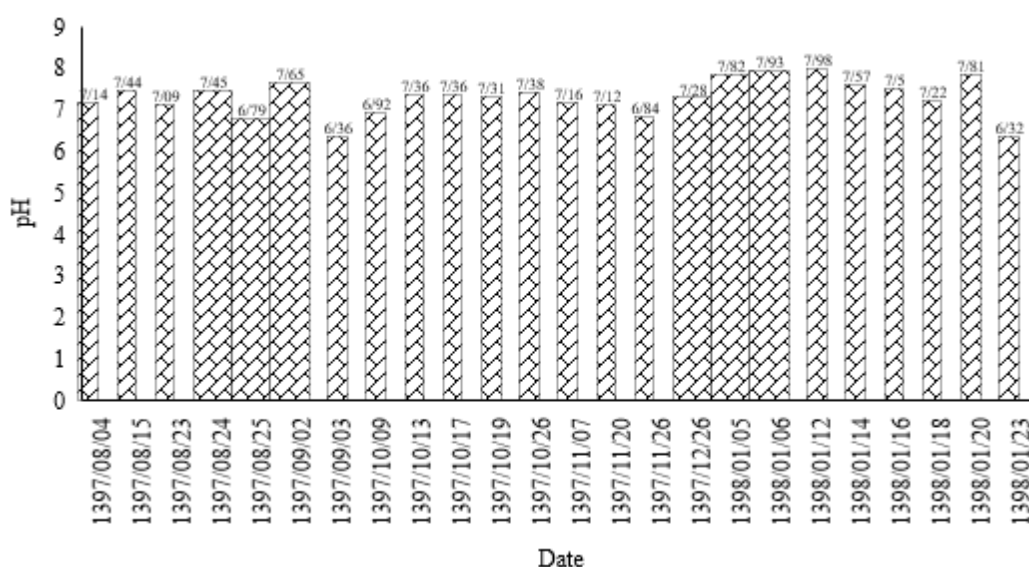
ردیف	تاریخ بارش	ارتفاع بارش (mm)	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	ردیف	تاریخ بارش	ارتفاع بارش (mm)	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
۱	۱۳۹۷/۰۸/۰۴	۳/۲	۷/۱۴	۴۳/۵	۱۳	۱۳۹۷/۱۱/۰۷	۰/۲	۷/۱۶	۴۶۸
۲	۱۳۹۷/۰۸/۱۵	۱/۳	۷/۴۴	۱۶۹/۶	۱۴	۱۳۹۷/۱۱/۲۰	۰/۵	۷/۱۲	۳۶۶
۳	۱۳۹۷/۰۸/۲۳	۱/۶	۷/۰۹	۳۳/۲	۱۵	۱۳۹۷/۱۱/۲۶	۰/۲	۶/۸۴	۳۵۴
۴	۱۳۹۷/۰۸/۲۴	۲/۸	۷/۴۵	۳۹/۹	۱۶	۱۳۹۷/۱۲/۲۶	۰/۸	۷/۲۸	۳۵۴
۵	۱۳۹۷/۰۸/۲۵	۰/۲	۶/۷۹	۵۳/۶	۱۷	۱۳۹۸/۰۱/۰۵	۲۲/۴	۷/۸۲	۴۳/۴
۶	۱۳۹۷/۰۹/۰۲	۰/۶	۷/۶۵	۵۳۵	۱۸	۱۳۹۸/۰۱/۰۶	۲/۴	۷/۹۳	۳۱/۸
۷	۱۳۹۷/۰۹/۰۳	۱۸/۳	۶/۳۶	۳۸	۱۹	۱۳۹۸/۰۱/۱۲	۰/۳	۷/۹۸	۱۴۷/۴

۲۰۲	۷/۵۷	۱/۲	۱۳۹۸/۰۱/۱۴	۲۰	۸۲۵	۶/۹۲	۱/۴	۱۳۹۷/۱۰/۰۹	۸
۱۱۰/۹	۷/۵	۲/۸	۱۳۹۸/۰۱/۱۶	۲۱	۹۲	۷/۳۶	۹/۳	۱۳۹۷/۱۰/۱۳	۹
۲۱۲	۷/۲۲	۲/۹	۱۳۹۸/۰۱/۱۸	۲۲	۴۵۸	۷/۳۶	۰/۲	۱۳۹۷/۱۰/۱۷	۱۰
۱۸۲/۴	۷/۸۱	۰/۸	۱۳۹۸/۰۱/۲۰	۲۳	۳۶	۷/۳۱	۹/۵	۱۳۹۷/۱۰/۱۹	۱۱
۱۷۵/۸	۶/۳۲	۱/۱	۱۳۹۸/۰۱/۲۳	۲۴	۱۵۲	۷/۳۸	۳/۴	۱۳۹۷/۱۰/۲۶	۱۲

## بررسی کیفیت آب باران بر اساس pH

در شکل ۲ تغییرات پارامتر pH طی سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ ارائه شده است.

در ادامه به بررسی کیفیت آب باران اصفهان با مد نظر قرار دادن دو پارامتر EC و pH به صورت مجزا بر اساس استانداردهای ارائه شده در جدول ۱ پرداخته شده است.



شکل ۲- تغییرات pH آب باران شهر اصفهان طی سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷

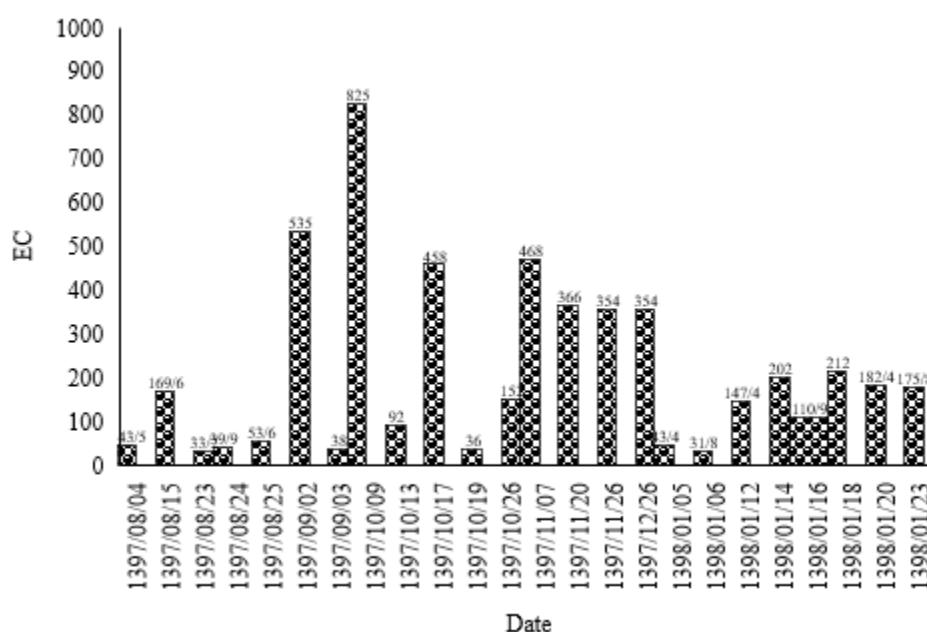
چین برای مصارف کشاورزی از کیفیت مطلوبی برخوردار می‌باشند.

## بررسی کیفیت آب باران بر اساس EC

نتایج حاصل از کیفیت آب باران با در نظر گرفتن پارامتر EC در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در اصفهان مطابق شکل ۳ ارائه شده است.

طبق شکل ۲ و با توجه به استانداردهای WHO<sup>۳</sup> (سازمان بهداشت جهانی)، استاندارد ایران برای مصارف آشامیدنی و استاندارد APHA (انجمن بهداشت عمومی آمریکا)، بارش‌های به وقوع پیوسته در ۳ آذرماه ۱۳۹۷ و ۲۳ فروردین‌ماه ۱۳۹۸ از کیفیت مناسبی برای مصارف آشامیدنی برخوردار نمی‌باشند. این درحالیست که تمام بارش‌های بررسی شده در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸، بر اساس استانداردهای ایران و

<sup>۳</sup>World Health Organization



شکل ۳- تغییرات EC آب باران شهر اصفهان طی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

ارائه شده توسط کشور ایران، از کیفیت مناسبی برای مصارف کشاورزی برخوردار می‌باشند.

### بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان

در جدول ۵ فاکتورهای اندازه‌گیری پایش آلودگی هوای شهر اصفهان در روزهای بارانی نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۳ و بر اساس استاندارد WHO بارش‌های به وقوع پیوسته در تاریخ‌های ۲ آذرماه، ۹ دی‌ماه، ۱۷ دی‌ماه، ۷ بهمن‌ماه، ۲۰ بهمن‌ماه، ۲۶ بهمن‌ماه و ۲۶ اسفندماه در سال ۱۳۹۷ از کیفیت نامطلوبی برخوردار می‌باشند. بر اساس استاندارد APHA بارش‌های به وقوع پیوسته در ۱۵ آبان‌ماه، ۲ آذرماه، ۹ دی‌ماه، ۱۷ دی‌ماه، ۲۶ دی‌ماه، ۷ بهمن‌ماه، ۲۰ بهمن‌ماه، ۲۶ بهمن‌ماه و ۲۶ اسفندماه در سال ۱۳۹۷ و همچنین بارش‌های اتفاق افتاده در ۱۴ فروردین‌ماه، ۱۸ فروردین‌ماه، ۲۰ فروردین‌ماه و ۲۳ فروردین‌ماه در سال ۱۳۹۸ به منظور مصارف شرب از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشند. این در حالیست که تمام بارش‌های مورد بررسی در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ بر اساس استاندارد

جدول ۵- فاکتورهای اندازه‌گیری پایش آلودگی هوای شهر اصفهان در روزهای بارانی

AQI	PM <sub>2/5</sub> (24hr,mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (1hr,ppb)	NO <sub>2</sub> (1hr,ppb)	O <sub>3</sub> (8hr,ppb)	CO (8hr,ppm)	تاریخ	ردیف
۵۶	۰/۰۱۴۷	۱۰/۲	۲۹/۶	۱۲/۷	۱/۷۴	۱۳۹۷/۰۸/۰۴	۱
۸۹	۰/۰۳	۷/۸	۴۲/۸۵	۳/۱۲۵	۲/۵	۱۳۹۷/۰۸/۱۵	۲
۷۵	۰/۰۲۳۳	۷/۸	۴۱/۵۶	۷/۷	۱/۹۲۵	۱۳۹۷/۰۸/۲۳	۳
۸۴	۰/۰۲۷۸	۵/۴	۳۸/۹	۶/۹۶	۱/۷۸	۱۳۹۷/۰۸/۲۴	۴
۷۵	۰/۰۲۳۷۳	۸/۳	۳۳/۸	۵/۶	۱/۹۸	۱۳۹۷/۰۸/۲۵	۵
۱۲۰	۰/۰۴۵۳۳	۱۲/۸	۴۴/۶	۳/۲	۳/۴	۱۳۹۷/۰۹/۰۲	۶
۱۰۶	۰/۰۳۵۴	۱۰/۷	۳۸	۳/۹۶	۲/۳۳	۱۳۹۷/۰۹/۰۳	۷
۱۰۵	۰/۰۳۷۱۲	۱۲/۲	۵۲/۹۷	۵/۶	۲/۵۵	۱۳۹۷/۱۰/۰۹	۸
۱۴۰	۰/۰۵۱۵	۱۵/۸	۵۳/۲	۳/۳	۳/۲	۱۳۹۷/۱۰/۱۳	۹
۴۹	۰/۰۰۹۱	۱۶/۱	۵۲/۲	۹/۳	۲/۸۳	۱۳۹۷/۱۰/۱۷	۱۰
۹۷	۰/۰۳۴۲	۸/۸	۴۶/۹	۳/۱	۲/۸	۱۳۹۷/۱۰/۱۹	۱۱
۱۰۳	۰/۰۳۶۳۵	۱۳/۳	۵۴/۶	۳/۳	۳/۰۱۳	۱۳۹۷/۱۰/۲۶	۱۲
۱۳۳	۰/۰۴۸۴	۱۲/۵	۵۵/۳	۳/۷۹	۲/۹	۱۳۹۷/۱۱/۰۷	۱۳
۷۶	۰/۰۲۳۸۱	۱۰/۸	۴۹/۶	۱۰/۳	۲/۱۴	۱۳۹۷/۱۱/۲۰	۱۴
۴۸	۰/۰۱۱۴	۸/۹	۴۶/۱۳	۸/۳	۲/۱	۱۳۹۷/۱۱/۲۶	۱۵
۵۵	۰/۰۱۳۸۳	۸/۱	۴۷/۵	۱۱/۷۳	۲	۱۳۹۷/۱۲/۲۶	۱۶
۵۴	۰/۰۱۳۷۱	۴/۷	۲۳/۹	۸/۱	۱/۴۵	۱۳۹۸/۰۱/۰۵	۱۷
۳۳	۰/۰۰۸۰۹	۴/۳	۲۸/۱	۱۰/۴	۱/۶	۱۳۹۸/۰۱/۰۶	۱۸
۳۱	۰/۰۰۵۹۵	۵/۹	۳۳/۱	۸/۴۹	۱/۷۴	۱۳۹۸/۰۱/۱۲	۱۹
۷۰	۰/۰۲۱۳	۶/۲	۴۴/۴	۱۵/۴۵	۱/۹۹	۱۳۹۸/۰۱/۱۴	۲۰
۹۱	۰/۰۳۱۲۱	۶/۹	۴۲/۶	۱۳/۲	۲/۶	۱۳۹۸/۰۱/۱۶	۲۱
۶۶	۰/۰۱۹۴۲	۶	۳۴/۵	۵/۵	۲/۱۷	۱۳۹۸/۰۱/۱۸	۲۲
۶۰	۰/۰۱۶۴	۸/۴	۴۲/۶۵	۹/۶۱	۲	۱۳۹۸/۰۱/۲۰	۲۳
۳۱	۰/۰۰۷۴	۵/۶	۳۲/۹۷	۱۳/۱۶	۱/۶۱۳	۱۳۹۸/۰۱/۲۳	۲۴

## بررسی کیفیت هوای اصفهان بر اساس

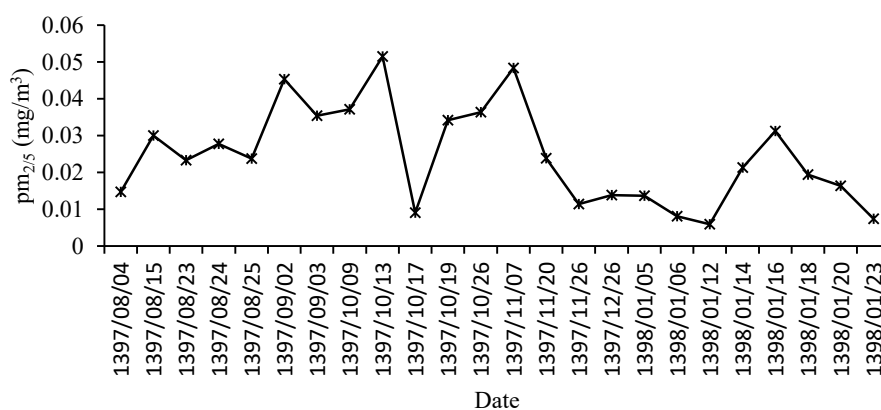
### ذرات معلق (PM<sub>2.5</sub>)

در شکل ۴ روند تغییرات ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون

(PM<sub>2.5</sub>) در روزهای بارانی طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

نشان داده شده است.

بررسی کیفیت آب باران شهر اصفهان تحت تأثیر غلظت آلودگی هوا در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸



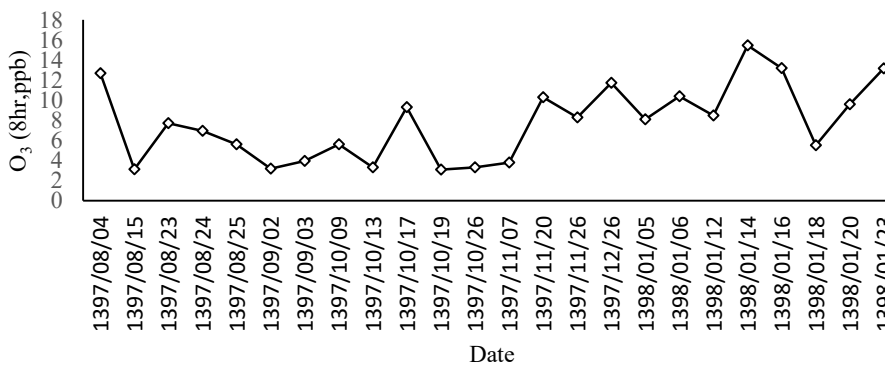
شکل ۴- تغییرات PM<sub>2.5</sub> هوای شهر اصفهان طی روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

می‌باشد که به ترتیب در ۱۳ دی‌ماه ۱۳۹۷ و ۱۲ فروردین‌ماه ۱۳۹۸ اتفاق افتاده است.

### بررسی کیفیت هوای اصفهان براساس ازن (O<sub>3</sub>)

در شکل ۵ روند تغییرات آلاینده O<sub>3</sub> در روزهای بارانی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نشان داده شده است.

طبق شکل ۴ در روزهای بارانی اصفهان طی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸، فقط هوای ۵ روز (۸/۲۰ درصد) در سطح خوب، ۱۳ روز (۲/۵۴ درصد) در حالت قابل قبول و ۶ روز (۲۵ درصد) در طبقه غیربهداشتی برای گروه‌های حساس بوده است. بیشترین و کمترین میزان PM<sub>2.5</sub> معادل ۰/۰۵۱۵ و ۰/۰۰۵۹۵ میلی‌گرم بر متر مکعب

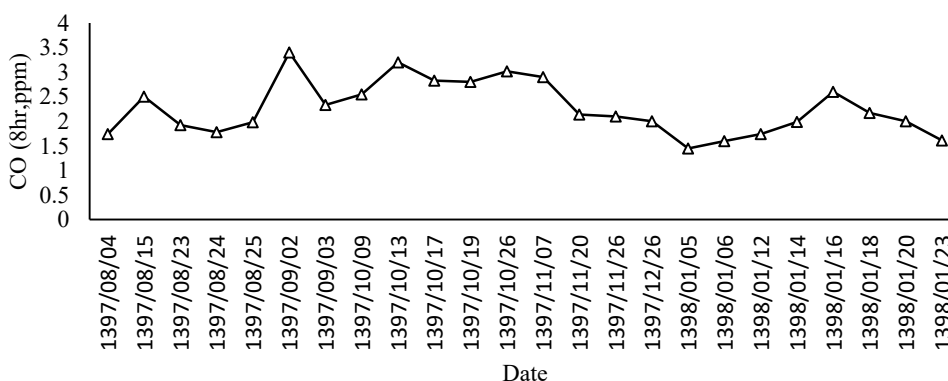


شکل ۵- تغییرات ازن (O<sub>3</sub>) هوای شهر اصفهان طی روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

### بررسی کیفیت هوای اصفهان بر اساس CO

در شکل ۶ روند تغییرات آلاینده مونواکسید کربن در روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در شهر اصفهان نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۵ میزان O<sub>3</sub> در تمام روزهای بارندگی در حالت پاک قرار دارند. بیشترین و کمترین میزان O<sub>3</sub> به ترتیب معادل ۱۵/۴۵ و ۳/۱ ppb بوده که به ترتیب مربوط به ۱۴ فروردین ماه ۱۳۹۸ و ۱۹ دی ماه ۱۳۹۷ می باشد.



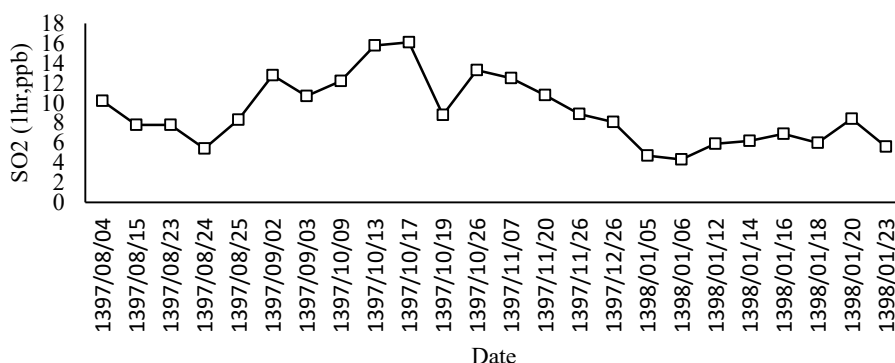
شکل ۶- تغییرات مونواکسید کربن (CO) هوای اصفهان طی روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

### بررسی کیفیت هوای اصفهان بر اساس دی

#### اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)

در شکل ۷ روند تغییرات آلاینده SO<sub>2</sub> در روزهای بارانی در شهر اصفهان طی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۶ میزان CO در تمام ۲۴ روز بارندگی سال مورد بررسی (۱۰۰ درصد) در حالت پاک قرار دارند. بیشترین و کمترین میزان CO به ترتیب معادل ۳/۴ و ۱/۴۵ ppm بوده که به ترتیب در ۲ آذرماه ۱۳۹۷ و ۵ فروردین ماه ۱۳۹۸ اتفاق افتاده است.

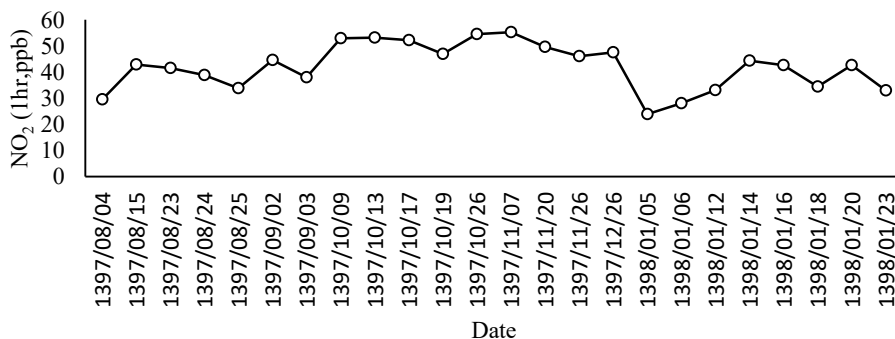


شکل ۷- تغییرات دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) هوای اصفهان طی روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

### بررسی کیفیت هوای اصفهان بر اساس دی اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>)

در شکل ۸ روند تغییرات آلاینده NO<sub>2</sub> در روزهای بارانی نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۷ میزان SO<sub>2</sub> در تمام روزهای بارانی سال مورد بررسی (۱۰۰ درصد) در حالت پاک قرار دارند. بیشترین و کمترین میزان SO<sub>2</sub> معادل ۱۶/۱ و ۴/۳ ppb بوده که به ترتیب در ۱۷ دی ماه ۱۳۹۷ و ۶ فروردین ماه ۱۳۹۸ رخ داده است.



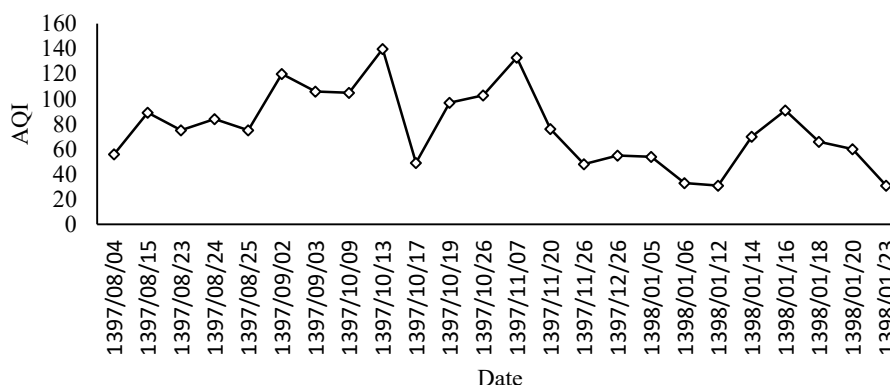
شکل ۸- تغییرات دی اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>) هوای اصفهان در روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

### بررسی کیفیت هوای اصفهان بر اساس AQI

در شکل ۹ روند تغییرات آلاینده AQI<sup>۴</sup> در روزهای بارانی نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۸ از ۲۴ روز نمونه بارندگی با در نظر گرفتن میزان NO<sub>2</sub> در هوا، ۲۲ روز (۹۱/۶ درصد) در سطح هوای پاک و ۲ روز (۸/۴ درصد) در طبقه قابل قبول می باشند. بیشترین و کمترین میزان NO<sub>2</sub> معادل ۵۵/۳ و ۲۳/۹ ppb بوده که به ترتیب در ۷ بهمن ماه ۱۳۹۷ و ۵ فروردین ماه ۱۳۹۸ اتفاق افتاده است.

<sup>۴</sup>Air Quality Index (AQI)



شکل ۹- تغییرات شاخص (AQI) هوای اصفهان در روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

با توجه به شکل ۹ و با در نظر گرفتن میزان AQI هوا در روزهای بارانی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸، ۵ روز (۲۰/۸ درصد) در سطح خوب، ۱۳ روز (۵۴/۲ درصد) در حالت قابل قبول و ۶ روز (۲۵ درصد) در سطح غیربهداشتی برای گروه‌های حساس قرار دارند. بیشترین و کمترین میزان AQI معادل ۱۴۰ و ۳۱ بوده که به ترتیب بیشترین آن مربوط به ۱۳ دی ماه ۱۳۹۷ و کمترین آن مربوط به ۱۲ و ۲۳ فروردین ماه ۱۳۹۸ می‌باشد.

## بحث

تحقیق حاضر نشان داد که در بررسی کیفیت آب باران، آلودگی هوا تاثیر بیشتری بر پارامتر EC موجود در آب باران نسبت به pH دارد که این موضوع حساسیت EC نسبت به آلودگی هوا را نشان می‌دهد. با در نظر داشتن میزان EC، استاندارد APHA بسیار حساس تر از استانداردهای کیفیت آب شرب ایران و استاندارد WHO می‌باشد. به دلیل آلودگی فضای اتمسفری بارش‌های شهر اصفهان بر اساس استانداردهای کیفیت آب شرب ایران، استاندارد WHO و APHA به لحاظ کیفی برای شرب مناسب نمی‌باشند. همچنین در کل سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با توجه به استاندارد ارائه شده توسط کشورهای ایران و چین بارش‌ها برای مصارف کشاورزی مناسب می‌باشند. در تمام روزهای بارندگی، میزان آلاینده های CO،

## بررسی روند تغییر پارامترهای کیفیت هوا

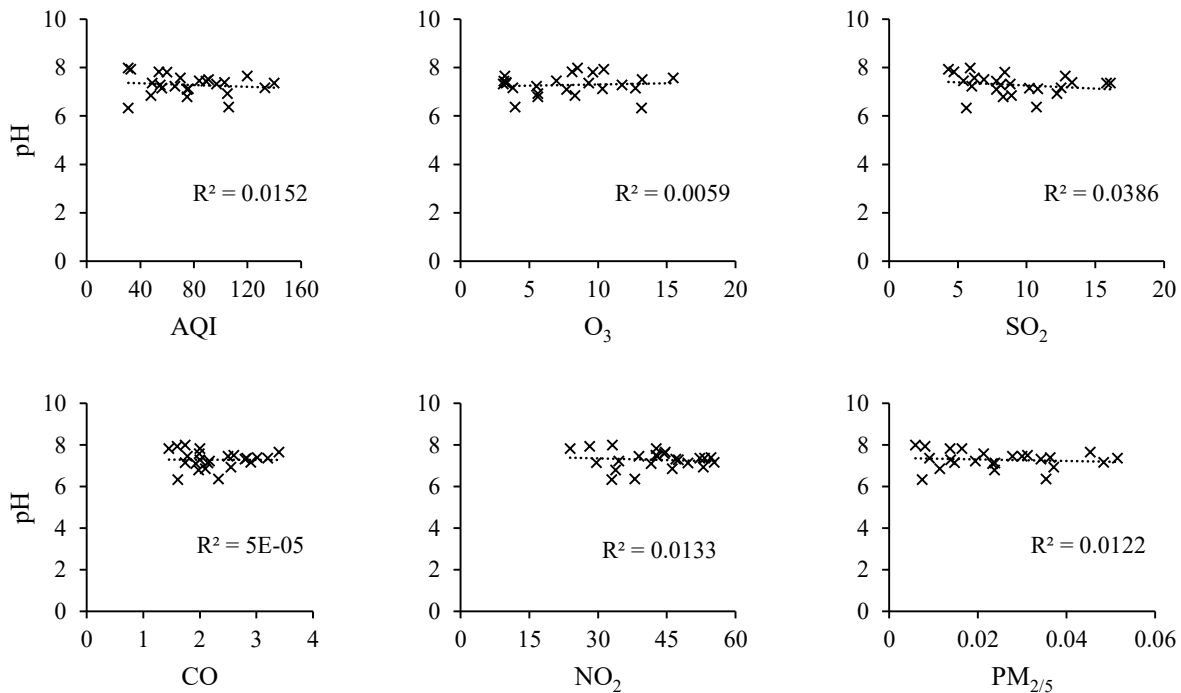
چنانچه در تصاویر ۴ تا ۹ مشاهده می‌شود نتایج حاکی از آن است که میزان آلاینده‌های  $PM_{2.5}$ ، CO،  $SO_2$ ،  $NO_2$  و شاخص کیفیت هوا در نیمه دوم سال به اوج خود رسیده‌اند که دلیل آن فعالیت حاصل از نیروگاه اصفهان و همچنین تردد بیشتر خودروها در نیمه دوم سال به دلیل بازگشایی مدارس و افزایش استفاده مردم از خودرو بجای دوچرخه بدلیل برودت هوا می‌باشد. این در حالیست که میزان ازن ( $O_3$ ) موجود در هوا با شروع سال جدید (۱۴ فروردین ۱۳۹۸) روند افزایشی داشته است که دلیل آن می‌تواند عدم وجود مه دود غلیظ موجود در

است. در شکل ۱۰ میزان همبستگی pH موجود در آب باران با پارامترهای پایش کیفیت هوا می‌باشد. بطور مشابه در شکل ۱۱ همبستگی EC موجود در آب باران با پارامترهای پایش کیفیت هوا ارائه شده است.

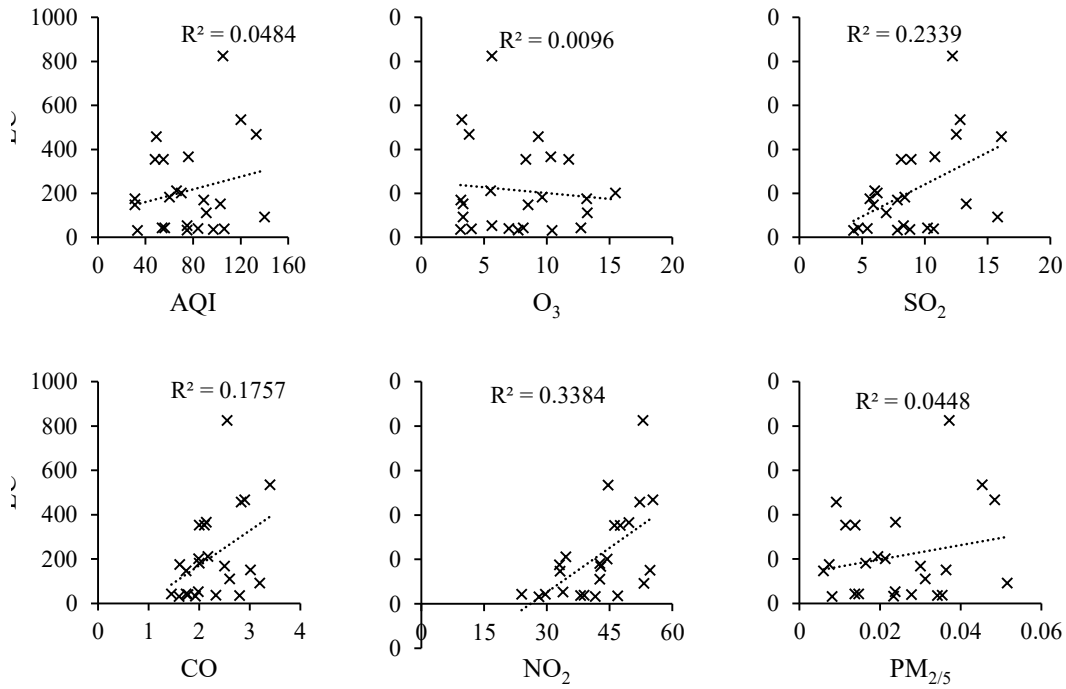
هوا و نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر تابش نور خورشید به سطح زمین باشد.

### همبستگی کیفیت آب باران با کیفیت هوا

در این قسمت از تحقیق به بررسی میزان همبستگی کیفیت آب باران با کیفیت هوای اصفهان به صورت مجزا پرداخته شده



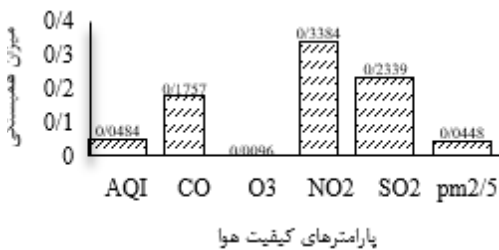
شکل ۱۰- همبستگی pH آب باران با پارامترهای کیفیت هوا



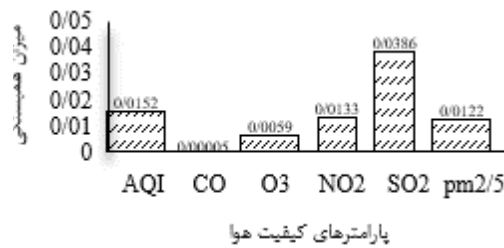
شکل ۱۱- همبستگی EC آب باران با پارامترهای کیفیت هوا

با ضریبی حدوداً معادل ۱/۵ درصد بیشترین همبستگی را با pH آب باران دارد. این در حالیست که میزان EC آب باران، با ضریبی تقریباً معادل ۳۳ درصد بیشترین همبستگی را با NO<sub>2</sub> و پس از آن با SO<sub>2</sub> هوا با ضریبی حدوداً معادل ۲۳ درصد دارد.

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ ضریب همبستگی پارامترهای پایش کیفیت هوا به ترتیب با pH و EC نشان شده است. با توجه به شکل ۱۲ میزان pH موجود در آب باران، با ضریبی تقریباً معادل ۳/۸ درصد، بیشترین همبستگی را با SO<sub>2</sub> هوا دارد و پس از آن شاخص کیفیت هوا (AQI)



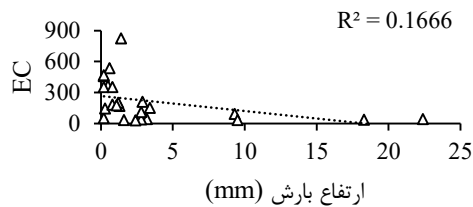
شکل ۱۳- ضریب همبستگی EC آب باران با پارامترهای کیفیت هوا



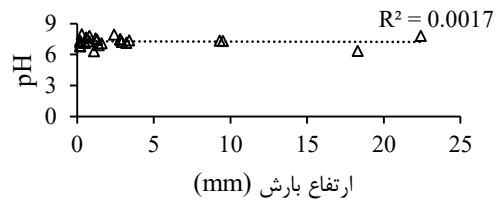
شکل ۱۲- ضریب همبستگی pH آب باران با پارامترهای کیفیت هوا

ارتفاع بارش بر روی میزان pH آب باران بی تأثیر بوده است. در حالی که با افزایش ارتفاع بارش، میزان EC آب باران به شدت کاهش می یابد.

در شکل های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب رابطه بین ارتفاع بارش و مقدار EC و pH آب باران، نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ها مشاهده می شود، میزان



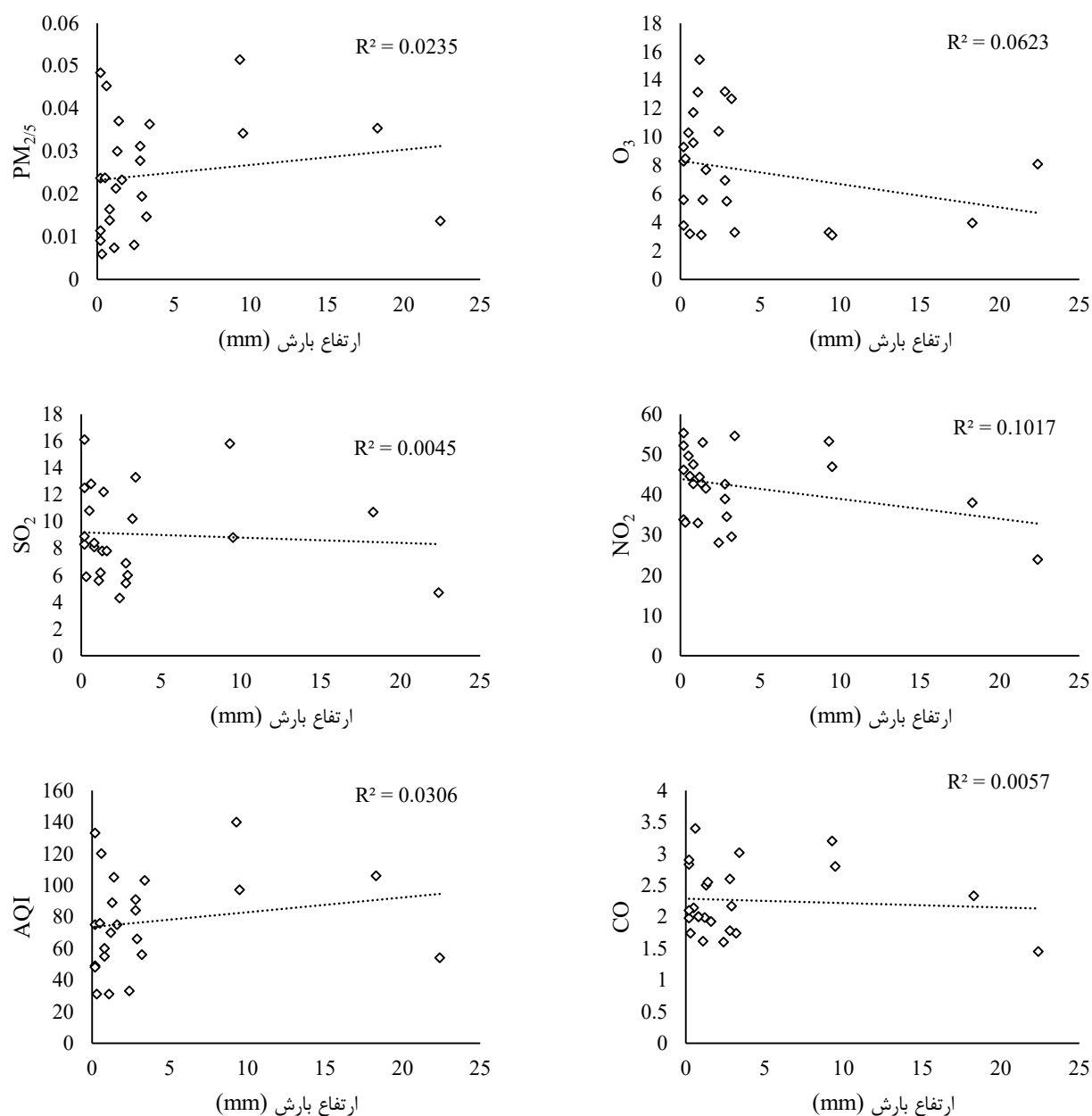
شکل ۱۵- رابطه میزان EC آب باران با ارتفاع بارش



شکل ۱۴- رابطه میزان pH آب باران با ارتفاع بارش

## همبستگی ارتفاع بارش با کیفیت هوا

در این قسمت به ارزیابی ارتباط بین ارتفاع بارش با پارامترهای کیفیت هوای اصفهان به صورت مجزا پرداخته شده است.



شکل ۱۶- ارتباط بین ارتفاع بارش و پارامترهای پایش کیفیت هوا

نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر نیز می‌باشد، شواهد حاکی از آن است که بیشترین میزان AQI در فصل پاییز رخ داده است که با توجه به تحقیق حاضر با مد نظر قرار دادن شاخص کیفیت هوا در تاریخ‌های ۱۳دی‌ماه، ۷بهمن‌ماه و ۲آذرماه ۱۳۹۷ که به ترتیب

با توجه به شکل ۱۶ نتایج نشان می‌دهد که NO<sub>2</sub> بالاترین همبستگی را با ارتفاع بارش دارد.

#### مقایسه تحقیق حاضر با سایر تحقیقات انجام شده

در خصوص بررسی آلودگی هوای کلانشهر اصفهان در سال ۱۴۰۰ بر اساس شاخص AQI در ایستگاه پروین که

بوده و با افزایش ارتفاع بارش، میزان EC آب باران کاهش می‌یابد. نتایج حاکی از آن است که بارش‌های با مقدار نسبتاً کم (مانند بارش‌های به وقوع پیوسته در ۲ آذرماه، ۱۷ دی‌ماه، ۷ بهمن‌ماه و ۲۰ بهمن‌ماه در سال ۱۳۹۷) موجب افزایش چشمگیر EC آب باران شده است. ارتفاع کم بارش، موجب افزایش میزان CO و PM<sub>2.5</sub> در هوای موجود نیز شده است. میزان ارتفاع بارش بر روی میزان pH آب باران بی‌تاثیر بوده است و این در حالی است که با افزایش ارتفاع بارش، میزان EC آن به شدت کاهش یافته است. بنابراین مطابق ارتباط پارامترهای آلودگی هوا، میزان ارتفاع بارش تأثیر زیادی بر روی EC آب باران دارد.

معادل ۱۳۳، ۱۴۰ و ۱۲۰ می‌باشند؛ نتایج نشان می‌دهد که میزان شاخص کیفیت هوا در نیمه دوم از سال در منطقه ۱۰ اصفهان بیشتر از نیمه ابتدایی سال می‌باشد. علت این امر را می‌توان به تردد و عبور و مرور وسایل نقلیه با توجه به رفت و آمد و فعالیت بیشتر مدارس در نیمه دوم از سال نسبت داد.

## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی کیفیت آب باران نشان می‌دهد که استفاده از رواناب شهری اصفهان برای مصارف شرب نیازمند تصفیه است، در حالیکه کیفیت آن برای کشاورزی مناسب است. همچنین نتایج نشان داد که EC آب باران تابع مقدار بارش

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سازمان هواشناسی اصفهان به دلیل همکاری لازم در جهت دسترسی به آمار و اطلاعات مورد نیاز تشکر و قدردانی به عمل آید.

## References

1. Lye, D.J. (2009). Rooftop runoff as a source of contamination: A review. *Science of the Total Environment*. 407: 5429-5434.
2. Li, Z., Boyle, F, and Reynolds, A. (2010). Rainwater harvesting and grey water treatment systems for domestic application in Ireland, *Desalination*, 260: 1-8.
3. Samakovlis, E. (2005). Valuing health effects of air pollution-focus on concentration response functions. *Journal of Urban Economics*, 58: 230-249.
4. Kiani, Gh. H., Yari, F and Amiri, H. (2014). An Estimation on Mortality Cost through Air Pollution in Isfahan City. *Journal of Environmental Studies*. 40: 247-254. (In Persian).
5. Zarrabi, A. Mohammadi, J. and Abdullahi, A. (2010). Investigation and evaluation of fixed and mobile sources of air pollution in Isfahan city. *The scientific research quarterly of the Iranian Geography Association*, 8: 151-164. (In Persian).
6. Nosrati, K., Malian, P and Derafshi, kh. (2018). Effect of roof type and harvesting time on the quality of water harvested from impervious surfaces in urban residential areas. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 9: 198-212. (In Persian).
7. Huston, R., Chan, Y.C., Chapman, H., Gardner, T, and Shaw, G. (2012). Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia, *Water Research*. 46: 1121-1132.
8. 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: 323-336. (In Persian).
9. Dianati Tilaki, R., Kor, Y and Firoozian, Gh. (2016). Bacteriological Quality of Rainwater Samples in Cisterns in Rural Areas of Gomishan. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 25: 98-104. (In Persian).
10. Arfaeinia, H., Kermani, M., Aghaei, A., Bahrami Asl, F and Karimzadeh, S. (2014). Comparative Investigation of Health Quality of Air in Tehran, Isfahan and Shiraz Metropolises in 2011-2012. *Journal of Health in the Field*. 1: 37-34. (In Persian).
11. Kermani, M., Dowlati, M., Fallah Jokandan, S., Aghaei, M., Bahrami Asl, F and Karimzadeh, S. (2017). Study of Air Quality Health Index and its Application in Seven Cities of Iran in 2011. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 19: 78-88. (In Persian).
12. Richardson, L., Hairsine, P. and Ellis, T. (2004). *Water Farms: A Review of the Physical Aspects of Water Harvesting and Runoff Enhancement in Rural Landscapes*, Technical Report, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Australia.
13. Tajrishi Assal, M.R. (2011). Quality assessment of rain water in order to be used in different uses in one area of Tehran city. Master's thesis. University of Tehran. Iran. (In Persian).
14. Jonnalagadda, S.B., Makadho, J., Matinde, N., Karimanzira, R.P and Makarau, A. (1994). Chemical composition of rainwater and air quality in Zimbabwe, Africa. *Science of the Total Environment*. 144:261-271.
15. To, T., Shen, S., Atenafu, E.G., Guan, J., McLimont, S., Stocks, B and Liciskai, C. (2013). The Air Quality Health Index and Asthma Morbidity: A Population-Based Study. *Environmental Health Perspectives*. 121: 46-52.
16. Chen, ., Wang, X., Meng, X., Hua, J., Zou, Z., Chen, B and Kan, H. (2013). Communicating air pollution-related health risks to the public: an application of the Air Quality Health Index in Shanghai, China. *Environmental International*. 51: 168-173.
17. Shahrezaie, S.A and Radfar, M. (2018). Investigating the quality of rainwater in Isfahan and Shahrekord according to existing standards. *The 9th Scientific Research Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management*. Kerman. (In Persian).
18. Golbaz, S., Farzadkia, M and Kermani, M. (2010). Determination of Tehran air quality with emphasis on air quality index (AQI) 2008-2009. *Iran Occupational Health*. 6: 62-68. (In Persian).
19. Seidaiy, S.E., Hedayati Moghaddam, Z., Fathi, E., Jamshidi, M and Jamshidi, A. (2013). Stratification and analysis of housing indicators of rural areas of Isfahan province using factor and cluster analyses. *Urban Regional Studies and Research*. 4: 37-52. (In Persian).
20. Rezaiee Adaryani, S and Ahmadi, H. (2020). Analysis and Evaluation of Quantitative and Qualitative Indicators of Housing in Isfahan Province. *Quarterly Journal of Environmental Based Territorial Planning*. 13: 23-44. (In Persian).
21. [https://www.amar.org.ir/Portals/0/census/1395/results/ch\\_nsonvm\\_95.pdf](https://www.amar.org.ir/Portals/0/census/1395/results/ch_nsonvm_95.pdf)
22. U.S. Environmental Protection Agency (1999). *Air Quality Index Reporting; Final Rule. Part III. 40 CFR Part 58*. EPA, Washington. 42530-42549.
23. 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.
24. U.S. Environmental Protection Agency (2009). *Air Quality Index: A Guide to Air Quality and Your Health*. National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). 12 pp.
25. Shahrezaie, S.A., Mirabbasi Najafabadi, R., Shahrezaie, N.S and Khosravi, M. (2022). Investigating air pollution in metropolitan Isfahan metropoltan in 2021-2022 based

بررسی کیفیت آب باران شهر اصفهان تحت تأثیر غلظت آلودگی هوا در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸

on AQI index. Journal of Environmental Health Engineering. 9: 442-456.

## Investigating the quality of Isfahan city rainwater under the influence of air pollution in 2018-2019

Sayyed Ali Shahrezaie<sup>1</sup>, Mahdi Radfar<sup>2</sup>, Rasoul Mirabbasi Najafabadi<sup>3</sup>, Mehrdad Moughadas<sup>4</sup>, Nafiseh Sadat Shahrezaie<sup>5</sup> and Sharareh Mahmoudi<sup>6</sup>

1. MSC Graduate of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Iran.

3. Associate Professor, Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

4. PhD student, water structures, University of Tehran, Isfahan Regional Water Company, Iran

5. Undergraduate student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Malayer University, Iran

6. Master's student in Environmental Engineering, Air Pollution Engineering, Faculty of Environment, Islamic Azad University, Khorasan Branch, Isfahan, Iran

Email: sayyed.ali.shahrezaie@gmail.com

Received: 15 July 2023, Accepted: 16 October 2023

### ABSTRACT

**Background:** Air pollution is one of the most important problems facing people all over the world today, especially in big cities. The ever-increasing population growth, as well as the increase in vehicles and the number of industrial factories in the city of Isfahan, have led to this city being considered one of the largest industrial cities in Iran. Therefore, this city is considered the second most polluted city in Iran after Tehran. The city of Isfahan faces the crisis of air pollution on many days of the year, which directly and indirectly affects all aspects of people's lives in this city. Among these impacts is the quality of rainwater in the area, which joins the surface and groundwater in the region and affects its quality. This cycle will continue and air pollution will affect the quality of drinking water, agriculture, respiratory diseases and, in a word, the health of the people in this region. **Materials and methods:** In this study, the effects of air pollution in Isfahan on the quality of rainwater in the 10th district of Isfahan city were investigated. The quality of rainwater was studied based on the World Health Organization standard for drinking water, APHA standard for running water, Chinese standard for agricultural use, and Iranian standard for drinking water and agricultural use. To evaluate the air quality of the region, the statistics of the Isfahan Meteorological Organization station were used and the meteorological parameters were analyzed based on the American Environmental Protection Agency standards.

**Results:** The results showed that the EC value of rainwater is more sensitive than pH to determine the suitability of rainwater quality for drinking uses, so when considering pH, many samples have favorable quality, but when considering EC value of the same sample, the quality of rainwater is unfavorable. The results of air quality monitoring based on the amount of PM<sub>2.5</sub> on rainy days showed that 5 days were clean, 13 days were acceptable, and 6 days were unsanitary for sensitive groups.

**Conclusion:** Isfahan urban runoff needs to be treated for drinking but it is suitable for agriculture. The results showed that the EC of rainwater is more dependent than pH to the rainfall depth. The results show that rainfall with a relatively small depth caused a significant increase in EC of stormwater. This decrease in the amount of precipitation has led to an increase in the amount of CO and PM<sub>2.5</sub> in the atmosphere. The amount of rainfall did not affect the pH of rainwater, while with the increase of rainfall depth, the EC of rainwater has decreased significantly. In general, rainfall depth has a significant effect on EC concentration of rainwater. The results showed that in all the rainy days, the amount of CO, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> pollutants are in a clean state.

**Keywords:** Rain water quality, Suspended particles, Air pollution, Isfahan city.