

## تحلیل آماری - همدیدی آلودگی های خطرناک ارومیه با تأکید

### بر $PM_{10}$

محمود هوشیار<sup>۱</sup>، مهسا شکری<sup>۲</sup>

#### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی آلاینده‌گی ذرات معلق  $PM_{10}$  در شهرستان ارومیه طی دوره ۱۰ ساله است. بدین منظور، ابتدا آمار و اطلاعات مربوط به ذرات معلق در دهه ۹۰ شمسی از اداره کل حفاظت محیط زیست آذربایجان غربی اخذ گردید. شاخص‌های هواشناسی توسط دستگاه *Swam* و *Invironment\_sa* اندازه‌گیری شده و صحت داده‌ها توسط اداره کل حفاظت محیط زیست آذربایجان غربی مورد تایید است. آنالیز و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار *spss22* و ترسیم نمودارها در اکسل ۲۰۱۶ صورت پذیرفت. در این پژوهش سطح شاخص  $PM_{10}$  خطرناک با مقادیری بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر مترمکعب، به عنوان شاخص در تعیین میزان آلاینده‌گی استفاده شده است. سپس برای تحلیل بهتر آلودگی هوایی شهر ارومیه، الگوهای سینوپتیکی که در ایام روزهای بسیار آلوده بر منطقه حاکم بودند را شناسایی و تفسیر شدند. در نهایت دو الگوی سینوپتیکی شناسایی شد. نتایج آلودگی روزهای خطرناک ارومیه نشان داد که بیشترین رخداد آلاینده‌گی ذرات معلق در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد حادث شده‌اند. در ۶ ماهه دوم سال، ماه‌های آذر، دی و بهمن دارای بیشترین تعداد روزهای خطرناک هستند. پدیده وارونگی دما و افزایش ورود انواع آلاینده‌ها و تجمع آن‌ها منجر به افزایش تعداد روزهای خطرناک در این ماه‌ها

۱. استادیار، جغرافیای طبیعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. کارشناسی ارشد تغییرات آب و هوایی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

شده است. همچنین طی این دوره ۱۰ ساله، سال ۱۳۹۴ بیشترین تعداد روزهای آلودگی خطرناک را به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد خشک شدن دریاچه ارومیه و تغییرات اقلیمی ناشی از آن منجر به افزایش تعداد طوفان‌های شن به‌ویژه در تابستان سال ۹۴ شده است. تحلیل الگوهای سنوپتیکی نشان داد که در دوره سرد سال بر روی منطقه پرفشار حاکم خواهد بود و در دوره گرم سال کم‌فشار بر منطقه حکمفرما می‌شود. هر دو مورد در ایجاد هوای آلوده نقش دارند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، ذرات معلق، ارومیه، شاخص کیفیت هوا، تحلیل سنوپتیکی.

## **Spatio-Temporal Analysis of Hazardous Pollution in Urmia with Emphasis on PM10**

**Mahmoud Hoshyar<sup>1</sup>, Mahsa Shokri<sup>2</sup>**

### **Abstract**

The purpose of this study is to investigate the pollution of suspended particles 10 in Urmia city during a period of 10 years. Data analysis was done by spss22 software and graphs were drawn in Excel 2016. In this research, the dangerous PM 10 index level with values greater than 420 micrograms per cubic meter has been used as an index in determining the amount of pollution. Then, for a better analysis of air pollution in Urmia city, the synoptic patterns that prevailed in the area during highly polluted days were identified and interpreted. Finally, two synoptic patterns were identified. The pollution results of the dangerous days of Urmia city showed that the most incidents of suspended particulate matter pollution occurred in the months of May, June, July and August. In the second 6 months of the year, the months of December, January and February have the highest number of dangerous days. The phenomenon of temperature inversion and the increase in the entry of various pollutants and their accumulation have led to an increase in the number of dangerous days in these months. Also, during this 10-year period, 2014 had the highest number of dangerous pollution days. It seems that the drying up of the Urmia Sea and the resulting climate changes have led to an increase in the number of sandstorms, especially in the summer of 2015.

**Keywords:** Air Pollution, Particulate Matter, Urmia, Air Quality Index, Synoptic analysis

---

1. Assistant Professor of Physical Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran  
2. Master's Degree in Climate Change, Payame Noor University, Tehran, Iran

## مقدمه

کیفیت آب و هوای شهری در پی صنعتی شدن جوامع و افزایش اقبال عمومی برای زندگی شهری به چالش بزرگی مبدل شده است. افزایش تراکم جمعیت شهری نسبت به سطح، به خودی خود منجر به کاهش کیفیت هوا و انباشت آلاینده‌ها در هوا می‌شود. توسعه شهرنشینی، افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و صنعتی شدن و تخریب محیط زیست از عوامل برهم زنده ترکیبات اتمسفری و وقوع آلودگی هوا به شمار می‌آیند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷). بر اساس آمارهای سازمان بهداشت جهانی سالانه ۳۰۰ میلیون نفر به دلیل اثرات آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند و از این بین سرطان ریه با حدود یک میلیون نفر مرگ و میر رتبه اول را به خود اختصاص داده است (خرسندی و همکاران، ۱۳۹۱). کاهش ضریب هوشی کودکان و عقب ماندگی ذهنی نوزادان از عوارض آلودگی هوا در کلان‌شهرها می‌باشند که تأثیر مستقیمی بر سلامت جامعه دارند. بیماری‌های حاد قلبی-عروقی، سقط جنین و سکنه مغزی از دیگر پیامدهای قرارگیری طولانی مدت در هوای آلوده است. اثرات منفی بهداشت اجتماعی و اثرات اجتماعی و اقتصادی و روانی آلودگی هوا در بسیاری از مطالعات پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. آمار قابل استنادی در کشورهای مختلفی مانند انگلستان، فرانسه و ایالت متحده آمریکا صورت گرفته و تخمین زده شده که آلودگی‌های هوا حدود ۱/۴ درصد از کل مرگ و میر جهان را به خود اختصاص داده است (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۴). تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌ها در کلانشهرها از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است چرا که امکان شناسایی نقاط ورود گسترده آلاینده‌ها و مدیریت آلاینده‌ها را مسیر می‌کند. مطالعات از این دست و تعیین پراکنندگی و توزیع آلاینده‌ها در کلان‌شهرها، در سراسر جهان و ایران صورت می‌پذیرد، لزوم مطالعه و پرداختن به موضوعات آلودگی هوا در جوامع شهری بیش از پیش احساس می‌شود (رنجبر و باهک، ۱۳۹۸). اطلاع از نحوه پراکنندگی و عملکرد آلاینده‌ها این امکان و خط مشی را در اختیار مدیران شهری قرار می‌دهد که به شکلی مناسب در مقابل این چالش زیست محیطی برنامه ریزی کنند و میزان خطرات سلامتی برای افراد پرریسک جامعه را به حداقل برسانند. بدون شک هوا یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین عوامل حیات موجودات زنده بر روی زمین است. آلودگی‌های هوا علاوه بر آسیب جدی بر محیط زیست موجب به خطر افتادن سلامت جوامع انسانی و زیان‌های قابل توجه اقتصادی می‌شود. طبق آمارهای جهانی حدود ۵ درصد از درآمد ناخالص کشورهای در حال توسعه

صرف کاهش مضرات آلودگی هوا می‌شود، تخمین زده شده است که آلودگی هوا حدود ۵/۴٪ کل مرگ و میرها در دنیا را به خود اختصاص داده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷). آلودگی هوا در شهرها مشکل بیشتری ایجاد می‌نماید یا انباشت آلاینده‌ها در محیط شهری مشکلات ناشی از آلودگی دوچندان می‌شود. با وجود تراکم جمعیت بالا در کلان‌شهرها، آلودگی هوا تهدید جدی برای سلامتی قلمداد می‌شود، از آنجا که پبش‌بینی می‌شود شهرنشینی و صنعتی شدن افزایش داشته باشد راهکارهای کنترل آلاینده‌ها در محیط‌های شهری بسیار ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور مطالعات آلاینده‌ها و نحوه رفتار و غلظت آن‌ها در آلودگی هوای شهری در مرحله اول اهمیت قرار دارد (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۴). محققین بسیاری از جنبه‌های متعدد آلودگی هوا را بررسی نموده‌اند عطایی و سادات هاشمی (۱۳۹۰) نسب به مطالعه الگوهای تراز میانی سه ایستگاه هواشناسی در استان اصفهان به این نتیجه رسیدند که در طول دوره‌های سرد و گرم سال توده‌های پرفشار متعدد در منطقه حضور دارند که وجود این توده‌های پرفشار موجب پایداری جو و تراکم ذرات معلق در منطقه می‌شود. تغییرات اقلیمی و توده‌های هوایی در کاهش یا افزایش ذرات معلق هوا تأثیرگذارند فلذا آلودگی هوا با عوامل متعددی از قبیل توپوگرافی، اقلیم، جمعیت، شبکه حمل و نقل و صنعت ارتباط دارد، نتایج تحقیق (متکان و همکاران، ۱۳۸۸) نشان داد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر روی آلاینده مونواکسیدکربن حجم ترافیک است، در حالی که مهم‌ترین عامل مؤثر بر روی آلاینده ذرات معلق وجود اماکن صنعتی است (جمشیدی و همکاران، ۱۳۸۴). آلودگی هوای شهری و به‌ویژه آلاینده‌های ذرات معلق به عوامل مختلف محیطی وابسته است و در مدیریت پایدار محیط زیست مطالعاتی از این دست در تبیین مدیریت شهری و کاهش اثرات سوء این قبیل آلاینده‌ها بر زندگی انسان و سایر موجودات زنده بسیار حیاتی و ضروری است. مطالعاتی در زمینه آلودگی هوایی شهرها در داخل کشور صورت گرفته است که می‌توان به کارهای حیدری و همکاران (۱۴۰۰)، نو فرستی و همکاران (۱۳۹۸)، کریمی و همکاران (۱۳۹۷)، خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۵)، کرمانی و همکاران (۱۳۹۴)، میرزایی و همکاران (۱۹۲) و خرسندی و همکاران (۱۹۱) اشاره کرد. با توجه به مطالعاتی که پیرامون موضوع پژوهش انجام شده است، دریافتیم که مطالعات آلودگی هوا طیف وسیعی از آلاینده‌ها را تشکیل می‌دهد که ذرات معلق جزء ۵ آلاینده مهم در این زمینه هستند. توزیع زمانی و مکانی غلظت ذرات معلق در شهرستان ارومیه می‌تواند در تدوین و چشم‌انداز مدیریت

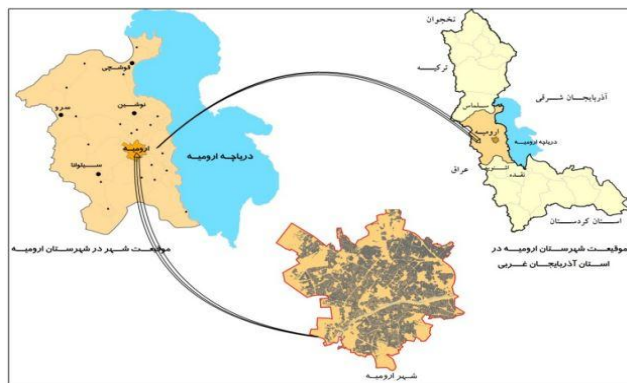
شهری و کاهش منابع آلاینده هوای شهری راهگشا باشند. هوانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی آلاینده‌های شهری و عوامل ایجاد نقاط داغ آلاینده‌گی در جاده‌ها نشان دادند، ساختمان‌های مرتع در کنار جاده‌های پراکندگی آلاینده‌ها به‌ویژه ذرات معلق را با اختلال مواجه می‌کند و با تشدید آلاینده‌گی مخاطرات جدی برای سلامتی جامعه ایجاد می‌کند. خیابان‌های مجاور ساختمان‌های مرتفع که به درهای خیابانی نیز مشهور هستند در مدیریت آلاینده‌گی شهری بسیار مهم هستند و طراحی شهری باید به این مسئله دقت شود. بودور<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، اثر تغییرات فصلی بر میزان آلودگی هوا به‌ویژه آلاینده‌گی ذرات معلق مطالعه و نشان دادند که کاهش کیفیت هوا به‌ویژه در مناطق شهری به شرایط محلی و پراکندگی آلاینده‌های هوا مرتبط است. سونگ و کیم<sup>۳</sup> (۲۰۰۲)، مکانیسم‌های فیزیکی و شیمیایی مرتبط با تغییرات هفتگی PM<sub>10</sub> در کره جنوبی را در سال ۲۰۲۰ مطالعه کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تغییرات روزانه غلظت PM<sub>10</sub> نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار با فعالیت‌های انسانی است. غلظت‌های بالاتر در مناطق پرجمعیت با حجم زیاد ترافیک و بالعکس. به‌طور خاص، چرخه‌های روزانه PM<sub>10</sub>، NO<sub>2</sub> و CO ساختارهای دو وجهی با حداکثر مربوط به ساعات شلوغی صبح و عصر را نشان می‌دهد. در حالی که حداکثر NO<sub>2</sub> و CO در ساعت ۹ صبح مشاهده می‌شود، با کمی تاخیر از حداکثر ترافیک، اوج PM<sub>10</sub> در ساعت ۱۱ صبح مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تقریباً ۲ ساعت فرآیند تبدیل از آلاینده‌های گازی به ذرات است. پس از غروب آفتاب، راندمان تبدیل گاز به ذره به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و غلظت PM<sub>10</sub> به آرامی شروع به افزایش می‌کند. عوامل فیزیکی (مثل ارتفاع لایه مرزی، وزش باد ۱۰ متری، همگرایی باد) مؤثر بر اختلاط افقی و عمودی هوای آلوده مسئول پراکندگی PM<sub>10</sub> انباشته شده در بعد از ظهر هستند. در نتیجه، عدم تقارن قوی صبح و عصر در تغییرات روزانه غلظت PM<sub>10</sub> دیده می‌شود. همچنین وابستگی فصلی قابل توجهی در غلظت PM<sub>10</sub> و آلاینده‌های گازی به دلیل تغییرات فصلی انتشار و عوامل فیزیکی مشاهده می‌شود. جاین<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰) ویژگی‌های فصلی ذرات معلق در هوا PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> را مورد بررسی قرار دادند میانگین غلظت سالانه PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> به ترتیب  $79 \pm 131$  میکروگرم در متر ۳ (محدوده: ۱۷-۴۱۷ میکروگرم

1. Yuhan Huang  
 2. Zsolt Bodor  
 3. Seung-UkKim and Kwang-YulKim  
 4. Srishti Jain

در مترمکعب) و  $106 \pm 238$  میکروگرم در مترمکعب (محدوده: ۳۴-۵۳۷ میکروگرم در مترمکعب) بودند. در فصول زمستان و پس از موسمی دارد به دلیل شرایط جوی پایدار و سوزاندن زیست توده گسترده (سوختن بقایای کشاورزی در و اطراف مناطق؛ عمدتاً پنجاب و هاریانا) و گرمایش خانگی در طول فصل دارای بیشترین غلظت می‌باشند. نمودارهای تابع احتمال دو متغیره شرطی CBPF نشان داد که حداکثر غلظت  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  توسط بادهای شمال غربی (شمال غربی دشت‌های هند گنگتیک هند) حمل شده است.

### مواد و روش

شهر ارومیه مرکز شهرستان ارومیه و استان آذربایجان غربی با وسعت  $8577/3$  هکتار در جلگه‌ای به طول ۷۰ و عرض ۳۰ کیلومتر در کنار دریاچه‌ای به همین نام و در ۳۷ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۳۱۳ متر است. اقلیم منطقه نیمه خشک بوده و جریانات هوایی مرطوب اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه در منطقه حضور دارند (امیدی و همکاران، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر با صنعتی شدن و افزایش استفاده از خودروها در حمل و نقل شهری و نیز طوفان‌های شن شکل گرفته در کشورهای اطراف و داخل ایران به دلیل تغییرات اقلیمی موجب افزایش آلایندگی به‌ویژه ذرات معلق در منطقه شده است (خرسندی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۱... موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در ابتدا داده‌های هواشناسی از اداره کل حفاظت محیط زیست آذربایجان غربی برای دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۹۹ هجری شمسی دریافت شد. سپس داده‌های دریافت شده به صورت ماهانه جدا شده و جداول هر ماه ترسیم گردید. تعداد کل روزهای خطرناک سالانه طی دوره ده‌ساله شمارش شد و جداول مربوطه نیز ترسیم گردید. در نهایت، نتایج و روند توزیع زمانی و همبستگی شاخص‌های هواشناسی با غلظت ذرات معلق در شهر ارومیه تعیین گردید. همچنین برای تحلیل بهتر روزهای دارای آلودگی هوایی شدید در ارومیه به شناسایی الگوهای سینوپتیکی روزهای دارای آلودگی شدید پرداختیم. آمار روزهای آلوده را از اداره کل حفاظت محیط زیست دریافت و به صورت دستی و بصری به شناسایی الگوهای فشار اقدام نمودیم. در نهایت دو الگو شناسایی شدند. یکی از الگوها مخصوص دوره گرم سال بود و دیگری روزهای ایام سرد سال را تشریح می‌کرد. مقادیر روزانه و ماهانه ذرات معلق به همراه شاخص حد خطرناک در نمودارها نمایش داده شده است. همچنین فراوانی روزهای خطرناک در طی ماه‌های مختلف سال و در دوره ده‌ساله در جداول و نمودار نمایش داده شدند. نقشه‌های موقعیت مکانی مورد استفاده در این پژوهش توسط نرم‌افزار Arc Map 10.3 و گوگل ارث تهیه شدند و ترسیم نمودارها در نرم افزار SPSS22 و Excel صورت پذیرفت. در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری شده ذرات معلق ایستگاه شماره ۳ سنجش آلودگی اداره کل محیط زیست ارومیه استفاده شده است.

جدول ۱.... مختصات دستگاه سنجش آلودگی هوا

| عرض جغرافیایی |       |       | طول جغرافیایی |       |       | نام ایستگاه     |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-----------------|
| درجه          | دقیقه | ثانیه | درجه          | دقیقه | ثانیه |                 |
| ۴۵            | ۲'    | "     | ۵۳۷           | ۳۳    | ۲۲"   | ایستگاه شماره ۳ |
| ۰             |       | ۴۹/۶۵ |               | ۱     | ۱۵    |                 |

شاخص طبقه‌بندی غلظت آلاینده‌های ذرات معلق توسط برنامه‌ریزی اضطراری ایالت متحده آمریکا در ۵ سطح خوب، سالم، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند. در این پژوهش سطح شاخص  $PM_{10}$  خطرناک با مقادیری بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر مترمکعب، به‌عنوان شاخص در تعیین میزان آلاینده‌گی استفاده شده است. در جدول (۲) طبقه‌بندی غلظت آلاینده‌گی شاخص  $PM_{10}$  خلاصه شده است (USEP, A., 1998).

جدول ۲... پارامترهای شاخص IRWQIS و وزن آنها

| شاخص             | خوب  | سالم   | ناسالم  | بسیار ناسالم | خطرناک |
|------------------|------|--------|---------|--------------|--------|
| PM <sub>10</sub> | ۵۰-۰ | ۱۵۰-۵۰ | ۳۵۰-۱۵۰ | ۴۲۰-۳۵۰      | >۴۲۰   |

طبقه‌بندی غلظت آلاینده‌گی PM<sub>10</sub> برحسب میکروگرم در متر مکعب، منبع USEP, A. 1998

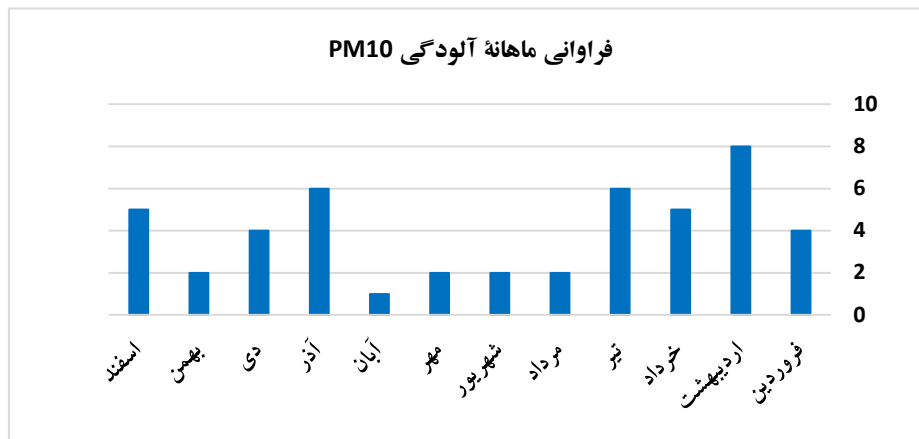
#### یافته‌های پژوهش

بعد از پردازش و مرتب کردن داده‌ها، فراوانی روزهای خطرناک و دارا آلودگی شدید PM<sub>10</sub> در شهر ارومیه را برای ماه‌های هر سال در دوره آماری محاسبه شد (جدول ۳ و نمودار ۱). سال ۹۴ یکی از آلوده‌ترین سال‌های دهه ۹۰ بوده و بیشترین فراوانی روزهای خطرناک را دارند. ماه‌های آذر و اسفند ۵ روز خطرناک و تیرماه با ۴ روز خطرناک غلظت بالای ذرات معلق را داشته‌اند همچنین ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد، شهریور و دی هر کدام یک روز خطرناک را سپری کرده‌اند. فراوانی وقوع آلاینده‌گی ذرات معلق را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. اردیبهشت ماه دارای بیشترین فراوانی روزهای خطرناک می‌باشد، در فصل زمستان با وجود بارش‌ها میزان آلاینده‌گی کمتر از حد معمول است و هر چه به طرف بهار و تابستان می‌رویم میزان آلاینده‌گی ذرات معلق و تعداد روزهای خطرناک افزایش می‌یابد. پس از آن تیرماه و آذر ماه دارای بیشترین فراوانی آلودگی خطرناک ذرات معلق می‌باشند. در تابستان به دلیل جو آرام و گسترش لایه‌های حرارتی متأثر از جبهه هوای پرفشار جنب حاره‌ای موجب افزایش تراکم آلاینده‌گی ذرات معلق در فصل تابستان می‌شود. در پاییز با نفوذ جریان‌ات مدیترانه‌ای و بادهای غربی غلظت آلاینده‌گی ذرات معلق به شکل محسوسی کاهش می‌یابد با این وجود آذر ماه هم غلظت ذرات به طور قابل توجهی افزایش داشته است. افزایش حمل و نقل عمومی، افزایش استفاده از وسایل گرمایشی و پدیده وارونگی هوا را می‌توان عامل رخداد آلاینده‌گی دانست (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۳.... فراوانی وقوع آلاینده‌گی ذرات معلق در ماه‌های مختلف سال

| فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند |      |
|---------|----------|-------|-----|-------|--------|-----|------|-----|----|------|-------|------|
| ۰       | ۳        | ۲     | ۱   | ۰     | ۰      | ۰   | ۰    | ۰   | ۰  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۰ |
| ۰       | ۰        | ۱     | ۰   | ۱     | ۰      | ۰   | ۰    | ۰   | ۱  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۱ |
| ۳       | ۰        | ۰     | ۰   | ۰     | ۰      | ۰   | ۰    | ۱   | ۰  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۲ |
| ۰       | ۰        | ۱     | ۰   | ۰     | ۰      | ۰   | ۰    | ۰   | ۱  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۳ |
| ۰       | ۱        | ۱     | ۴   | ۱     | ۱      | ۰   | ۰    | ۵   | ۱  | ۰    | ۵     | ۱۳۹۴ |
| ۰       | ۱        | ۰     | ۱   | ۰     | ۱      | ۱   | ۰    | ۰   | ۱  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۵ |
| ۰       | ۱        | ۰     | ۰   | ۰     | ۰      | ۰   | ۱    | ۰   | ۰  | ۱    | ۰     | ۱۳۹۶ |
| ۰       | ۱        | ۰     | ۰   | ۰     | ۰      | ۱   | ۰    | ۰   | ۰  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۷ |
| ۰       | ۰        | ۰     | ۰   | ۰     | ۰      | ۰   | ۰    | ۰   | ۰  | ۰    | ۰     | ۱۳۹۸ |
| ۰       | ۱        | ۰     | ۰   | ۰     | ۰      | ۰   | ۰    | ۰   | ۰  | ۱    | ۰     | ۱۳۹۹ |

نمودار ۱. فراوانی وقوع آلاینده‌گی ذرات معلق در ماه‌های مختلف سال

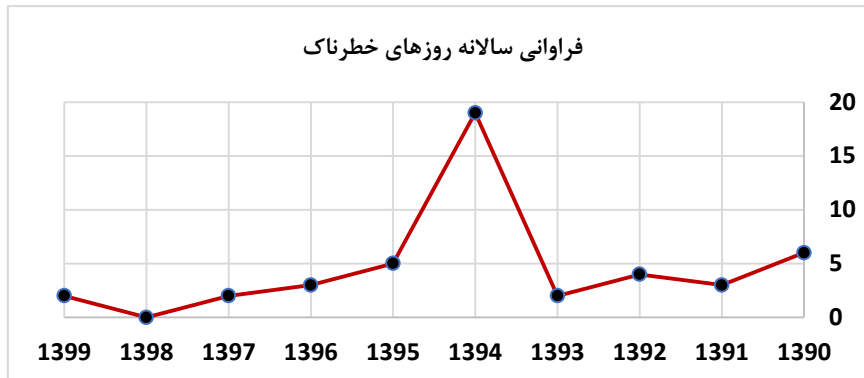


### توزیع زمانی فراوانی سالانه روزهای خطرناک

دامنه تغییرات روزهای خطرناک در دهه ۹۰ در جدول (۴) میزان روزهای خطرناک از صفر در سال ۹۸ تا ۱۹ در سال ۹۴ نوسان دارد و روند کلی نمودار (۲) حالت افزایشی دارد. تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های اخیر در کشور نشان داده در برخی شهرها مانند یزد، بوشهر و خوزستان با کاهش بارندگی‌ها، فراوانی و شدت رخداد گرد و غبار ذرات معلق افزایش داشته است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۴. دامنه تغییرات سالانه روزهای خطرناک در طی دهه ۹۰

| سال                 | ۹۰ | ۹۱ | ۹۲ | ۹۳ | ۹۴ | ۹۵ | ۹۶ | ۹۷ | ۹۸ | ۹۹ |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| تعداد روزهای خطرناک | ۶  | ۳  | ۴  | ۲  | ۱۹ | ۵  | ۳  | ۲  | ۰  | ۲  |



نمودار ۲. دامنه تغییرات سالانه روزهای خطرناک طی دهه ۹۰

جدول (۵)، میانگین پارامترهای مختلف اقلیم‌شناسی، میانگین غلظت نیتروژن اکسید، نیتروژن دی‌اکسید و سایر ترکیبات نیتروژنی و دی‌اکسید گوگرد و مونو‌کسید کربن به ترتیب ۱۱/۲۳، ۱۰/۹۸، ۲۲/۲۵، ۲۴/۰۵ و ۲/۶۸ PPM<sup>۱</sup> می‌باشند. میزان فشار هوا و ذرات معلق PM<sub>10</sub> بیشترین تغییرات سالانه را داراست.

جدول ۵. میانگین پارامترهای مختلف اقلیم‌شناسی

| پارامترها              | میانگین | انحراف معیار |
|------------------------|---------|--------------|
| نیتروژن اکسید (ppm)    | ۱۱/۲۳   | ۳/۲۲         |
| نیتروژن دی‌اکسید (ppm) | ۱۰/۹۸   | ۸/۵          |
| نیتروژن X اکسید (ppm)  | ۲۲/۲۵   | ۹/۳          |
| ذرات معلق 10 (ppm)     | ۱۲۴/۳۷  | ۱۷۴/۱        |
| گوگرد دی‌اکسید (ppm)   | ۲۴/۰۵   | ۳۲/۸         |
| کربن اکسید (ppm)       | ۲/۶۸    | ۲/۱          |
| ذرات معلق 2.5 (ppm)    | ۲۹/۸۱   | ۷۵/۲         |
| دما (C°)               | ۱۲/۴۸   | ۶/۱          |
| رطوبت %                | ۵۴/۷۸   | ۲۳/۳         |
| فشار (mBar)            | ۲۴۳/۶   | ۳۶۶/۷        |

آزمون پیرسون همبستگی بین شاخص‌های مختلف را نشان می‌دهد. برای نمایش میزان



|   |        |             |             |         |         |         |        |        |       |
|---|--------|-------------|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|
| گوگرد دی<br>کسید  | .177** | .075*       | .117*       | .086**  | 1       |         |        |        |       |
| کربن<br>کسید  | .403*  | -<br>.074** | .076*       | -.021   | .036*   | 1       |        |        |       |
| ذرات معلق<br>2.5  | .153*  | -<br>.091** | -.029       | .101**  | -.006   | -.009   | 1      |        |       |
| دما   | .023   | -<br>.441** | -<br>.394** | .058**  | .400*   | -.271** | -.025* | 1      |       |
| رطوبت   | .014   | .123*       | .119*       | -.012   | -.233** | -.055** | .022   | -.1761 | 1     |
| فشار  | .541*  | .394*       | .420*       | -.041** | .198*   | -.631** | -.015  | .470*  | .135* |
| ** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).   |        |             |             |         |         |         |        |        |       |
| ** . Correlation is significant at the 0.01 level      * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). |        |             |             |         |         |         |        |        |       |
| * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).  |        |             |             |         |         |         |        |        |       |

سپس برای تحلیل بهتر آلودگی هوایی شهر ارومیه، الگوهای سینوپتیکی را که در ایام روزهای بسیار آلوده بر منطقه حاکم بودند، شناسایی و تفسیر شدند. در نهایت دو الگوی سینوپتیکی شناسایی شد:

الگوی اول در فصل سرد سال

الگوی دوم در دوره گرم سال

الگوی اول دوره سرد سال

این الگو شامل روزهای آلوده خطرناک در دوره ایام سرد سال است و در جدول زیر

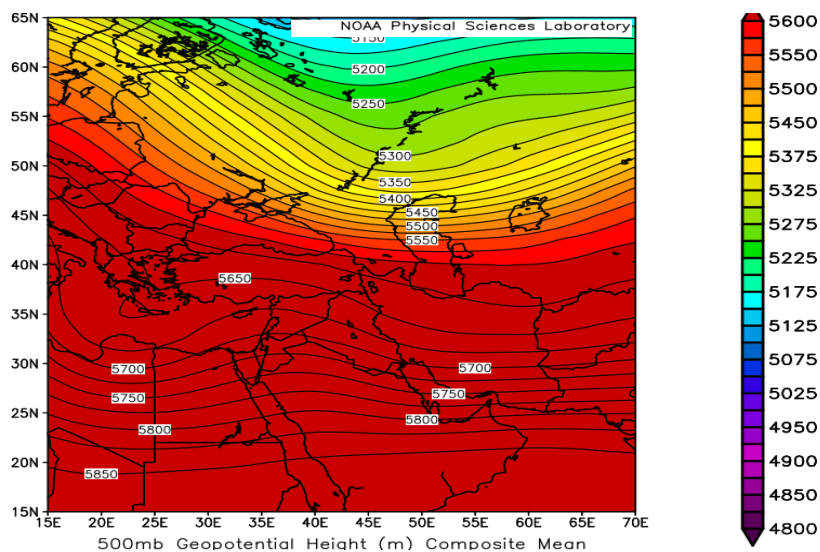
آورده است (جدول ۷).

جدول ۷.... الگوهای روزهای خطرناک در ایام سرد سال

| روز | ماه   | سال  | ساعت | pm10>420 |
|-----|-------|------|------|----------|
| ۶   | دی    | ۱۳۹۳ | ۲۱   | ۱۵۱۸     |
| ۲۴  | آذر   | ۱۳۹۴ | ۲۲   | ۶۹۴۶     |
| ۲۵  | آذر   | ۱۳۹۴ | ۵    | ۲۰۵۹     |
| ۶   | آذر   | ۱۳۹۴ | ۲۲   | ۱۲۲۹     |
| ۲   | اسفند | ۱۳۹۴ | ۲    | ۷۸۳      |

|      |    |      |      |    |
|------|----|------|------|----|
| ۱۶۶۲ | ۱  | ۱۳۹۹ | بهمن | ۲۰ |
| ۵۵۳  | ۱۵ | ۱۳۹۶ | بهمن | ۲  |
| ۴۴۶  | ۱۵ | ۱۳۹۵ | دی   | ۵  |

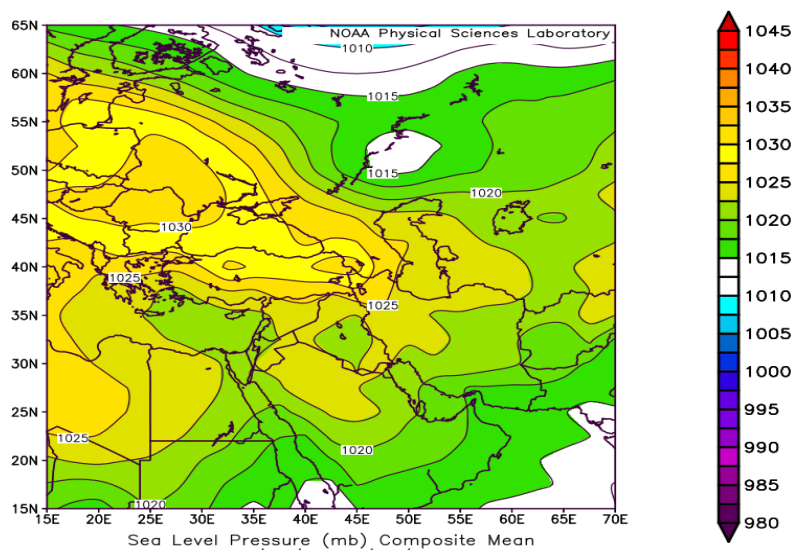
در مطالعه و بررسی برای تحلیل همدیدی آلودگی هوا از الگوی پربند ۵۰۰ هکتوپاسکالی و فشار سطح دریا و نقشه‌های دمایی و باد بهره گرفته شد. آرایش الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، قرارگیری یک سامانه پراتفاح با هسته ۵۵۶۰ متر بر روی مدار ۴۸ درجه شمالی و بر روی نیمه جنوبی آسیا و شمال آفریقا و جنوب و مرکز اروپا را نشان می‌دهد. فرودی از مدار ۶۵ درجه تا ۴۸ درجه شمالی ایجاد شده است و کل کشور ایران و به تبع آن منطقه مورد مطالعه در چنبره پراتفاح زیر فرود قرار گرفته است. جهت بادها در کل کشور ایران و حتی خاورمیانه غربی- شرقی است. سرعت باد در منطقه مورد مطالعه کم و نسبتاً آرام می‌باشد. منطقه سکون بر روی مدیترانه غرب ترکیه و بالکان قرار گرفته است (۲).



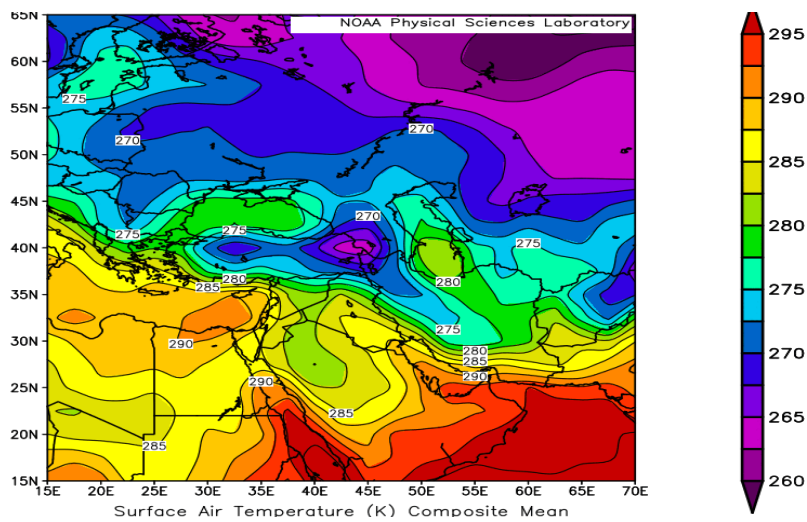
شکل ۲. نقشه مرکب سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ایام سرد سال

با مشاهده نقشه سطح زمین (شکل ۳) در این الگو مشاهده می‌شود که شمال غرب ایران به طور کلی و شهر ارومیه مورد هجوم سامانه پرفشار قرار گرفته است که فشار مرکزی آن ۱۰۳۰ هکتوپاسکال است. دو مرکز کم فشار بر روی شمال شرقی اروپا و جنوب دریای

سرخ (کم فشار سودانی) واقع شده‌اند که فشار مرکزی آن‌ها نسبت به ایران بسیار کم است. در این الگو خط همفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال شمال غرب ایران را کاملاً احاطه کرده است.

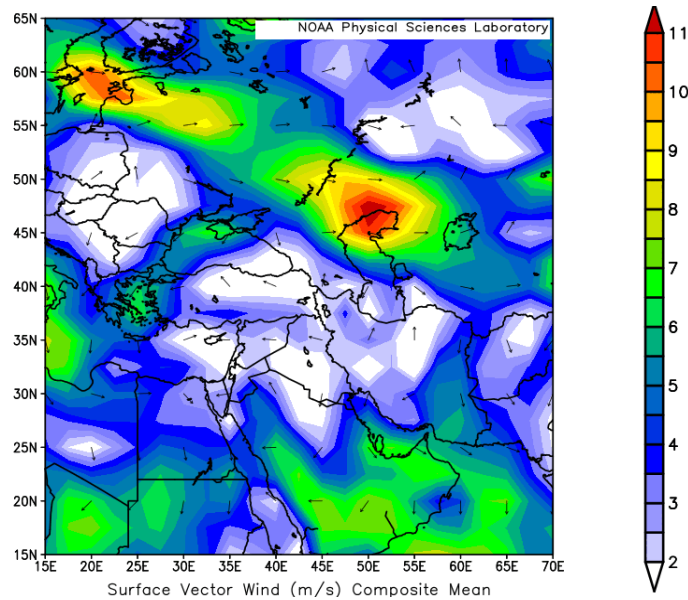


شکل ۳.... نقشه مرکب فشار سطح زمین در ایام سرد سال



شکل ۴.... نقشه مرکب همدمایی در ایام سرد سال

جریان پرفشار باعث پایداری هوا و افت درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه شده است. نقشه همدمايي نشان دهنده هوایی بسیار سرد و زیر صفر است. خط همدمايي ۲۶۰ درجه کلونین بر روی کوه های آرارات و شمال غربی ایران اتفاق افتاده و منطقه مورد مطالعه و شمال غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین شرایط آنتی سیکلونی و پایدار بر منطقه حاکم شده و وضعیت سکون و آرامش در منطقه مورد مطالعه برقرار است (شکل ۴). در بیشتر ساعات باد آرام و رطوبت نسبی نیز بسیار پایین است (شکل ۵). به دلیل عدم وقوع ناپایداری هیچ گونه ابری تشکیل نشده و در نتیجه بارشی رخ نمی دهد. زبانه پرفشار بر روی منطقه مورد مطالعه واقع شده و بر ناپایداری خواهد افزود. در نتیجه به دلیل دینامیک و نزول هوا سرد روی منطقه هرگونه جابجایی هوا غیر ممکن شده و به عبارت دیگر بسته هوا روی سطح زمین خیمه زده و آرام می ماند. به دلیل سرد بودن دما در سطح زمین و فقدان وزش باد شدید در تراز بالای جو امکان جابجایی هوا در سطح از بین می رود و در نتیجه نوسان دمایی نیز به شدت کاهش می یابد. این مسئله در انباشت آلاینده ها به شدت مؤثر است.



شکل ۵....نقشه مرکب باد در سطح زمین در ایام سرد سال

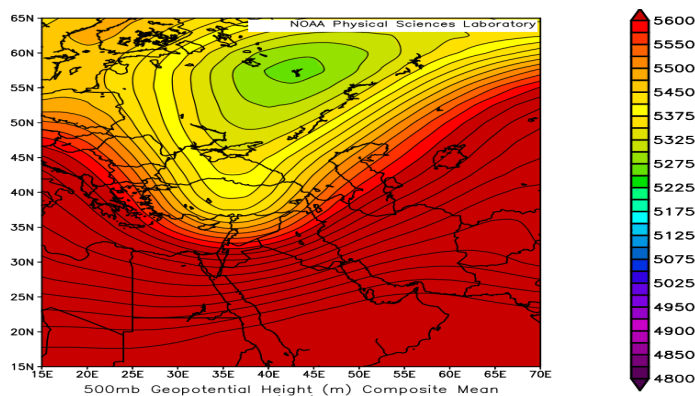
### الگوی دوم دوره گرم سال

این الگو شامل روزهای آلوده خطرناک در دوره ایام گرم سال می‌باشند. و در جدول زیر آورده شده‌اند (جدول ۸).

جدول ۸....الگوی روزهای خطرناک در ایام گرم سال

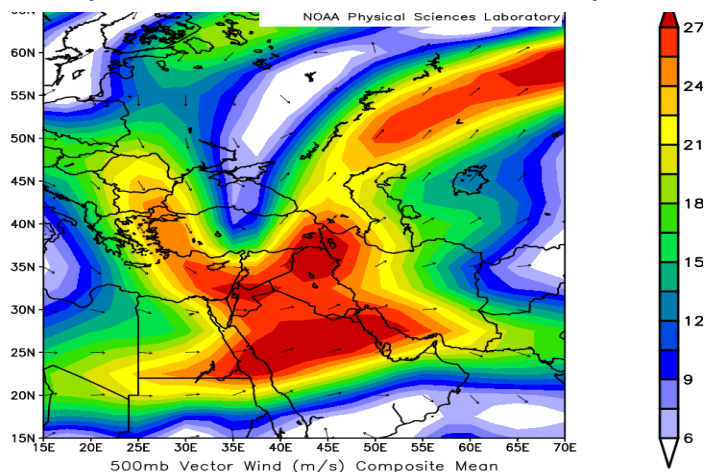
| روز | ماه      | سال  | ساعت | pm10>420 |
|-----|----------|------|------|----------|
| ۲۳  | اردیبهشت | ۱۳۹۰ | ۰    | ۱۱۳۲     |
| ۲۴  | اردیبهشت | ۱۳۹۰ | ۲۱   | ۲۱۲۶     |
| ۷   | اردیبهشت | ۱۳۹۵ | ۱۱   | ۱۴۷۴     |
| ۱   | اردیبهشت | ۱۳۹۷ | ۱۴   | ۱۹۶۰     |
| ۶   | اردیبهشت | ۱۳۹۹ | ۱۸   | ۶۵۶      |
| ۷   | مهر      | ۱۳۹۷ | ۲    | ۶۶۲      |
| ۳۰  | اردیبهشت | ۱۳۹۶ | ۱۷   | ۶۵۲      |

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده‌ی قرارگیری یک تراف عمیق بر روی ترکیه و شمال غرب ایران است که عمق آن از مدار بالای ۶۵ درجه عرض شمالی تا ۲۰ درجه عرض شمالی می‌باشد و منطقه مورد مطالعه در جلو قسمت راست فرود واقع شده است. همزمان یک پشته‌ی قوی بر روی آفریقا تا شمال اروپای مرکزی واقع شده و باعث هوای خشک و بی‌رطوبت در صحرای آفریقا، عربستان و جنوب عراق شده است (۶). بیشتر آلودگی ناشی از این الگو گرد و غبار ناشی از صحرای آفریقا، عربستان و جنوب کشور عراق است.

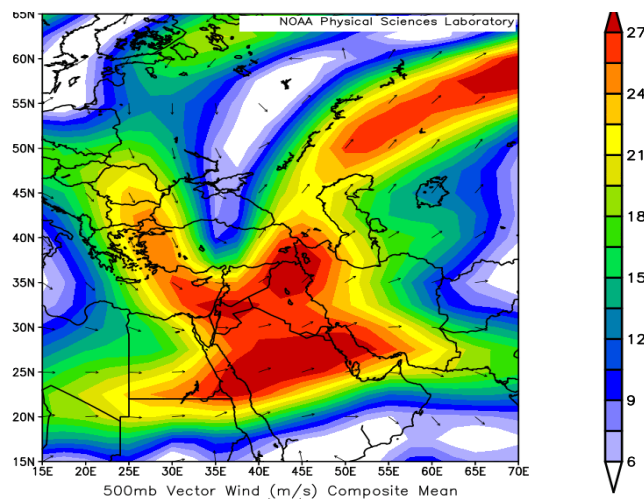


شکل ۶.... نقشه مرکب سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ایام گرم سال

نقشه فشار سطح زمین در این الگو نشان‌دهنده یک هسته کم فشار در شرق ترکیه، شمال عراق و شمال غرب ایران و دو هسته کم فشار دیگر در شمال شرق اروپا و جنوب عربستان و کشور سودان است (شکل ۷). جهت وزش بادهای در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از جهت جنوب غرب به سمت شمال و شمال شرق می‌باشد که سرعت بادهای در آن سطح بالغ بر ۲۵ متر بر ثانیه هستند و بر بالای منطقه مورد مطالعه حالت رودباد به خود گرفته‌اند (شکل ۸).

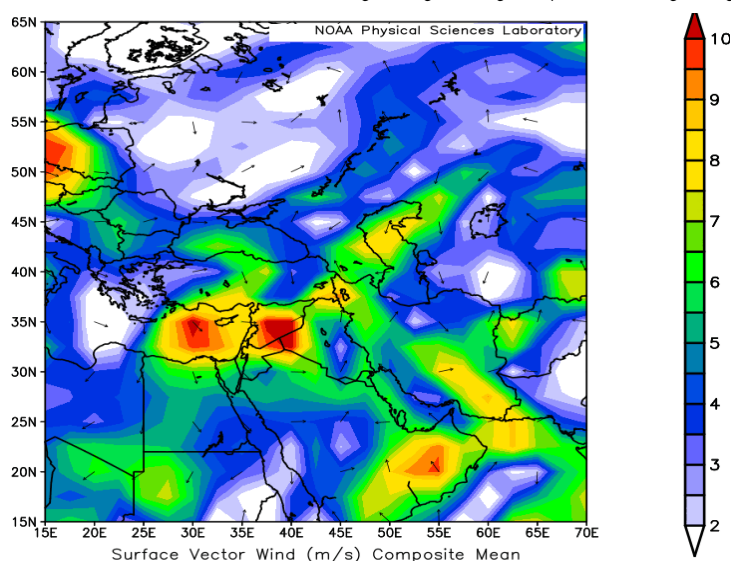


شکل ۷..... نقشه مرکب فشار سطح زمین در ایام گرم سال



شکل ۸..... نقشه مرکب همدمای ایام گرم سال

در سطح زمین در منطقه مورد مطالعه و شهر ارومیه سرعت باد به ۹ متر بر ثانیه می‌رسد و جهت آن‌ها جنوب به شمال است. یعنی این بادهای از صحرای عربستان و جنوب عراق گرد و غبار را وارد ایران و شهر ارومیه خواهند کرد (شکل ۹). در نتیجه به وجود آمدن چنین الگوی هوای منطقه غبار آلود و آلوده خواهد شد.



شکل ۹.... نقشه مرکب باد در سطح زمین در ایام گرم سال

### نتیجه‌گیری

فاکتورهای مختلفی بر روی کیفیت هوا اثرگذار هستند و همین موضوع موجب شده تعیین کیفیت هوا و میزان آلاینده‌گی با چالش‌های زیادی همراه باشند. مطالعه موردی و هدفمند در جهت شناسایی آلاینده‌گی و عوامل کنترل کننده آن می‌تواند به عنوان اصلی اساسی در مدیریت محیط زیست کلانشهرها مفید واقع شود. این پژوهش به منظور بررسی توزیع زمانی روزهای خطرناک آلاینده‌گی ذرات معلق و تحلیل هم‌دیدگی در ارومیه در بازه زمانی ده‌ساله بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ صورت پذیرفت. ابتدا نمودارهای میانگین غلظت ماهانه ذرات معلق طی دوره ده‌ساله ترسیم گردید. سپس فراوانی روزهای خطرناک به صورت ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی روزهای خطرناک در ۶ ماهه اول سال نشان داد بیشترین فراوانی روزهای خطرناک با شاخص ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد حادث شده‌اند. نفوذ توده هوای گرم جنوبی منجر به سکون هوا و در نتیجه تجمع آلاینده‌ها می‌شود. همچنین با جنوبی شدن

جریانات، انتقال طوفان‌های شن بیابان‌های جنوب غربی و جنوب ارومیه اجتناب ناپذیر می‌باشد. در ۶ ماهه دوم سال، ماه‌های آذر، دی و بهمن دارای بیشترین تعداد روزهای خطرناک هستند. پدیده وارونگی دما و افزایش ورود انواع آلاینده‌ها و تجمع آن‌ها منجر به افزایش تعداد روزهای خطرناک در این ماه‌ها شده است. در طی این دوره ده‌ساله سال ۱۳۹۴ با ۱۹ روز، بیشترین تعداد روزهای آلودگی خطرناک را به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد خشک شدن دریاچه ارومیه و تغییرات اقلیمی ناشی از آن منجر به افزایش تعداد طوفان‌های شن به‌ویژه در تابستان سال ۹۴ شده است به نحوی که ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، آذر، دی و اسفند شاهد بروز روزهای خطرناک آلاینده‌گی ذرات معلق بوده است. طبق ماتریکس همبستگی پیرسون غلظت ذرات معلق ۱۰ با گوگرد دی اکسید، دما و غلظت ذرات معلق ۲/۵ دارای همبستگی مثبت در سطح ۹۹ درصد می‌باشند. با افزایش غلظت دی اکسید گوگرد و ذرات معلق ۲/۵ و همچنین با افزایش دما غلظت ذرات معلق ۱۰ نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه تحلیل ماهانه نیر مشخص شد که در روزهای گرم سال به دلیل نفوذ توده هوای گرم و کم فشار جنوبی غلظت ذرات معلق افزایش می‌یابد. غلظت دی اکسید نیتروژن و ترکیبات نیتروژنی همبستگی منفی در سطح ۹۹ درصد با غلظت ذرات معلق دارد این بدین معناست که با افزایش غلظت این پارامترها میزان غلظت ذرات معلق ۱۰ کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش فشار هوا غلظت ذرات معلق کاهش می‌یابد. آلودگی هوا یکی از پیامدهای گسترش شهرنشینی و ظواهر پیشرفت به‌ویژه در جهان سوم است. می‌توان اعمال بشر را ایجادکننده یا تشدیدکننده این پدیده بر شمرد. در این میان، نمی‌توان شرایط جوی را کم اهمیت جلوه داد. بنابراین دیدگاه و نگاه سیستمی به این پدیده ضروری و لازم می‌باشد. به طور کلی می‌توان الگوها و شرایط همدیدی برای ایجاد آلودگی در منطقه را به دو الگوی سینوپتیکی دوره سرد سال و دوره گرم سال تقسیم نمود. که در دوره سرد سال بر روی منطقه پرفشار حاکم خواهد بود و در دوره گرم سال کم‌فشار بر منطقه حکمفرما می‌شود. و هر دو مورد در ایجاد هوای آلوده نقش دارند.

## منابع

- امید، نگار. سیدی، نسرين. بانج شفیعی، عباس و عباسپور، ناصر (۲۰۱۵). «مقدار هیدرات‌های کربن و پرولین برگ درخت چنار، در شرایط تنش آلودگی هوا (پژوهش موردی: شهرستان ارومیه)»، پژوهش و توسعه جنگل، (۲)۱، ۱۰۹-۱۲۲.
- جمشیدی، کریم‌زاده، رایگان شیرازی (۲۰۰۷). «بررسی میزان آلودگی ذرات معلق در هوای شهر گچساران در سال ۱۳۸۴». *ارمغان دانش*، (۲)۱۲، ۸۹-۹۷.
- خرسندی، حسن. کریم‌زاده، سیما. آقائی، مینا. آقاپور، علی احمد. موسوی مغانجوقی، سعید و کارگر، حجت (۲۰۱۶). «ارزیابی اثرات بهداشتی مواجهه با آلاینده‌های ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و دی‌اکسید گوگرد هوای شهر ارومیه با استفاده از مدل AirQ»، *مجله مطالعات علوم پزشکی*، (۵)۲۷، ۴۳۸-۴۴۸.
- خمیری عبدالعلی، دهقانی قناتگستانی محسن، علیجانی ابراهیم، کمانی حسین. «بررسی غلظت ذرات معلق ناشی از طوفان‌های گرد و غباری و ارتباط آن با اینترلوکین ۶ در افراد سالم شهر زاهدان». *مجله دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه*. ۱۳۹۹.
- درگاهی، عبدالله. دهقان زاده، رضا. فهیمی نیا، وحیده. جباری، یحیی و عزیززی، فرناز (۲۰۱۶). «بررسی تغییرات کیفیت هوای شهر تبریز از نظر غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> با تأکید بر شاخص AQI و ارتباط آن با روند کاهش سطح آب دریاچه ارومیه در سال‌های ۹۰-۱۳۸۷». *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۸ (ویژه‌نامه شماره ۲)، ۵۵-۶۲.
- رحیمی، محمد. یزدانی، محمدرضا. اسدی، مسلم و حیدری، محمد طالب (۲۰۱۵). «بررسی آلودگی هوای شهر سنندج با تأکید بر تغییرات زمانی غلظت PM<sub>10</sub>»، *فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، (۱۱)۶، ۹۹-۱۱۶.
- رنجبر محسن، باهک بتول (۱۳۹۸). «تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌های هوا با استفاده از GIS مورد مطالعه: نیمه شمالی شهر تهران». *جغرافیا*.
- شمسی‌پور، علی اکبر. حسین‌پور، زینب و نجیب‌زاده، فهیمه. (۲۰۱۲). «مدل‌سازی ترمودینامیکی و واکای همدید آلودگی هوای شهر تهران (ذرات معلق PM<sub>10</sub>)» *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، (۱۲)۱۳۹۱، ۷۷-۹۵.
- عالی محمودی سراب، سجاده. معیری، محمدهادی. شتایی جویباری، شعبان و راشکی، علیرضا. برآورد میزان آلودگی هوا (PM<sub>10</sub>) با استفاده از داده‌های آب و هوایی (مطالعه موردی: شهرستان اهواز).
- عطایی، هوشمند و هاشمی نسب سادات. شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو

مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان.

- کریمی قوزلو، رضا. احمدی، آیدا. عباسپور، مجید و عباس زاده، نصرت الله (۲۰۲۱). «ارزیابی ذرات معلق محیطی  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  با روش شاخص کیفیت هوا (مطالعه موردی: مجتمع صنعتی سیمان تهران)»، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۳(۸)، ۱۶۷-۱۵۵.
- کرمانی، مجید. ندافی، کاظم. شریعت، محمود و مصباح، اشرف السادات. بررسی مقادیر TSP و  $PM_{10}$  و توصیف کیفیت هوا با تکیه بر شاخص AQI در هوای محدوده بیمارستان دکتر شریعتی تهران.
- گراوندی، سحر، محمدی، محمدجواد، گودرزی، غلامرضا، احمدی انگالی، کامبیز، نیسی، عبدالکاسم، و زلفی، الهه (۱۳۹۳). «اثرات بهداشتی تماس با ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در اهواز». مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین، ۱۸(۵) (پی در پی ۷۶)، ۲۸-۳۶. SID. <https://sid.ir/paper/49047/fa>
- متکان علی اکبر، شکبیا علیرضا، پورعلی سیدحسین، بهارلو ایمان (۱۳۸۸). تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلودگی های منواکسید کربن و ذرات معلق، با استفاده از تکنیک های GIS در شهر تهران. سنجش از دور و GIS ایران.
- نورپور، علیرضا، و فیض، سیدمحمدعلی (۱۳۹۳). «تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده های گوگرد دی اکسید، نیتروژن دی اکسید و انواع ذرات معلق با استفاده از تکنیک های GIS در تهران». محیط شناسی، ۴۰(۳)، پی-پای ۷۱، ۷۲۳-۷۳۸. SID. <https://sid.ir/paper/404060/fa>

- Anwar, M. N., Shabbir, M., Tahir, E., Iftikhar, M., Saif, H., Tahir, A., ... & Nizami, A. S. (2021). Emerging challenges of air pollution and particulate matter in China, India, and Pakistan and mitigating solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125851.
- Daellenbach, K. R., Uzu, G., Jiang, J., Cassagnes, L. E., Leni, Z., Vlachou, A., ... & Prévôt, A. S. (2020). Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe. *Nature*, 587(7834), 414-419.
- Qin, H., Hong, B., & Jiang, R. (2018). Are green walls better options than green roofs for mitigating PM10 pollution? CFD simulations in urban street canyons. *Sustainability*, 10(8), 2833.
- Elbir, T., Kara, M., Bayram, A., Altioik, H., & Dumanoglu, Y. (2011). Comparison of predicted and observed PM10 concentrations in several urban street canyons. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 4(2), 121-131.
- Pugh, T. A., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., & Hewitt, C. N. (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons.

- Environmental science & technology, 46(14), 7692-7699.
- Huang, Y., Lei, C., Liu, C. H., Perez, P., Forehead, H., Kong, S., & Zhou, J. L. (2021). A review of strategies for mitigating roadside air pollution in urban street canyons. Environmental Pollution, 280, 116971.