نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هفدهم، شماره ۴۷، زمستان ۹۶

واکاوی همدید- آماری روزهای فرین همراه با ازون در تهران

دریافت مقاله: ۹۶/۷/۲۷ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۰/۲۰

صفحات: ۱۵۳-۱۳۷

علیرضا کربلائی: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران.
Karbalaee20@gmail.com
سیدمحمد حسینی: استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، همدان.
h.climate@sjau.ac.ir
محمدرضا کربلائی: دانشجوی کارشناسی ارشد، فیزیک. دانشگاه شهید بهشتی.
Karbalaee30@gmail.com

چکیده

آلودگی هوا به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در کلان‌شهرها، به یک مسئله مهم جهانی تبدیل شده که واکاوی شرایط رخداد آن، یکی از اولویت های عمده در پژوهش‌های اقلیمی است. بدین منظور در این پژوهش، شرایط همدید مرتبط با روزهای آلوده به ازون (O3) در تهران با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی و واکاوی خوشه ای بررسی گردید. نخست با استفاده از داده های آلایندگی ازون در بازه ۷ ساله از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ برای ۴۱ ایستگاه تهران، ماتریسی به آرایه ی ۴۱×۲۴۱۷ تشکیل شد. سطرها نشان دهنده روز های همراه با ازون و ستون ها نماینده تعداد ایستگاه هاست. سپس با انجام تحلیل خوشه ای پایگانی به روش ادغام وارد روی ماتریس روزهای فرین همراه با این پدیده، هشت خوشه متفاوت و مجزا شناسایی شد. نتایج آماری و همدید این پژوهش حاکی از این است که فراوانی روزهای آلاینده ازون در این گونه ها، اغلب روند فصلی دارد و در شش ماه اول سال بیشتر مشاهده می شود که شرایط جوی کشور از یکدستی و همگنی اقلیمی به علت استقرار پرفشار جنب حاره برخوردار است. رخداد این شرایط، مسبب ایجاد ماندگاری و تداوم چندروزه آلودگی در تهران و اغلب کلان شهرهای کشور می شود.

کلیدواژگان: واکاوی همدید، واکاوی خوشه‌ای، روزهای فرین، ازون، تهران.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

مقدمه

طبق تعریفی که برای آلودگی هوا از مقررات مبارزه با آلودگی هوای ایالت آریزونا استخراج شده است، آلودگی هوا یعنی حضور یک یا چند و یا مخلوطی از آلوده کننده های مختلف در هوای آزاد به آن اندازه که برای انسان مضر بوده و یا موجب زیان رساندن به حیوانات، گیاهان و اموال شوند(پرکنیز، ۱۹۴۸ :۴۰). هوا زمانی آلوده است که مقدار ترکیبات آن از اندازه ی متداول و متعارف آن بیشتر شود؛ مثلا اگر حتی داخل ساختمان مقدار عطر زیادی به هوا وارد شود هوا آلوده می شود. بعضی از آلاینده ها خطر چندان موثری بر شرایط زندگی انسان ندارند اما برخی دیگر، بسیار خطر ناکند. مثلاً افزایش میزان ازون در لایه های پایینی جوکره به زندگی انسان و گیاهان صدمه می زند و این در حالی است که پس از توسعه تمدن انسانی و گسترش شهرها و بالا رفتن سطح زندگی، مواد زاید فراوانی تولید شده و وارد اتمسفر می شود و منبع اصلی آلودگی هوا، فعالیت های صنعتی و سکونتگاه های شهری انسان است(علیجانی،۱۳۹۲ : ۲۲۱). آلودگی هوا به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی به ویژه در کلان‌شهرها به یک مسئله مهم جهانی تبدیل شده است. امروزه افزایش شهرنشینی و بالا رفتن استانداردهای زندگی و توسعه صنایع باعث افزایش غلظت آلاینده ها در حد خطرناک می باشد(حقیقت، ۱۳۹۰: ۱). روزهای بسیار آلوده همراه با شرایط آلودگی بحرانی از خصوصیات بارز کلان شهرها است،که با اثرات منفی بسیارگسترده برای ساکنین این شهرها و بطور کلی محیط زیست شهری همراه است. بروز آلودگی های حدی در هوای شهری و ظهور شرایط بحرانی در غلظت آلاینده های جوی، پدیده ای است که در چند سال اخیر به دفعات درکلان شهرهای ایران بوقوع پیوسته و اثرات منفی گسترده ای را در پی داشته است(صادقی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲).

ازون در دو ناحیه از جو زمین یعنی تروپوسفر و استراتوسفر یافت می شود. ازن تروپوسفر حدود ۱۰ درصد از کل ازون جو را تشکیل داده و از آلاینده های گازی جو محسوب می شود که اثرات مخرب متعددی بر محیط زیست دارد(ولی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۳۸). از اثرات مخرب آن می‌توان به ایجاد اختلال در رشد و میزان تولید گیاهان، ایجاد اختلاف تنفسی از جمله کاهش ظرفیت ریه، ناراحتی و تورم گلو، سرفه و ناراحتی های قلبی، اثرات آن بر روی زیست بوم ها، و همچنین تاثیر در گرمایش کره زمین به علت اثر گلخانه ای اشاره کرد(لوتجنس و همکاران[1]،۲۰۰۰: ۴۹). امروزه اندیشمندان و صاحب نظران زیادی در سرتاسر جهان و ایران، مطالعات و تحقیقات خود را درباره علل و پیامدهای افزایش آلودگی پیش برده اند. به طوری که کومری و یارنال[2](۱۹۹۲) رابطه بین تراکم ازون در منطقه جنوب غربی پنسیلوانیا با الگو های فشار را بررسی نموده اند، آنان بر اساس الگو های متداول سیکلون های برون حاره نقشه های هوای روزانه را به ۹ الگوی گردشی طبقه بندی نمودند. مطالعه کومری و یارنال نشان داد تغییرات تراکم ازون در لایه های مرزی اتمسفر به شرایط اتمسفری و عمدتا الگو های گردشی بستگی دارد. لیتون و اسپارک [3](۱۹۹۷)، به مطالعه رابطه بین اقلیم همدید و رویدادهای آلودگی در سیدنی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که بین مقدار آلودگی سیدنی و تعداد آنتی

۱ Lutgens

۲ Comrie & Yarnal

۳ Leighton Spark

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

چرخندهای ثبت شده رابطه مستقیم بر قرار است. جیمز[۴](۱۹۹۸) در بررسی به فراوانی زمانی مکانی چاله های ازون پرداخته و مشاهد نمود که همبستگی معنی داری با مسیر های سیکلونی نیمکره شمالی دارد. کیم[۵] و همکاران(۲۰۰۵) در پژوهشی به بررسی روابط بین تیپ های همدید و آلاینده های شهری با روش دستی پرداخته اند نتایج این پژوهش بیانگر آن است که در شمال شرق آمریکا (نیوانگلند) بیشینه تجمع ذرات معلق ($PM2.5$) در پی استقرار یک تیپ همدید خاص، موسوم به تیپ برگشتی از اقیانوس اطلس بوقوع می پیوندد. همچنین در پژوهشی دیگر با استفاده از تحلیل خوشه ای به بررسی آلودگی شهر بانکوک پرداخته شد و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، آلودگی هوا در این منطقه مورد پهنه بندی قرار گرفت(پراپاسورنپیتایا[۶] و همکاران،۲۰۱۰). ماگانا[۷] و همکاران(۲۰۱۱)، با به کارگیری الگوریتم خوشه بندی فازی احتمالاتی به بررسی آلودگی هوا در مکزیک پرداخته اند. سایتان و همکاران با استفاده از تکنیک خوشه بندی آلودگی هوا و متغیر های هواشناسی، آلودگی هوا را در منطقه ای صنعتی در شرق تایلند مورد بررسی قرار دادند(سایتان و مک پارایپ[۸]،۲۰۱۲). در زمینه آلودگی مطالعاتی از قبیل چنگ[۹] و همکاران(۲۰۰۷)، فلوکاس[۱۰] و همکاران (۲۰۰۹)، دیوس[۱۱] و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ[۱۲] و همکاران(۲۰۱۰)، ین و همکاران(۲۰۱۱)، رهدی و مالر[۱۳](۲۰۱۵)، سینفلد وپندیس[۱۴](۲۰۱۶) نام برد. در ایران نیز اردکانی و چراغی(۱۳۸۷) در تحقیقی با کاربرد شاخص های کیفیت هوا به تفکیک ایستگاه سنجش آلاینده های هوا در تهران پرداختند که نتایج این پژوهش نشان داد که در سال ۱۳۸۵، ۲۶۱روز کیفیت هوا شهر تهران از حد استاندارد تعیین شده توسط EPA تجاوز کرده است که در ۸۴ درصد از موارد آلاینده ها مربوط به منواکسید کربن بوده است. ضیایی و همکاران(۱۳۹۰) به پیش بینی آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از آمار سری زمانی روزانه پرداختند. ایشان پیشنهاد کردند که با توجه به بالا بودن سطح آلودگی هوا در پاییز و زمستان، اجرای طرح های کوتاه مدت مانند محدود سازی تردد خودروها صورت گیرد. اسکانی کزازی و سیاه پیرانی(۱۳۸۹)، به تحلیل همدید آلودگی هوای شهر تهران پرداختند که نتایج به دست آمده نشان داد چنانچه استقرار پرفشار منطقه ای، از نوع سامانه های عرض های میانی در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده ها افزایش یافته و بعضاً آن را دو تا سه برابر بیشتر از حد مجاز می نماید. قسامی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی دوره های بحرانی آلودگی هوای شهر تهران را ناشی از استقرار سامانه های واچرخندی برون حاره دانسته اند. نتایج این بر اساس واکاوی نقشه های هوا برای یک دوره یک ساله بدست آمده است. یاوری و سلیقه(۱۳۹۰) به بررسی سطوح وارونگی آلودگی های شهر تهران پرداخته اند نتایج این

۴ James
۵ Keim
۶ Prapassornpitaya
۷ Ojeda-Magana
۸ Saithan & Mekparyup
۹ Cheng
۱۰ Flocas
۱۱ Davis
۱۲ Wang
۱۳ Rohde & Muller
۱۴ Seinfeld & Pandis

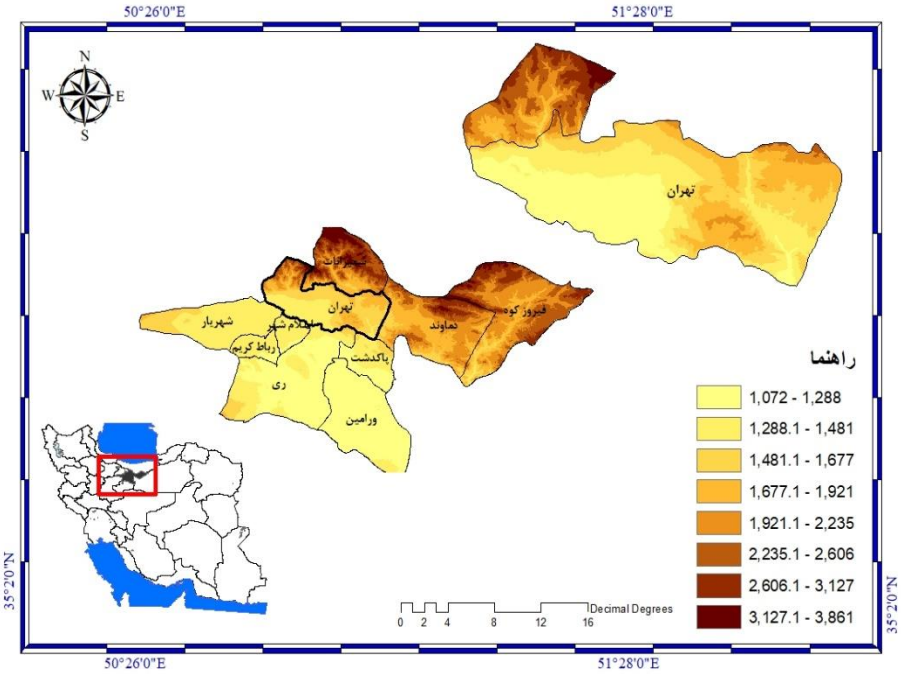
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

پژوهش نشان داد که آلودگی های ایستگاه های تهران در سطح وسیعی متاثر از سامانه های فشار و تشعشع زیاد سطح زمین می باشد. صادقی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی نقش الگو های گردش مقیاس منطقه ای جو بر وقوع روز های بسیار آلوده در شهر مشهد پرداخته اند، در این پژوهش با کاربست توامان تحلیل همدید دستی، ردیابی پسگرد ذرات معلق و بررسی شرایط ترمودینامیک جو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است نتایج این پژوهش نشان داد روزهای بسیار آلوده شهر مشهد در قالب چهار الگوی گردش اصلی شامل: الگوی ترکیبی پرفشار سیبری-پشته جنب حاره ، پرفشار مهاجر، پشته جنب حاره و الگوی کم فشار برون حاره قابل طبقه بندی می باشد. به طور کلی در زمینه آلودگی می توان پژوهش های شمسی پور و صفرزاده(۱۳۹۰)، طاووسی و همکاران(۱۳۸۹)، علیجانی و رئیس پور(۱۳۹۰) و عزیزی و همکاران(۱۳۹۱) را نام برد. در پژوهش حاضر سعی شده است که با واکاوی همدیدی- آماری روزهای همراه با ازون در تهران، شرایط رخداد این پدیده در این کلان شهر مشخص شود و نتایج آن، رهیافت مدیران و محققان امر واقع گردد.

استان تهران از نظر جغرافیایی در۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. تهران در حدّ فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار دارد. در نواحی مختلف استان تهران به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته‌است. سه عامل جغرافیایی در ساخت کلی اقلیم استان تهران نقش موثری دارند:کویر یا دشت کویر: مناطق خشک مانند دشت قزوین، کویر قم و مناطق خشک استان سمنان که مجاور استان تهران قرار دارند، از عوامل منفی تاثیرگذار بر هوای تهران هستند و موجب گرما و خشکی هوا، همراه با گرد و غبار می‌شوند. رشته کوه البرز موجب تعدیل آب و هوا می‌شود. بادهای مرطوب و بارانزای غربی که نقش موثری در تعدیل گرمای سوزان بخش کویری دارندولی تاثیر آن را خنثی نمی‌کنند. از نظر فصلی، هوای تهران در زمستان تحت تاثیر سامانه پرفشار شمالی (سیبری) قرار دارد. این تاثیر باعث شده‌است که در این فصل هوا در قسمت‌های مرکزی و جنوبی معتدل و در قسمت‌های شمالی شهر سرد باشد. همچنین در این فصل به دلیل پدیده وارونگی هوا، میزان آلودگی جوی بالاست. در تابستان‌ها هم سامانه کم‌فشار حرارتی سبب می‌شودکه هوای تهران گرم و خشک باشد. شکل (۱).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



شکل (۱)، موقعیت نسبی و ارتفاعی شهرستان تهران

روش تحقیق

محدوده‌ی مورد بررسی در این پژوهش، ۴۱ ایستگاه آلودگی سنج تهران می‌باشد. ابتدا پایگاهی از داده‌های ازون(O_3) روزانه‌ی کل ایستگاه ها متعلق به سازمان هواشناسی و شهرداری کشور فراهم شد. تعداد سال‌های آماری، بازه‌ی زمانی ۷ ساله از سال ۱۳۹۴-۱۳۸۸ در آرایه‌ای با آرایش P (میزان ازون روزانه بر روی ستون‌ها و روزها ی همراه با ازون بر روی سطرها) را شامل می‌شود و ۲۴۱۷ روز را در برمی‌گیرد.

چون قبل از انجام دسته‌بندی هیچ ایده‌ای درباره تعداد گونه‌های آلودگی وجود نداشت لذا انجام واکاوی خوشه‌ای برای شناسایی خوشه ازن تهران عملی به نظر می‌رسد. واکاوی خوشه‌ای یکی از روش های آماری چند متغیره است که کاربرد مهمی در طبقه بندی های اقلیمی، نظیرِ تعیین قلمرو آب و هوایی یا رژیم های بارشی و دمایی دارد(ترابی و همکاران،۱۳۸۰: ۱۵۳). این روش که در سال ۱۹۳۹ ارائه شده است، کاملاً عددی بوده و انحصاراً روی داده‌های کمی قابل انجام است و در طی آن سعی می شود افراد مشابه درگروه‌های خاصی قرار گرفته و یک طبقه مجزا را تشکیل دهند(مانلی،۱۳۷۳: ۱۲۹). به این صورت که مجموعه‌ای از افراد را بر حسب اندازه‌ی همانندی میان آن ها خوشه می‌کنند. لذا افرادِ تشکیل دهنده‌ی هر خوشه، بیشترین همانندی را با یکدیگر دارند. الگوریتم های زیادی برای انجام واکاوی خوشه‌ای پیشنهاد شده اند که دو مورد آن ها، به نام-های« واکاوی سلسله مراتبی[۱۵]» و «واکاوی چند میانگین[۱۶]» کاربرد بیشتری در اقلیم شناسی دارند. در روش واکاوی سلسله مراتبی, تعداد خوشه ها یا گروه‌ها نا مشخص بوده و با تکنیک‌های متعدد، گروه‌ها یا خوشه‌ها را

[۱۵] - Non Hierarchical

[۱۶] - K- mean

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

شناسایی کرده و نهایتاً به صورت یک نمودار شاخه درختی[۱۷] نشان داده می شود (فرج زاده،۱۳۹۱: ۹۹). در روش واکاوی میانگین که پژوهش حاضر نیز بر همین اساس شکل گرفته، ابتدا افراد به k گروهِ دلخواه تقسیم شده وسپس هر فرد در گروهی خوشه می شود که کمترین فاصله را تا میانگین آن گروه داشته باشد (ترابی و همکاران،۱۳۸۰: ۱۵۳) بنابراین در یک واکاوی خوشه‌ای دوگام اساسی وجود دارد. گام اول؛ محاسبه درجه همانندی افراد با یکدیگر است وگام دوم؛ چگونگی پیوند افراد برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر. بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی وچگونگی ادغام انتخاب می‌شود، یک واکاوی خوشه‌ای را می‌توان به شیوه‌های مختلفی اجرا کرد. برای محاسبه درجه همانندی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که در مطالعات اقلیمی، غالباً برای محاسبه درجه ناهمانندی(همانندی) از فاصلهٔ اقلیدسی[۱۸] استفاده می‌شود(مسعودیان، ۱۳۹۱: ۷۱). رابطه(۱):

رابطه (۱) فاصله اقلیدسی

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)'$$

روشن است که برای n مشاهده، $\frac{n(n-1)}{2}$ فاصله قابل محاسبه است. x_r، بردار مشاهدات بر روی r و x_s، بردار مشاهدات بر روی s می‌باشد.

پس از اندازه‌گیری درجه همانندی، باید شیوه‌ای برای پیوند اقلامی‌که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند بکار برد. شیوه‌های مختلفی برای ادغام معرفی شده‌اند که در مطالعات اقلیم‌شناختی عمدتاً از روش پیوند وارد استفاده می‌شود زیرا در این‌صورت، میزان پراش درونگروهی کمینه شده و همگنی گروه‌های حاصله، بیشینه می‌شود و در ضمن فاصله ی هندسی در فضای چند بعدی قابل اندازه گیری است(همان،۱۳۹۱: ۷۲) رابطه(۲). در طی این پژوهش از نرم افزار Matlabبهره گرفته شده است.

رابطه(۲) ، پیوند وارد

$$d(r,s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)}$$

در اینجا d^2_{rs} فاصله بین گروه است که به روش پیوند مرکزی بدست آمده باشد. در مطالعات اقلیم‌شناختی عمدتا از روش ادغام وارد استفاده می‌شود زیرا در این صورت میزان پراش درونگروهی به حداقل می رسد و همگنی گروه های حاصله بیشینه می‌شود (همان ، ۱۳۹۱ : ۷۲).

نتایج

واکاوی آماری روزهای فرین اوزن در استان تهران

همان گونه که قبلاً اشاره شد بر اساس فواصل اقلیدسیِ میان روزهای همراه با اازون و به کمک پیوند وارد، فرایند واکاوی خوشه‌ای انجام گرفت و دارنمای کلی و هشتگانه گونه‌های آلودگی همراه با ازون ایستگاه های تهران ترسیم گردید اشکال(۲ و ۳). بدین صورت که ابتدا کل روزهای همراه با اوزن با توجه به درجه همانندی(فاصله اقلیدسی) به دو گروه بزرگ و سپس این مراحل تا پایین‌ترین سطح ادامه می‌یابد تا اینکه همه

---

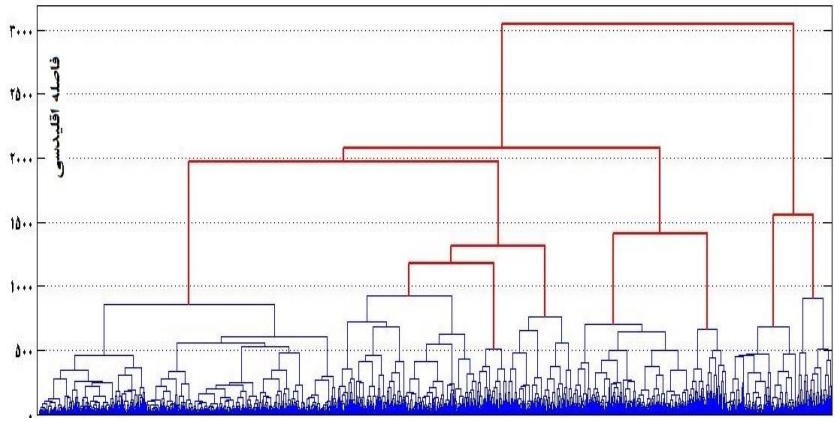
۱۷ - Dendrogram

۱۸ - Eudcliden Distance

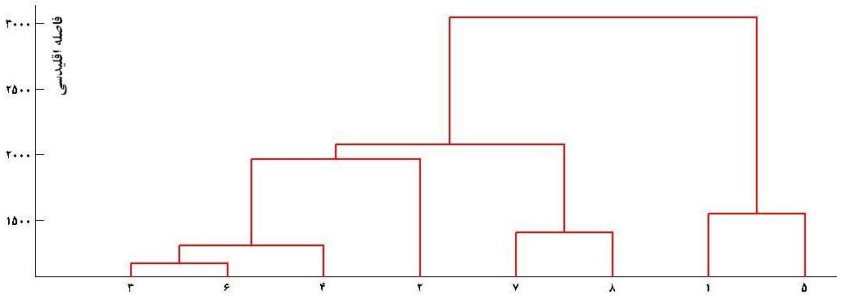
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

داده‌ها گروه‌بندی شوند. هدف اصلی خوشه بندی افزایش واریانس بین گروهی و کاهش واریانس درونگروهی است. با توجه به روش تقطیع دارنما که روش درون سو و بستگی به نظر محقق دارد و با توجه به واریانس داده ها و نحوه شکست دارنما و همگنی گروههای حاصله در نهایت، همه ی خوشه ها در هشت خوشه اصلی و متمایز ادغام شده اند. لازم به ذکر است که اگر داده ها در کمتر از این تعداد طبقه بندی شوند ناهمگنی خوشه ها پنهان می شود و اگر بیشتر از این تعداد باشد، شباهت بین گروه ها کم و در نتیجه تفاوت بین گروهی افزایش می یابد



شکل (۲)، دارنمای کلی آلاینده اوزن تهران



شکل (۳). دارنمای هشتگانه آلاینده اوزن تهران

با مطالعه فراوانی گذشته عناصر اقلیمی، امکان محاسبه ی درصد احتمال وقوع هر عنصر اقلیمی در طول دوره مورد بررسی به وجود می آید (مسعودیان و محمدی، ۱۳۸۶: ۵). لذا با بررسی روز های ازون فراوانی آن ها در گونه های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. جدول(۱)، آماره های مربوط به فراوانی ماهانه گونه های آلاینده ازون در تهران را نشان می دهد

جدول(۱). آماره های فراوانی گونه های آلاینده اوزن به درصد

ماه ها	گونه ۱	گونه ۲	گونه ۳	گونه ۴	گونه ۵	گونه ۶	گونه ۷	گونه ۸
فروردین	۲.۱۵	۹.۲۶	۲.۱۱	۰.۴۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۲.۱۵	۰.۲۸

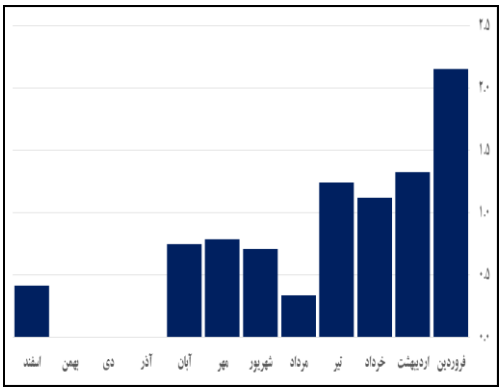
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

اردیبهشت	۱.۳۲	۲.۳۵	۳.۰۲	۰.۹۵	۰.۰۴	۰/۰۰	۱.۲۴	۰.۰۴
خرداد	۱.۱۱	۱.۲۸	۲.۵۶	۱.۴۴	۰.۷۸	۰.۴۹	۱.۱۵	۰.۱۲
تیر	۱.۲۴	۰.۷۸	۱.۴۴	۱.۴۸	۱.۰۳	۱.۱۵	۰.۶۲	۱.۱۹
مرداد	۰.۳۳	۰.۲۰	۱.۴۴	۱.۲۸	۱.۹۴	۱.۲۸	۱.۱۹	۱.۲۸
شهریور	۰.۷۰	۱.۳۶	۱.۱۹	۱.۷۳	۰.۶۲	۰.۹۱	۱.۲۴	۱.۱۹
مهر	۰.۷۸	۲.۸۵	۱.۹۴	۰.۶۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۲.۰۶	۰.۴۱
آبان	۰.۷۴	۴.۱۷	۱.۱۹	۰.۲۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۱.۴۸	۰/۰۰
آذر	۰/۰۰	۵.۹۱	۰.۳۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱.۱۵	۰/۰۰
دی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بهمن	۰/۰۰	۵.۴۱	۰.۸۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱.۱۹	۰/۰۰
اسفند	۰.۴۱	۴.۰۹	۱.۴۸	۰.۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۱.۰۷	۰.۱۲

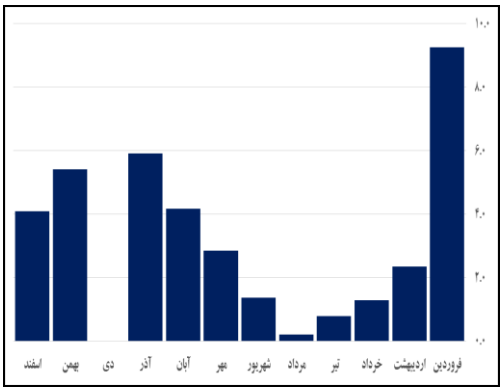
مقدار ازن در جو با تغییر فصل ها و وزش باد و تغییرات خورشید و... نیز تغییر می یابد. ازون استراتوسفر مانع از رسیدن اشعه های مضر خورشید به زمین می گردد. اگر چه ازون تروپوسفری یا ازون زمینی به عنوان آلاینده ثانویه است که مستقیما وارد جو نمی گردد بلکه درطی یک سری واکنش های پیچیده شیمیایی با سایر آلاینده ها نظیر اکسید نیتروژن و ترکیبات فرّار آلی ایجاد می گردند. چون تولید ازون نیازمند وجود نور خورشید است میزان سطح ازون تروپوسفر در بعد از ظهر ها و در طول ماه های تابستان که نور خورشید از شدت بیشتری برخودار است بالا می رود. ارتفاع خورشید وقتی افزایش یابد رابطه مستقیمی با ازون خواهد داشت لذا بیشترین فراوانی ازون در فصول تابستان و بهار مشاهده می شود، همان گونه که مشاهده می شود پراکنش ماهانه فراوانی روزهای همراه با ازن در گونه یک(شکل ۴) حاکی از این است که بیشترین فراوانی مربوط به فروردین ماه با ۲/۱۵ درصد است. در این میان آذر، دی و بهمن فاقد ازون هستند. در گونه ۲، بیشترین فراوانی مربوط به فروردین ماه است و کمترین فراوانی را، دی ماه به خود اختصاص داده است شکل (۴). بیشترین فراوانی گونه ۳ با ۳ درصد به اردیبهشت ماه اختصاص دارد و رتبه بعدی از آن خرداد و سپس فروردین ماه است شکل(۵). پراکنش روزهای همراه با ازون در گونه ۴ بیشتر در شش ماه اول سال و بویژه فصل تابستان مشاهده می شود شکل(۶). در گونه ۵، رزوهای الاینده ازون به فصل تابستان محدود شده اند و در این میان، مرداد ماه با ۱/۹ درصد در صدر این گونه قرار می گیرد شکل (۷). همانند گونه ۵، گونه ۶ نیز پراکنش محدود در فصل تابستان دارد و باز هم مرداد ماه بشترین مقدار را به خود اختصاص داده است شکل(۸). پراکنش روزهای همراه با آلایندگی ازون در گونه ۷ تقریبا توزیع یکنواخت سالانه دارد ولی رتبه نخست از آن فروردین ماه است شکل(۹) در گونه ۹، پراکنش ازون بیشتر در شش ماهه اول سال مشاهده می شود و مردادماه بیشترین روزهای این گونه را به خود اختصاص داده است شکل(۱۰).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

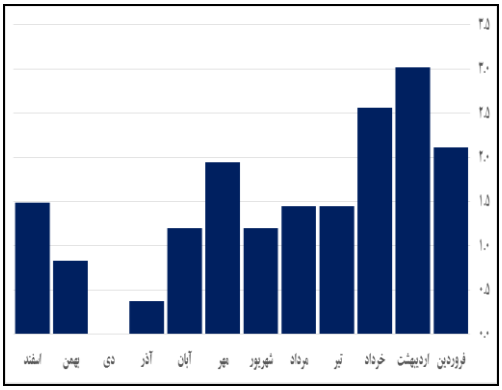
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



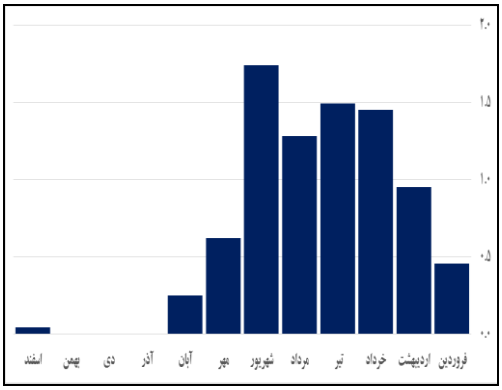
شکل (۳) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۱



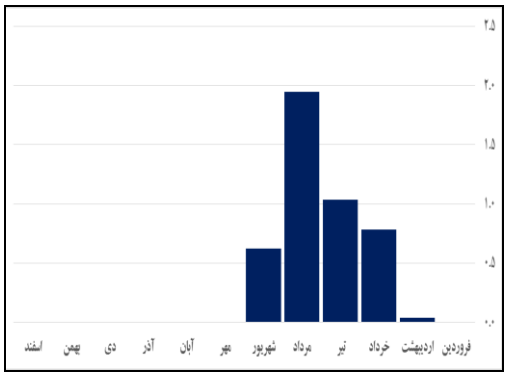
شکل (۴) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۲



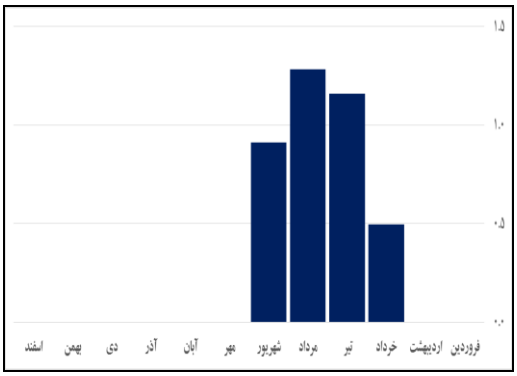
شکل (۵) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۳



شکل (۶) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۴



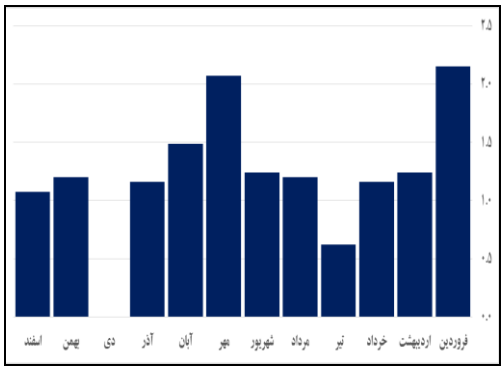
شکل (۷) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۵



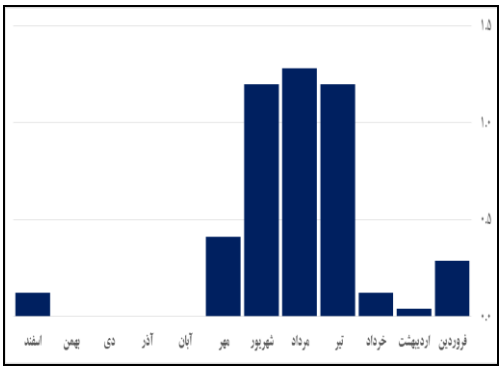
شکل (۸) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۶

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



شکل (۹) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۷



شکل (۱۰) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۸

واکاوی همدید روزهای فرین ازون در تهران

روزهای فرین آلاینده ازون در تهران برای هر گونه در جدول(۲) نشان داده شده است. با توجه به جدول بالاترین میانگین آلودگی گونه ها مربوط به گونه شماره ۸ می باشد و کمترین آن مربوط به گونه ۲ است. بالاترین تعداد روز ها در گونه دوم با مقدار و ۹۱۲ و کمترین تعداد در گونه ۶ مشاهده می گردد، بالاترین فرین ازون در گونه ها در گونه ۸ با ۳۲,۷ درصد و کمترین آن در گونه ۲ با ۱۱,۱ درصد اتفاق می افتد با توجه به روز های هر گونه تاریخ بالاترین فرین آلودگی گونه ها از ماتریس داده ها استخراج گردید و سپس الگوهای جوی تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل متر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم شد.

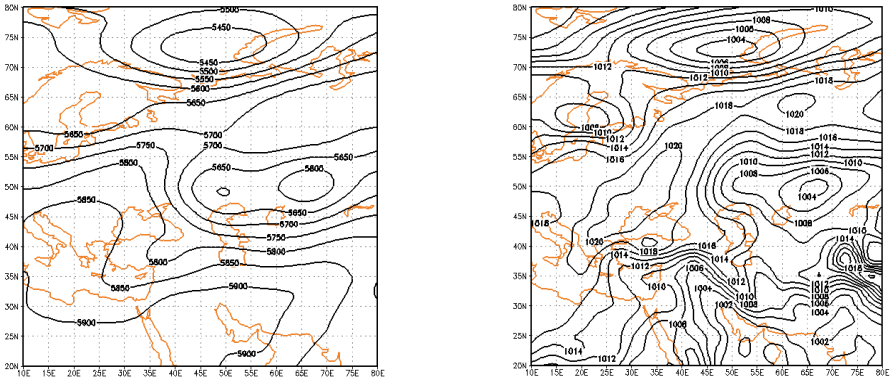
جدول(۲). آماره های هر گونه و روزهای نماینده آن

گونه ها / آماره ها	گونه ۱	گونه ۲	گونه ۳	گونه ۴	گونه ۵	گونه ۶	گونه ۷	گونه ۸
میانگین آلودگی همراه با ازون گونه ها	۸/۸	۸/۹	۸/۸	۱۱/۳	۱۶	۱۱/۶	۹/۴	۱۹/۴
تعداد روزها در گونه ها	۲۱۳	۹۱۲	۴۲۶	۲۰۰	۱۰۷	۹۳	۳۵۳	۱۱۳
بیشترین مقدار فرین گونه‌ها	۱۶/۷	۱۱/۲	۱۷/۲	۱۸/۶	۲۳/۷	۱۹/۳	۱۷/۷	۳۲/۸
تاریخ فرین آلودگی همراه با ازون گونه ها	۱۳۸۸/۶/۵	۱۳۹۳/۹/۱۶	۱۳۹۲/۴/۶	۱۳۹۰/۵/۱۴	۱۳۸۹/۴/۳	۱۳۹۱/۴/۲	۱۳۹۳/۷/۷	۱۳۹۴/۵/۲

شکل (۱۱) نشان می دهد که در روز نماینده گونه یک(۱۳۸۸/۶/۵) در روی نقشه تراز دریا، مرکز پرفشاری با هسته بیشینه ۱۰۲۴ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه و میانه دریای مدیترانه واقع شده است. این درحالی است که سامانه های شمال سوی کم فشار عرض های پایین تر جغرافیایی نیز به مناطق بالاتر کشیده شده اند. این ویژگی ها شرایط دگرفشار شدیدی را در اغلب مناطق ایران به وجود آورده است. از سوی دیگر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مراکز کم ارتفاع منفردی در نیمه جنوبی اروپا شکل گرفته اند که اثرگذاری آنها برای اقلیم ایران به صورت جریان های مداری در میانه کشور است. به نظر می رسد این شرایط، سبب رخداد جوی پایدار برای این مناطق است که ماندگاری آلودگی هوا را تشدید می کند. هر چند که نباید از ذکر این نکته غافل شد که گاهی در نقشه های فشار تراز دریا شرایط به گونه‌ای است که پایداری جوی محسوس باشد و این نشان دهنده وابستگی نسبی آلودگی ها به شرایط سطح زمین است نه جو بالا.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

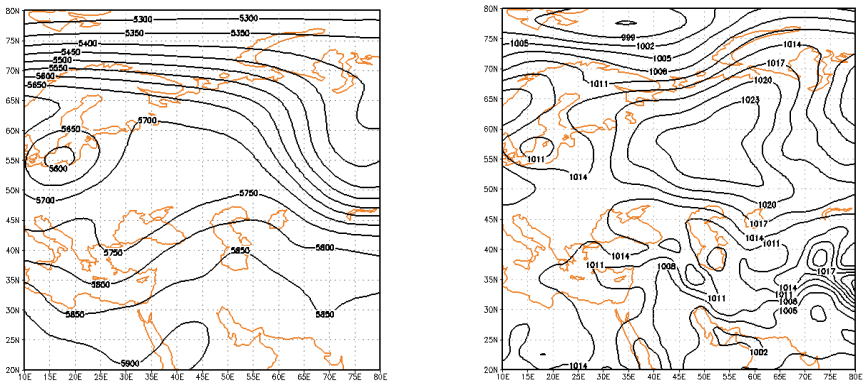
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال — نقشه تراز دریا

شکل (۱۱). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه یک(۱۳۸۸/۶/۵)

الگوهای جوی برای روز نماینده گونه دوم(۱۳۹۳/۶/۱۶) حاکی از این است که سامانه پرفشاری در سراسر میانه اروپا شکل گرفته اند که با جهت چند سوی خود، دیگر سامانه ها را به پیرامون جابجا کرده است. مراکز کم فشاری نیز در جنوب و غرب دریای خزر مشاهده می شوند که هوای گرم و پایداری را برای ایران به ارمغان بیاورد. همچنین در روی نقشه های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جریانهای جوی حالت نصف النهاری دارند و تداوم این شرایط مسبب جابجایی آلودگی های مرتفع از سطح شهرها به ویژه تهران می شود (شکل ۱۲).



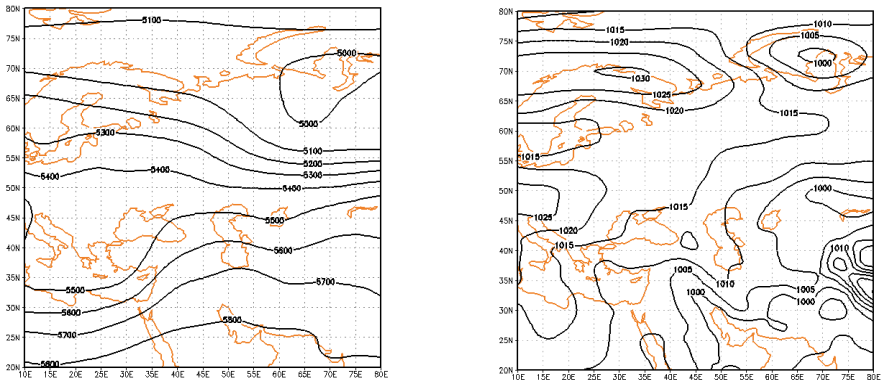
نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال — نقشه تراز دریا

شکل (۱۲). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه دو(۱۳۹۳/۶/۱۶)

در شکل(۱۳)شرایط الگوهای جوی در تراز دریا نشان می دهد که جریان جنوب سوی سامانه های کم فشار در شمال غرب ایران و شمال سوی کم فشارهای عرض های پایین جغرافیایی شرایط پایدار و ثابتی را برای اغلب مناطق کشور به وجود می آورد. این در حالی است که جریان های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز از شدت و قدرت بالایی برخوردار نیستند و نقش چشمگیری در انتقال و دورکردن آلودگی ها از سطح کشور ندارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

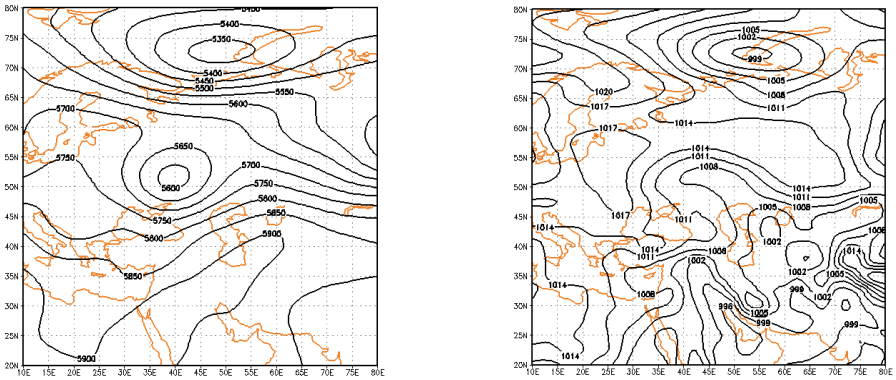
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نقشه تراز دریا

شکل (۱۳). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه سه(۱۳۹۲/۴/۶)

شرایط پایداری جوی برای روز نماینده گونه چهارم نیز مانند دیگر روزها برقرار است و سرتاسر کشور ایران در قلمرو کم فشارهاست. اما در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری کم ارتفاع در اروپای غربی سبب عقب نشینی فشار به عرضهای پایین است و این امر سبب می شود که جریانها حالت نصف النهاری به خود گیرند و چنانچه آلودگی ها در ترازهای بالاتر قرار داشته باشند با این گونه جریانهای عمودی از منطقه دور شوند.



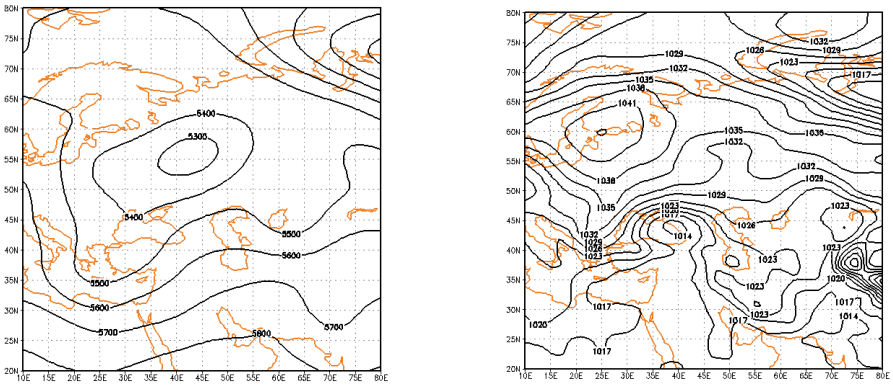
نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نقشه تراز دریا

شکل (۱۴). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه چهار(۱۳۹۰/۵/۱۵)

در روز نماینده گونه پنج، مرکز کم فشاری در منتهی الیه شرق مدیترانه شکل گرفته است که زبانه هایی از این مرکز با دور شدن از منطقه تبدیل به سامانه های پرفشاری شده اند که سرتاسر ایران را در بر گرفته اند. این شرایط سبب پایداری آلودگی ها ضمن رخداد هوایی سرد در ایران شده است. اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی شرایط به نفع ناپایداری‌هاست اما شدت و گستردگی این سامانه ها چشمگیر نیست شکل(۱۵).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

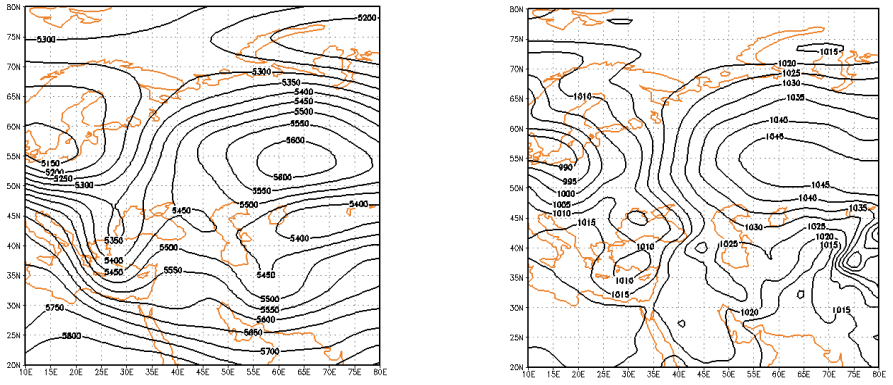
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال — نقشه تراز دریا

شکل (۱۵). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه پنج(۱۳۸۹/۴/۳)

در این روز(شکل ۱۶)، مراکز پرفشار نسبتا قوی در سرتاسر ایران حکمفرما هستند که سامانه پرفشار آزور را تشکیل می دهند. این شرایط سبب پایداری سرما و ماندگاری آلودگی ها در کشور می شود. ضمن اینکه در نقشه های تراز بالا نیز زبانه هایی از سامانه های پرارتفاع به عرض های پایینتر کشیده شده است و وضعیت موجود را تشدید کرده است.



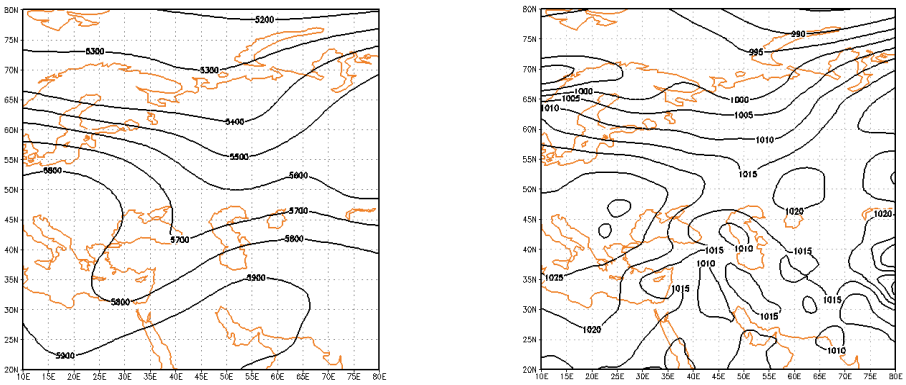
نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال — نقشه تراز دریا

شکل (۱۶). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه شش(۱۳۹۱/۴/۲)

الگوهای جوی در روز نماینده گونه هفت نشان می دهد که سامانه های کم فشار در اغلب مناطق ایران مستولی شده اند. این سامانه ها به صورت پراکنده ایجاد شده اند و جوی گرم و پایدار را برای کشور مسبب شده است. اما در نقشه های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فرود عمیق در راستای شمال شرق- جنوب غرب، دریای سیاه و مدیترانه را فراگرفته است و شرایط دگرفشاری قوی را به وجود آورده است(شکل ۱۷).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

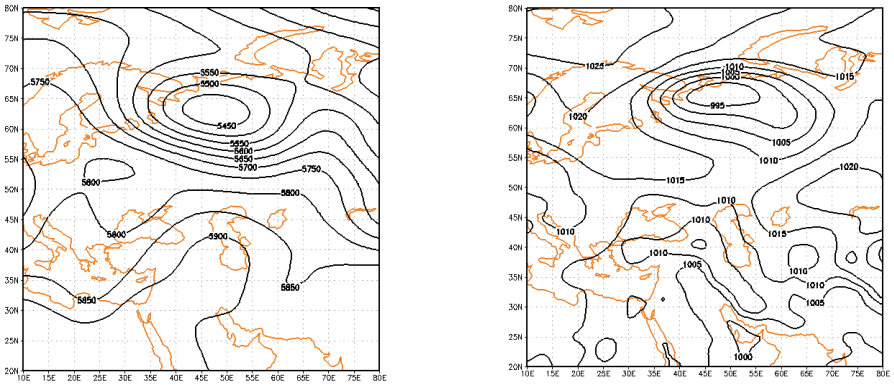
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]



نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال — نقشه تراز دریا

شکل (۱۷). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه هفت(۱۳۹۳/۷/۷)

الگوهای جوی روز نماینده گونه هشت حاکی از این است که در تراز دریا سامانه های کم فشاری سرتاسر قلمرو ایران را در بر گرفته است ضمن اینکه، فراز نسبتا عمیقی با عبور از روی دریای سرخ و عربستان و در راستای جنوب غرب- شمال غرب وارد ایران شود و شرایط را به نفع ناپایداری پیش ببرد. به طور کلی در اغلب مواقع، نقشه های جوی شرایط پایدار و ثابت را نشان می دهند.



نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال — نقشه تراز دریا

شکل (۱۸). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه هشت(۱۳۹۴/۵/۲۴)

نتیجه گیری

آلودگی جوی، یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی به ویژه در کلان‌شهرها به حساب می آید که عموماً به دلیل تمرکز جمعیتی بالا در شهرها و همچنین افزایش رفاه اجتماعی به دلیل افزایش سوختهای فسیلی ناشی از وسایل نقلیه، تشدید شده است. در پژوهش حاضر برای نیل به این هدف، از روش آماری- همدید به بررسی روزهای آلاینده ازن در تهران پرداخته شده است. نتایج آماری این پژوهش نشان داد که فراوانی روزهای آلاینده در هشت گونه مستقل و مجزا در مورد آلاینده ازن، روند فصلی دارد و اغلب در شش ماه اول سال مشاهده می شود که شرایط جوی کشور از یکدستی و همگنی اقلیمی برخوردار است. این در حالی است که نتایج همدید

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

نیز حاکی از این است که روزهای نماینده ای که در شش ماهه گرم سال و به ویژه در تابستان واقع شده اند به علت استقرار پرفشار آزور در ایران، از پایداری و ثبات جوی برخوردار است و این شرایط، مسبب ماندگاری و تداوم چندروزه آلودگی در تهران و اغلب کلان شهرهای کشور می شود. لازم به ذکر است که در روزهای نماینده‌ای که در شش ماهه دوم سال قرار دارند نیز، پایداری جوی به سبب جابجایی سامانه های کم فشار به عرضهای میانه و بالاتر ایران رخ می دهد. به طور کلی، تابستان های گرم و آلوده در ایران و به ویژه تهران، تحت تأثیر پایداری جوی ناشی از سامانه های کلان مقیاس اقلیمی تشدید می شوند و دیگر فصلهای سال نیز پایداری جوی خود را مدیون شرایط محلی و توپوگرافیکی هستند.

منابع

اردکانی، سبحان؛ طیبی، لیما؛ اردکانی، سبحان؛ چراغی، مهرداد(۱۳۸۷)، **ارزیابی کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۵ با کاربرد شاخص کیفیت هوا به تفکیک ایستگاههای سنجش آلایندههای هوا**، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ۲۸ اردیبهشت- ۱ خرداد.

اسکانی‌کزازی، غلامحسین، لاله سیاه پیرانی، میترا(۱۳۸۹)، **تحلیل سینوپتیکی آلودگی شهر تهران**، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، شماره (۱۲)،۱۶۱-۱۳۷.

پرکنیز، هنری کرافورد. ترجمه دکتر منصور غیاث الدین .(۱۳۶۷)، **آلودگی هوا**، انتشارات دانشگاه تهران.

ترابی، سیما؛ جهانبخش، سعید(۱۳۸۳)، **تعیین متغیرهای زمینه ای در طبقه بندی اقلیمی ایران: معرفی و کاربرد روش تحلیل عاملی و تجزیه مولفه های اصلی در تحلی مطالعات جغرافیایی و اقلیم شناسی**، نشریه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱، ۱۶۵-۱۵۱.

خلیلی، علی و بذرافشان، جواد(۱۳۸۳)، **تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه در ۵ ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته**، مجله بیابان، شماره ۱، ۳۳-۲۵.

خوشحال‌دستجردی، جواد؛ غازی، ایران؛ آروین، عباسعلی(۱۳۸۵)، **استفاده از گروه بندی خوشه ای در پهنه بندی زیست اقلیم انسانی (مطالعه موردی: استان اصفهان)**، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، شماره ۱ : ۱۸۶-۱۷۱.

شمسی‌پور، علی‌اکبر و صفرزاد، طاهر(۱۳۸۸)، **تحلیل ماهواره ای- همدیدی پدیده ی گرد و غبار**، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، ۱۲۶-۱۱۱.

صادقی، سلیمان؛ مفیدی، عباس؛ جهانشیری، مهین؛ دوستان، رضا(۲۰۱۴). **نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه‌ای جو بر وقوع روزهای بسیارآلوده در شهر مشهد**. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۳(۲), ۱-۳۶.

طاووسی، تقی و خسروی، محمود(۱۳۸۹)، **تحلیل همدیدی سامانه های گرد و غباری در استان خوزستان**، جغرافیا و توسعه شماره ۲۰، ۱۱۸-۹۷.

عزیزی، قاسم، شمسی‌پور، علی اکبر، میری، مرتضی، صفرزاده، طاهر(۱۳۹۱)، **تحلیل آماری- همدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران**، محیط شناسی، شماره ۳، ۱۳۴-۱۲۳.

علیجانی، بهلول(۱۳۹۲)، **آب و هواشناسی سینوپتیک**، انتشارات سمت، تهران.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

علیجانی، بهلول، رئیس پور، کوهزاد(۱۳۹۰)، **تحلیل آماری، همدیدی طوفان های گرد و خاک در جنوب شرق ایران(مطالعه موردی: منطقه سیستان)**، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۵، ۱۳۲-۱۰۷.

قسامی، طاهره، بیدختی، عباسعلی، صداقت کردار، عبداالله و صحرائیان، فاطمه(۱۳۸۶)، **بررسی شرایط همدیدی حـاکم در چنـد دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران**، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره(۳)، ۲۳۸-۲۲۹

گلریز ضیایی، زهرا؛ صادقی حصار، حمید؛ معتمدی، محمد؛ ژاله رجبی، میترا(۱۳۹۰).**پیش بینی، ارزش-گذاری و ترسیم نقشه های آلودگی هوای شهر مشهد: مطالعه موردی گاز منواکسید کربن**. اولین کنفرانس اقتصادی شهری ایران، مشهد.

مانلی، بی. اف. جی. ترجمه محمد مقدم ، سید ابوالقاسم محمدی شوطی و مصطفی آقایی سربرزه (۱۳۷۳)، **آشنایی با روش های آماری چند متغیره**، ، چاپ اول، انتشارات پیشتاز علم.

مسعودیان، سید ابوالفضل(۱۳۸۶)، **شناسایی گونه هوای اصفهان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، شماره (۳): ۶۵-۸۶

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ محمدی، بختیار(۱۳۸۶)، **شناسایی تیپ های هم دید هوای ایستگاه سنندج(طی سالهای ۷۳-۱۴-۱۳۴۳)**. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره (۷): ۲۲-۱.

ولی، عباسعلی؛ قویدل، یوسف؛ خورشیددوست، علی محمد(۱۳۹۱). **تحلیل آماری تغییرات زمانی میزان ازون در جو اصفهان**. نشریه جغرافیا و برنامه ریزی, ۱۶(۴۱), ۲۳۷-۲۵۰.

یاوری، حسین؛ سلیقه، محمد(۱۳۹۰) **سطوح وارونگی در آلودگی های هوای شهر تهران**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی،شماره (۲۰): ۸۹-۱۰۵.

Cheng, C.S., Campbell, M., Li, Q., Li, G., Auld, H., Day, N., Pengelly, D., Gingrich, S., and Yap, D., (2007). **A synoptic climatological approach to assess climatic impact on air quality in south-central Canada, Part I: historical analysis. Water**, Air, and Soil Pollution, **182**, 131–148.

Comrie, A. C., & Yarnal, B. (1992). **Relationships between synoptic-scale atmospheric circulation and ozone concentrations in metropolitan Pittsburgh, Pennsylvania. Atmospheric Environment. Part B**. Urban Atmosphere, **26(3),** 301-312.

Davis, RE., Normile, CP., Sitka, L., Hondula, DM., Knight, DB., Gawtry, SP., and Stenger, PJ., (2010). **A comparison of trajectory and air mass approaches to examine ozone variability.** Atmos. Environ., **44(1),** 64-74.

Flocas, H. Kelessis, A. Helmis,C., Petrakakis, M., Zoumakis, M., and Pappas, K., (2009). **Synoptic and local scale atmospheric circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area, Theor**. Appl. Climatol., **95(3-4),** 265-277.

James, P. M. (1998). **Climatology of ozone mini-holes over the Northern Hemisphere**. International Journal of Climatology, **18(12),** 1287-1303.

Keim, B. D., Meeker, L.D., and Slater, J.F., (2005). **Manual synoptic climate classification for the east coast of New England (USA) with an application to PM2.5 concentration**, Climate Res., **28**, 143–153.

Leighton. R. M, Spark. E., (1997). **Relationship between climatology and pollution events in Sydney,** International Journal Biometeorology. **41**, 76-89.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]

Lutgens, F., K; E.J, Tarbuck; D., Tasa, (2000), **the Atmosphere: An Introduction to Meteorology,** Prentice Hall Publications.

Ojeda-Magana, B., Ruelas, R., Gomez-Barba, L., Corona- Nakamura, M.A., Barron-Adame, J.M., Cortina-Januchs, M.G. Q, uintanilla-Dominguez, J. and A. Vega-Corona, (2011). **Air pollution analysis with a possibilistic and fuzzy clustering algorithm applied in a real database of Salamanca** (Mexico). Chapter 4.

Prapassornpitaya, S., Jinsart, W., S. Sanguansintukul. 2011. **Mapping of Urban Air Quality by Clusterin Analysis and Geographic Information System**. CASANZ, July 31.

Rohde, R. A., & Muller, R. A. (2015). **Air pollution in China: mapping of concentrations and sources**. PloS one, **10(8),** e0135749.

Saithan, K. and J. Mekparyup, (2012). **Clustering of Air Quality and Meteorological Variables Associated with High Ground Ozone Concentration in the Industrial Areas**, At the East of Thailand. International Journal of Pure and Applied Mathematics. **3**, 505-515.

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. John Wiley & Sons.

Wang, L.-L., Wang, Y.-S., and Li, Y.-Y., (2010). **Synoptic typing and its application for evaluating climatic impact on air quality in Urumqi,** Atmos, Oceanic Sci. Lett., **3 (6)**, 312–318.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.7.9]