

## 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.

Karbalae20@gmail.com

سیدمحمد حسینی: استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، همدان.

h.climate@sjau.ac.ir

محمد رضا کربلائی: دانشجوی کارشناسی ارشد، فیزیک. دانشگاه شهید بهشتی.

Karbalae30@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 اولویت‌های عمده در پژوهش‌های اقلیمی است. بدین منظور در این پژوهش، شرایط همدید مرتبط با روزهای آلوده به ازون (O<sub>3</sub>) در تهران با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی و واکاوی خوشه‌ای بررسی گردید. نخست با استفاده از داده‌های آلاینده‌ی ازون در بازه ۷ ساله از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ برای ۴۱ ایستگاه تهران، ماتریسی به آرایه ۴۱×۲۴۱۷ تشکیل شد. سطرها نشان‌دهنده روزهای همراه با ازون و ستون‌ها نماینده تعداد ایستگاه‌هاست. سپس با انجام تحلیل خوشه‌ای 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 گونه‌ها، اغلب روند فصلی دارد و در شش ماه اول سال بیشتر مشاهده می‌شود 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 کلان‌شهرهای کشور می‌شود.

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

## 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؛ مثلاً 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 خطرناکند. مثلاً افزایش میزان آزون در لایه های پایینی جو کره 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 مهم ترین مخاطرات طبیعی به ویژه در کلان شهرها 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 بسیار گسترده برای ساکنین این شهرها و بطور کلی محیط زیست شهری همراه است. بروز آلودگی های حادی در هوای شهری و ظهور شرایط بحرانی در غلظت آلاینده های جوی، پدیده ای است که در چند سال اخیر به دفعات در کلان شهرهای ایران بوقوع پیوسته و اثرات منفی گسترده ای را در پی داشته است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲).

آزون در دو ناحیه از جو زمین یعنی تروپوسفر و استراتوسفر یافت می شود. آزن تروپوسفر حدود ۱۰ درصد از کل آزون 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 می توان 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<sup>۱</sup>، 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<sup>۲</sup> (۱۹۹۲) رابطه بین تراکم آزون 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 آزون در لایه های مرزی اتمسفر به شرایط اتمسفری و عمدتاً الگو های گردشی بستگی دارد. لیتون و اسپارک<sup>۳</sup> (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

چرخندهای ثبت شده رابطه مستقیم بر قرار است. جیمز<sup>۴</sup> (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<sup>۵</sup> 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 ( $PM_{2.5}$ ) 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<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). ماگانا<sup>۷</sup> 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 پرایپ<sup>۸</sup>، ۲۰۱۲). در زمینه آلودگی مطالعاتی از قبیل چنگ<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۷)، فلوکاس<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، دیوس<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، یین و همکاران (۲۰۱۱)، رهدی و مالر<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۵)، سینفلد و پندیس<sup>۱۴</sup> (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، ۲۶۱ روز 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 & Mekpariyup

۹ Cheng

۱۰ Flocas

۱۱ Davis

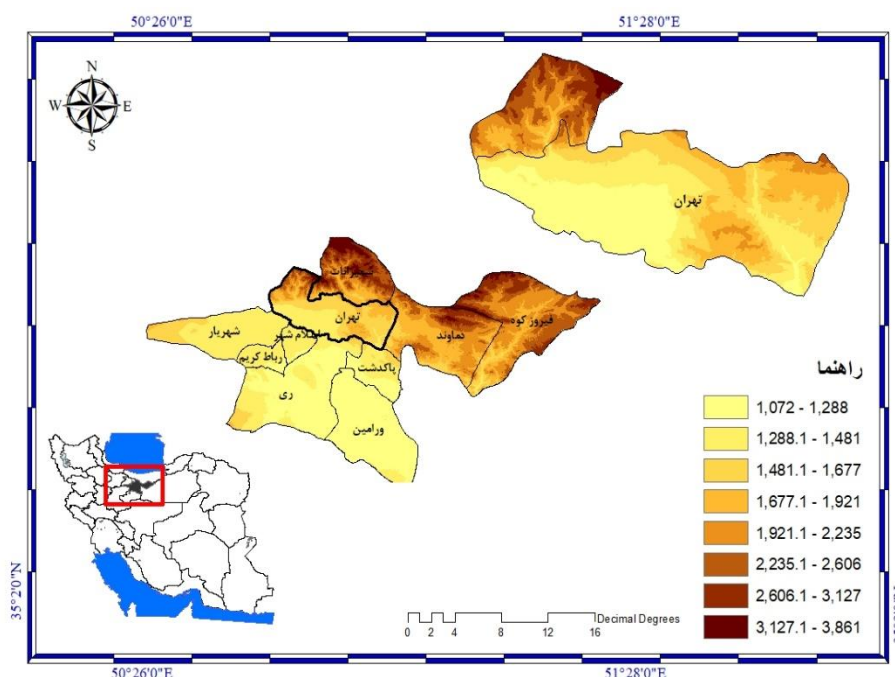
۱۲ Wang

۱۳ Rohde & Muller

۱۴ Seinfeld & Pandis

پژوهش نشان داد که آلودگی های ایستگاه های تهران در سطح وسیعی متأثر از سامانه های فشار و تشعشع زیاد سطح زمین می باشد. صادقی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه ای جو بر وقوع روزهای 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 سبیری-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 همدید- آماری روزهای همراه با آزون 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 در ۵۱ 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 حد فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار دارد. در نواحی مختلف استان تهران به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته است. 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 می شوند. رشته کوه البرز موجب تعدیل آب و هوا می شود. بادهای مرطوب و بارانزای غربی که نقش موثری در تعدیل گرمای سوزان بخش کویری دارندولی تاثیر آن را خنثی نمی کنند. از نظر فصلی، هوای تهران در زمستان تحت تاثیر سامانه پرفشار شمالی (سبیری) قرار دارد. این تاثیر باعث شده است که در این فصل هوا در قسمت های مرکزی و جنوبی معتدل و در قسمت های شمالی شهر سرد باشد. همچنین در این فصل به دلیل پدیده وارونگی هوا، میزان آلودگی جوی بالاست. در تابستان ها هم سامانه کم فشار حرارتی سبب می شود که هوای تهران گرم و خشک باشد. شکل (۱).



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 ایستگاه‌ها متعلق به سازمان هواشناسی و شهرداری کشور فراهم شد. تعداد سال‌های آماری، بازه‌ی زمانی ۷ ساله از سال ۱۳۸۸-۱۳۹۴ در آرایه‌ای با آرایش  $P$  (میزان ازون روزانه بر روی ستون‌ها و روزهای 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 روش‌های آماری چند متغیره است که کاربرد مهمی در طبقه بندی‌های اقلیمی، نظیر تعیین قلمرو آب و هوایی یا رژیم‌های 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 می‌شود افراد مشابه در گروه‌های 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 آن‌ها خوشه می‌کنند. لذا افراد تشکیل دهنده‌ی هر خوشه، بیشترین همانندی را با یکدیگر دارند. الگوریتم‌های زیادی برای انجام واکاوی خوشه‌ای پیشنهاد شده اند که دو مورد آن‌ها، به نام-های «واکاوی سلسله مراتبی»<sup>۱۵</sup> و «واکاوی چند میانگین»<sup>۱۶</sup> کاربرد بیشتری در اقلیم‌شناسی دارند. در روش واکاوی سلسله مراتبی، تعداد خوشه‌ها یا گروه‌ها نامشخص بوده و با تکنیک‌های متعدد، گروه‌ها یا خوشه‌ها را

<sup>۱۵</sup> - Non Hierarchical

<sup>۱۶</sup> - K- mean

شناسایی کرده و نهایتاً به صورت یک نمودار شاخه درختی<sup>۱۷</sup> نشان داده می شود (فرج زاده، ۱۳۹۱: ۹۹). در روش واکاوی میانگین که پژوهش حاضر نیز بر همین اساس شکل گرفته، ابتدا افراد به  $k$  گروه دلخواه تقسیم شده و سپس 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 و گام دوم؛ چگونگی پیوند افراد برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر. بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می شود، یک واکاوی خوشه‌ای را می توان 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 فاصله اقلیدسی<sup>۱۸</sup> استفاده می شود (مسعودیان، ۱۳۹۱: ۷۱). رابطه (۱):

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)' \quad \text{رابطه (۱) فاصله اقلیدسی}$$

روشن است که برای  $n$  مشاهده، فاصله قابل محاسبه است.  $x_r$ ، بردار مشاهدات بر روی  $r$  و  $x_s$ ، بردار مشاهدات بر روی  $s$  می باشد.

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

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad \text{رابطه (۲)، پیوند وارد}$$

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

## نتایج

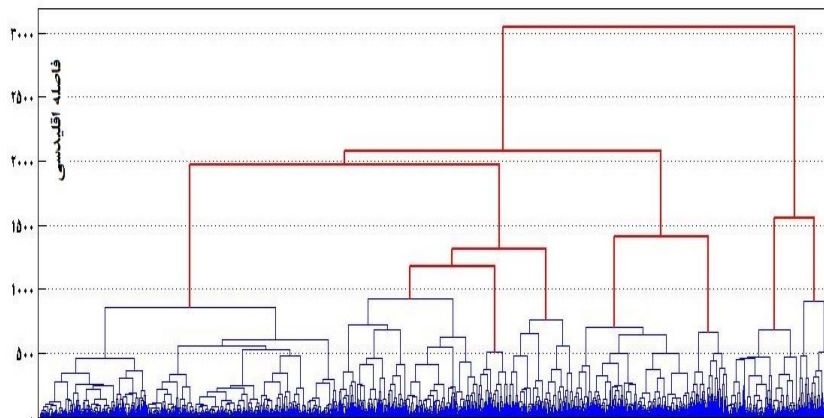
### واکاوی آماری روزهای فرین اوزن در استان تهران

همان گونه که قبلاً اشاره شد بر اساس فواصل اقلیدسی میان روزهای همراه با اوزن و به کمک پیوند وارد، فرایند واکاوی خوشه‌ای انجام گرفت و دارنمای کلی و هشتگانه گونه‌های آلودگی همراه با اوزن 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 پایین ترین سطح ادامه می یابد تا اینکه همه

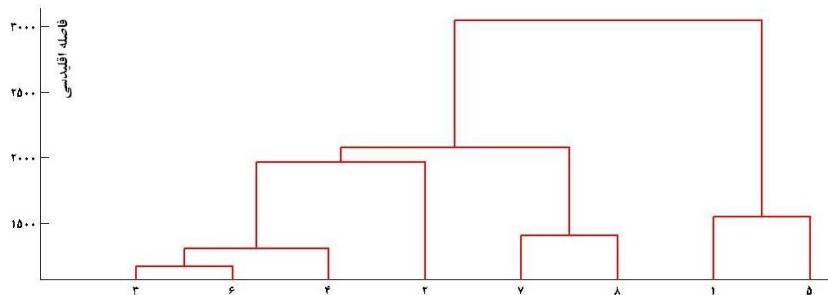
<sup>۱۷</sup> - Dendrogram

<sup>۱۸</sup> - Eudcliden Distance

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

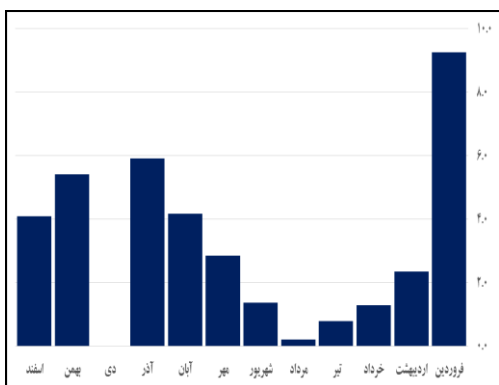
جدول (۱). آماره های فراوانی گونه های آلاینده اوزن به درصد

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

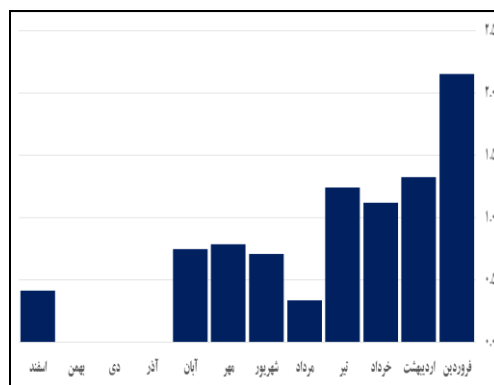
۰.۰۴	۱.۲۴	۰/۰۰	۰.۰۴	۰.۹۵	۳.۰۲	۲.۳۵	۱.۳۲	اردیبهشت
۰.۱۲	۱.۱۵	۰.۴۹	۰.۷۸	۱.۴۴	۲.۵۶	۱.۲۸	۱.۱۱	خرداد
۱.۱۹	۰.۶۲	۱.۱۵	۱.۰۳	۱.۴۸	۱.۴۴	۰.۷۸	۱.۲۴	تیر
۱.۲۸	۱.۱۹	۱.۲۸	۱.۹۴	۱.۲۸	۱.۴۴	۰.۲۰	۰.۳۳	مرداد
۱.۱۹	۱.۲۴	۰.۹۱	۰.۶۲	۱.۷۳	۱.۱۹	۱.۳۶	۰.۷۰	شهریور
۰.۴۱	۲.۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰.۶۲	۱.۹۴	۲.۸۵	۰.۷۸	مهر
۰/۰۰	۱.۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰.۲۴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

مقدار ازن در جو با تغییر فصل ها و وزش باد و تغییرات خورشید و... نیز تغییر می یابد. ازن استراتوسفر مانع از رسیدن اشعه های مضر خورشید به زمین می گردد. اگر چه ازن تروپوسفری یا ازن زمینی به عنوان آلاینده ثانویه است که مستقیماً وارد جو نمی گردد بلکه در طی یک سری واکنش های پیچیده شیمیایی با سایر آلاینده ها نظیر اکسید نیتروژن و ترکیبات فرار آلی ایجاد می گردند. چون تولید ازن نیازمند وجود نور خورشید است میزان سطح ازن تروپوسفر در بعد از ظهر ها و در طول ماه های تابستان که نور خورشید از شدت بیشتری برخوردار است بالا می رود. ارتفاع خورشید وقتی افزایش یابد رابطه مستقیمی با ازن خواهد داشت لذا بیشترین فراوانی ازن 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 ازن 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 ازن در گونه ۴ بیشتر در شش ماه اول سال و بویژه فصل تابستان مشاهده می شود شکل (۶). در گونه ۵، رزوه های آلاینده ازن 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 بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است شکل (۸). پراکنش روزهای همراه با آلاینده ازن در گونه ۷ تقریباً توزیع یکنواخت سالانه دارد ولی رتبه نخست از آن فروردین ماه است شکل (۹) در گونه ۹، پراکنش ازن بیشتر در شش ماهه اول سال مشاهده می شود و مردادماه بیشترین روزهای این گونه را به خود اختصاص داده است شکل (۱۰).

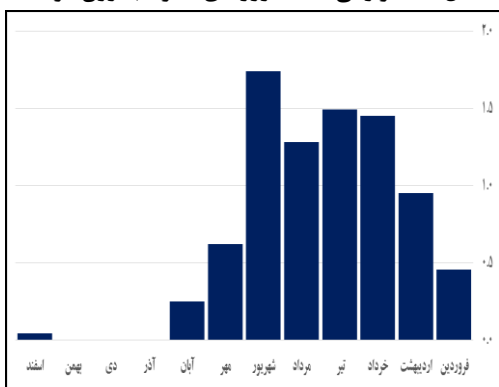




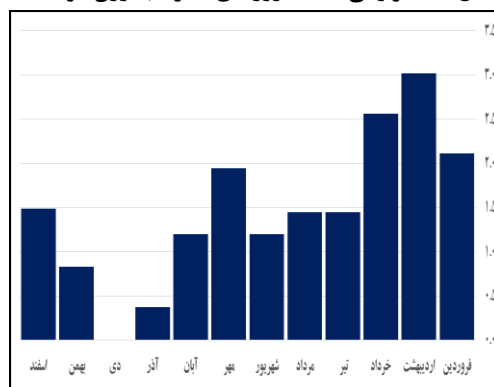
شکل (۴) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۲



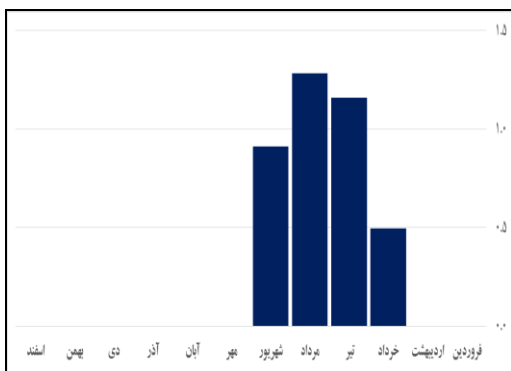
شکل (۳) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۱



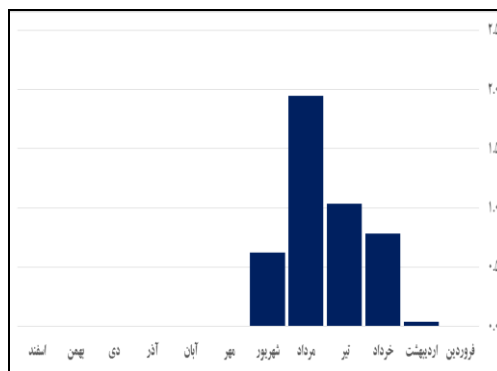
شکل (۶) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۴



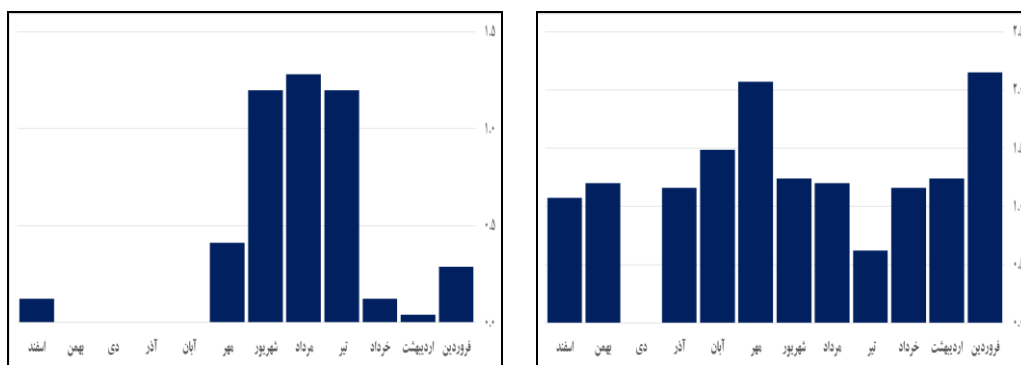
شکل (۵) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۳



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



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



شکل (۹) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۷ شکل (۱۰) فراوانی ماهانه روزهای همراه با ازون گونه ۸

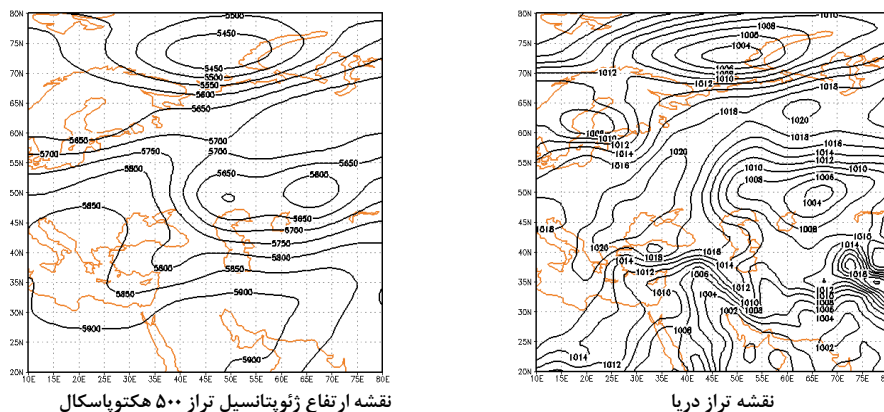
#### واکاوای همدید روزهای فرین ازون در تهران

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

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 دگر فشار 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 گونه ای است که پایداری جوی محسوس باشد و این نشان دهنده وابستگی نسبی آلودگی ها به شرایط سطح زمین است نه جو بالا.

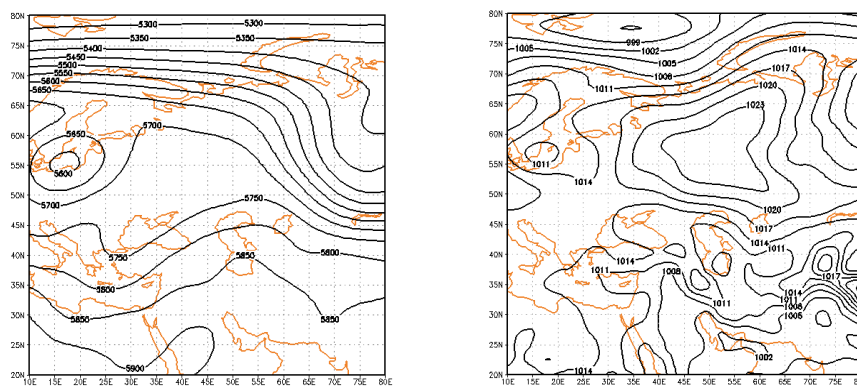


نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

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).

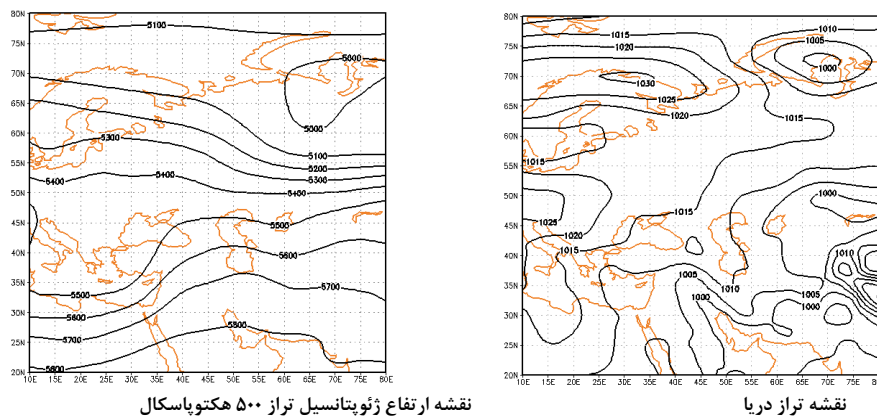


نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

نقشه تراز دریا

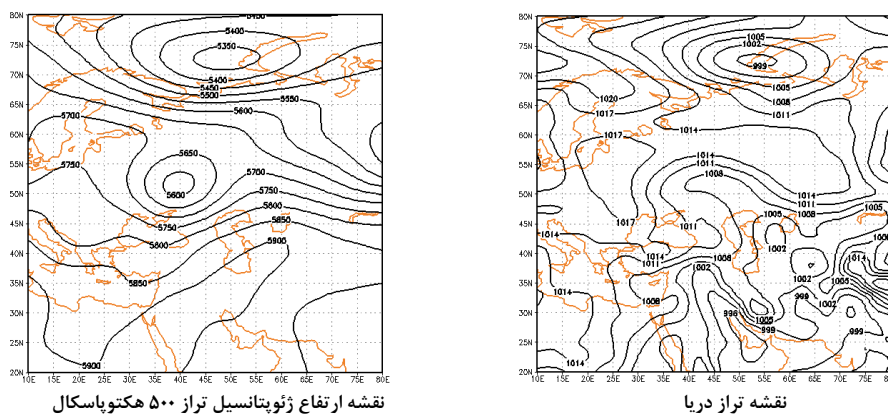
شکل (۱۲). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه دو (۱۳۹۳/۶/۱۶)

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 دور کردن آلودگی ها از سطح کشور ندارند.



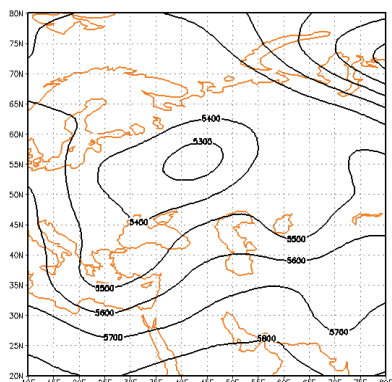
شکل (۱۳). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه سه (۱۳۹۲/۴/۶)

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.

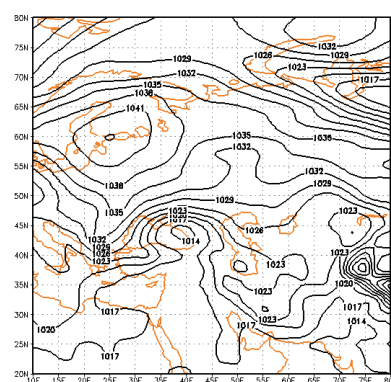


شکل (۱۴). الگوهای جوی برای روز نماینده گونه چهار (۱۳۹۰/۵/۱۵)

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 ناپایداری هاست اما شدت و گستردگی این سامانه ها چشمگیر نیست شکل (۱۵).



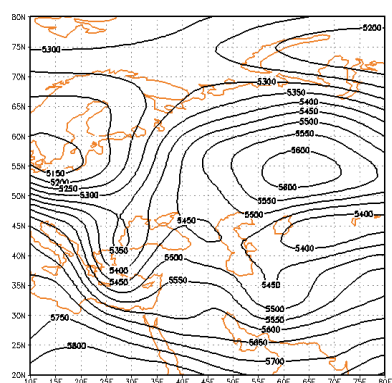
نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



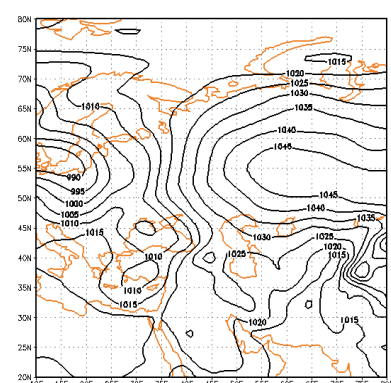
نقشه تراز دریا

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

در این روز (شکل ۱۶)، مراکز پرفشار نسبتاً قوی در سرتاسر ایران حکمفرما هستند که سامانه پرفشار آזור را تشکیل می‌دهند. این شرایط سبب پایداری سرما و ماندگاری آلودگی‌ها در کشور می‌شود. ضمن اینکه در نقشه‌های تراز بالا نیز زبانه‌هایی از سامانه‌های پرارتفاع به عرض‌های پایین‌تر کشیده شده است و وضعیت موجود را تشدید کرده است.



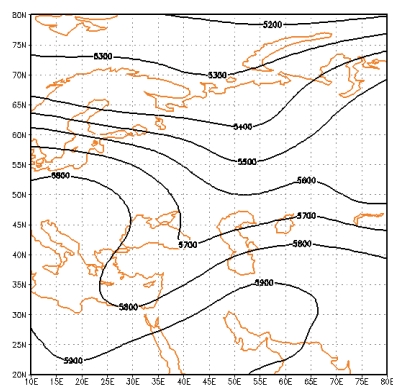
نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



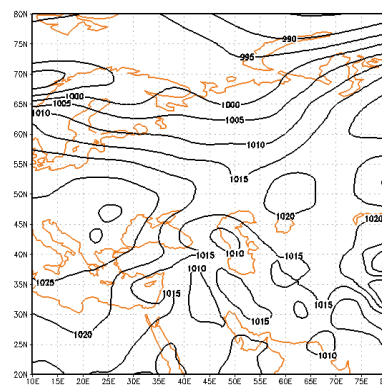
نقشه تراز دریا

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

الگوهای جوی در روز نماینده هفت گونه نشان می‌دهد که سامانه‌های کم‌فشار در اغلب مناطق ایران مستولی شده‌اند. این سامانه‌ها به صورت پراکنده ایجاد شده‌اند و جوی گرم و پایدار را برای کشور مسبب شده است. اما در نقشه‌های 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).



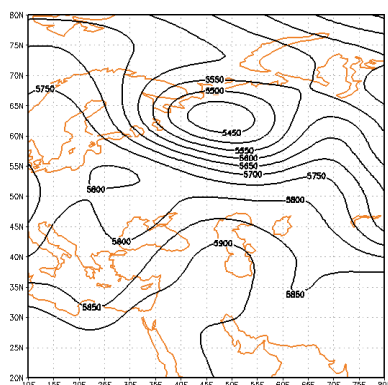
نقشه ارتفاع ژئوتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



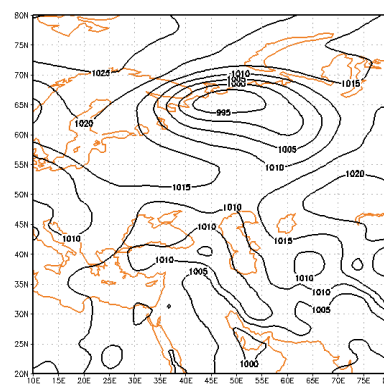
نقشه تراز دریا

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 نسبتاً 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 ژئوتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



نقشه تراز دریا

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

### نتیجه گیری

آلودگی جوی، یکی از مهم ترین مخاطرات طبیعی به ویژه در کلان شهرها 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

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 آزون 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 نماینده ای 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. اسکانی کزازی، 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 بارندگی های سالانه، فصلی و ماهانه در ۵ ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته*، مجله بیابان، شماره ۱، ۳۳-۲۵.
- خوشحال دستجردی، 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.
- شمسی پور، علی اکبر 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 منطقه ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد*. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۲)، ۳۶-۱.
- 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، شمسی پور، 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.

- 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، عبدالله و صحرائیان، فاطمه (۱۳۸۶)، بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند 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؛ خورشید دوست، علی محمد (۱۳۹۱). تحلیل آماری تغییرات زمانی میزان آزون 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.



- 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.