

تحلیل رابطه الگوهای همدید با میزان آلاینده ذرات معلق و منواکسید کربن در شهر شیراز

غلامعلی مظفری - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مهدی نارنگی فرد^۱ - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سیده مرضیه حقیقت ضیابری - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۸

چکیده

آلودگی هوا به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی در فضای شهری، ارتباط نزدیکی با شرایط آب‌وهوایی دارد. امروزه آلودگی در سطح کلان‌شهرها به صورت یک مسئله مهم درآمده که ضرورت مطالعه و ارائه راه‌حل‌های کاربردی برای بهبود شرایط زیستی در این زمینه را دارد. بنابراین شناخت رابطه بین عناصر آب‌وهوایی و آلاینده‌های هوا کمک فراوانی به چگونگی حل مسائل زیست محیطی و برنامه‌ریزی‌های آینده دارد. در این پژوهش نخست غلظت آلاینده منواکسید کربن و ذرات معلق در شهر شیراز در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۱ در ۶ گروه طبقه‌بندی و تعداد روزهای آلوده استخراج گردید؛ سپس با استفاده از داده‌های فشاری سطح زمین، ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، امگا و دما الگوهای همدید در روزهای آلوده مورد تحلیل قرار گرفت. روند سالانه و ماهانه میزان آلاینده‌ها در طی دوره آماری نیز مورد مطالعه قرار گرفت. یافته‌ها بیانگر روند کاهشی غلظت منواکسید کربن در طی بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشد؛ جهت تعیین میزان روزهای آلوده از شاخص استانداردهای آلاینده‌گی P.S.I استفاده و بر اساس این شاخص ۴۱۰ و ۱۵۲ روز آلوده به ترتیب برای آلاینده ذرات معلق و منواکسید کربن شناسایی و سپس با بررسی آماری بر اساس تداوم دوره آلودگی چهار الگوی تابستانه برای آلاینده ذرات معلق و یک الگوی زمستانه جهت آلاینده منواکسید کربن شناسایی گردید.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، تحلیل همدید، منواکسید کربن، ذرات معلق، شهر شیراز.

۱. مقدمه

آلودگی هوا در زندگی انسان زمانی محسوس شد که سکونت انسان به صورت اجتماعات متمرکز و ثابت شکل گرفت. به تدریج با گذشت زمان و گسترش آبادانی‌ها و به ویژه با شروع انقلاب صنعتی، آلودگی هوا مخصوصاً در زمان حاضر به مسئله‌ای بین‌المللی بدل شده است (قنبری و عزیزی، ۱۳۸۸: ۱۶). آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مخاطرات انسانی به ویژه در کلان‌شهرها است که مطالعه اثرات آن یکی از اولویت عمده در پژوهش‌های اقلیمی به شمار می‌رود. دانش آب و هواشناسی نمی‌تواند آلودگی جوی را نادیده بگیرد. آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که مطالعه اثرات آن در پی گسترش تکنولوژیک آلودگی آلاینده‌ها در دهه‌های اخیر از اولویت عمده در پژوهش‌های اقلیمی برخوردار بوده است. امروزه افزایش شهرنشینی و بالا رفتن استانداردهای زندگی و توسعه صنایع باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها در حد خطرناک شده است.

افزایش سریع جمعیت در مادر شهرها، برخی مسائل را برای توسعه پایدار ایجاد می‌کند. هم‌زمان آلودگی‌های محیطی و کاهش پوشش گیاهی، افزایش دما، به خصوص دمای سطحی را تبدیل به یک مشکل محیطی کرده که نیازمند راه حل است (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۰: ۲)؛ شرایط هواشناختی و تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و دینامیکی جو نقش مهمی بر سطوح آلودگی‌های هوا ایفا می‌کنند. مهم‌ترین عاملی که سبب پراکندگی و انتقال آلودگی هوا می‌گردد، باد سطح زمین و ترازهای پایین جو است و گرادیان‌های حرارتی قائم نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد حرکات صعودی و پخش قائم آلاینده‌های جو دارند (رنجبر و محمدیان، ۱۳۸۹: ۱۱۲). پرکینز^۱ در تعریف آلودگی هوا چنین بیان می‌کند؛ آلودگی هوا یعنی وجود یک یا چند آلوده کننده مانند گرد و غبار، فیوم، گازها، میست، دود، بخارها در هوای آزاد باکست‌ها، ویژگی‌ها و زمان ماند که برای زندگی انسان، گیاه یا زندگی حیوانات خطرناک و برای اموال مضر باشند و یا به طور غیر قابل تحمل استفاده راحت از زندگی و اموال گردد (پرکینز، ۱۳۶۷: ۴).

پژوهش‌های بسیاری در زمینه آلودگی هوا و ارتباط آن با عوامل آب و هوایی و سامانه‌های هم‌دید صورت گرفته از جمله: کلسانتین^۲ و والیمونت^۳ (۱۹۸۷) در پژوهشی به بررسی تراکم دی‌اکسید سولفور با کاربرد تحلیل عاملی پرداخت و این نتیجه را گرفت که روش ارزیابی اقلیمی در بررسی تمرکز دی‌اکسید سولفور بهتر از روش‌های آماری می‌باشد. هداد^۴ و همکاران، (۲۰۰۳) تأثیر منابع مختلف آلاینده در آلودگی شهر شیراز با استفاده از تحلیل غلظت ذرات معلق در چهار ایستگاه به صورت میانگین هفتگی مطالعه کردند. راینهام^۵ و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی الگوهای هم‌دید آب و

1 Perkins
2 Kalkstein
3 Valimont
4 Hadad
5 Rainham

هوا و ارتباط بین آلودگی هوا و مرگ و میر بشر پرداختند و برای بررسی این ارتباط از روش ترکیب فضایی طبقه‌بندی همدید استفاده کردند و به این نتایج دست یافتند که در تابستان یک رابطه مثبت بین آلودگی هوا و کل مرگ و میر وجود داشته است. به ویژه از بین توده‌های هوا، توده هوای گرم و خشک DT، بالاترین غلظت آلودگی را به همراه دارد و در مقابل توده‌های MP و DP دارای پایین‌ترین غلظت آلودگی بوده‌اند که با شرایطی مثل درجه حرارت پایین و شرایط ابری بودن هوا همراه هستند. گائو^۱ و همکاران (۲۰۱۱) بر اساس شاخص روزانه آلودگی هوا (DAPI)^۲ و بکارگیری داده‌های سنجنش از دور در چین، هفت خوشه آلوده شهری طبقه‌بندی گردید. آدام^۳ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به ارزیابی یک رویداد استثنایی آلودگی هوا پرداختند، در این مطالعه عناصر ازن سطحی، CO و PM₁₀ را در شبه جزیره ایبری؛ خدیرا^۴ و تارک خدیرو^۵ (۲۰۱۲) تأثیر پارامترهای اقلیمی در میزان غلظت آلاینده‌های هوا با استفاده از الگوریتم K-mean و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه آنا الجزایر مورد پژوهش قرار دادند.

در ایران نیز قسامی و همکاران (۱۳۸۶) شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران، شامل آلاینده‌های CO، SO₂، NO₂ و وارونگی دمایی موثر بر کیفیت و کمیت آلاینده‌ها بررسی کردند، نتایج نشان داد زمانی که سامانه پرفشار منطقه‌ای، از نوع سامانه‌های عرض‌های میانی در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. حسینی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با عنوان تحلیل و بررسی آماری داده‌های شاخص آلودگی هوای تهران از سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷، با استفاده از شاخص P.S.I پرداختند؛ یافته‌ها حاکی از روند قابل توجه کاهش غلظت منواکسید کربن برای اکثر ماه‌های سال در طی ۷ سال مورد مطالعه و همچنین افزایش غلظت آلاینده NO₂ از سال ۱۳۸۴ به بعد می‌باشد. اسکانی و لاله سیاه (۱۳۹۰) نیز آلودگی هوای تهران را از جنبه‌های همدیدی مورد تحلیل قرار دادند؛ بررسی‌های پژوهش نشان داد چنانچه استقرار پرفشار منطقه‌ای، از نوع سامانه‌های عرض‌های میانی در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده‌ها افزایش یافته و آن‌را دو تا سه برابر، بیش‌تر از حد مجاز می‌نماید. شمسی‌پور و صفرراد (۱۳۹۱) با تحلیل تصاویر ماهواره MODIS و مطالعه وضعیت همدیدی کانون‌های شکل‌گیری گرد و غبار را مورد بررسی قرار دادند، با توجه به نتایج حاصله مکان‌گزینی محور ناوه و منطقه واگرای بالایی در تراز پانصد هکتوپاسکال و شکل‌گیری سلول کم‌فشار حرارتی در سطح زمین، نقش اصلی را در شکل‌گیری و هدایت گرد و غبار به سمت ایران دارد. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلانشهر مشهد با استفاده از روش‌های چندمتغیره، تحلیل مؤلفه اصلی و خوشه‌بندی داده‌های روزانه فشار سطح دریا و

1 Gao

2 Daily Air Pollution Index

3 Adame

4 khedairia

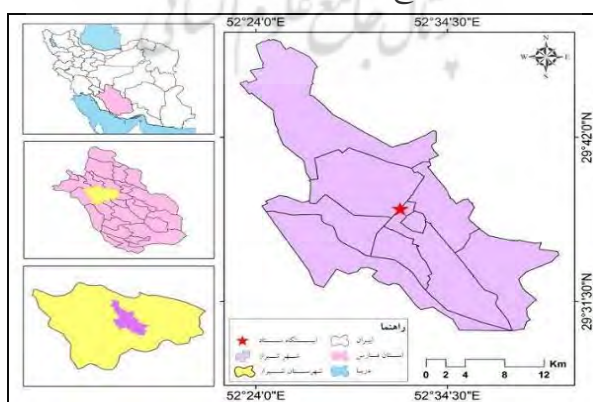
5 Tarek Khadir

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پرداختند. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۳) با تحلیل شرایط همدید و دینامیک، عوامل تشدید کننده آلودگی هوا در شهر کرمانشاه را مورد بررسی قرار دادند. همچنین پژوهش‌های مشابهی از لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷)، فرج‌زاده و علیزاده (۱۳۸۹)، براتی و همکاران (۱۳۹۰)، فتاحی و قناد (۱۳۹۰)، کریمی و شکوهی (۱۳۹۰)، ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰) و رنجبر و عزیززی (۱۳۹۱) در زمینه واکاوی الگوهای همدید توفان‌های گرد و غبار، صورت پذیرفته است.

شهر شیراز به عنوان پنجمین کلان‌شهر بزرگ ایران، در طی سال‌های اخیر متأثر از رشد روز افزون جمعیت به همراه مهاجرت فزاینده، با توسعه شتابان شهرسازی و در مقابل تخریب گسترده پوشش گیاهی (به ویژه از بین رفتن باغات قصرالدشت) همراه بوده است؛ همچنین مکان‌یابی نامناسب صنایع در مناطق باختری هم جهت وزش باد غالب، کمبود فضای سبز و شرایط توپوگرافی و آب و هوایی، وضعیت نگران کننده‌ای از لحاظ آلودگی در این شهر ایجاد کرده است. با توجه به اینکه هدف مطالعات همدید تبیین اندرکنش‌های کلیدی میان هواسپهر و محیط سطحی است (یارنال، ۱۳۸۵: ۱)؛ بنابراین هدف در این نوشتار تعیین و شناسایی الگوهای همدید موثر در ترازهای مختلف جو در روزهای آلوده با رویکرد محیطی به گردشی است، همچنین بررسی میزان و روند تغییرات سالانه آلاینده دی-اکسید سولفور، منواکسید کربن و ذرات معلق در شهر شیراز می‌باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز مرکز استان فارس در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه ۳۳ دقیقه طول خاوری واقع شده است (شکل ۱). شهر شیراز از جمله شهرهای پرجمعیت می‌باشد که دچار آلودگی هواست. به علت واقع شدن شهر بین دو رشته کوه در انتهای جنوبی زاگرس و رشد نسبتاً بالای جمعیت و همچنین تعداد و گوناگونی رو به افزایش آلاینده‌ها به نظر می‌رسد که مشکل آلودگی در طول زمان روند صعودی و کم‌تر قابل پیش‌بینی را به خود بگیرد (خوش‌اخلاق و حسن‌شاهی، ۱۳۸۱: ۵۵). بر اساس آخرین سرشماری سال (۱۳۹۰) جمعیت این شهر بالغ بر ۱۵۴۹۴۵۳ نفر است.



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه پایش و سنجش آلودگی شهر شیراز

۳. مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از آمار و اطلاعات آلاینده‌های هوا ایستگاه سنجش و پایش ستاد در شهر شیراز، جهت مطالعه وضعیت آلاینده‌های شهری (ذرات معلق و مونو اکسید کربن) در قالب داده‌های روزانه در بازه زمانی ۷ ساله (۲۰۱۱-۲۰۰۵) از سازمان حفاظت محیط زیست استان فارس اخذ گردید؛ سپس بر اساس جدول استاندارد کیفیت هوا، حد استاندارد آلاینده‌ها مشخص شد و روزهای آلوده (اعداد بالاتر از $PSI > 100$) به عنوان روز آلوده استخراج گردید. با توجه به این که هدف این پژوهش شناسایی الگوهای همدید تأثیرگذار بر مقدار آلاینده ذرات معلق و مونو اکسید کربن و روزهای آلوده می‌باشد؛ بنابراین داده‌های فشار ساعتی و روزانه سطح دریا‌های آزاد (استاندارد)، ارتفاع سطح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، دما سطح ۱۰۰۰ و امگای ۸۵۰ هکتوپاسکال روزهای مورد نظر (روزهای آلوده) از تارنمای^۲ مرکز ملی پیش‌بینی محیطی^۳ و مرکز ملی پژوهش‌های هواشناسی^۴ (NCEP/NCAR) دریافت گردید و در محیط نرم‌افزار GrADS نقشه‌ها ترسیم و مورد پردازش قرار گرفت.

جهت تعیین میزان آلاینده‌ها از شاخص استانداردهای آلودگی P.S.I برای گزارش و مقایسه وضعیت آلودگی هوا در زمان‌ها و مکان‌ها مختلف استفاده می‌گردد، که اطلاعات مربوط به غلظت آلاینده ازن در سطح زمین، ذرات معلق، مونواکسید کربن، دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن را فراهم می‌کند. در (جدول ۱) طبقات غلظت آلاینده‌ها جهت محاسبه شاخص استاندارد آلودگی هوا و همچنین توصیف کننده وضعیت کیفی هوا بر اساس اعداد مختلف P.S.I نشان داده شده است. در ادامه بر اساس تداوم و میانگین دوره آلودگی (روزهای آلوده‌ای که شاخص آلودگی بیش از ۱۰۰ ($PSI > 100$) ثبت شده است) چهار الگوی تابستانه برای آلاینده ذرات معلق و یک الگوی زمستانه جهت آلاینده مونو اکسید کربن شناسایی و سپس مورد تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱ طبقات غلظت آلاینده‌ها جهت محاسبه شاخص استاندارد آلودگی هوا (USEPA, 1999)

Co(ppm)	Dust($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	SO ₂ (ppm)	PSI	توصیف کننده
۰-۴/۴	۰-۵۴	-	-	۰/۰۰۰-۰/۰۳۴	۰-۵۰	خوب
۴/۵-۹/۴	۵۵-۱۵۴	-	-	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	۵۱-۱۰۰	متوسط
۹/۵-۱۲/۴	۱۵۵-۲۵۴	-	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۱۰۱-۱۵۰	غیر بهداشتی برای گروه‌های حساس
۱۲/۵-۱۵/۴	۲۵۵-۳۵۴	-	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۱۵۱-۲۰۰	وضعیت هشدار
۱۵/۵-۳۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۰/۶۵-۱/۲۴	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۲۰۱-۳۰۰	وضعیت بحران
۳۰/۵-۵۰/۴	۴۲۵-۶۰۴	۱/۲۵-۲/۰۴	۰/۴۰۵-۰/۶۰۴	۰/۶۰۵-۱/۰۰۴	۳۰۱-۵۰۰	وضعیت اضطرار

1 Omega

2 www.cdc.noaa.gov

3 National Center Environmental Prediction

4 National Center Atmospheric Research

۴. بحث و نتایج

بر اساس داده‌های گردآوری شده در (جدول ۲) میانگین ماهانه و در (جدول ۳) میانگین سالانه آلاینده‌های ایستگاه سنجش و پایش امام حسین (ع) (ستاد) در شهر شیراز نشان داده شده است.

جدول ۲ میانگین ماهانه آلاینده‌های هوای شیراز، ایستگاه ستاد طی دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱

ایستگاه ستاد								ایستگاه
CH ₄ (ppmc)	CO (ppm)	Dust ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)	O ₃ (ppm)	SO ₂ (ppm)	آلاینده ماه
1.977	6.115	60.301	0.089	0.029	0.118	0.004	0.130	ژانویه
2.146	5.770	81.179	0.067	0.027	0.094	0.010	0.120	فوریه
1.822	5.757	99.566	0.060	0.028	0.088	0.011	0.124	مارس
1.687	5.667	103.549	0.055	0.028	0.084	0.013	0.130	آوریل
1.986	5.656	134.081	0.050	0.029	0.079	0.016	0.134	می
1.887	5.552	151.297	0.041	0.029	0.070	0.019	0.130	ژوئن
2.482	5.969	216.309	0.046	0.030	0.077	0.008	0.124	ژوئیه
2.325	5.714	154.148	0.044	0.028	0.072	0.023	0.128	آگوست
3.503	6.420	117.086	0.062	0.031	0.092	0.013	0.170	سپتامبر
2.108	5.630	110.751	0.071	0.028	0.099	0.008	0.124	اکتبر
2.200	6.030	84.606	0.097	0.025	0.122	0.006	0.122	نوامبر
2.198	5.923	71.441	0.100	0.024	0.124	0.004	0.120	دسامبر
2.194	5.850	115.359	0.065	0.028	0.093	0.011	0.129	سال

جدول ۳ میانگین سالانه آلاینده‌های هوای شیراز ایستگاه ستاد طی دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱

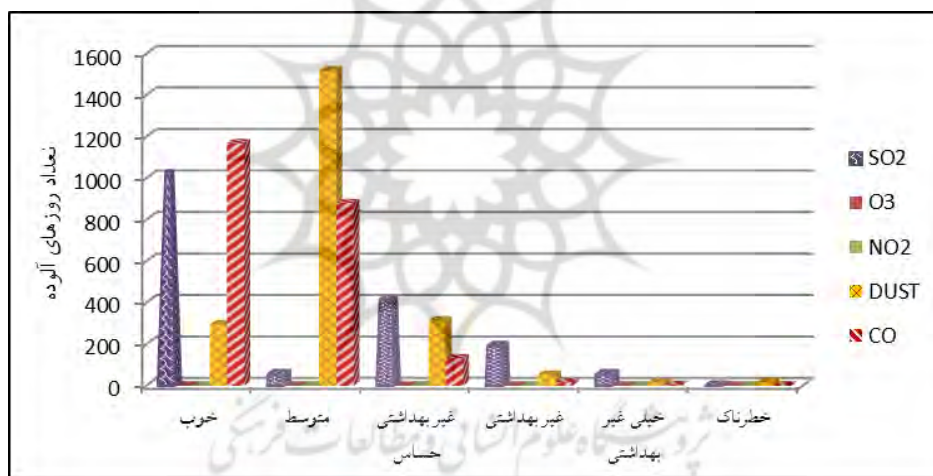
ایستگاه ستاد								ایستگاه
CH ₄ (ppmc)	CO (ppm)	Dust ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)	O ₃ (ppm)	SO ₂ (ppm)	آلاینده سال
1.237	8.716	138.029	0.071	0.031	0.102	0.012	0.045	۲۰۰۵
12.688	7.551	71.246	0.068	0.035	0.102	0.012	0.121	۲۰۰۶
1.399	5.423	91.495	0.059	0.028	0.087	0.011	0.178	۲۰۰۷
1.591	4.321	132.314	0.058	0.021	0.079	0.014	0.254	۲۰۰۸
2.611	3.023	154.775	0.066	0.025	0.090	0.008	0.034	۲۰۰۹
2.838	2.696	128.821	0.105	0.049	0.153	0.015	0.011	۲۰۱۰
2.256	1.621	107.945	0.035	0.016	0.050	0.028	0.004	۲۰۱۱
3.905	5.807	117.572	0.064	0.028	0.092	0.011	0.092	میانگین

a. تعداد روزهای آلوده در ایستگاه‌های سنجش و پایش آلودگی ستاد شیراز

با ملاحظه (جدول ۴) و (شکل ۲) از مجموع ۲۲۴۷ روز در ایستگاه سنجش ستاد ۶۵۹ روز آلوده برای آلاینده دی‌اکسید سولفور SO_2 و برای آلاینده ذرات معلق و منواکسید کربن به ترتیب ۴۱۰ و ۱۵۲ روز آلوده شناسایی گردید.

جدول ۴ تعداد روزهای آلاینده در ایستگاه ستاد طی دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱

توصیف کننده / تعداد روز	SO_2 (ppm)	O_3 (ppm)	NO_2 (ppm)	Dust ($\mu g/m^3$)	Co (ppm)
خوب	۱۰۲۳	-	-	۲۹۵	۱۱۶۸
متوسط	۵۵	-	-	۱۵۱۷	۸۸۰
غیر بهداشتی برای گروه‌های حساس	۴۱۳	۰	-	۳۱۴	۱۳۲
غیر بهداشتی	۱۹۱	۰	-	۵۳	۱۶
خیلی غیر بهداشتی	۵۵	۰	۰	۱۵	۴
خطرناک	۰	۰	۰	۲۸	۰

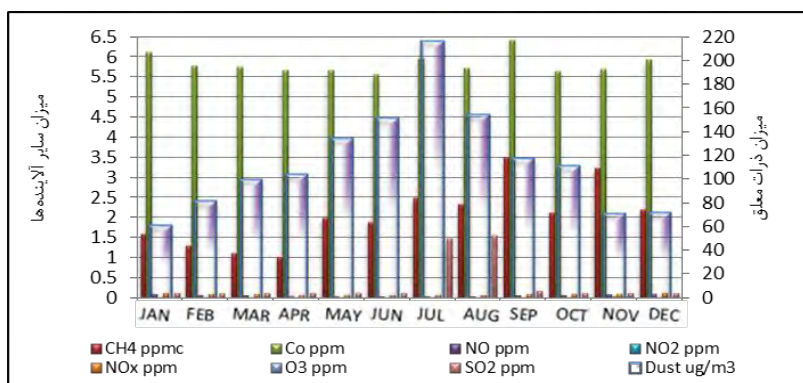


شکل ۲ نمودار تعداد روزهای آلوده ایستگاه ستاد ۲۰۰۵-۲۰۱۱

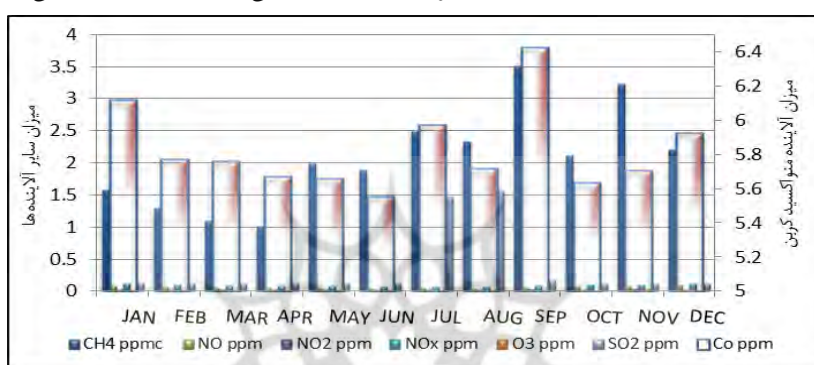
b. توزیع زمانی (ماهانه، سالانه) انواع آلاینده‌های هوای شیراز

الف: ماهانه

در بررسی نمودارهای (شکل ۳) و (جدول ۲) ایستگاه سنجش و پایش آلودگی ستاد بیشترین میزان آلاینده ذرات معلق مربوط به ماه ژوئیه به میزان $216/30 (\mu g/m^3)$ و کمترین میزان $60/30 (\mu g/m^3)$ در ماه ژانویه بوده است. توزیع ماهانه این آلاینده مطابقت کاملی با میزان توزیع ماهانه دما دارد، اما بیشترین میزان آلاینده منواکسید کربن مربوط به ماه سپتامبر به میزان $6/41 (PPM)$ و کمترین میزان $5/51 (PPM)$ در ماه ژوئن بوده است (شکل ۴).



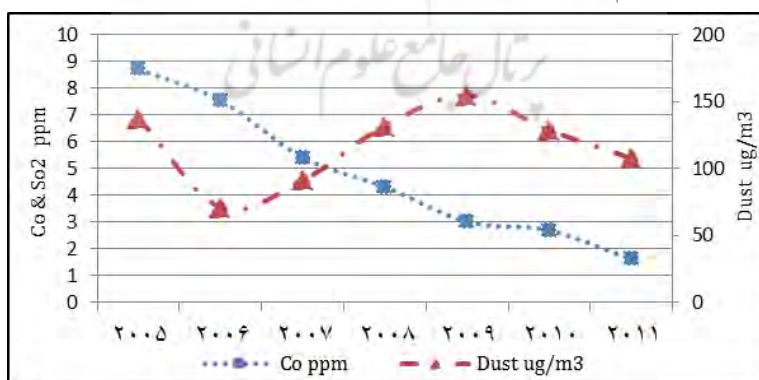
شکل ۳ نمودار ماهانه آلاینده‌های هوای شیراز ایستگاه ستاد طی دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱



شکل ۴ نمودار ماهانه آلاینده‌های هوای شیراز، ایستگاه ستاد طی دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱

ب: سالانه

در بررسی نمودار (شکل ۵) ایستگاه سنجش و پایش آلودگی ستاد، آلاینده ذرات معلق با یک روند نزولی در سال ۲۰۰۶ و بعد از آن افزایشی تا سال ۲۰۰۹ سپس با روند کاهشی تا سال ۲۰۱۱ همراه بوده است. طی این سال‌ها تنها آلاینده منواکسید کربن از روند نزولی پیروی می‌نماید، بیشترین میزان CO مربوط به سال ۲۰۰۵ به میزان ۸/۷۲ PPM و کم‌ترین میزان CO در سال ۲۰۱۱ به میزان ۱/۶۲ PPM بوده است.



شکل ۵ نمودار روند سالانه میزان آلاینده ایستگاه ستاد شیراز طی دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۱

c. بررسی نقش سامانه‌های فشار در ارتباط با آلودگی هوای شهر شیراز

با توجه به اینکه سامانه‌های همدیدی هواسپهر، لایه مرزی را تنظیم می‌کنند. در سامانه‌های پرفشار به دلیل فرونشینی هوای هواسپهر آزاد (FA)^۱ به سمت پایین و عدم نفوذ آن به درون لایه مرزی به خاطر وجود لایه وارونگی قوی پوششی، سطح لایه وارونگی به سمت پایین کشیده می‌شود و باعث کاهش عمق لایه مرزی می‌گردد، در نتیجه آلاینده‌های هوا در یک لایه مرزی کم‌عمق محبوس و باعث پایداری هوا و رخداد آلودگی هوا می‌گردد (فلاح قاله‌ری، ۱۳۸۹: ۳). همچنین با در نظر گرفتن این مطلب که هیچ تغییری در محیط زیست اتفاق نمی‌افتد مگر بر اثر تغییرات الگوهای فشار (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵: ۱۰۶). با بررسی آماری بر اساس تداوم دوره آلودگی چهار الگوی تابستانه برای آلاینده ذرات معلق و یک الگوی زمستانه جهت آلاینده منو اکسید کربن شناسایی و سپس مورد تحلیل قرار گرفت (جدول ۵).

جدول ۵ فهرست تاریخ شروع و پایان الگوهای تابستانه و زمستانه

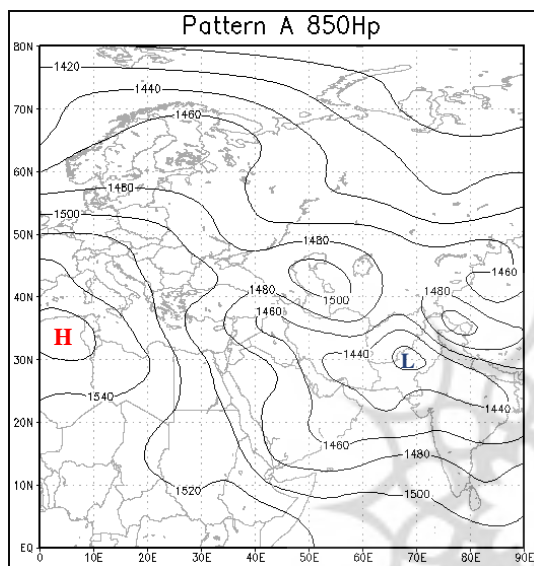
فهرست	نوع الگوی	تاریخ شروع	تاریخ پایان	تداوم دوره	میانگین آلاینده
۱	الگوی الف/تابستانه	۲۰۰۵/۶/۱۳	۲۰۰۵/۷/۲۶	۳۷ روز	۲۴۱ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۲	الگوی ب/تابستانه	۲۰۰۸/۶/۸	۲۰۰۸/۶/۲۳	۱۶ روز	۲۵۳ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۳	الگوی ج/تابستانه	۲۰۰۹/۶/۶	۲۰۰۹/۶/۲۳	۱۴ روز	۲۴۳ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۴	الگوی د/تابستانه	۲۰۰۹/۷/۱	۲۰۰۹/۸/۲۸	۴۹ روز	۲۸۰ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۵	الگوی الف/زمستانه	۲۰۰۵/۱۱/۱۲	۲۰۰۵/۱۲/۲۸	۳۷ روز	۱۱/۵ (ppm)

- الگوی تابستانه

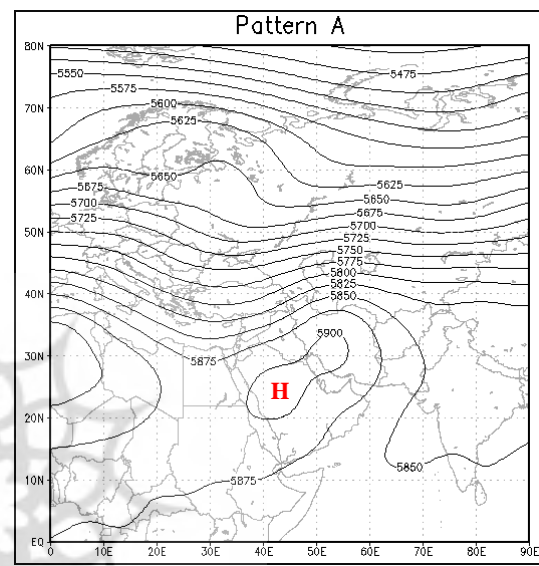
الگوی الف:

در نقشه سطح بالا (۵۰۰ هکتوپاسکال)، سامانه پرارتفاع (واچرخندی) با پربند بسته ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر در جنوب باختری ایران، جنوب عراق و شمال عربستان مستقر می‌باشد، منطقه در قسمت راست پشته ارتفاعی در منطقه واگرایی بالایی قرار گرفته است، همچنین پربند هم ارتفاع ۵۸۷۵ ژئوپتانسیل متر سراسر ایران را در بر گرفته است (شکل ۶) اما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال استقرار یک سامانه کم ارتفاع (چرخندی) قابل مشاهده است (شکل ۷). در نقشه سطح دریا (شکل ۸) شاهد استقرار یک سامانه کم فشار در زیر منطقه واگرایی بالایی با پربند بسته ۹۹۹ هکتوپاسکال در جنوب ایران و پاکستان می‌باشیم؛ همچنین هسته گرمایی ۴۰ درجه سلسیوس باعث تقویت کم فشار حرارتی در منطقه شده است (شکل ۱۰) وجود کم فشار حرارتی در منطقه شرایط همگرایی در سطح زمین را سبب شده است، به دلیل افزایش چگال جهت توازن با منطقه

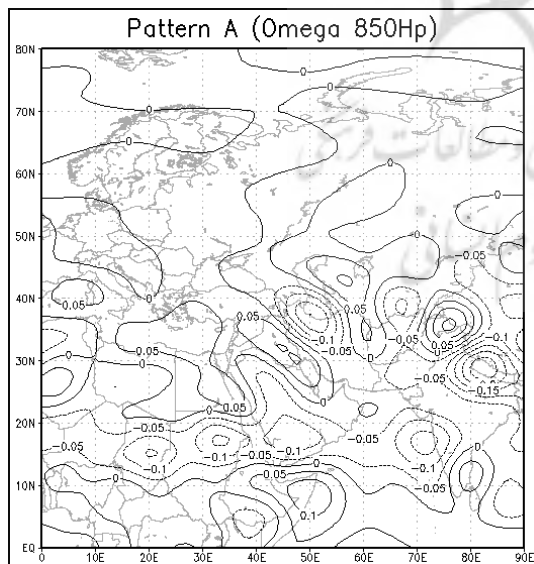
واگرایی بالایی، موجب حرکت بالاسو در زیر موج می‌گردد، که با توجه به نقشه (شکل ۹) امگا (سرعت قائم هواسپهر) در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال شاهد هسته‌های صعودی در شمال منطقه مورد مطالعه می‌شود. ارقام منفی امگا دلالت بر صعود هوا (حرکات قائم بالاسو) دارد. به دلیل نبود رطوبت نتیجه حاکمیت چنین شرایطی، ورود ذرات معلق و گرد و غبار به منطقه و ترازهای بالاتر هواسپهر می‌باشد، که متأثر از حرکات افقی تراز میانی هواسپهر به مناطق شمالی و خاوری انتقال پیدا می‌کند.



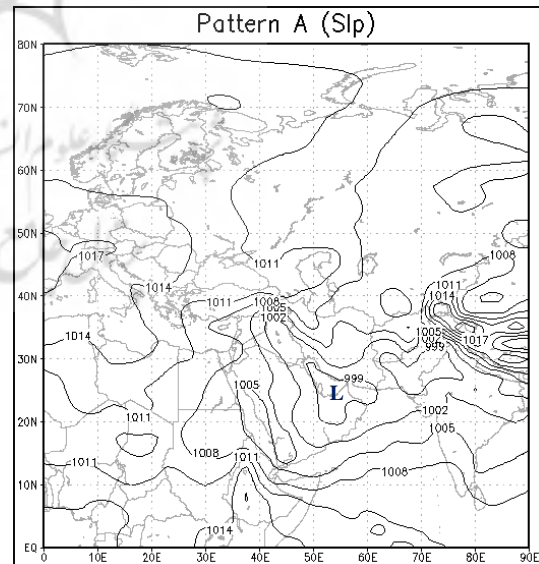
شکل ۷ نقشه الگوی فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو الف



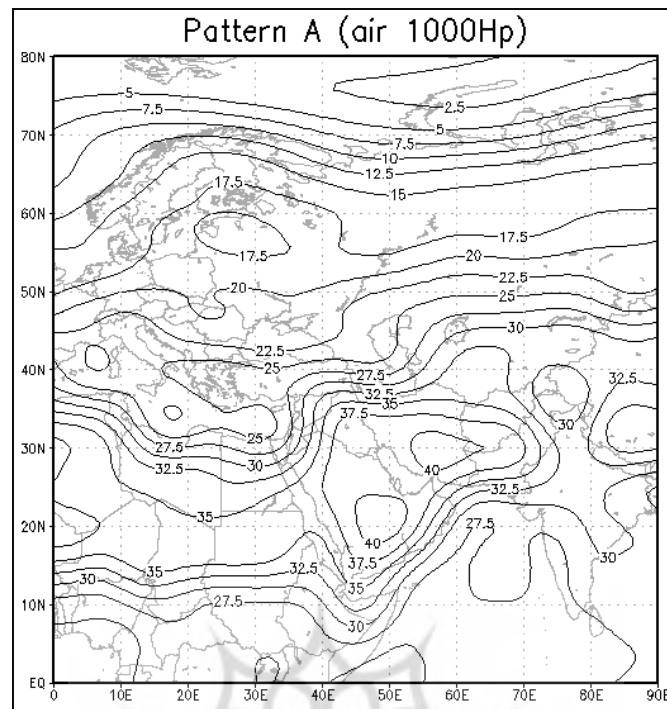
شکل ۶ نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگو الف



شکل ۹ نقشه امگا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو الف



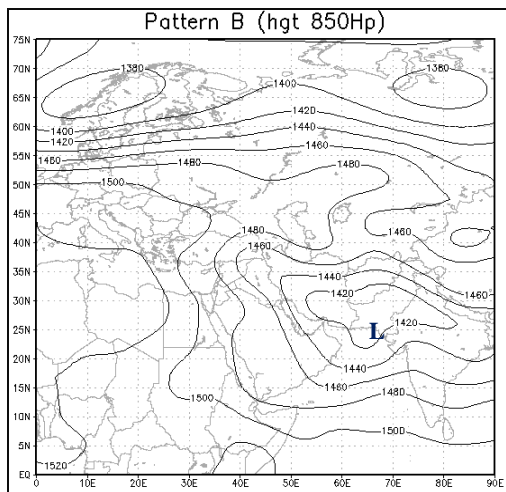
شکل ۸ نقشه الگو فشار سطح زمین الگو الف



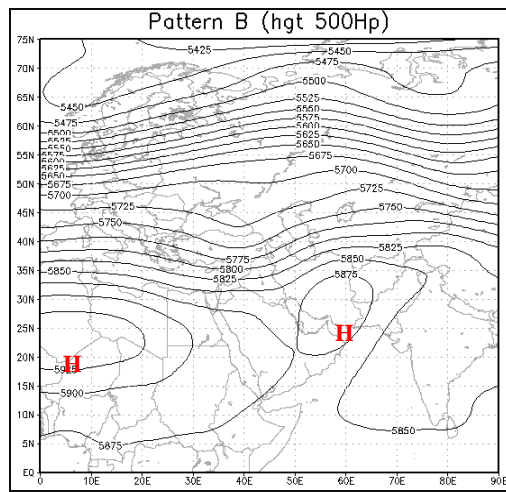
شکل ۱۰ نقشه الگو دمای سطح زمین به سانتی گراد برای الگو الف

الگوی ب:

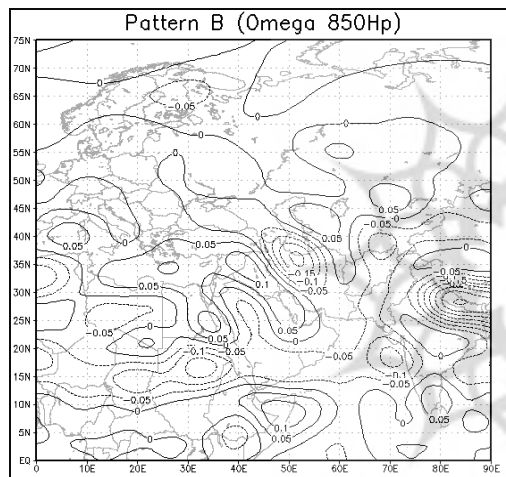
این الگو در بازه زمانی هشت جولای سال ۲۰۰۸ تا ۲۳ همین ماه است، که به مانند الگوی الف سامانه پراتفماعی با پربند بسته ۵۸۷۵ ژئوپتانسیل متر البته با هسته ارتفاعی کم تر در جنوب و جنوب خاوری ایران، همچنن سواحل جنوبی خلیج فارس را فرا گرفته و منطقه در قسمت راست پشته ارتفاعی در منطقه واگرایب بالایی قرار گرفته است (شکل ۱۱). در سطوح پایین تر هوا سپهر (۸۵۰ هکتوپاسکال) مرکز چرخندی با پربند بسته ۱۴۲۰ هکتوپاسکال بسته شده و زبانه باختری آن تا عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی و همچنان تا شمال باختری ایران و جنوب دریای عرب امتداد یافته است (شکل ۱۲). میانگین فشار تراز دریا مربوط به این الگو، مرکز کم فشار حرارتی با پربند هم فشار ۹۹۹ هکتوپاسکال در جنوب ایران بسته شده است که راستای خاوری - باختری تا خاور هند امتداد یافته است. در نتیجه در بیش تر قسمت های کشور فرارفت گرم از عرض های پایین در حال انجام است و جریانات غالب بروی منطقه مطالعاتی نیز این پدیده را نشان می دهد (شکل ۱۳). هسته گرمی با راستای جنوب خاوری - باختری تقریباً بیش تر نیمه جنوبی ایران را در بر گرفته است. هسته گرمی با منحنی همدمای ۳۷/۵ درجه سانتی گراد بسته شده است که با هسته گرم تر ۴۰ درجه سانتی گراد نیمه خاوری ایران را فرا گرفته است (شکل ۱۵). نقشه امگا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شرایط ایستا در منطقه که با حرکات پایین سو در جنوب و بالاسو در شمال منطقه مطالعاتی همراه می باشد (شکل ۱۴).



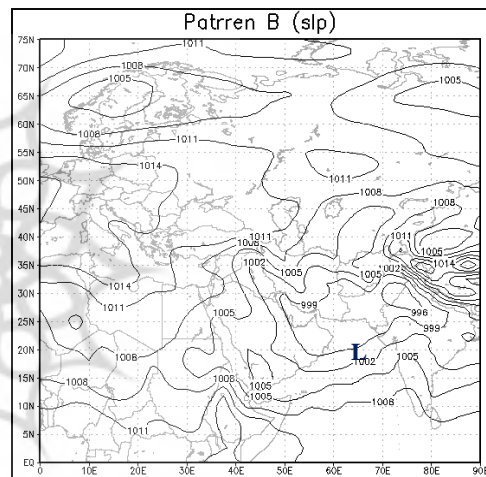
شکل ۱۲ نقشه فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو ب



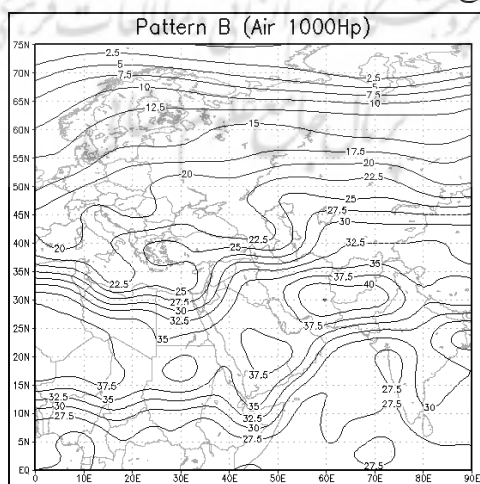
شکل ۱۱ نقشه فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگو ب



شکل ۱۴ نقشه امگا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو ب



شکل ۱۳ نقشه الگو فشار سطح زمین الگو ب

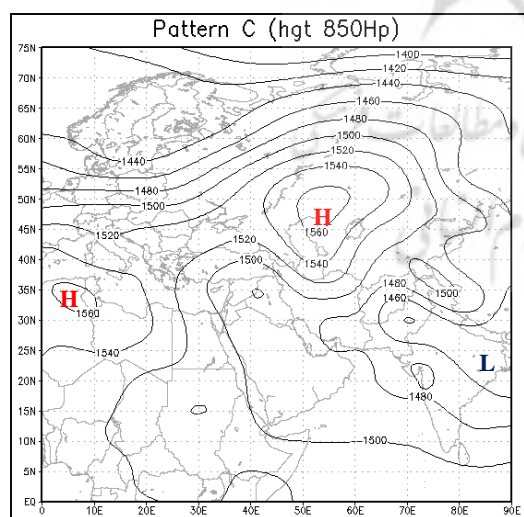


شکل ۱۵ نقشه الگو دمای سطح زمین به سانتی گراد برای الگو ب

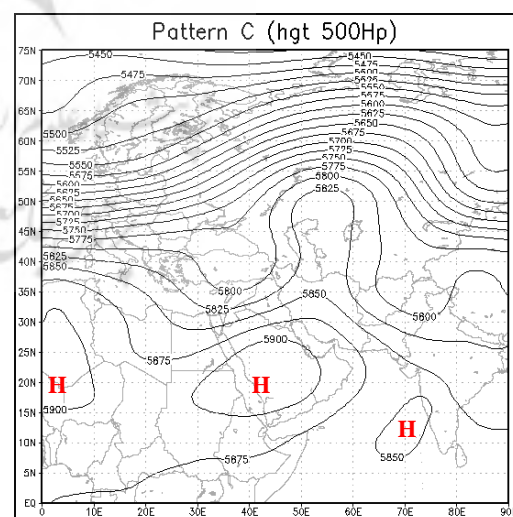
الگوی ج:

در این الگو آرایش فضایی متفاوتی در تراز پانصد هکتوپاسکال حکم فرماست، بدین صورت که فرازی ژرف در محدوده طول جغرافیایی ۵۰ تا ۶۰ درجه خاوری تا عرض ۵۵ درجه شمالی گسترش یافته و مرکز بسته پرارتفاعی با پربند بسته ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر از شمال سودان تا سواحل جنوبی خلیج فارس قرار دارد، که با حاکمیت جریان واپرخندی بر روی عربستان همراه است (شکل ۱۶). الگوی جوی حاکم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که مرکز سامانه چرخندی نسبت به الگوهای پیشین به سمت خاور جا به جا شده و بر روی شمال خاوری پاکستان مستقر است. در این الگو مرکز چرخندی با پربند ۱۴۶۰ بسته شده و زبانه باختری آن از سمت خاوری وارد ایران شده است. اما مرکز واپرخند قوی با پربند بسته ۱۵۶۰ ژئوپتانسیل متر در شمال دریای مازندران و میدان حرکتی آن کل ایران را در بر گرفته است (شکل ۱۷).

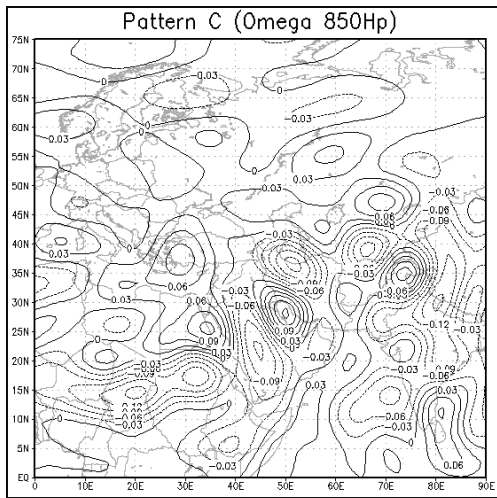
آرایش فضایی واپرخندی در این تراز در قوی‌ترین حالت خود در بین الگوهای همدیدی مورد مطالعه می‌باشد. افزایش فشار سطح زمین در این الگو نیز گواهِ وجود شرایط فشار زیاد در منطقه است که منحنی هم‌فشار ۱۰۰۶ هکتوپاسکالی با راستای جنوب خاوری شمال باختری منطقه را در بر گرفته است (شکل ۱۸). شرایط دمایی همانند الگوهای پیشین به پربند همدمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شرایط دمایی گرمی را در منطقه باعث شده است (شکل ۲۰). در نقشه امگا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال شاهد دو هسته‌های صعودی در شمال و جنوب خاوری و هسته نزولی یا حرکت پایین سو در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱۹).



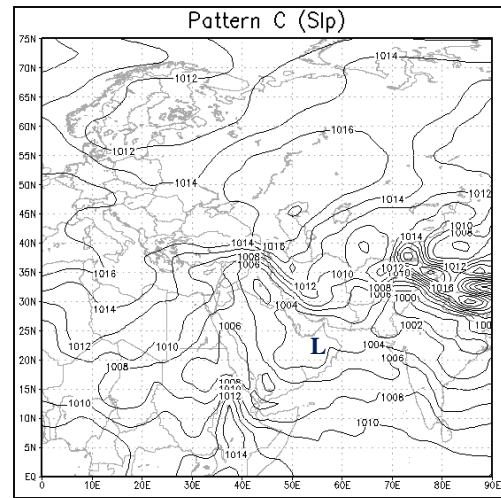
شکل ۱۷ نقشه الگوی فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو ج



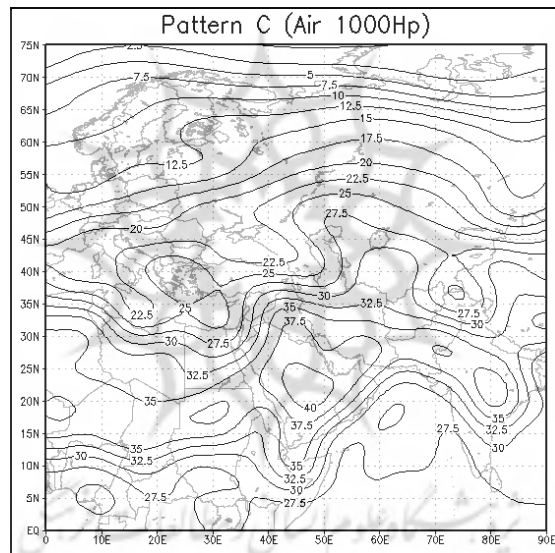
شکل ۱۶ نقشه فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگو ج



شکل ۱۹ نقشه امگا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو ج



شکل ۱۸ نقشه الگو فشار سطح زمین الگو ج

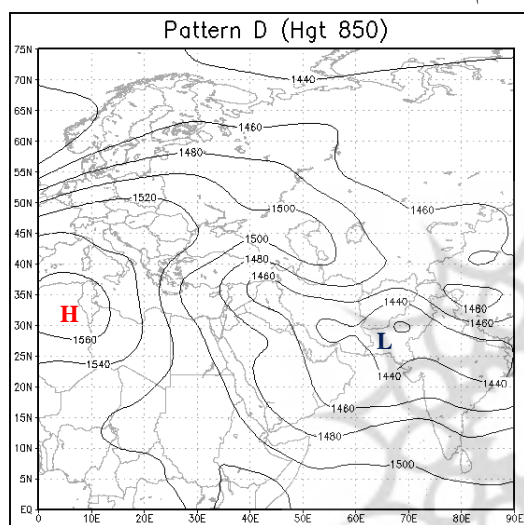


شکل ۲۰ نقشه الگو دمای سطح زمین به سانتی‌گراد الگو ج

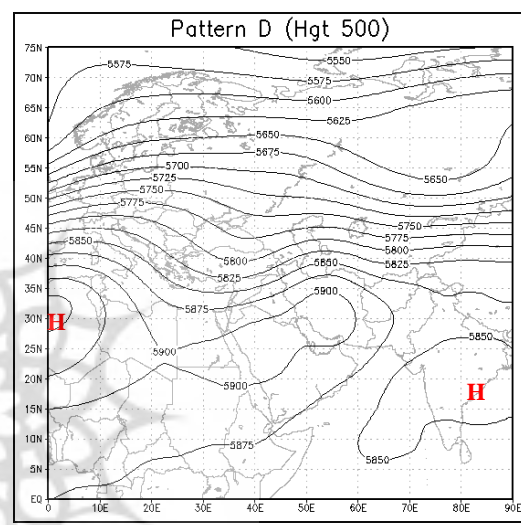
الگوی د:

با توجه به (شکل ۲۱) الگوی جوی حاکم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. در این تراز عامل غالب بر روی ایران امتداد یک پشته از عرض‌های جنوبی بر روی منطقه می‌شود. در این تراز مرکز و اچرخندی با پربند ۵۹۵۰ ژئوپتانسیل متر در باختر آفریقا بسته شده است که زبانه خاوری آن تا نیمه شمالی شبه جزیره عربستان امتداد یافته و سپس با امتداد جنوب باختری- شمال خاوری بر روی ایران گسترش یافته است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مرکز کم ارتفاعی با پربند ۱۴۴۰ ژئوپتانسیل متر بر روی پاکستان بسته شده و زبانه باختری این کم ارتفاع جنوب ایران را در بر گرفته است (شکل ۲۲). مرکز کم فشار حرارتی با منحنی هم

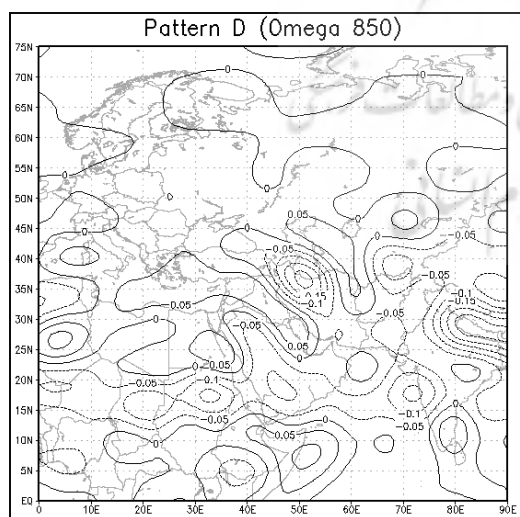
فشار ۹۹۶ هکتوپاسکال نیمه خاوری پاکستان بسته شده است که زبانه باختری این کم فشار در امتداد خلیج فارس وارد جنوب ایران شده و سپس با راستای جنوب خاوری- شمال باختری پس از گذر از باختر ایران تا خاور ترکیه امتداد یافته است؛ بر این اساس در جنوب ایران فرارفت گرم از عرض‌های پایین در حال انجام است (شکل ۲۳). با ملاحظه نقشه امگا، وجود یک کمربند صعودی در عرض‌های جغرافیایی ۱۰ تا ۲۰ درجه شمالی که در شبه جزیره عربستان تا ۳۰ درجه شمالی گسترش یافته و هسته نزولی در جنوب باختری ایران قابل مشاهده است (شکل ۲۵). در این الگو دو هسته گرم با پربند بسته ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مرکز شبه جزیره عربستان و خاور ایران شرایطی گرمی را در منطقه فراهم کرده است (شکل ۲۴).



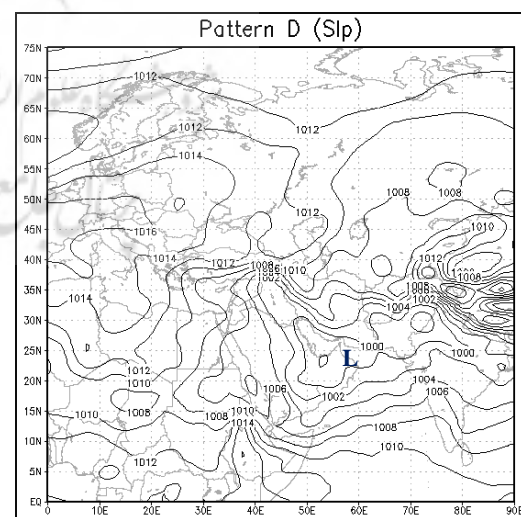
شکل ۲۲ نقشه الگوی فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو د



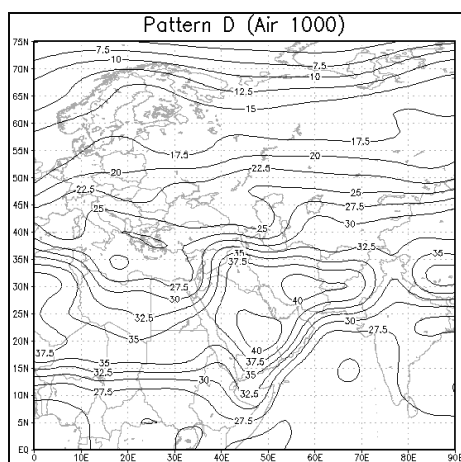
شکل ۲۱ نقشه فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگو د



شکل ۲۴ نقشه امگا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو د



شکل ۲۳ نقشه الگو فشار سطح زمین الگو د



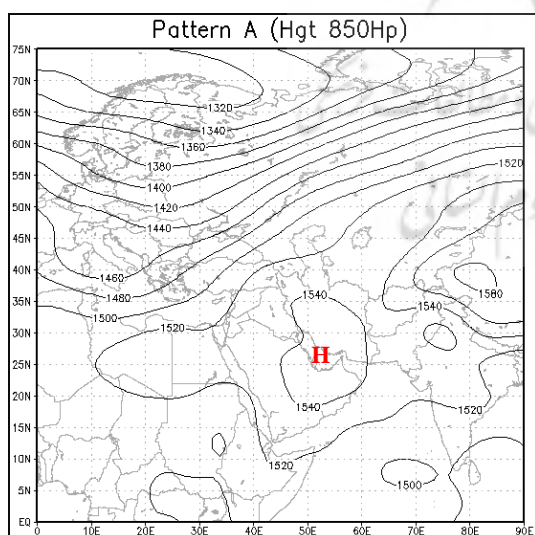
شکل ۲۵ نقشه الگو دمای سطح زمین به سانتی‌گراد برای الگو د

- الگوی زمستانه:

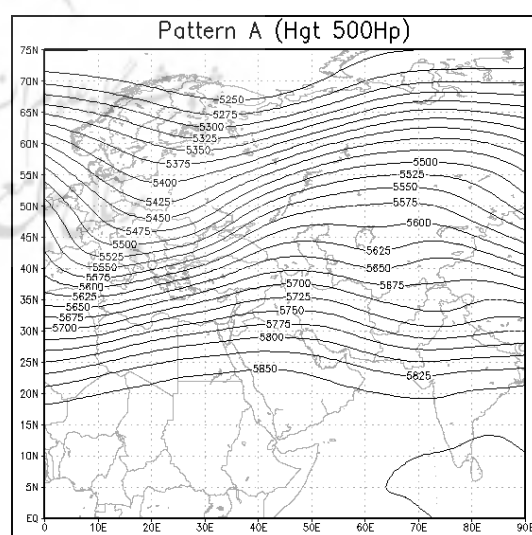
با بررسی داده‌های آلاینده منواکسید کربن یک الگوی زمستانی شناسایی و سپس به تحلیل این الگو پرداخته شد.

الگوی الف:

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جریانات بیشتر حالت مداری دارد، که نشان دهنده حاکمیت شرایط پایدار است که در این لایه با پشته ضعیفی همراه می‌باشد (شکل ۲۶). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز یک مرکز پراارتفاع با پربند بسته ۱۵۴۰ ژئوپتانسیل متر تقریباً تمام ایران را فرا گرفته است (شکل ۲۷). در تراز سطح دریا نیز زبانه مرکز پرفشار سیبری با پربند ۱۰۲۰ هکتوپاسکال تا جنوب ایران گسترده شده (شکل ۲۸)، با مشاهده نقشه امگا حاکمیت شرایط نزولی (حرکات پایین سو) در کل منطقه قابل ملاحظه است (شکل ۲۹).

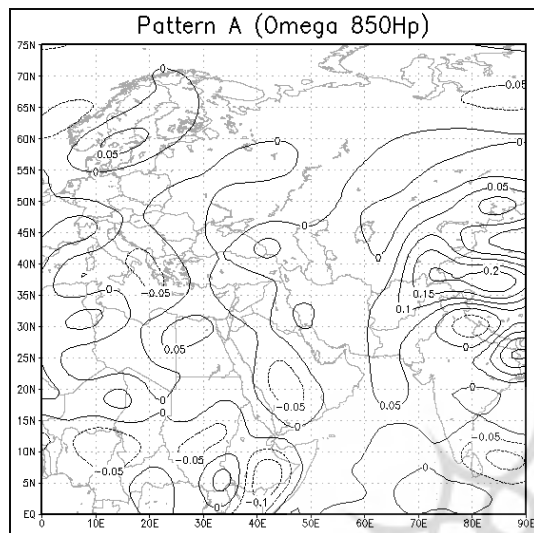


شکل ۲۷ نقشه فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو الف (زمستانه)

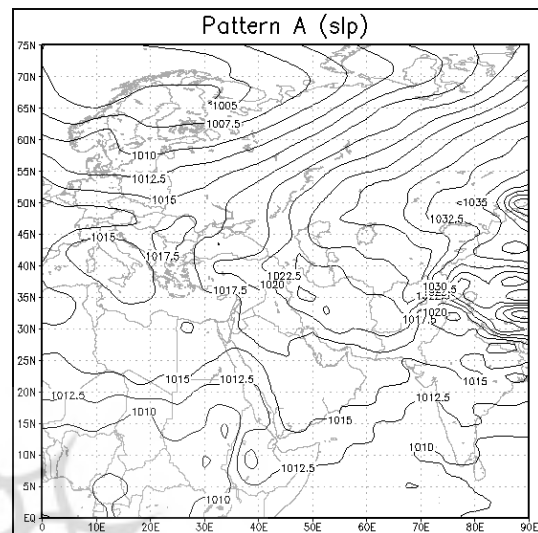


شکل ۲۶ نقشه فشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگو الف (زمستانه)

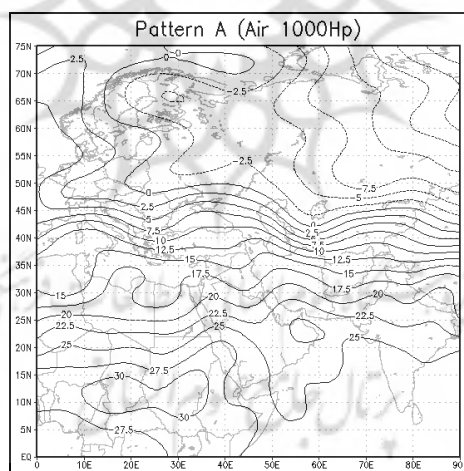
خطوط هم دما نیز به مانند خطوط هم ارتفاع با حالت مداری همراه است، تبعیت نقشه دمایی از توپوگرافی نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل نشان دهنده هواسپهری آرام و پایدار است، همچنین پربند ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد در منطقه عبور می‌کند (شکل ۳۰).



شکل ۲۹ نقشه امگا سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال الگو الف (زمستانه)



شکل ۲۸ نقشه الگو فشار زمین برای الگو الف (زمستانه)



شکل ۳۰ نقشه دمای سطح زمین به سانتی‌گراد الگو الف (زمستانه)

۵. نتیجه‌گیری

سامانه‌های همدید نقش تعیین کننده‌ای در قابلیت آلودگی هوا و تنظیم لایه مرزی ایفا می‌کنند؛ بر همین اساس بررسی نقش الگوهای همدید بر روزهای آلوده به ذرات معلق و منواکسید کربن در شهر شیراز مبنای پژوهش قرار گرفت. بدین منظور با توجه به شاخص استاندارد آلودگی P.S.I اعداد بالاتر از (PSI > ۱۰۰)

به عنوان روز آلوده در نظر گرفته شد. سپس از میان ۴۱۰ روز آلوده استخراج شده برای آلاینده ذرات معلق بر اساس تداوم و پیوستگی روزهای آلوده چهار الگوی تابستانه و ۱۵۲ روز آلوده به منواکسید کربن یک الگوی زمستانه شناسایی گردید. نتیجه بررسی تغییرات فصلی روزهای آلوده به ذرات معلق نشان داد که بیشینه رخداد این پدیده در فصل تابستان و کمینه آن در فصل زمستان است. اما پراکنش روزهای آلوده به منواکسید کربن به صورت نسبتاً یکنواختی در سه فصل پاییز، زمستان و تابستان به ثبت رسیده است.

در مطالعه نقشه‌های هم‌مید در طی دوره مطالعاتی در هر چهار الگو تابستانه وجود یک پشته ارتفاعی (واچرخندی) در تراز پانصد هکتوپاسکال قابل مشاهده است. موقعیت واچرخند در الگوی الف گسترده‌ای از دریای سرخ بالاتر از عرض جغرافیایی ۲۰ درجه شمالی تا مرکز ایران را شامل می‌شود. مرکز واچرخند در مرکز شبه جزیره عربستان قرار دارد؛ و در الگوی ب واچرخند با پربند بسته ۵۸۷۵ ژئوپتانسیل متر در جنوب خاوری ایران و جنوب سواحل دریای عمان قرار دارد. اما در الگوی ج وجود فرازی ژرف مشاهده می‌شود و موقعیت واچرخند شبه جزیره عربستان تا سواحل باختری دریای سرخ را در بر گرفته است.

در الگوی د مرکز واچرخندی با پربند بسته ۵۹۱۰ ژئوپتانسیل متر در عربستان در موقعیت پرفشار جنب حاره مستقر می‌باشد. به طور کلی تغییرات موقعیت واچرخند در تراز پانصد بین الگوهای هم‌مید در دوره گرم سه الگو در عربستان و تنها الگو ب در خاور ایران واقع می‌باشد. اما در دوره سرد با از بین رفتن این شرایط، آرایش الگوها کاملاً مداری شده و شرایط پایدار به همراه جو فشارورد^۱ در این تراز حاکمیت دارد. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شرایط چرخندی حاکم است. آرایش الگوهای فشاری در تراز دریا با حاکمیت شرایط کم‌فشار همراه است که پربند هم‌ماید ۴۰ درجه سانتی‌گراد گواهِ ماهیت حرارتی این سامانه می‌باشد. اما در الگو زمستانه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برخلاف الگوی تابستانه آرایش فضایی واچرخندی حاکمیت دارد، همچنین وجود زبانه سامانه پرفشار در سطح دریا نیز شاهد هماهنگی کامل استقرار یک سامانه پر ارتفاع در ترازهای بالایی هواسپهر و پرفشار در تراز دریا دارد. این عامل سبب می‌گردد در طی شرایط واچرخندی، در فصل سرد با کم عمق شدن لایه مرزی آلاینده‌ها در نزدیک سطح زمین محبوس و باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌گردد.

به طور کلی استقرار و تقویت پر ارتفاع جنب حاره در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و گردش چرخندی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به همراه حاکمیت کم‌فشار حرارتی در سطح زمین، آرایش هم‌مید الگوهای تابستانه (دوره گرم) را نشان می‌دهد؛ این شرایط در پژوهش‌های که در زمینه توفان‌های گرد و غباری (احمدی و شکوهی، ۱۳۹۰؛ عطایی و هاشمی‌نسب، ۱۳۹۰) انجام گرفته نیز مورد تاکید قرار گرفته است. اما در دوره سرد سال در

سطح زمین سامانه پرفشار و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک مرکز پر ارتفاع با گردش و اچرخندی مستقر می‌باشد؛ همچنین سرعت قائم جو مقادیر مثبت امگا (حرکات پایین سو) را برعکس دوره گرم نشان می‌دهد. که این امر سبب همگرایی سطوح بالا به همراه حرکات پایین سو شده، در نتیجه منجر به پایین آمدن سقف لایه مرزی و انباشت آلاینده‌ها در سطوح پایین جو می‌گردد. از سوی دیگر ریزش هوای سرد در سطح زمین با رخنه سامانه‌های پرفشار و رخداد پدیده وارونگی دمایی باعث عدم صعود هوا (حرکات بالا سو) و کاهش شناوری هوا در خلال استقرار سامانه‌های پر فشار در فصول سرد سال می‌گردد. که سرانجام منجر به تشدید پدیده آلودگی به ویژه در سطح کلان‌شهرها می‌گردد.

کتابنامه

- اسکانی کزازی، غلامحسین؛ لاله سیاه پیرانی، میترا؛ ۱۳۹۰. تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای شهر تهران، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، شماره ۴، صص ۱۳۵-۱۶۱.
- براتی، غلامرضا و همکاران؛ ۱۳۹۰. نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد توفان‌های غباری استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، صص ۳۹-۵۶.
- پرکینز، هنری؛ ۱۳۶۷. آلودگی هوا، مترجم منصور غیاث الدین، انتشارات دانشگاه تهران.
- حسین‌زاده، سیدرضا و همکاران؛ ۱۳۹۲. بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلانشهر مشهد، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال ۱۱، شماره ۲۱، صص ۸۱-۱۰۱.
- حسینی، احسان‌اله و همکاران؛ ۱۳۸۹. تحلیل و بررسی آماری داده‌های شاخص آلودگی هوای تهران از سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- خوش‌اخلاق، رحمان؛ حسن‌شاهی، مرتضی؛ ۱۳۸۱. تخمین خسارت وارده به ساکنین شیراز به دلیل آلودگی هوا سال ۱۳۸۱، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۶۱، صص ۵۳-۷۵.
- ذوالفقاری، حسن و همکاران؛ ۱۳۹۳. تحلیلی بر جنبه‌های سینوپتیکی - دینامیکی آلودگی هوا در کرمانشاه. جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۹، صص ۷۵-۹۶.
- ذوالفقاری، حسن و همکاران؛ ۱۳۹۰. بررسی همدید توفان‌های گرد و غبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی: موج فراگیر تیر ماه ۱۳۸۸)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۱۷-۳۴.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ عزیزی، قاسم؛ ۱۳۹۱. مطالعه الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گرد و غبار و مسیر حرکت ذرات معلق برای طوفان جولای ۲۰۰۹، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۳ (پیاپی ۸۱)، صص ۷۳-۹۲.

- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس و محمدیان محمدی، لیلا؛ ۱۳۸۹. مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظت‌های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران، پژوهش‌های جغرافیا طبیعی، شماره ۷۲، صص ۱۱-۲۷.
- رنگزن، کاظم و همکاران؛ ۱۳۹۰. تهیه نقشه LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نمونه موردی "شهر اهواز"، همایش ملی ژئوماتیک.
- روشن، غلام‌رضا و همکاران؛ ۱۳۸۸. تأثیر آلودگی هوا بر نوسانات اقلیمی شهر تهران، علوم محیطی، سال هفتم، شماره اول، صص ۱۷۳-۱۹۱.
- سازمان حفاظت محیط زیست استان فارس.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر و طاهر صفراد؛ ۱۳۹۱. تحلیل ماهواره‌ای ° همدیدی پدیده‌ی گرد و غبار (گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، صص ۱۱۱-۱۲۶.
- صفوی، یحیی و بهلول علیجانی؛ ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸، صص ۹۹-۱۱۲.
- عطایی، هوشمند، هاشمی‌نسب، سادات؛ ۱۳۹۰. شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو موثر در آلودگی هوای شهر اصفهان، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، شماره ۴، صص ۹۷-۱۱۲.
- فتاحی، ابراهیم و هما قناد؛ ۱۳۹۰. تحلیل الگوهای سینوپتیکی توفان‌های گرد و خاک در منطقه جنوب غرب ایران، فصلنامه جغرافیا، سال ۴، شماره ۱۲، صص ۴۹-۶۲.
- فرج‌زاده اصل، منوچهر و خاطره علیزاده؛ ۱۳۸۹. تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های گرد و خاک در ایران، مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره ۱، صص ۶۵-۸۴.
- فلاح قاهری، غلام عباس؛ ۱۳۹۰. اصول و مبانی هواشناسی، چاپ اول، انتشارات پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد.
- قسامی، طاهره و اکبری، علی و بیدختی، عباسعلی و صداقت کردار، عبدالله و صحراپیان، فاطمه؛ ۱۳۸۶. بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۳، صص ۲۲۹-۲۳۸.
- قنبری، حسین علی، عزیزی، قاسم؛ ۱۳۸۸. شبیه‌سازی عددی رفتار آلودگی هوای تهران بر اساس الگوی باد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۸، صص ۱۵-۳۲.
- کریمی احمدآباد، مصطفی و کامیار، شکوهی رازی؛ ۱۳۹۰. اندرکنش گردش جو و پوشش سطح زمین در سازوکار تشکیل و گسترش توفان‌های گرد و غبار تابستانه‌ی خاورمیانه (توفان گرد و غبار تیرماه ۸۸)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صص ۱۱۳-۱۳۰.

لشکری، حسن و قاسم کیخسروی؛ ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۱۹۹۳-۲۰۰۵)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۱۷-۳۳.

یارنال، برنت؛ ۱۳۸۵. اقلیم شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، مترجم ابوالفضل مسعودیان انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.

- Adame, J. A., Hernandez-Ceballos, M. A., Bolívar, J. P., & De la Morena, B. (2012). Assessment of an air pollution event in the southwestern Iberian Peninsula. *Atmospheric Environment*, 55, 245-256.
- Gao, H., Chen, J., Wang, B., Tan, S. C., Lee, C. M., Yao, Xi, Yan, H., & Shi, J. (2011). A study of air pollution of city clusters. *Atmospheric Environment*, 45, 3069-3077.
- Hadad, K., Mehdizadeh, S., & Sohrabpour, M. (2003). Impact of different pollutant sources on Shiraz air pollution using SPM elemental analysis. *Environment International*, 29(1), 39-43.
- <http://www.cdc.noaa.gov>(NCEP / NCAR)
- Kalkstein, L.S., & Valimont, K.M. (1987). Climate effects on human health. *EPA Science and Advisory Committee Monograph no, 2538*, 122-152.
- Khedairia, S., & Khadir, M. T. (2012). Impact of clustered meteorological parameters on air pollutants concentrations in the region of Annaba, Algeria. *Atmospheric Research*, 113, 89-101.
- Rainham, D. G., Smoyer-Tomic, K. E., Sheridan, S. C., & Burnett, R. T. (2005). Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality. *International Journal of Environmental Health Research*, 15(5), 347-360.
- USEPA, (1999). Air quality index: A guide to air quality and your health, Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Yarnal, B. (2006). *Synoptic climatology in environmental studies*. Isfahan: University of Isfahan Publications.