

## مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظت‌های مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران

عباس رنجبر سعادت‌آبادی\* - استادیار سازمان هواشناسی کشور  
میلا محمدیان محمدی - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۸/۲۶ تأیید نهایی: ۱۳۸۹/۳/۱۸

### چکیده

تهران یکی از شهرهای آلوده جهان است. تردد بسیار زیاد خودرو در کلان‌شهر تهران، همراه با وجود کارخانجات متعدد و موقعیت خاص جغرافیایی آن، سبب شده است که آلودگی هوا از چالش‌های جدی زیست‌محیطی و شهرنشینی در تهران محسوب شود. مهم‌ترین آلاینده گازی شکل در تهران، گاز خطرناک منواکسید کربن (CO) است. در این مقاله، ابتدا غلظت آلاینده گاز CO طی دوره آماری ۲۰۰۶-۲۰۱۱، برای ماه‌های تابستان و پاییز به پنج گروه مختلف طبقه‌بندی شد. سپس با استفاده از داده‌های روزانه تحلیل مجدد مرکز محیطی (NCEP) در ساعت 00UTC و به صورت روزانه برای شش ماه از سال، میدان‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ میلی‌باری در نقاط شبکه‌ای برای هر گروه تهیه گردید. آن‌گاه نقشه‌های میانگین هر یک از پنج گروه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی این الگوها نشان دادند که میانگین الگوهای همدیدی در زمانی که شاخص استاندارد آلودگی هوای تهران در شرایط پاک و سالم است، تفاوت عمده‌ای با شرایط ناسالم و بسیار ناسالم دارد. استقرار سامانه پرفشار بر روی خزر، عبور ناو‌ها و یا استقرار جریان‌های مداری تراز میانی جو سبب کاهش آلاینده‌های هوای تهران می‌گردد، در حالی که استقرار کم‌فشار حرارتی در بخش‌های جنوب شرقی دریای خزر و زبانه پرفشار در جنوب رشته کوه البرز همراه با تقویت پشته ارتفاعی تراز میانی جو شرایط لازم را برای افزایش پتانسیل آلودگی هوای تهران فراهم می‌آورد. این شرایط برای الگوهای تابستانی و پاییزی در حالت کلی مشابه است، هر چند که الگوهای همدیدی روی ایران در تابستان و پاییز تفاوت‌های اساسی دارند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، میانگین الگوهای هواشناسی همدیدی، غلظت آلاینده CO، تهران.

### مقدمه

افزایش رشد جمعیت همراه با پیشرفت روزافزون صنعتی شدن، مشکلات زیادی را از لحاظ آلودگی هوا برای ساکنان کلان‌شهرها به وجود آورده است. غلظت آلاینده‌های هوای تهران گاه به قدری زیاد است که کارشناسان به مردم و به‌ویژه

\* E-mail: aranjbar@gmail.com

سالمندان و کودکان و بیماران توصیه می‌کنند که از رفت‌وآمد در محدوده شهر خودداری ورزند. تردد وسایل نقلیه بسیار زیاد، ترافیک‌های سنگین، مصرف زیاد انرژی، وضعیت توپوگرافی و جغرافیایی خاص و فراوانی سامانه‌های پایدار جوئی موجب شده است که این شهر در ردیف آلوده‌ترین شهرهای جهان قرار گیرد. 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. مطالعات بسیاری در خصوص نقش شرایط هواشناختی و الگوهای همدیدی با آلودگی هوا در مکان‌های مختلف انجام شده است، که می‌توان به عنوان نمونه به موارد زیر اشاره کرد.

ماکرا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۷، ۱۳) رابطه میان الگوهای جوی بزرگ مقیاس و سطوح آلودگی هوا را در پچلی<sup>۲</sup> بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت آلاینده‌ها در زمان استقرار سامانه‌های واچرخندی همراه با پرارتفاع تراز میانی جو رخ می‌دهد و این شرایط بیشتر در فصل زمستان مؤثر است. اما کاهش غلظت آلاینده‌ها، علاوه بر زمان فعالیت سامانه‌های چرخندی، به هنگام استقرار پرارتفاع تراز میانی جو نیز می‌تواند رخ دهد.

کیم اون<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵، ۱۴) الگوهای هواشناسی را برای پیش‌بینی پتانسیل آلودگی هوا در منطقه‌ای کوهستانی و دره‌ای شکل از تایوان طبقه‌بندی کردند و نشان دادند که این روش کاربرد مناسبی در پیش‌بینی شرایط آلوده دارد. مک‌گریگور و بامزلیس<sup>۴</sup> (۱۹۹۵، ۱۱) ضمن بررسی برخی از متغیرهای هواشناسی از جمله رطوبت، ابرناکی، دید، سرعت باد و تابش مربوط به سطح زمین، استقرار الگوهای واچرخندی را به عنوان مهم‌ترین عامل مرتبط با افزایش آلودگی هوا تشخیص دادند.

کریستین و برایسون<sup>۵</sup> (۱۹۶۶، ۲) رابطه الگوهای همدیدی را با آلودگی هوا براساس روش طبقه‌بندی آماری چندمتغیره که مبتنی بر ترکیبی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش همبستگی لاند (۱۹۶۳، ۶) بود، مورد بررسی قرار دادند و با به کار بردن ترکیبی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، الگوهای همدیدی مرتبط با آلودگی هوا را تعیین کردند.

اسکات و دایب<sup>۶</sup> (۲۰۰۰، ۸)، دیویس و کالشتاین<sup>۷</sup> (۱۹۹۰b، ۳) کالوس<sup>۸</sup> و همکاران (۱۹۹۳، ۲)، کالکشتاین و کاریگان<sup>۹</sup> (۱۹۸۶، ۶) سیندوسی<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۳، ۲). کاسوموس<sup>۱۱</sup> و همکاران (۱۹۹۸، ۹) روش‌های طبقه‌بندی

1. Makra
2. Peczely
3. Kim Oanh
4. McGregor and Bamzeli
5. Christiansen and Bryson
6. Scott and Diab
7. Davis and Kalkstein
8. Kallos
9. Kalkstein and Corrigan
10. Sindosi
11. Kassomenos

الگوهای همدیدی را مطالعه کردند و به بررسی و اهمیت استفاده از آن در زمینه‌های مختلف از جمله ارتباط الگوهای همدیدی و توده‌های هوا با آلودگی هوا پرداختند. همچنین صفوی و علیجانی (۱۳۸۵، ۸) نقش عوامل جغرافیایی را در آلودگی هوای تهران مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران بسیار مؤثرند و استقرار سامانه‌های پرفشار در فصل زمستان دلالت بر شرایط مناسب برای پایداری هوا دارد. علیجانی (۲۰۰۴، ۵) رابطه بین تغییرات فشار ایستگاه هواشناسی مهرآباد و بعضی از آلاینده‌های هوا در ایستگاه ویلا را بررسی کرده و نتیجه گرفته است که بین روند تغییرات CO و فشار همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین با استفاده از داده‌های تحلیل مجدد مرکز<sup>۱</sup> NCEP-NCAR الگوهای جوی روزهای آلوده را به شش تیپ هوایی - بدین شرح: واچرخند شمالی، واچرخند سیبری، واچرخند غربی، کم‌فشار خراسان، و تیپ مداری- طبقه‌بندی کرد و نتیجه گرفت که بیشتر تیپ‌ها در پاییز فراوان‌تر بودند و توالی‌های آلوده طولانی‌مدت به‌وسیله تیپ مداری تولید شده‌اند و توالی کوتاه‌مدت را الگوی کم‌فشار خراسان تولید کرده است.

هدف از این مطالعه، تعیین میانگین الگوهای فشاری در فصول تابستان و پاییز است که براساس غلظت گاز منواکسید کربن و طبقه‌بندی آن با توجه به شاخص استاندارد آلودگی هوای تهران انجام می‌شود. از آنجا که نقش الگوهای همدیدی در کنترل آلودگی هوا بسیار بااهمیت است، تعیین و شناسایی الگوهای همدیدی مختلف که در افزایش و یا کاهش پتانسیل آلودگی هوا نقش دارند، گام مؤثری است در خصوص صدور بهنگام پیش‌آگاهی‌های لازم برای تصمیم‌گیری و اقدام مناسب برای کنترل زیست‌محیطی این پدیده و حفظ سلامتی جمعیت بسیار زیاد ساکن در کلان‌شهر تهران اشاره کرد.

## مواد و روش‌ها

آمار مربوط به شاخص استاندارد آلودگی هوا<sup>۲</sup> (PSI) تهران طی دوره‌ای که دیدبانی و پایش آلاینده‌ها انجام شد، بیانگر رخداد روزهای ناسالم زیاد در تهران است. این آمارها را که از سال ۱۹۹۹ تاکنون موجود بوده است، شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران به‌صورت روزانه تهیه می‌کند. بررسی‌های اولی نشان می‌دهند که طی دوره ۹ ساله (۲۰۰۷-۱۹۹۹)، حدود ۸۸۳ روز شاخص کیفیت هوای تهران در وضعیت ناسالم و بسیار ناسالم قرار داشته است (جدول ۱)، به‌طوری که حدود ۶۴۷ روز آن در ماه‌های ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ بوده است (جدول ۲).

جدول ۲ نشان می‌دهد که تعداد روزهای ناسالم در ماه‌های شهریور و مهر بیشینه بوده که برای بررسی، به مطالعه میانگین ماهانه الگوهای مدیدی نیاز است. اما در این مطالعه تلاش شده است تا میانگین فصلی الگوهای همدیدی در تابستان و پاییز بررسی شود. برای این منظور با توجه به کامل‌تر بودن داده‌ها، شش ماه تابستان و پاییز در دوره ۶ ساله (۲۰۰۱-۲۰۰۶) انتخاب شده است.

1. National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric

2. Pollutant Standard Index

جدول ۲. تعداد روزهای نا سالم تهران در ماه‌های تابستان و پاییز

تعداد روزهای نا سالم در ماه						
سال	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
۱۳۷۸	۱۴	۳	۱۵	۱۴	۷	۷
۱۳۷۹	۱۸	۱۰	۱۱	۱۳	۱۲	۴
۱۳۸۰	*	*	۱۳	۲۴	۱۹	۸
۱۳۸۱	۱۹	۲۱	۲۸	۲۶	۲۰	۱۰
۱۳۸۲	۲۴	۱۹	۲۹	۲۰	۱۶	۱۱
۱۳۸۳	۲	۱۸	۱۵	۱۹	۱۵	۶
۱۳۸۴	۸	۷	۱۶	۲۰	۶	۲۲
۱۳۸۵	۴	۹	۲۰	۹	۸	۴
۱۳۸۶	۰	۰	۲	۰	۲	۰
جمع	۸۹	۸۷	۱۴۹	۱۴۵	۱۰۵	۷۲

\* در این ماه‌ها داده موجود نبوده است.

جدول ۱. شاخص استاندارد آلودگی هوای تهران بر اساس شرایط پاک، سالم، ناسالم و بسیار سالم

کیفیت هوا در سال (PSI)				
سال	پاک	سالم	ناسالم	بسیار ناسالم
۱۳۷۸	۵	۲۷۵	۸۴	۱
۱۳۷۹	۱	۲۵۷	۱۰۶	۱
۱۳۸۰	۴	۱۱۴	۹۰	۲
۱۳۸۱	۸	۱۸۷	۱۶۹	۱
۱۳۸۲	۱۱	۱۹۱	۱۶۱	۲
۱۳۸۳	۲۰	۲۵۸	۸۸	۰
۱۳۸۴	۲۳	۲۵۳	۸۹	۰
۱۳۸۵	۳۶	۲۵۴	۷۵	۰
۱۳۸۶	۲۳	۳۲۰	۱۴	۰
جمع	۱۳۱	۲۱۰۹	۸۷۶	۷

میانگین الگوهای همدیدی ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر به عنوان الگوهای تابستانی و میانگین الگوهای همدیدی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر به عنوان الگوهای پاییزی بررسی می‌شوند. برای این منظور ابتدا داده‌های مربوط به PSI از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران تهیه شد؛ و برای تهیه نقشه‌های همدیدی، داده‌های مربوط به ساعت<sup>۱</sup> 00UTC به صورت روزانه از مرکز تحلیل مجدد NCEP پیاده‌سازی گردید. برای تعیین الگوهای همدیدی حاکم بر منطقه مورد مطالعه، براساس محدوده تغییرات میانگین ۸ ساعته غلظت آلاینده CO کل ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، پنج گروه طبق جدول ۳ در نظر گرفته شد. گروه‌های ۱ و ۲ این طبقه‌بندی براساس طبقه‌بندی‌های ارائه شده اداره حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> (USEPA) است. با توجه به اینکه هدف اصلی این مطالعه شناسایی میانگین الگوهای فشاری است که سبب افزایش پتانسیل آلودگی هوای تهران و ایجاد شرایط ناسالم با شدت‌های متفاوت می‌شود، و از طرفی دیگر حالت ناسالم نیز گستره وسیعی از تغییرات غلظت CO ( $CO < 200$ ) را در بر می‌گیرد، بنابراین برای تمایز بین الگوهای همدیدی که سبب شدت‌های متفاوتی از حالت ناسالم شده، لازم است که طبقه‌بندی گستره تغییرات غلظت در بازه‌های کوچک‌تری در نظر گرفته شوند. برای این منظور در مطالعه حاضر حالت ناسالم به صورت گروه‌های ۳، ۴ و ۵ جدول ۳ فرض شده است. آن‌گاه میانگین داده‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکالی برای هر نقطه شبکه برای هر یک از پنج گروه مذکور محاسبه شد و سپس نقشه‌های مربوط به میدان‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکالی ترسیم و آنالیز گردید. برای مشخص شدن گرادین‌های فشاری و کنوری نواحی مختلف، خطوط هم‌فشار به فاصله ۱ mb و خطوط کنوری به فاصله ۱۰ ژئوپتانسیل متر (gpm) در نظر گرفته شده است.

1. Universal Time Coordinate

2. United States Environmental Protection Agency

جدول ۳. گروه‌بندی غلظت‌های آلاینده CO که میانگین الگوی همدیدی برای هر یک از آنها تعیین می‌شود

گروه	میزان غلظت آلاینده، بر حسب ذره در میلیون	وضعیت هوا
۱	$CO \leq 50$	پاک
۲	$51 < CO \leq 100$	سالم
۳	$101 < CO \leq 140$	ناسالم
۴	$141 < CO \leq 180$	بسیار ناسالم
۵	$181 < CO$	خطرناک

### یافته‌های تحقیق

برهم‌کنش حرکات بزرگ‌مقیاس جو با حرکات کوچک‌مقیاس محلی همواره رخ می‌دهد. شرایط جوی بزرگ‌مقیاس (همدیدی) نقش کنترل‌کننده‌ای بر شرایط محلی و منطقه‌ای دارند. برای مثال، به‌هنگام فعالیت سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی، جریان‌ها و پدیده‌های محلی (مانند بادهای کوه به دشت، آلودگی هوا و نظایر اینها) حذف و یا بسیار ضعیف شده و در زمان استقرار سامانه‌های پرفشار، شرایط مناسبی برای وقوع این پدیده‌ها مهیا می‌گردد. شدت و دوره رخداد این پدیده‌ها به عوامل متعددی از جمله عوارض زمینی، شرایط جغرافیایی و الگوهای همدیدی حاکم بستگی دارد (لندزبرگ، ۱۹۸۰، ۱۲). بنابراین آلودگی هوا از جمله غلظت آلاینده CO، به‌شدت تحت تأثیر الگوهای فشاری بزرگ‌مقیاس قرار می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه اغلب تحت تأثیر الگوهای همدیدی عرض‌های میانی قرار دارد. مهم‌ترین سامانه‌های حرارتی فصلی که بخش‌های عظیمی از کشور ایران را متأثر می‌سازد، عبارت است از پرفشار سیبری و کم‌فشار گرمایی تابستانه. در طول فصل سرد سال، پرفشار سیبری تقویت می‌گردد و گسترده می‌شود و به تناوب مناطق وسیعی از ایران از جمله تهران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در طول فصل گرم، کم‌فشار حرارتی از سمت شبه قاره هند و پاکستان ابتدا نواحی جنوب شرق و جنوب کشور و سپس گستره وسیعی از ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در فصل گرم به‌دلیل طولانی بودن روزها و دریافت انرژی تابشی بیشتر، عمق لایه آمیختگی نسبت به فصل سرد بیشتر است و به‌دلیل موقعیت جغرافیایی در بیشتر روزها منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر پرارتفاع جنب حاره‌ای قرار دارد. در فصل پاییز به‌دلیل طولانی بودن شب و وقوع وارونگی‌های شدید دمایی، در شب نسبت به تابستان عموماً شرایط برای وقوع آلودگی‌های شدید و پایداری ایستایی جو مناسب‌تر است. در بخش بعدی میانگین الگوهای فشاری تابستانی و پاییزی برای هر یک از گروه‌ها بررسی می‌شوند.

### بررسی الگوهای تابستانی

**الف) الگوی ۱ تابستانی ( $CO < 50 \text{ ppm}$ ):** میانگین فشار تراز دریا مربوط به این الگو در شکل ۱a نشان داده شده است. سامانه پرفشاری در شمال دریای خزر مستقر شده که با گسترش پرفشار آزرورز به سمت شرق، بخش‌های وسیعی از اروپا و روسیه تحت تأثیر این سامانه‌های پرفشار قرار گرفته است (نقشه a در شکل ۱). زبانه‌ای از سامانه پرفشار روی روسیه، به‌سمت دریای خزر و بخش‌های جنوبی البرز گسترش یافته که سبب ایجاد گرادیان فشاری مناسب در روی خزر

و به‌ویژه نواحی جنوب غربی آن شده است. سامانه کم‌فشار حرارتی فصلی در روی بخش‌هایی از هند، پاکستان، دریای عمان، خلیج فارس و عراق واقع شده است که با پرارتفاع جنب حاره‌ای تراز ۵۰۰ میلی‌باری همراهی می‌شود. در جنوب شرق دریاچه آرال نیز سامانه کم‌فشاری مستقر است که زبانه آن به سمت شمال شرق امتداد یافته و با ناوه کم‌ارتفاع تراز میانی جو همراه شده است. برای بررسی تغییرات فشاری به هنگام نفوذ الگوهای فشاری مختلف، خط هم‌فشار ۱۰۱۲ میلی‌باری به عنوان معیار فرضی در نظر گرفته شده است. برای الگوی اول تابستانی، خط هم‌فشار ۱۰۱۲ میلی‌باری از روی دریای خزر و دریاچه آرال می‌گذرد. در تراز میانی جو (۵۰۰ میلی‌باری) پرارتفاع جنب حاره‌ای بر روی بخش‌هایی از نواحی جنوبی کشور حاکم است و محور این پشته تقریباً به صورت افقی از جنوب کشور به سمت پاکستان و هند کشیده شده است (نقشه b در شکل ۱). ناوه واقع در روی مدیترانه و همچنین ناوه‌های ضعیفی که از شمال دریای خزر عبور می‌کنند، احتمالاً از عوامل مؤثری هستند که اجازه نفوذ پرارتفاع جنب حاره‌ای را به عرض‌های شمالی نداده است. برای الگوی اول تابستانی، محور پشته ارتفاعی در عرض‌های جغرافیایی ۲۱ تا ۲۸ درجه شمالی قرار دارد. با توجه به اینکه پشته پرارتفاع جنب حاره‌ای گسترش زیادی به عرض‌های بالاتر نیافته است، تهران تحت تأثیر جریان‌های تقریباً مداری با گرادیان نسبتاً زیادی واقع شده است.

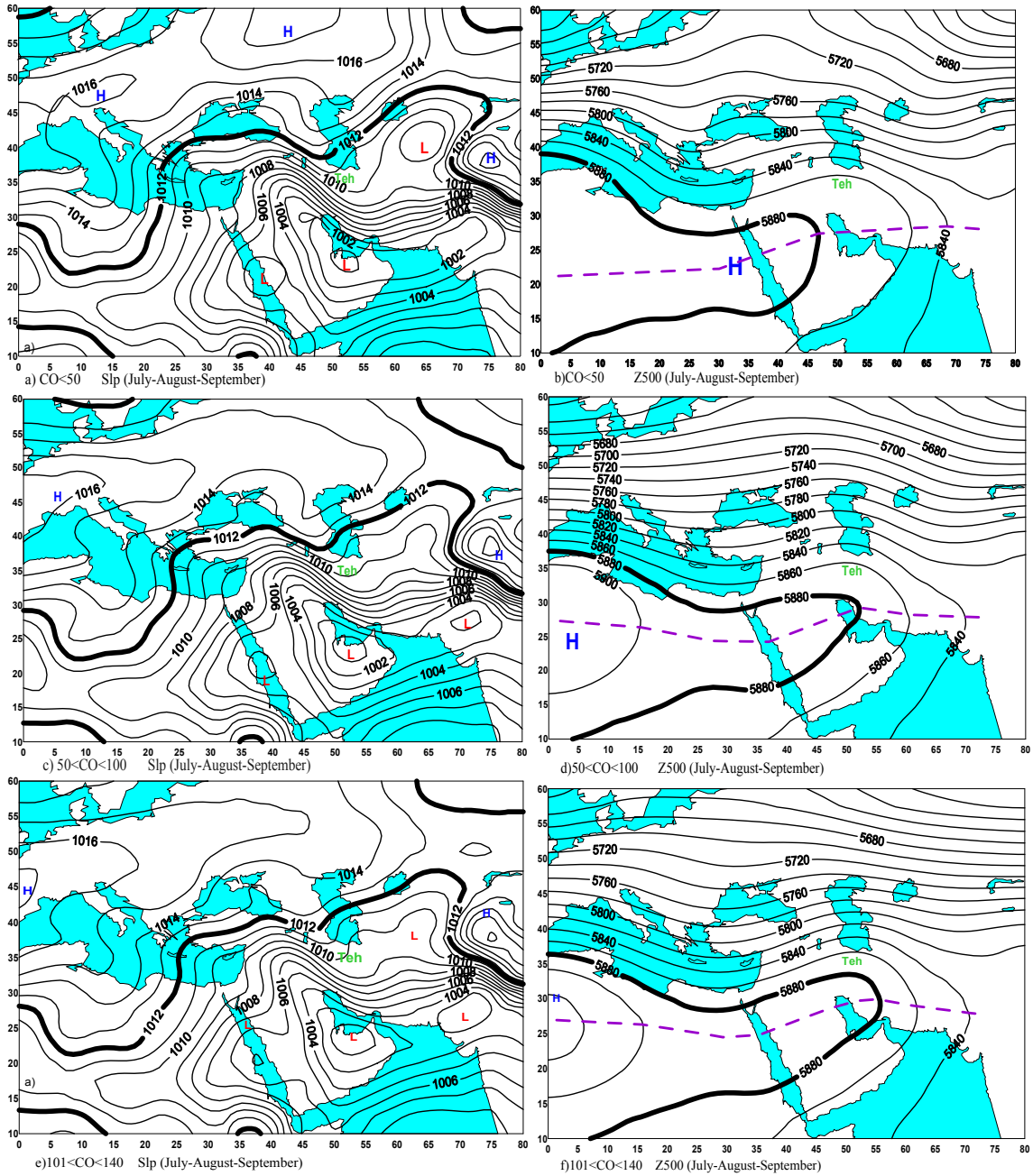
**ب) الگوی ۲ تابستانی ( $51\text{ppm} < \text{CO}, 100\text{ppm}$ ):** میانگین فشار تراز دریا مربوط به این الگو در شکل ۱c نشان داده شده است. با گسترش پرفشار آرزوز به سمت شرق، کمربند پرفشاری در عرض‌های جغرافیایی حدود ۴۵ درجه شمالی شکل گرفته است. مرکز پرفشاری که در الگوی ۱ تابستانی در روی روسیه قرار داشت، در این الگو مشاهده نمی‌شود. بخش زیادی از گرادیان فشاری نسبتاً زیادی در نواحی مرکزی و جنوب غربی دریای خزر ایجاد شده است. مناطق جنوب شرق و نوار جنوبی کشور تحت تأثیر سامانه کم‌فشار حرارتی فصلی اند و زبانه‌های کم‌فشاری در روی ترکمنستان، جنوب شرق دریای خزر و روی عراق (از جنوب غرب ایران تا جنوب ترکیه) مشاهده می‌شوند و زبانه کم‌فشار واقع در جنوب شرق خزر، ضعیف‌تر از دو زبانه دیگر است. تفاوت اصلی این الگو با الگوی قبلی ( $\text{CO} < 50$ )، تضعیف سامانه پرفشار بر روی روسیه و دریای خزر و شکل‌گیری زبانه کم‌فشار در نواحی جنوب شرقی دریای خزر است، به طوری که خط هم‌فشار ۱۰۱۲ میلی‌باری در این الگو کمی بالاتر آمده و گرادیان فشاری در شمال خزر ضعیف‌تر شده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری (نقشه d در شکل ۱)، پربند ۵۸۸۰ متری در مقایسه الگوی قبلی به عرض‌های بالاتر آمده و پشته پرارتفاع جنب حاره‌ای نیز از سمت جنوب غرب گسترش بیشتری به مناطق مرکزی ایران داشته است. همچنین پشته ارتفاعی ضعیفی بر روی خزر مشاهده می‌شود. ناوه واقع در روی مدیترانه نسبت به حالت قبل ضعیف شده و سامانه کم‌ارتفاع از روی ترکمنستان عبور کرده است. محور پرارتفاع جنب حاره‌ای در حدود عرض‌های جغرافیایی ۲۴ تا ۲۸ درجه شمالی واقع شده است و روی منطقه تهران کم و بیش گرادیان کنتوری نسبتاً زیاد حاکم است.

**ج) الگوی ۳ تابستانی ( $101\text{ppm} < \text{CO}, 140\text{ppm}$ ):** میانگین فشار تراز دریا مربوط به این الگو در شکل ۱e نشان داده شده است. گرادیان فشار در نواحی مرکزی و غربی ایران نسبت به الگوی قبل کاهش یافته است. همچنان کمربند پرفشار در عرض‌های میانی (حدود ۴۶ درجه شمالی) گسترده شده و زبانه پرفشار نیز در غرب دریای خزر مشاهده

می‌شود. خط هم‌فشار ۱۰۱۲ میلی‌باری تغییر چندانی در قیاس با حالت قبلی نکرده و فقط در نواحی جنوب غرب دریای خزر اندکی به عرض‌های جغرافیایی بالاتر منتقل شده است؛ و به علاوه، زبانه کم‌فشار واقع در جنوب شرق خزر تقویت شده و خط هم‌فشار ۱۰۱۰ mb بالاتر آمده و فشار روی تهران هم کاهش یافته است. بنابراین زبانه پرفشار در بخش‌های جنوب غربی دریای خزر و حتی روی منطقه مورد مطالعه ضعیف شده است. گرادیان فشاری نیز در نواحی شمال شرقی کشور ضعیف شده است. زبانه کم‌فشار از شمال شرق کشور تا جنوب دریاچه آرال گسترش یافته است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری (نقشه f در شکل ۱) مشاهده می‌شود که پراارتفاع جنب حاره‌ای، که در الگوی اول در نواحی جنوبی ایران واقع شده بود، بالاتر آمده و علاوه بر مناطق مرکزی ایران تا روی تهران گسترده شده، و محور پشته ارتفاعی در عرض‌های حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی واقع گردیده است. ارتفاع در تراز ۵۰۰ میلی‌باری روی تهران در مقایسه با حالت قبل افزایش یافته، که خود بیانگر تقویت پراارتفاع بر روی منطقه مورد مطالعه است.

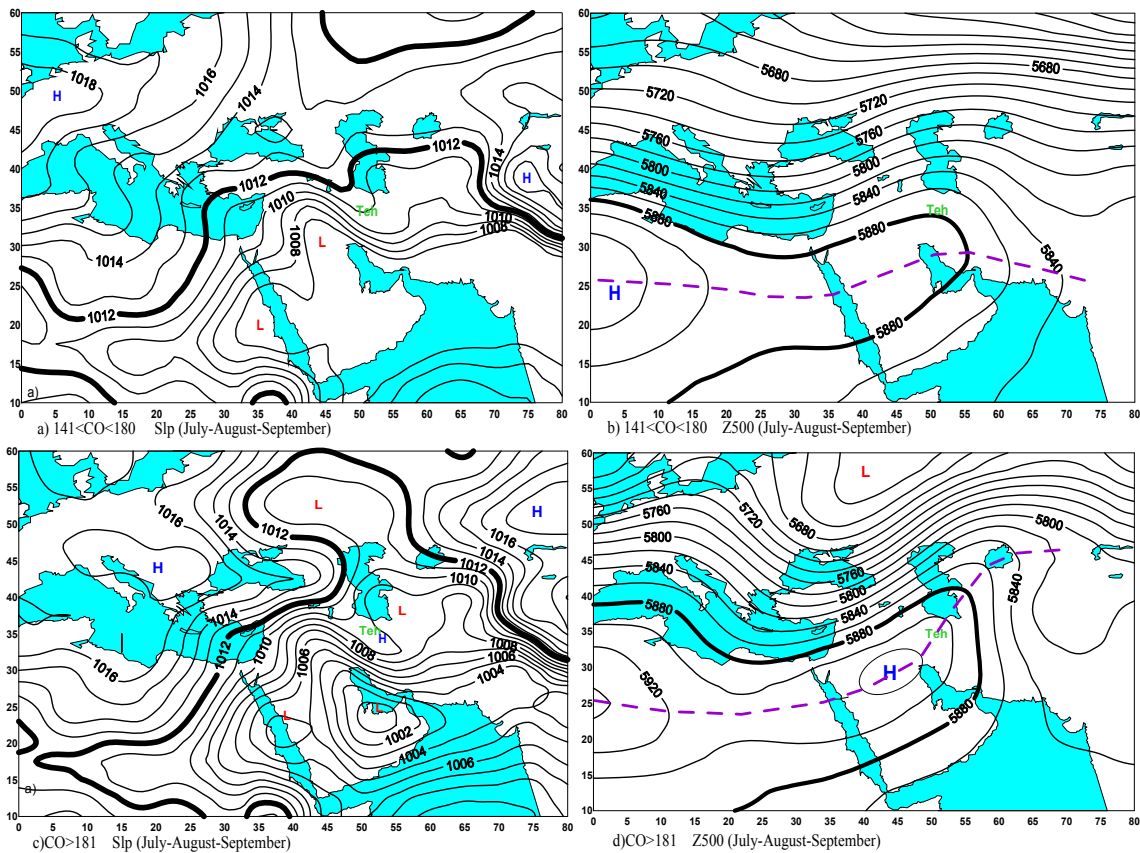
**(د) الگوی ۴ تابستانی (141ppm < CO < 180ppm):** میانگین فشار تراز دریا مربوط به این الگو در شکل ۲a نشان داده شده است. گسترش شرق سوی پرفشار آزرز محدود شده اما با تضعیف کم‌فشار ایسلند، این پرفشار بر روی اروپا گسترده شده است. با تضعیف سامانه پرفشار بر روی خزر، گرادیان فشاری کاهش یافته و زبانه کم‌فشار در نواحی شمال شرق کشور، شرق و جنوب شرق دریای خزر گسترش یافته است. کمربند پرفشار عرض‌های میانی محدود شده و کاهش جدی گرادیان فشار در روی ایران و منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری (نقشه b در شکل ۲) مشاهده می‌گردد که مناطق وسیعی از کشور کاملاً تحت تأثیر پراارتفاع جنب حاره‌ای با محور جنوب غربی - شمال شرقی قرار دارند. گسترش سامانه پراارتفاع علاوه بر روی منطقه مورد مطالعه تا روی خزر نیز امتداد یافته، و محور پراارتفاع جنب حاره‌ای در عرض‌های حدود ۲۴ تا ۲۹ درجه شمالی واقع شده است.

**(ه) الگوی ۵ تابستانی (CO > 181ppm):** این الگو بالاترین سطح غلظت CO را در منطقه تهران در مقایسه با دیگر الگوها ارائه می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲c مشاهده می‌شود، گسترش سامانه پرفشار از جنوب اروپا تا روی دریای سیاه و غرب خزر امتداد یافته است. استقرار زبانه پرفشار در نواحی شمال غرب و مرکزی ایران، کاهش گرادیان فشار بر روی منطقه مورد مطالعه و همچنین گسترش سامانه کم‌فشار از شمال شرق کشور تا شمال دریای خزر، جدی است. بر این اساس دریای خزر و دامنه شمالی رشته کوه البرز تحت تأثیر سامانه کم‌فشار حرارتی و مناطق جنوبی البرز و منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر زبانه پرفشار قرار دارد. خط هم‌فشار ۱۰۱۲ میلی‌باری تا نواحی شمال دریای خزر بالا آمده است. در سطح ۵۰۰ میلی‌باری نیز (نقشه d در شکل ۲) مشاهده می‌شود که پربند ۵۸۸۰ متری به عرض‌های بالاتر آمده است و از نواحی شمالی دریای خزر می‌گذرد. محور پراارتفاع جنب حاره‌ای از جنوب غرب ایران تا روی دریاچه آرال (با جهت جنوب غربی - شمال شرقی) امتداد یافته، به طوری که از روی تهران نیز عبور می‌کند. محور پراارتفاع جنب حاره‌ای در عرض‌های جغرافیایی حدود ۲۴ تا ۴۴ درجه شمالی واقع شده است. استقرار دو ناوه کم‌ارتفاعی در غرب و شرق پشته ارتفاعی سبب جمع‌شدگی آن شده است. بنابراین شرایط مناسب برای فرونشینی و پایداری شدید هوا در تهران به وجود آمده است که پیامد آن رخداد آلودگی‌های شدید است.



شکل ۱. میانگین میدان‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500mb در ساعت 00:00UTC برای ماه‌های ژوئیه و اوت و سپتامبر طی دوره زمانی ۶ ساله (2001-2006)؛ نقشه‌های a و b، به ترتیب مربوط به فشار سطح دریا و میدان ارتفاع تراز 500mb برای الگوی ۱ تابستانی، نقشه‌های c و d ، به ترتیب مربوط به فشار سطح دریا و ارتفاع تراز 500mb برای الگوی ۲ تابستانی و نقشه‌های e و f، به ترتیب مربوط به فشار سطح دریا و میدان ارتفاع تراز 500mb برای الگوی ۳ تابستانی‌اند. فاصله خطوط هم‌فشار، 1mb، و فاصله پربندهای ژئوپتانسیل، 20gpm است. منطقه شهر تهران با Teh مشخص شده. و H نشانه پرفشار و L نشانه کم فشار است. محور پرارتفاع جنب حاره‌ای نیز که با سامانه کم‌فشار گرمایی سطح زمین همراهی می‌شود، با خط چین بنفش نشان داده شده است.





شکل ۲. مانند شکل ۱ اما برای الگوی ۴ تابستانی (نقشه‌های a و b) و برای الگوی ۵ تابستانی (نقشه‌های c و d)

به‌طور کلی استقرار سامانه پرفشار در شمال دریای خزر و گسترش زبانه‌های آن به نواحی جنوب غرب دریا و جنوب البرز شرایط مناسبی را برای کاهش پتانسیل آلودگی هوای تهران فراهم می‌سازد که در این حالت با عبور ناهوهای کم‌ارتفاع تراز میانی جو واقع در شمال شرق دریای خزر و یا جریان‌های ناشی از ناهو مدیترانه امکان گسترش پشته ارتفاعی عمیق بر روی منطقه مورد مطالعه فراهم نمی‌شود. محور اصلی پرفشار جنب حره‌ای نیز در عرض‌های جنوبی‌تر با جهت غربی به شرقی قرار می‌گیرد.

در حالی که زبانه کم‌فشار در نواحی شمال شرق کشور و جنوب شرق دریای خزر با پشته ارتفاعی تراز میانی جو همراه گردند و به علاوه، نفوذ زبانه پرفشار نیز از سمت غرب دریای خزر و گسترش آن به بخش‌هایی از نواحی مرکزی و جنوبی البرز تضعیف شود، شرایط مناسبی برای افزایش پتانسیل آلودگی هوای تهران در فصل تابستان فراهم می‌گردد. در حالتی که علاوه بر شرایط پیش‌گفته، جهت محور پرفشار جنب حره‌ای به‌صورت جنوب‌غربی به شمال‌شرقی درآید و پشته عمیق ارتفاعی آن تا عرض‌های بالاتر نیز گسترده شود، شرایط حاد آلودگی هوا در تهران می‌تواند رخ دهد.

### بررسی الگوهای پاییزی

**الف) الگوی ۱ پاییزی ( $CO < 50ppm$ ):** در نقشه فشار تراز دریا مربوط به این الگو، که در شکل ۱a نشان داده شده است، مراکز پرفشار در عرض‌های جغرافیایی حدود ۴۰ تا ۴۵ درجه شمالی دیده می‌شود. زبانه سامانه پرفشاری که در غرب دریای خزر واقع شده تا جنوب غرب دریای خزر، جنوب البرز و نواحی مرکزی ایران توسعه یافته و سبب ایجاد گرادیان فشاری زیادی در این مناطق شده است. جریان‌های ناشی از این گرادیان فشار می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش آلودگی هوای تهران داشته باشد. همچنین سامانه کم‌فشاری در شمال شرق ایران واقع شده که زبانه آن با جهت محور جنوب‌غربی-شمال‌شرقی تا ترکمنستان و شرق دریاچه آرال توسعه یافته است که با جریان‌های جنوب‌غربی تراز میان نیز همراهی می‌شود. خط هم‌فشار ۱۰۲۰ میلی‌باری به عنوان معیاری برای مقایسه با الگوهای بعدی در نظر گرفته می‌شود که برای این الگو از جنوب ایران می‌گذرد. به علت استقرار سامانه پرفشار در غرب دریای خزر و نفوذ زبانه آن به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، گرادیان فشار عمده‌ای بر روی تهران و شمال غرب ایران ایجاد شده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری (نقشه b در شکل ۳) ناوه ضعیف همراه با گرادیان کنتوری زیاد، علاوه بر روی منطقه مورد مطالعه، بر روی بخش‌های وسیعی از کشور مشاهده می‌شود. پربند ۵۷۲۰ متری از جنوب ایران و شمال خلیج فارس و دریای عمان می‌گذرد. پراارتفاع جنب حاره‌ای به عرض‌های جنوبی (حدود ۱۵ درجه شمالی) منتقل شده است.

**ب) الگوی ۲ پاییزی ( $51ppm < CO < 100ppm$ ):** نقشه میانگین فشار تراز دریا مربوط به این الگو در شکل ۱e نشان داده شده است. کمربند پرفشار گسترده‌ای در عرض‌های جغرافیایی حدود ۴۲ درجه شمالی واقع شده که حاصل گسترش غرب سوی پر فشار سیبری است. زبانه سامانه پرفشار در غرب دریای خزر همچنان دیده می‌شود و گرادیان فشاری در روی تهران و مرکز ایران، در قیاس با الگوی قبلی مقداری کاهش یافته است. خط هم‌فشار ۱۰۲۰ میلی‌باری نیز به عرض‌های بالاتر آمده است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری (نقشه d در شکل ۳) مشاهده می‌شود که جریان‌های مداری در روی ایران وجود دارند و پربند ۵۷۲۰ متری بالاتر آمده است و حدوداً از جنوب تهران می‌گذرد. محور پراارتفاع جنب حاره‌ای در حدود عرض‌های ۱۴ تا ۱۷ درجه شمالی واقع شده است.

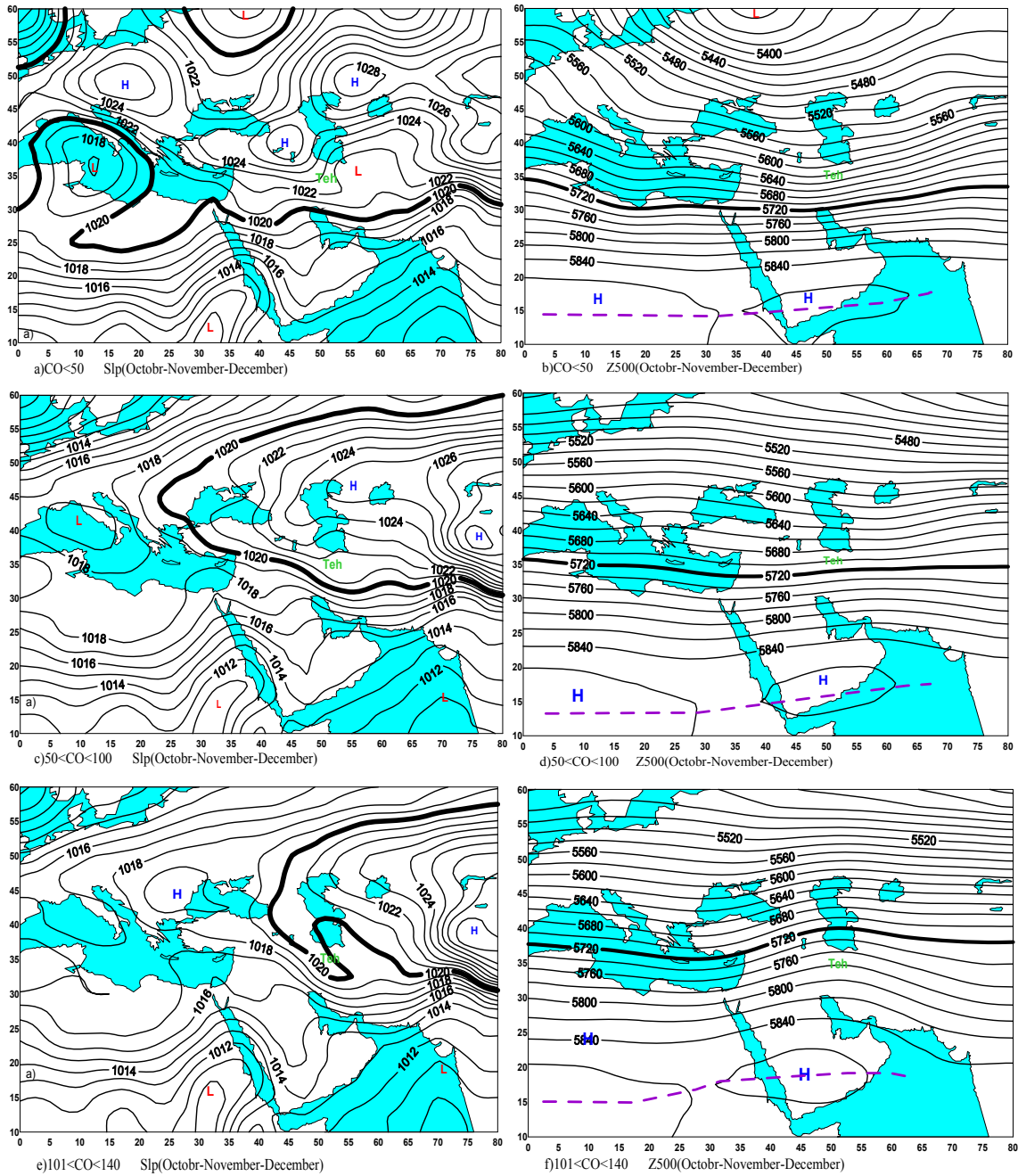
**ج) الگوی ۳ پاییزی ( $101ppm < CO < 140ppm$ ):** با توجه به نقشه میانگین فشار تراز دریای نقشه ۳e این الگو مشاهده می‌شود. زبانه پرفشار سیبری مستقر بر روی خزر ضعیف شده و به‌دنبال آن گرادیان فشاری در جنوب غرب دریای خزر و روی تهران نسبت به الگوی قبلی کاهش یافته است. خط هم‌فشار ۱۰۲۰ میلی‌باری بالاتر آمده است و از تهران می‌گذرد. زبانه کم‌فشار در جنوب شرق دریای خزر تقویت شده و زبانه پرفشار در جنوب غرب دریای خزر تشکیل گردیده است. زبانه پرفشار از شمال غرب ایران تا جنوب رشته کوه البرز امتداد یافته که جهت محور آن از شمال غرب به جنوب شرق است. زبانه کم‌فشار شکل گرفته در این الگو از نواحی شمال شرق کشور تا مناطق شمالی رشته کوه البرز و بخش‌های جنوبی دریای خزر با جهت محور جنوب شرقی-شمال غربی گسترش یافته است. بنابراین مناطق جنوبی رشته کوه البرز تحت تأثیر زبانه پرفشار قرار دارد و گرادیان فشاری در این مناطق نسبت به حالت قبل ضعیف شده است.

در تراز ۵۰۰ میلی باری (نقشه f شکل ۳) مشاهده می‌شود که جریان‌ها از حالت مداری خارج شده‌اند. پشته ارتفاعی بر روی منطقه و دریای خزر در حال شکل‌گیری است. محور پراارتفاع جنب حاره‌ای در حدود عرض‌های ۱۵ تا ۱۷ درجه شمالی واقع شده است و پربند ۵۷۲۰ متری در این الگو تا روی دریای خزر بالا آمده است.

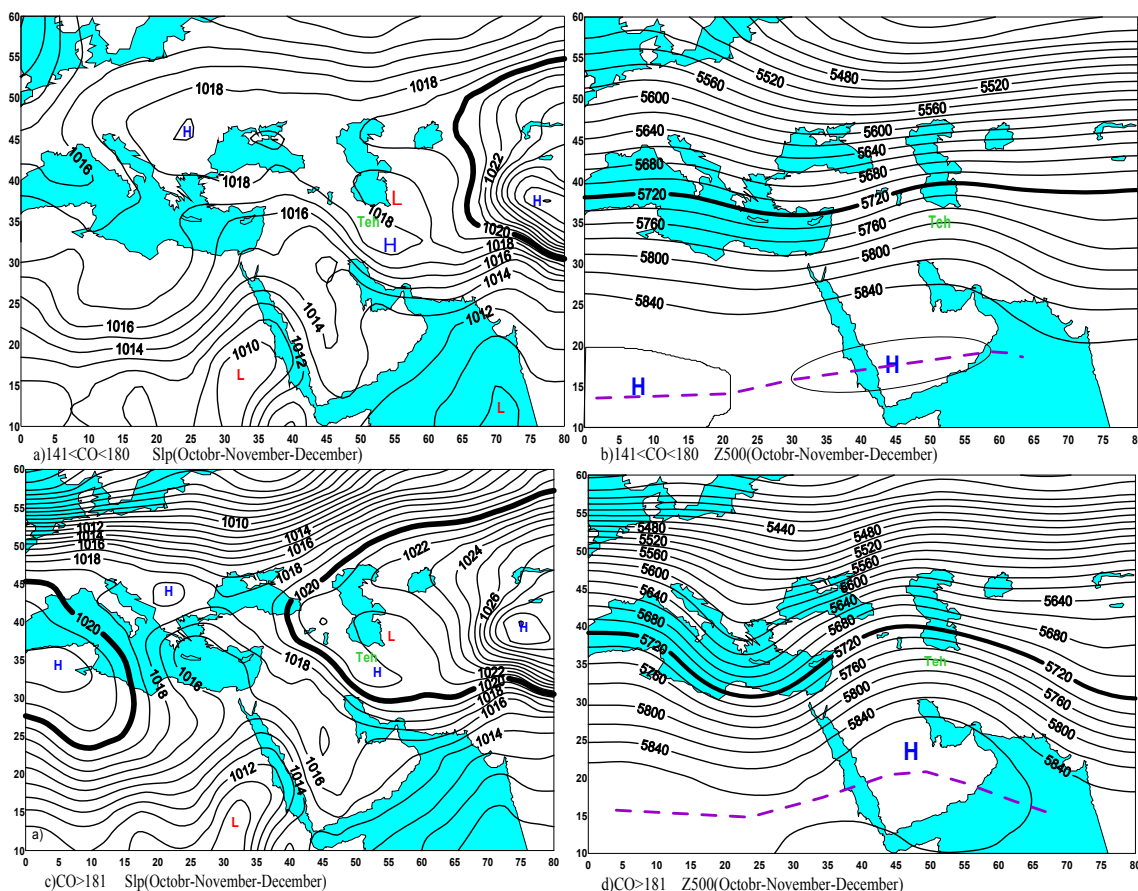
**(د) الگوی ۴ پاییزی ( $141\text{ppm} < \text{CO} < 180\text{ppm}$ ):** میدان فشارسطح دریای این الگو در شکل ۴a نشان داده شده است. با تضعیف سامانه پرفشار واقع در شمال دریای خزر، کاهش فشار علاوه بر روی خزر، در روی تهران نیز در قیاس با حالت قبل جدی است. زبانه پرفشار از شمال غرب ایران تا جنوب رشته کوه البرز امتداد یافته است که محور آن در جهت شمال غربی - جنوب شرقی واقع شده و زبانه کم‌فشار روی نواحی جنوب شرقی دریای خزر با جهت محور جنوب شرقی - شمال غربی قرار گرفته است. تراز میانی ۵۰۰ میلی باری (نقشه b در شکل ۴) نیز مشابه الگوی قبلی، بیانگر استقرار پشته ارتفاعی در روی تهران است، اما در نواحی شمالی خزر بیشتر تحت تأثیر سامانه کم ارتفاعی است که در عرض‌های شمالی قرار دارد. محور پراارتفاع جنب حاره‌ای در عرض‌های حدود ۱۴ تا ۱۹ درجه شمالی واقع شده است.

**(ه) الگوی ۵ پاییزی ( $\text{CO} > 181\text{ppm}$ ):** این الگو با بالاترین سطح غلظت CO در منطقه تهران همراه شده است. همان‌طور که در نقشه ۴c مشاهده می‌شود، زبانه پرفشار در نزدیکی مناطق جنوبی رشته کوه البرز و مرکز ایران گسترده شده و زبانه کم‌فشار نیز در نواحی شمال شرق کشور، جنوب شرق دریای خزر و مناطق شمالی رشته کوه البرز با جهت محور جنوب شرقی - شمال غربی قرار گرفته است. بنابراین در نواحی جنوب شرق دریای خزر و دامنه شمالی رشته کوه البرز تحت تأثیر سامانه کم‌فشاری است که با پشته ارتفاعی تراز میانی جو نیز همراهی می‌شود. مناطق جنوبی البرز و منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر زبانه پرفشار قرار دارد.

گسترش خط هم‌فشار ۱۰۲۰ میلی باری بر روی مرکز ایران تا نواحی جنوبی، بیانگر تقویت دامنه فعالیت و گسترش پرفشار سبیری بر روی کشور در مقایسه با حالت قبلی است؛ و هر چند که گرادیان فشاری بر روی منطقه تهران در قیاس با حالت قبل تغییر چندانی نداشته، اما مقدار فشار بر روی نیمه شمالی کشور افزایش یافته است. در تراز ۵۰۰ میلی باری نیز (نقشه d در شکل ۴) پشته ارتفاعی گسترده‌ای بر روی کشور قرار گرفته و با عمیق شدن ناوه مدیترانه محور پشته از جنوب غرب ایران تا غرب دریای خزر امتداد یافته است. بنابراین منطقه تهران در شرق محور پشته ارتفاعی تراز میانی جو واقع شده است، یعنی در جایی که همگرایی جریان‌ها سبب فرونشینی هوای سرد سطوح فوقانی و تقویت سامانه پرفشار سطح زمین می‌شود. محور پراارتفاع جنب حاره‌ای در حدود عرض‌های ۱۵ تا ۱۹ درجه شمالی واقع شده است. بنابر این تحت چنین شرایطی، فرونشینی و پایداری شدید جو را می‌توان عامل اصلی رخداد وضعیت‌های بسیار حاد آلودگی هوای تهران برشمرد.



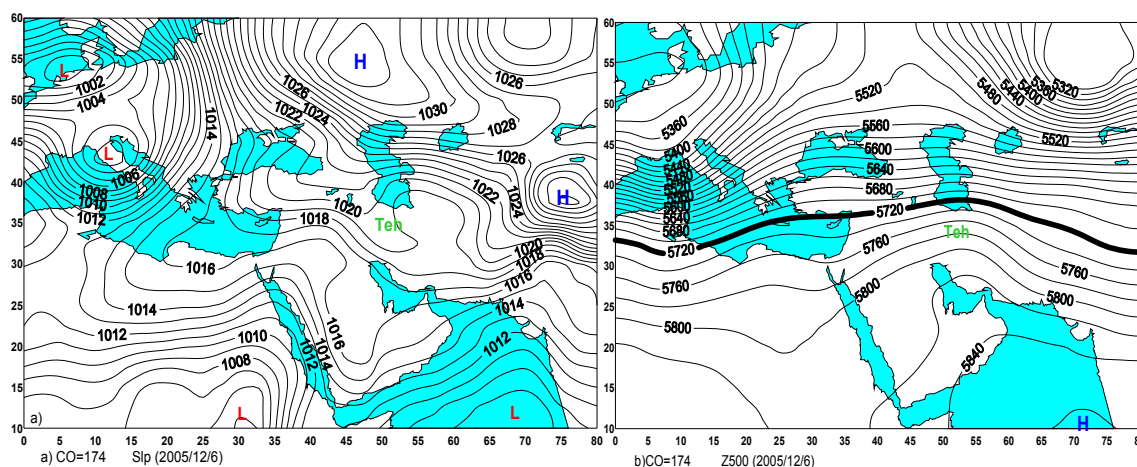
شکل ۳. مانند شکل ۱، اما برای میانگین ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر و برای الگوی ۱ پاییزی (نقشه‌های a و b)، برای الگوی ۲ پاییزی (نقشه‌های c و d) و برای الگوی ۳ پاییزی (نقشه‌های e و f)



شکل ۴. مانند شکل ۳، اما برای الگوی ۴ پاییزی (نقشه‌های a و b) و برای الگوی ۵ پاییزی (نقشه‌های c و d)

### مقایسه موردی یکی از الگوهای روزانه با الگوهای میانگین

در این بخش به صورت موردی یکی از الگوهای همدیدی روزانه، با الگوی میانگین مربوط به آن، بر اساس فصل و غلظت گاز CO به منظور راست‌آزمایی الگوهای ارائه شده در بالا مقایسه شده است. روز ۶ دسامبر سال ۲۰۰۵ (۱۵ آذر ۱۳۸۴) که به علت آلودگی هوا مقدار دید بسیار کم بود و حادثه غم‌انگیز سقوط هواپیمای نظامی C130 نیز رخ داد، انتخاب گردید. بر اساس گزارش‌های شرکت کنترل کیفیت هوا، میزان غلظت آلاینده CO در این روز 174ppm بوده است که بر طبق دسته‌بندی‌های انجام شده برای غلظت CO، جزء گروه چهارم قرار می‌گیرد و بر اساس تاریخ، الگوی هواشناسی این روز می‌بایست با الگوی چهارم پاییزی مطابقت داشته باشد. در نقشه a شکل ۵، میدان فشار سطح دریای این روز نشان داده شده است. سامانه پرفشار در شمال دریای خزر واقع شده و زبانه پرفشار تا مناطق شمال غربی و مرکز ایران امتداد یافته است. زبانه کم‌فشار نیز در جنوب شرق دریای خزر و مناطق شمال شرقی کشور قرار گرفته، و گرادیان فشاری ضعیفی هم روی منطقه تهران حاکم است. در تراز ۵۰۰ میلی‌باری (در نقشه b شکل ۵) پشته ارتفاعی بر روی منطقه مورد مطالعه و بخش‌هایی از دریای خزر مستقر است. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ویژگی‌های این الگو مشابه الگوی ۴ پاییزی (شکل ۴: نقشه‌های a و b) است. هرچند که این مشابهت را نمی‌توان به کل الگوها تعمیم داد و به بررسی حالت‌های مختلفی برای هر یک از گروه‌ها نیاز است، اما اهمیت الگوهای میانگین را برای شناسایی ویژگی‌های سامانه‌های همدیدی نشان می‌دهد، زیرا با کم شدن تعداد الگوها، مطالعه آنها به مراتب آسان‌تر خواهد شد.



شکل ۵. میدان‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی‌باری در ساعت 00:00 UTC برای روز ششم دسامبر ۲۰۰۵ نقشه‌های a و b، به ترتیب مربوط به فشار سطح دریا و میدان ارتفاع تراز 500mb است. فاصله خطوط هم‌فشار، 1mb، و فاصله پربندهای ژئوپتانسیل، 20gpm، منطقه شهر تهران با Teh مشخص شده است. H نشانه پرفشار و L نشانه کم‌فشار است.

## نتیجه‌گیری

آمار مربوط به شاخص کیفیت هوای تهران نشان می‌دهد که اغلب بیشترین روزهای ناسالم در طی ماه‌های ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر رخ می‌دهد. بنابراین تکرار و تداوم و استقرار سامانه‌های همدیدی با ویژگی‌های بارزی که می‌توانند سبب افزایش پتانسیل آلودگی هوای تهران شوند، در طی این ماه‌ها زیادتر است. میانگین الگوهای فشاری به‌دست آمده می‌توانند ویژگی‌های مهمی از سامانه‌های همدیدی حاکم در هر یک از گروه‌های جدول ۳ را نشان دهند. مقایسه موردی انجام شده به‌خوبی مشابهت الگوهای فشاری روزانه را با میانگین الگوهای فشاری به‌دست آمده نشان می‌دهد. نتایج حاصل از میانگین الگوهای فشاری، نشان از آن دارند که:

الف) استقرار الگوهای فشاری تابستانی با ویژگی‌های زیر سبب کاهش پتانسیل آلودگی هوای تهران می‌شوند (شاخص کیفیت هوا در وضعیت پاک و سالم قرار می‌گیرد):

۱. گسترش شرق سوی پرفشار آوزوز، تقویت سامانه‌های پرفشار واقع در شمال دریای خزر، گسترش زبانه پرفشار بر روی نواحی جنوب و جنوب غرب دریای خزر و همچنین نواحی جنوبی البرز (شکل ۱: نقشه‌های a و c)؛
۲. ایجاد گرادیان فشاری زیاد در نواحی جنوب غرب دریای خزر و غرب منطقه مورد مطالعه (شکل ۱: نقشه‌های a و c)؛ و
۳. استقرار جریان‌های مداری در تراز میانی جو همراه با گرادیان کنتوری مناسب بر روی منطقه مورد مطالعه (شکل ۱: نقشه‌های b و d).

ب) استقرار الگوهای فشاری تابستانی با ویژگی‌های زیر سبب افزایش پتانسیل آلودگی هوای تهران می‌شوند (شاخص کیفیت هوا در وضعیت ناسالم و بسیار ناسالم قرار می‌گیرد):

۱. محدود شدن گسترش شرق سوی پرفشار آرزور، تضعیف سامانه پرفشار بر روی خزر و کاهش گرادیان فشاری بر روی منطقه مورد مطالعه و نواحی جنوب غرب دریای خزر (شکل ۱: نقشه e و شکل ۲: نقشه‌های a و c)؛
۲. تقویت و گسترش زبانه سامانه کم‌فشار حرارتی در نواحی شمال شرق کشور، شرق و جنوب شرق دریای خزر (شکل ۱: نقشه e و شکل ۲: نقشه‌های a و c)؛ و
۳. گسترش پشته عمیق پرارتفاع جنب حاره‌ای در تراز میانی جو از جنوب غرب ایران تا شمال دریای خزر و در شرایط بسیار ناسالم، تا شمال دریاچه آرال (شکل ۱: نقشه f و شکل ۲: نقشه‌های b و d).

ج) استقرار الگوهای فشاری پاییزی با ویژگی‌های زیر سبب کاهش پتانسیل آلودگی هوای تهران می‌شوند (شاخص کیفیت هوا در وضعیت پاک و سالم قرار می‌گیرد)

۱. گسترش غرب سوی پرفشار فصلی سیبری (شکل ۳: نقشه‌های a و c)؛
۲. تقویت سامانه پرفشار بر روی خزر، همراه با گرادیان فشاری زیاد در نواحی جنوب غرب دریای خزر و نوار شمالی کشور (شکل ۳: نقشه‌های a و c)؛ و
۳. استقرار جریان‌های مداری و عبور نواه‌های ارتفاعی با گرادیان کنتوری شدید در تراز میانی جو (شکل ۳: نقشه‌های b و d).

د) استقرار الگوهای فشاری پاییزی با ویژگی‌های زیر سبب افزایش پتانسیل آلودگی هوای تهران می‌شوند (شاخص کیفیت هوا در وضعیت ناسالم و بسیار ناسالم قرار می‌گیرد):

۱. تضعیف سامانه پرفشار بر روی خزر و کاهش عمده گرادیان فشاری بر روی منطقه مورد مطالعه و دریای خزر (شکل ۳: نقشه e و شکل ۴: نقشه‌های a و c)؛
۲. ایجاد سامانه کم‌فشار حرارتی در نواحی شمال شرق کشور و جنوب شرق دریای خزر (شکل ۳: نقشه e و شکل ۴: نقشه‌های a و c)؛
۳. تقویت و گسترش پشته ارتفاعی تراز میانی جو بر روی تهران و عرض‌های جغرافیایی بالاتر، به طوری که محور این پشته ارتفاعی از نواحی جنوب غربی ایران تا شرق دریای خزر قرار گرفته و تهران در شرق این محور (محل همگرایی جریان‌های تراز میانی جو) واقع می‌شود (شکل ۳: نقشه f و شکل ۴: نقشه‌های b و d).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین الگوهای تابستانی با پاییزی هر یک از گروه‌ها (جدول ۳)، نشان می‌دهد که در هر دو فصل الگوهای همدیدی که با شرایط ناسالم و بسیار آلوده هوای تهران همراهی می‌شوند، ویژگی‌های مشابهی دارند - هر چند که ممکن است کاملاً یکسان نباشند. از مهم‌ترین مشخصات این الگوها، ایجاد سامانه کم‌فشار حرارتی در نواحی جنوب شرقی دریای خزر و گسترش زبانه پرفشار به نواحی جنوبی البرز و مرکزی همراه با تقویت پشته ارتفاعی تراز میانی



جو بر روی این مناطق است. با تضعیف سامانه پرفشار در شمال دریای خزر، زبانه کم‌فشار حرارتی از نواحی شمال شرقی کشور به سمت بخش‌های جنوب شرقی و شرقی دریای خزر توسعه می‌یابد، که این شرایط با کاهش گرادیان فشار بر روی منطقه همراه می‌شود (نقشه‌های a و c شکل‌های ۲ و ۴). همچنین تقویت و گسترش پشته ارتفاعی تراز میانی به روی تهران و عرض‌های جغرافیایی بالاتر (نقشه‌های b و d شکل‌های ۲ و ۴) سبب می‌شود که شرایط مناسبی برای رخداد آلودگی‌های بسیار شدید در تهران فراهم آید. بنابراین در چنین شرایطی در صورت عدم کنترل منابع انتشار می‌تواند منجر به وقوع شرایط بسیار ناسالم و خطرناک گردد. همچنین در هر دو فصل در صورت تقویت سامانه پرفشار بر روی خزر و گرادیان فشاری در نواحی جنوب غربی آن، همراه با استقرار جریان‌های مداری تراز میانی جو با گرادیان کنتوری زیاد، سبب کاهش پتانسیل آلودگی هوای تهران می‌شود.

با توجه به اینکه پیش‌بینی کمیت‌هایی مانند فشار و ارتفاع سطوح فشاری امروزه با دقت مناسبی با مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا انجام شود، نتایج به‌دست آمده از این مطالعه می‌تواند گام مهمی در شناسایی الگوهای مختلف فشاری مؤثر بر پتانسیل آلودگی هوای تهران - و در نتیجه پیش‌بینی آن - به‌شمار آید.

## سپاس‌گزاری

از شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران، برای همکاری و در اختیار گذاشتن داده‌های مربوط به شاخص استاندارد آلودگی هوا، و همچنین از مسئولان سازمان هواشناسی کشور و به‌ویژه کارشناسان محترم اداره کل پیش‌بینی، به خاطر راهنمایی و همکاری‌های لازم، تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- Alijani B., 2004, **The Relation between Pressure and Air Pollution Concentration in Tehran**, 30th International Geography Union, Glasgow, England.
- Christiansen, W.L., Bryson, R.A., 1966, **An Investigation of the Potential of Component Analysis for Weather Classification**, *Mon. Wea. Rev.*, 94, 697-707.
- Davis, R.E., Kalkstein, L.S., 1990b, **Using a Spatial Climatological Classification to Assess Changes in Atmospheric Pollution Concentrations**, *Physical Geography* 11, 320-342.
- Kallos, G., Kassomenkos, P., Pielke, R.A., 1993, **Synoptic and Mesoscale Weather Conditions During air Pollution Episodes in Athens**, Greece. *Boundary-Layer Meteorology* 62, 163-184.
- Kalkstein, L.S. and Corrigan, P., 1986, **A Synoptic Climatological Approach for Geographical Analysis: Assessment of Sulphur Dioxide Concentrations**, *Annals of Association of American Geographers*, 76, 381-395.
- Kassomenos, P., Flocas, H.A., Skouloudis, A.N., Lykoudis, S., Asimakopoulos, V., Petrakis, M., 1998, **Relationship of Air Quality Indicators and Synoptic Scale Circulation ant 850 hPa over Athens Dring 1983-1995**, *Environmental Technology*, 19, 13-24.
- Kim Oanh, N.T., Chutimon, P., Ekbordin, W., Supat, W., 2005, **Meteorological Pattern Classification and Application for Forecasting Air Pollution Episode Potential in a Mountain-valley Area**, *Atmospheric Environment* 39 (2005) 1211-1225.



- Landsberg, H. E., 1980, **The Urban Climate**, Academic Press, PP. 288.
- Lund, I. A., 1963, **Map-pattern Classification by Statistical methods**, *J. Meteorol.*, 2, 56-65.
- Makra, L., Mika, J., Bartzokas, A., Sümegehy, Z., 2007, **Relationship between the Peczely's Large-scale Weather Types and Air Pollution Levels in Szeged, Southern Hungary**, University of Ioannina, Fesenius Environmental Bulletin, Fresenius Environmental Bulletin.
- McGregor, G.R. and Bamzeli, D., 1995, **Synoptic Typing and Its Application to the Investigation of Weather – air Pollution Relationships**, Birmingham, United Kingdom. Theoretical and Applied Climatology, 51, 223-236.
- Sindosi, O.A., Katsoulis, B.D. and Bartzokas, A., 2003, **An Objective Definition of Air Mass Types Affecting Athens, Greece; the Corresponding Atmospheric Pressure Patterns and Air Pollution Levels**, Environmental Technology, 24, 947-962.
- Scott, G.M., and Diab, R.D., 2000, **Forecasting air Pollution Potentials: A Synoptic Climatological Approach**, Journal of the Air and Waste Management Association 50, 1831-1842.