نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۱، بهار ۱٤۰۱

صفحات ۱۹۷ – ۲۱٤

بررسی نقش الگوهای گردشی جو مولد آلودگی شدید هوا در شهر اصفهان

تهمینه چهره آرا؛[1] استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، قزوین، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۱۱/۱۶ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۳/۲۵

چکیده

در این پژوهش جهت شناسایی نقش الگوهای گردش منطقهای جو در رخداد آلودگیهای شدید هوای شهر اصفهان، از روش تحلیل همدید ترکیبی استفاده شد. برای انجام پژوهش، از دادههای ایستگاههای سنجش آلودگی هوا، دادههای رقومی پروفیل جو، و خروجیهای مدل پسگرد ذرات معلق (HYSPLIT) در یک دوره ۱۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۴) استفاده شد. نتایج نشان داد که چهار عامل و الگو در زمان رخداد شدیدترین روزهای همراه با آلودگی در شهر اصفهان در تراز میانی جو حاکمیت دارند. نتایج حاصل از بررسی مقادیر PSI در هر الگو نشان داد که به ترتیب از الگوی یک تا چهار مقادیر شاخص ۲۲۱، ۲۳۸.۶، ۲۰۳ و ۲۸۱ است. از شرایط همدیدی میتوان به حضور پرفشار جنب حارهای اشاره نمود که همزمان با لایه وارونگی دمایی در ترازهای زیرین جو و وردسپهر میانی همراه شده است. تقویت تاوایی منفی در بالاتر از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و وجود یک همگرایی سطحی ادامه یافته تا تراز یاد شده سبب شده تا ماهیت جو تابستانه به وضوح در رخداد آلودگی در این شهر مشهود گردد که با وجود ناهنجاری های فوی این شرایط تقویت شده است. از طرفی خروجی مدل پسگرد ذرات معلق نشان داد که رخداد روزهای بسیار آلوده در شهر اصفهان را نمیتوان در آلایندههای شهری همچون کارخانههای صنعتی اتومبیلها و... جست بلکه با ورود ذرات معلق از مناطق مختلف سبب شده تا آلودگی از شدت بالاتری برخوردار باشد بدین صورت که هجوم ذرات معلق گردوغبار در تشدید این پدیده امری انکار ناپذیر است.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، شاخص PSI، الگوهای گردش منطقهای جو، مدل HYSPLIT، اصفهان.

[1] .نویسنده مسئول: Email: ta_ch_۵۵_ir@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

مقدمه

اتمسفر سامانهای پویاست که در آن تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بطور همزمان روی می دهد. مطالعه پویایی و انتقال آلایندهها در اتمسفر با استفاده از الگوهای جوی، از مباحث مهم در این علم به شمار میرود. الگوهای اتمسفری، رخداد فرآیندهای مختلف درون اتمسفر و اثرات متقابل آنها را شبیه سازی مینمایند. استفاده از یک الگوی اتمسفری، مستلزم مقایسه نتایج الگو با آزمایشات میدانی و آزمایشگاهی است. این امر به درک رخداد فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی درون اتمسفر و همچنین ارزیابی اجرای یک الگوی مناسب کمک میکند. اندازهگیریهای آزمایشگاهی اطلاعات با ارزشی ارائه مینماید و در عین حال اندازهگیریهای میدانی خصوصیات اتمسفری و ترکیبات هوا را در فواصل زمانی و مکانی خاص شرح میدهد. یک الگوی اتمسفری، تصویری کامل از سیر تحولات مکانی و زمانی آلایندههای درون اتمسفر را در ارتفاعات مختلف ارائه میدهد. درک پویایی اتمسفر میتواند با ترکیب نمودن اندازهگیریها و الگوسازی یکپارچه با استفاده سیستمهای سینوپتیک حاکم در دورههای همراه با هوای آلوده انجام گیرد. (Lazaridis, ۲۰۱۱).

تاکنون پژوهشهای بسیاری درمورد اثر الگوهای همدید بر آلودگی هوا انجام شده است .در برزیل به بررسی ارتباط مقادیر بالای غلظت آلاینده و سیستمهای پرفشار جنب حارهای اطلس جنوبی و نقش آن در تغییر الگوهای فشار منطقه پرداخته شده است .(and Andrade Ccoyllo, ۲۰۰۲) همچنین مطالعه در مورد غلظت آلایندههای ازن اتمسفری ($O^۳$)، دیاکسید نیتروژن($NO^۲$)، مونواکسید نیتروژن(NO) و مونواکسیدکربن(CO) مربوط به پارامترهای اقلیمی شهر نانجینگ چین، نشان داده است که تغییرات آلایندهها به شرایط اقلیم محلی مربوط میشود؛ بهطوری که بین دما و سرعت باد با ازن وردسپهری همبستگی منفی و معنیداری وجود داشته است و دما و سرعت باد با سه آلاینده دیگر همبستگی مثبت و معنیداری داشتهاند. در تابستان ازن تمرکز بالایی داشته است.(Tu et al, ۲۰۰۷) علاوه براین ارتباط روزهای آلوده در یونان و شرایط همدیدی نشان داده که بیشتر دورههای آلودگی جوی در فصل زمستان رخ میدهد؛ به طوریکه در شمال یونان بالاترین میزان آلودگی با حاکمیت یک واچرخند ارتباط داشته است.(Flocas et al, ۲۰۰۹) با بررسی الگوهای کنترل کننده آلودگی هوا در ۱۰ شهر اصلی شمال چین معلوم شد در این منطقه بین آلودگی و سامانههای فشار رابطه قوی وجود دارد و سامانههای واچرخندی در سطح زمین و شرایط دینامیکی عقب ناوه درسطوح بالا به عنوان عامل اصلی تراکم آلایندهها هستند.(Chen et al, ۲۰۰۸) در پژوهشی ارتباط تیپهای واچرخندی حوضه کارپاسین و جنوب آلمان با تشدید آلودگی هوای شهر سوخو و اثر جریانات مداری بر کاهش آلودگیها تأیید شده است.(Makra et al, ۲۰۰۹)

در تحقیقی در ارتباط با ساختار لایه مرزی در زمان رخداد آلودگی هوای پکن مشخص شد که با افزایش ضخامت لایه مرزی آلودگی در شهر تقویت می شود. (Miao et al, ۲۰۱۷). در بررسی شرایط هواشناختی آلودگی هوا در شهرهای کشور چین در دو سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ به نقش سیستم های جوی در زمان استقرار خود در منطقه و تشدید آلودگی های فراگیر اشاره شد(He et al, ۲۰۱۷). در تحقیقی به بررسی جنبه های آماری و هواشناختی آلودگی هوا در جنوب آفریقا پرداخته شد. نتایج گویای وجود یک جریان آنتی سیکلونی در منطقه بوده است(Jury, ۲۰۱۷).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

تهران طی دوره سرد سال، به دلیل فراوانی بالای وقوع وارونگیهای دمایی (اینورژن)، استقرار واچرخندها و باد غالب غربی، هوای آلودهتری دارد، علاوه براین در موارد محدودی بادهای شرقی، آلایندهها را به نواحی مرکزی سوق میدهند(صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). سامی و همکاران(۱۳۸۶) در تحقیقی با بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران، به این نتایج رسیدند که اگر سامانههای عرضهای میانی در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده ها افزایش یافته و گاهی دو تا سه برابر، بیشتر از حد مجاز می شود. عطایی و هاشمی نصب (۱۳۹۰) در بررسی آماری آلودگی هوای شهر اصفهان به این نتایج رسیدند که در روزهایی که سرعت باد کم و میزان فشار زیاد باشد آلودگی افزایش یافته است و روزهایی که رطوبت نسبی افزایش یابد از مقدار SO^2 و CO کاسته میگردد. در یک مطالعه حلبیان و فراشبندی(۱۳۹۵) به واکاوی شرایط همدید - ترمودینامیک آلودگی هوای شهر اصفهان پرداختند و متوجه شدند شرایط پایداری هوا، تشکیل سامانه پرفشار بر روی سطح زمین و فرونشینی هوا سبب ایجاد لایه وارونگی دمایی در نزدیکی سطح زمین، ممانتع از جابه جایی هوا و بروز حداکثری آلودگی شده است. حجازی زاده و همکاران(۱۳۹۶) به واکاوی رابطه الگوهای همدید با میزان ذرات معلق آلاینده فراگیر در استان تهران پرداختند. نتایج نشان داد در فصول تابستان و پاییز با اسقرار پرفشار بر روی ناحیه خزری و گسترش کمفشار پاکستان تا نواحی جنوبی البرز و در فصل زمستان و بهار با نفوذ پرفشار مهاجر بر روی نیمه شمالی ایران شرایط برای رخداد آلودگی در این شهر فراهم می گردد. اسراری و پایدار(۱۳۹۷) بررسی روند تغییرات غلظت ذرات معلق شهر مشهد پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین میزان غلظت ذرات در فصل پاییز و مهر می باشد و شرق و تا حدودی مرکز مشه ، آلودگی بیشتری نسبت به سایر مناطق دارد.

در این تحقیق سعی شده است عوامل جوی بهوجود آورنده آلودگیهای شدید در شهر اصفهان و ارتباط و سازوکار جو در زمان رخداد این پدیده بررسی و تحلیل گردد.

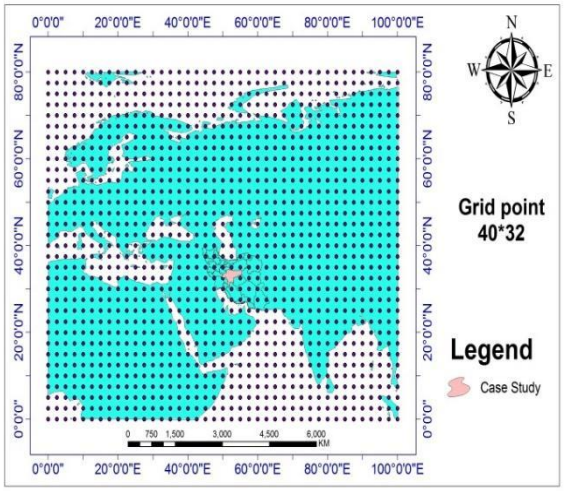
داده ها و روش کار

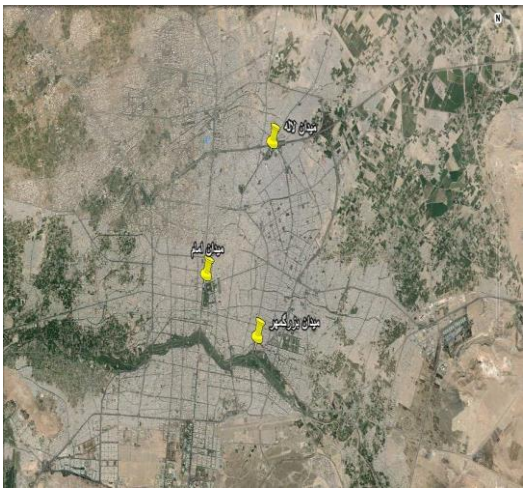
- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

شهر اصفهان در فلات مرکزی ایران در دشتی وسیع بین کوهستان زاگرس و پیشکوههای داخلی کشور در موقعیت ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی در کنار زاینده رود قرار گرفته است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]





شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه های آلودگی سنجی در شهر اصفهان

شکل ۲. قلمرو محدوده مکانی جهت بررسی سامانه های جوی و یاخته های موجود در این بازه

در این پژوهش از ۳ گروه داده شامل دادههای آلودگی ثبت شده در ایستگاههای سنجش آلودگی هوا، دادههای رقومی جو و ایستگاه های جو بالا استفاده شد. دادههای آلودگی هوا مربوط به سه ایستگاه میدان لاله، آزادی و بزرگمهر میباشد که از اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان اخذ گردیده است. آلایندهها شامل منو اکسیدکربن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، ازن و ذرات معلق(۱۰PM) می باشند که در مقیاس روزانه و برای یک دوره آماری ۱۲ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۵) تهیه و مورد پردازش قرار گرفته است. جهت مطالعه شرایط جو، از دادههای دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیشبینی محیطی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی ۲.۵×۲.۵ درجه استفاده شد. دادههای جوی شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم(Omega)، مولفههای مداری(U) و نصفالنهاری باد(V) برای ترازهای مختلف جو در حدفاصل زمانی ۶ ساعته میباشد. علاوه بر آن از دادههای جو بالای ایستگاه اصفهان برای دوره مشابه استفاده شد. دادههای جو بالا از سایت دانشگاه وایومینگ برای روزهای مورد مطالعه اخذ گردید که شامل دمای هوا، دمای نقطه شبنم، جهت و شدت باد و شرایط پایداری و ناپایداری جو (بر اساس منحنیهای اسکیوتی) میباشد. در این پژوهش به دلیل بررسی روزهای همراه با آلودگی شدید، از یک مدل لاگرانژی با امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT استفاده شد که منشأ ذرات معلق وارد شده به منطقه، در زمان رخداد شدیدترین آلودگیها مشخص گردد. از منظر روششناسی در پژوهش حاضر جهت شناسایی و نقش الگوهای گردشی جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشهای استفاده شد که در چند مرحله به شرح زیر به انجام رسیده است.

در نخستین مرحله از تحقیق، دادههای آلودگی ثبت شده در سه ایستگاه میدان لاله، آزادی و بزرگمهر مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI) برای هر یک از آلایندهها در مقیاس روزانه محاسبه شد. شاخص استاندارد آلودگی هوا توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا جهت سهولت گزارش کیفیت هوا از رسانههای عمومی تعریف گردیده است. این شاخص غلظت آلایندههای هوا را به اعداد سادهای بین صفر تا ۵۰۰ تبدیل و در نهایت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

کیفیت هوا را با واژه های پاک، مجاز، ناسالم و... بیان مینماید (اصیلیان،۱۳۸۶). جدول ۱ طبقات کیفیت هوا را بر اساس شاخص استاندارد آلودگی نشان میدهد.

جدول ۱. طبقات شاخص استاندارد آلودگی هوا(آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۸؛ واثقی و زیبایی، ۱۳۸۷)

PSI	کیفیت هوا
۵۰-۰	خوب (پاک)
۱۰۰-۵۱	متوسط (مجاز)
۲۰۰-۱۰۱	آلوده (ناسالم)
۳۰۰-۲۰۱	بسیار آلوده (بسیار ناسالم)
>۳۰۰	سمی (خطرناک)

نحوه محاسبه شاخص استاندارد آلودگی هوا به شرح زیر است (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ۱۹۹۸، ۱۶).

رابطه ۱:

$$Ip=IHi-ILoBPHi-BPLo(Cp-BPLo)+ILo$$

Ip= مقادیر محاسبه شده شاخص استاندارد آلودگی هوا برای آلاینده مورد نظر

Cp= غلظت آلاینده مورد نظر در زمان معین

BPHi= مقادیر آستانه بالا برای طبقهای که غلظت آلاینده مورد بررسی در آن طبقه قرار دارد

BPLo= مقادیر آستانه پایین برای طبقهای که غلظت آلاینده مورد بررسی در آن طبقه قرار دارد

IHi= مقادیر PSI مرتبط با ILo

در پژوهش حاضر با بهرهگیری از رابطه۱ و با در نظر گرفتن آستانههای موجود در جدول۲ برای هر یک از آلایندههای شهری، مقادیر PSI روزانه حساب شد.

جدول ۲. مقادیر آستانه آلایندهها به تفکیک برای هر طبقه از شاخص PSI.(آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۸)

PSI	O_3 ۱ ساعته Ppm	O_3 ۸ ساعته ppm	CO ۸ ساعته ppm	PM_{10} ۲۴ ساعته Mg/m^3	SO_2 ۲۴ ساعته PPM	NO_2 ۲۴ ساعته ppm
۵۰-۰	-	۰/۰-۰۰/۰۶۹	۴-۰/۴	۵۴-۰	۰/۰-۰۰/۰۳۴	-
۱۰۰-۵۱	-	۰/۰-۰۷/۰۸۴	۴/۹-۵/۴	۱۵۴-۵۵	۰/۰-۰۳۵/۱۴۴	-
۱۹۹-۱۰۱	۰/۰-۱۲۵/۲۰۴	۰/۰-۰۸۵/۱۲۴	۹/۱۵-۵/۴	۳۵۴-۱۵۵	۰/۰-۱۴۵/۳۰۴	-
۲۹۹-۲۰۰	۰/۰-۲۰۵/۴۰۴	۰/۰-۱۲۵/۳۷۴	۱۵/۳۰-۵/۴	۴۲۴-۳۵۵	۰/۰-۳۰۵/۶۰۴	۰/۱-۶۵/۲۴
>۳۰۰	۰/۰-۵۰۵/۶۰۴	-	۳۰/۵۰-۵/۴	۶۰۴-۴۲۵	۰/۱-۶۰۵/۰۰۴	۱/۲-۲۵/۰۴

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

با محاسبه شاخص استاندارد آلودگی هوا، امکان بررسی وضعیت کیفیت هوا در شهر اصفهان میسر گردید. در عین حال، با بهره گیری از این شاخص، روزهای بسیار آلوده (PSI >۲۰۰) شناسایی شد. در مرحله بعد با استفاده از دادههای رقومی دوباره تحلیل شده (NCEP/NCAR)، عوامل و الگوی جریانات و شرایط جوی حاکم شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به اینکه هدف این پژوهش شناسایی سیستمهای سینوپتیک است، دادههای ارتفاع ژئوپتانسیل طبقه بندی شدند. برای طبقهبندی دادههای ارتفاع ژئوپتانسیل، از روش تحلیل عاملی با آرایه وارد استفاده شد. پس از شناسایی مولفههای اصلی موثر بر آلودگیهای شدید شهر اصفهان، جهت شناسایی الگوهای حاکم، اقدام به خوشهبندی روزها شد. سپس برای هر الگو یک روز به عنوان نماینده انتخاب و نقشههای همدید برای آن روزها ترسیم گردید. سپس خروجی مدل پسگرد ذرات معلق (HYSPLIT) مورد بررسی قرار گرفت در نهایت با بهره گیری از دادههای ایستگاه جو بالای شهر اصفهان، شرایط جو در مقیاس محلی برای روزهای نماینده بررسی شد. تجزیه و تحلیل دادههای فوق از این منظر دارای اهمیت است که در کنار بررسی های همدید، خصوصیات مقیاس محلی پدیده آلودگی هوا ارزیابی میگردد.

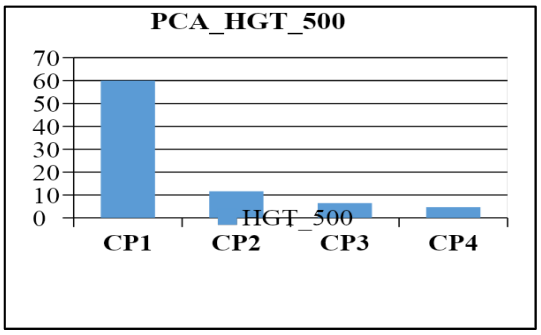
جهت تعیین منابع اصلی گردوغبار برای توفان گردوغبار موردمطالعه از مدل لاگرانژینی یا امکان ردیابی پسگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به HYSPLIT استفاده شد (دراکسلر و رالف، ۲۰۱۱). در هواشناسی دینامیک و به‌طریق اولی در مکانیک سیالات دو رهیافت اصلی در مطالعه سیالات وجود دارد: رهیافت اویلری و رهیافت لاگرانژی (لاگرانژینی). در چارچوب لاگرانژی بسته‌هوا به‌مثابه یک حباب فرضی است که آن را در هنگام حرکت در اتمسفر دنبال می‌کنیم (فلاح قالهری، ۱۳۹۳: ۹۴). مدل HYSPLIT در حقیقت مدلی دوگانه برای محاسبات حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای پف و ذرات است (Draxler and Hess, ۱۹۹۸؛ Draxler et al, ۲۰۰۹). از آنجایی رهیافت لاگرانژینی هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژینی این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت آینده (روش Forward) و یا به سمت زمان‌های گذشته (روش پسگرد یا Backward) ردیابی نمایند. برای مسیریابی پسگرد ذرات در شهر تبریز، الگوهای ردیابی از ۲۴ ساعت قبل از وقوع گرد و غبار در نظر گرفته شدند. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) درواقع داده‌های NCEP هستند که توسط آزمایشگاه هوا وابسته به NOAA مورد پردازش مجدد قرارگرفته است. این داده‌ها باقدرت تفکیک ۱×۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰ – ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می‌باشند. داده‌های تحلیل‌شده عملیاتی با مقیاس نهایی انسپ، یا به‌طور مختصر FNL (Final) از سامانه یکپارچه‌سازی دادهای جهانی (GDAS) برای تهیه داده‌های اولیه ورودی به سیستم استفاده می‌نماید سامانه GDAS نیز وظیفه جمع‌آوری دادهای مشاهداتی از سراسر جهان را با استفاده از سامانه ارتباطات از راه دور (GTS) و سایر منابع به‌صورت بی‌وقفه و پیوسته بر عهده دارد. درنهایت داده‌های FNL با مدلی مشابه مدلی که مرکز ملی پیش‌بینی محیطی برای تولید داده‌های سامانه پیش‌بینی جهانی (GFS) استفاده می‌کند تولید می‌گردد (استاندر، ۱۹۹۷، ۴۸).

شرح و تفسیر نتایج

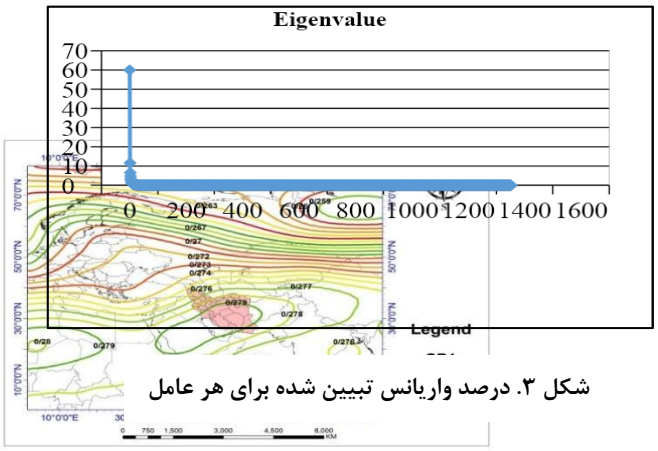
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

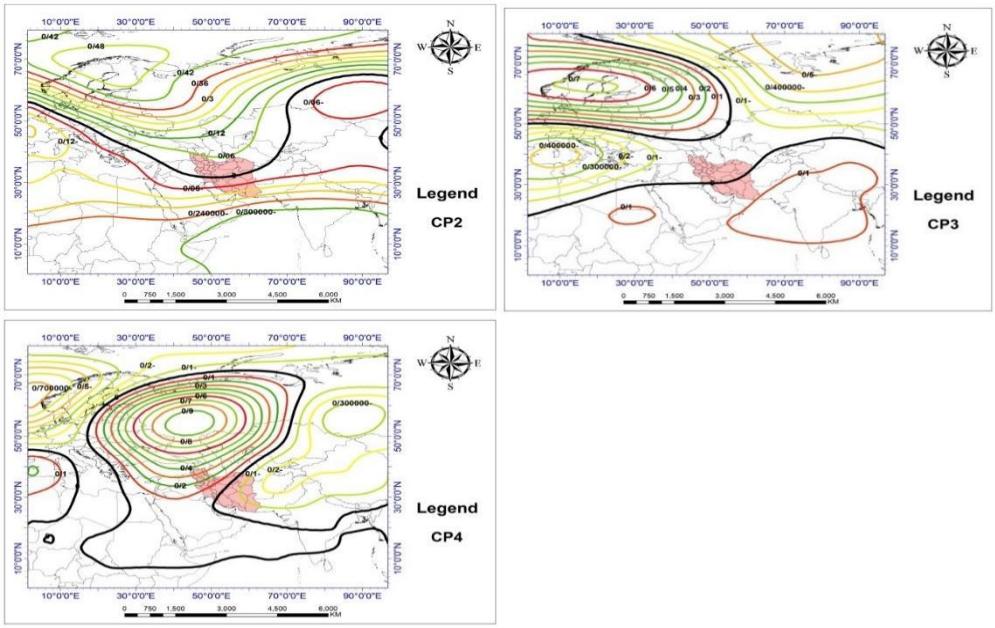
پس از بررسی وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای آلوده اصفهان، عوامل اصلی رخداد این مخاطره شناسایی شد. ۴ مولفه اول ۹۱ درصد از واریانس کل دادهها را تبیین مینماید. در شکل ۳ درصد واریانس هر یک از مولفهها و در شکل ۴ نمودار غربالی تحلیل مؤلفههای اصلی روی دادههای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز به نمایش در آمده است. با توجه به اشکال ۳ و ۴ مشخص شد که ۴ عامل در تراز میانی جو در زمان رخداد آلودگیهای شدید فعالیت مینمایند. سپس توزیع مکانی بارگویه مولفه های انتخابی برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم گردید (شکل ۵).



شکل ۴. نمودار غربالی تحلیل مؤلفه های اصلی روی داده های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۳. درصد واریانس تبیین شده برای هر عامل



شکل ۵. توزیع مکانی بارگویه مولفه های انتخابی برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

با توجه به جدول ۳ مقادیر PSI برای هر الگو بصورت جداگانه در سه ایستگاه آلودگی سنجی در شهر اصفهان استخراج شد. بررسی ها نشان داد که در الگوی اول بیشینه مقادیر شاخص آلودگی در ایستگاه آزادی بوده و پس از آن در ایستگاه لاله مشاهده می شود. در بررسی های انجام شده نشان داده شد که در زمان حاکمیت الگوی چهارم وضعیت آلودگی هوا در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

حالت بسیار آلوده در سه ایستگاه گزارش می شود. در این بین در زمان حاکمیت تیپ سوم از مقدار آلاینده ها نسبت به سایر الگوها کاهش نسبتا چشمگیری مشاهده می شود.

جدول ۳. متوسط مقادیر PSI برای هر الگو گردشی در سه ایستگاه آلودگی سنجی شهر اصفهان

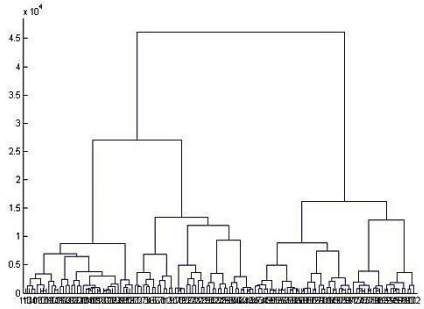
الگوهای گردشی	مقادیر PSI ایستگاه آزادی	مقادیر PSI ایستگاه بزگمهر	مقادیر PSI ایستگاه لاله
الگوی شماره ۱	۲۲۵	۲۱۸	۲۲۰
الگوی شماره ۲	۲۴۲	۲۳۹	۲۳۵
الگوی شماره ۳	۱۹۸	۲۰۳	۲۱۰
الگوی شماره ۴	۲۷۹	۲۷۳	۲۹۱

با تهیه نقشه های توزیع مکانی بارگویه مولفههای انتخابی، مناطق اصلی فعالیتهای همدیدی در تراز میانی جو مشخص شد. در نقشه های تهیه شده مقدار بار یک یاخته روی یک مولفه نشان دهنده ضریب همبستگی بین سری زمانی نمره استاندارد آن مولفه و یاخته مورد نظر است. نقشه بارگویه مولفه اول، یک مرکز پرارتفاع با ناهنجاری مثبت بر روی ایران با جهت شمال شرق-جنوب غرب کشیده شده است. این مولفه به عنوان اصلی ترین عامل با ۵۹ درصد واریانس در اکثر مواقع آلودگیهای شدید هوای شهر اصفهان شناخته میشود. مرکز فعالیت مولفه دوم در شمال شرق اروپا میباشد که با کشیده شدن آن بر روی ایران و قرارگیری منطقه در قسمت غربی محور فرود شرایط آنتی سیکلونی حاکمیت یافته است. این عامل ۱۱ درصد از کل واریانس دادهها را تبیین مینماید. در مولفه سوم سه ناهنجاری منفی و یک ناهنجاری مثبت به چشم می خورند ولی آرایش آنها به گونهای است که تأثیرات سامانه فعال در شمال اروپا بیش از سایرین بوده است و اجازه فعالیت به سایر سامانهها داده نمی شود. میتوان این سامانه را پرفشار شمال اروپا یا بندال اروپایی نامگذاری کرد که ۶ درصد از واریانس دادهها را به خود اختصاص داده است. مهمترین مرکز فعالیت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در عامل چهارم تشکیل یک پرارتفاع بسیار قوی در شرق خزر است که جوی آرام و ساکن را در منطقه بوجود آورده است. از طرفی فرو نشینی هوا بر روی ایران مرکزی و به خصوص شهر اصفهان سبب شده است تا ذرات معلق به بیشترین مقدار خود رسیده و هوایی بسیار آلوده رقم زده است.

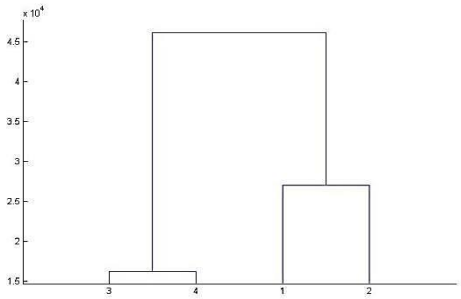
در ادامه برای شناسایی الگوهای جوی اقدام به خوشه بندی روزهای بسیار آلوده شد و تیپ های غالب شناسایی شدند. بر اساس اشکال ۶ و ۷ چهار الگوی غالب برای روزهای بسیار آلوده شناسایی و برای هر یک از آنها یک روز به عنوان نماینده انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل همدید قرار گرفت.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]



شکل ۶. دارنمای کلی الگوهای گردشی در زمان رخداد آلودگی شدید هوا



شکل ۷. دارنمای چهار الگوی گردشی در زمان رخداد آلودگی شدید هوا

تجزیه و تحلیل ترکیبی تمامی مولفه های فوق، در نهایت سبب شناسایی الگوهای گردشی اصلی برای روزهای بسیار آلوده شهر اصفهان مشخص گردید که به شرح زیر میباشد:

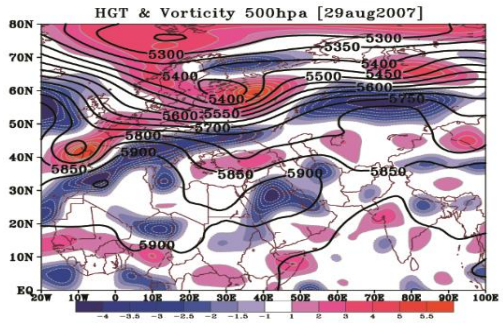
- **وضعیت تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال**

در شکل ۸ وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی به گونهای است که بر روی ایران، پرارتفاعی با پربند ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر با محور شمال شرق-جنوب غرب مستقر شده است که سبب تشکیل یک واچرخند در تراز میانی جو گشته است. حاکمیت این سامانه باعث شده است تا حرکات بالاسو در جو به کمترین مقدار خود برسد و از طرفی جوی ساکن بر منطقه حکمفرما شود. در الگوی دوم پیشروی پرفشار جنب حارهای به گونهای خاص مشاهده میگردد. این سامانه بر روی شمال آفریقا با حرکت شمال سوی خود سبب شده تا در غرب دریای خزر ناوهای نسبتاً عمیق بهوجود آید. از طرفی گسترش این پرفشار بر روی ایران جهت شرقی به خود گرفته است که تا غرب چین کشیده شده است. در این حالت یک جریان پایین سوی شدید در تراز میانی جو بر روی ایران مرکزی بهوقوع پیوسته است که سبب فرونشینی شدید هوا در مرکز این سیستم گشته است (شکل ۹). از دلایل عمده در شدت یافتن پرارتفاع جنب حارهای در زمان رخداد آلودگی شدید هوا در الگوی سوم می توان به ترافهای ایجاد شده در غرب و شرق این سامانه اشاره نمود. در غرب و شمال غرب خاورمیانه یک تراف نسبتاً ضعیف با دو هسته چرخندگی مثبت تشکیل شده است که باعث پیشروی جهت شمال شرقی سامانه پرفشار به عرضهای بالاتر است. از طرفی در شرق آن یک ناوه بسیار عمیق، با عمق ۳۵ درجهای جغرافیایی سبب شده است تا شرایط برای حرکت پرفشار به عرضهای بالاتر تسهیل گردد. این تراف عمیق از شرق افغانستان شروع و تا جنوب دریای عرب کشیده شده است. با قوت گرفتن پرفشار در تراز میانی جو، نزول هوا نیز شدیدتر و ناپایداری به کمترین حد خود در ایران مرکزی رسیده است (شکل۱۰). تشکیل یک سیستم مانع در شرق اروپا با ارتفاعی معادل ۵۷۰۰ ژئوپتانسیل متر موجبات نزول هوا را در شرق محور این سامانه فراهم نموده است. از طرفی جریانات بر روی ایران کاملا غربی شده و اغتشاشات جوی به کمترین حد خود در این زمان از سال رسیده است. قرارگیری ایران و به خصوص شهر اصفهان در زیر چرخندگی منفی سبب شده تا نزول دینامیکی هوا و گرمایش بیدررو آن روبرو شوند و جوی پایدار بوجود آید(شکل ۱۱). در سطح زمین تغییرات مکانی الگوهای فشار، نقش تعیین کنندهای را در رخداد آلودگی و انتقال ریزگردها برای تشدید آن دارند. در

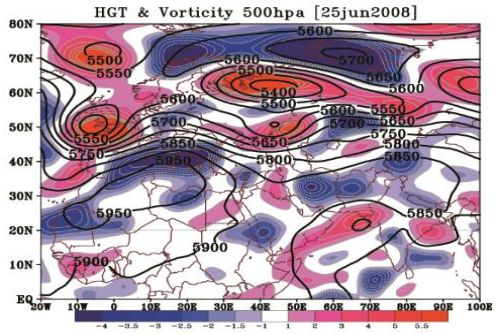
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

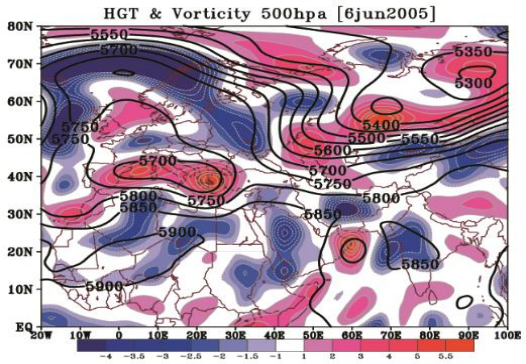
الگوی اول پرفشار واقع بر روی تبت سبب شده است تا جریانات از شمال شرق کشور وارد منطقه گردد. از طرفی بهدلیل گرمایش سطحی، کمفشار سطحی بر روی فلات ایران تشکیل شده است که سبب ایجاد جریانات شمالی بر روی شهر اصفهان، گشته است. جهتگیری جریانات سبب شده است تا ذرات گردوغبار از مرکز بیابانهای ایران مرکزی برخاسته و روانه شهر اصفهان گردد (شکل ۱۲). برای ردیابی ذرات معلق در ادامه به مدل HYSPLIT مراجعه گردد. در الگوی دوم نیز به مانند الگوی شماره یک، جهت جریانات به دلیل حضور پرفشاری بر روی شمال هند و کمفشار سطحی بر روی ایران، سبب شده است تا جریانات بر روی شهر اصفهان بصورت شمال شرقی باشد. در نقشه تهیه شده برای شاخص امگا نیز نشان از یک ناپایداری بر روی ایران مرکزی میباشد که به دلیل مازاد انرژی بر روی منطقه تشکیل شده است (شکل ۱۳)



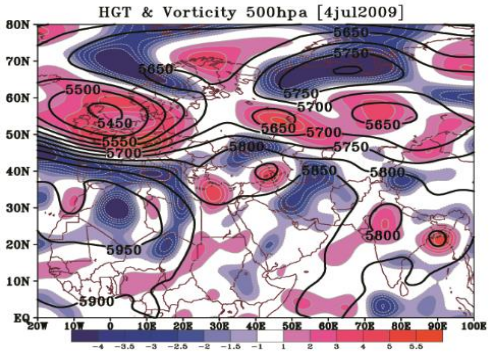
شکل ۸. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰هکتوپاسکال(الگوی اول)



شکل ۹. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الگوی دوم)



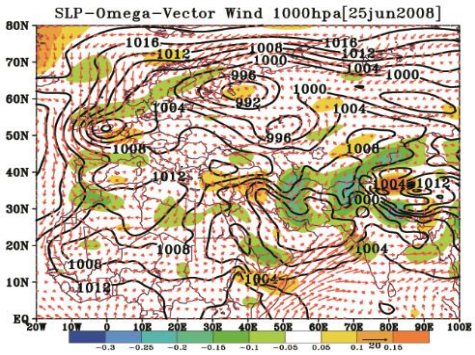
شکل ۱۰. وضعیت تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال(الگوی سوم)



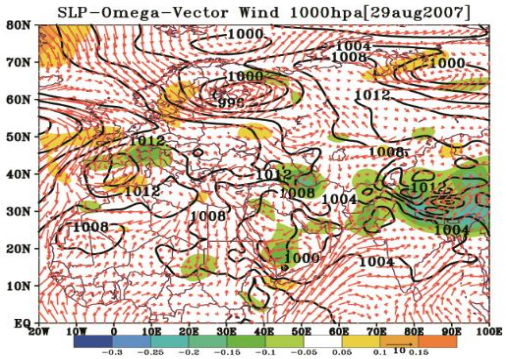
شکل ۱۱. وضعیت تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال(الگوی چهارم)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

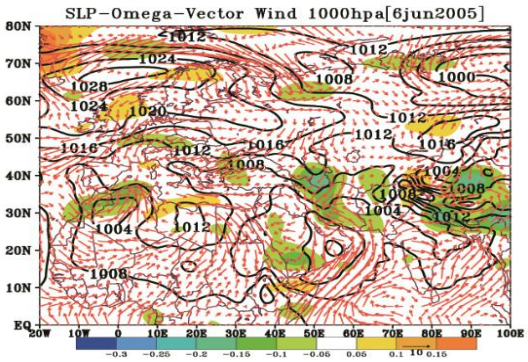


شکل ۱۲. وضعیت فشار، امگا و بردار باد در سطح زمین(الگوی اول)

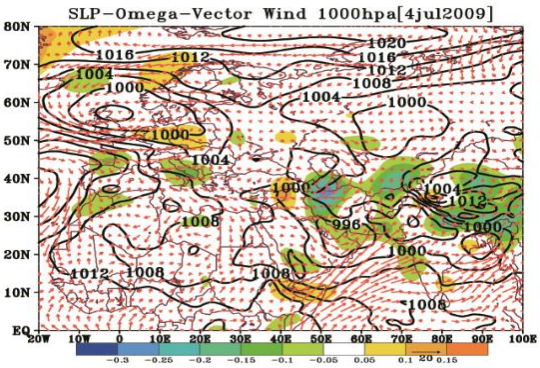


شکل ۱۳. وضعیت فشار، امگا و بردار باد در سطح زمین(الگوی دوم)

در شکل ۱۴ سهم پرفشار شمال هند کمتر شده است و منطقه بیشتر تحت تأثیر دو سلول کمفشار سطحی، یکی بر روی غرب خزر و دیگری در جنوب ایران و پرفشار تشکیل شده در جنوب مدیترانه است. شیو فشار بین کمفشار واقع در جنوب ایران و پرفشار جنوب مدیترانه سبب شده تا جهت جریانات برای منطقه، غربی گردد. دلیل این امر حضور کمفشار واقع در غرب خزر است که تأثیرات سامانه های تشکیل شده در عرضهای بالاتر را کمرنگ نموده است. از طرفی با تضعیف جریانات شمالی، جهت این جریانها غربی گشته است (شکل ۱۴). جریانات واچرخندی شرق مدیترانه و چرخندی شرق عربستان سبب شده تا از دو سو ایران مرکزی تحت تأثیر قرار گیرد. تاثیرگذاری چرخند حرارتی عربستان بیشتر از سامانه مدیترانهای مذکور بوده به طوریکه بادهایی با سرعت بالا از سوی جنوب و جنوب غرب به سمت شهر اصفهان به وزیدن گرفته است (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. وضعیت فشار، امگا و بردار باد در سطح زمین(الگوی سوم)

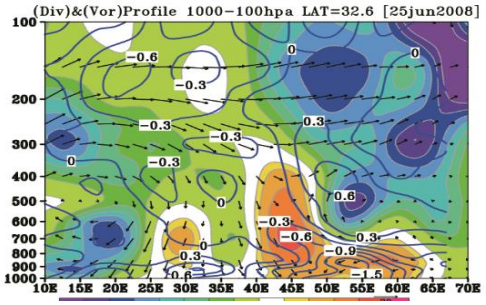


شکل ۱۵. وضعیت فشار، امگا و بردار باد در سطح زمین(الگوی چهارم)

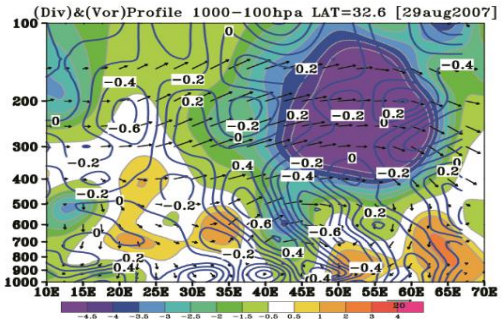
در نمودارهای نیمرخ قائم تاوایی و واگرایی تهیه شده برای روزهای بسیار آلوده برای شهر اصفهان، عرض ۳۲ درجه به عنوان عرض نماینده شهر اصفهان، طولهای جغرافیایی از ۱۰ تا ۷۰ درجه شرقی و ترازهای جوی نیز از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال انتخاب گردید. شهر اصفهان بر روی طول ۵۱ درجه شرقی قرار دارد. نتایج نشان داد در سطوح پایینتر اتمسفر(۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال) بعلت گرمایش بیدررو و بوجود آمدن منطقه مازاد انرژی، یک چرخند حرارتی قوی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

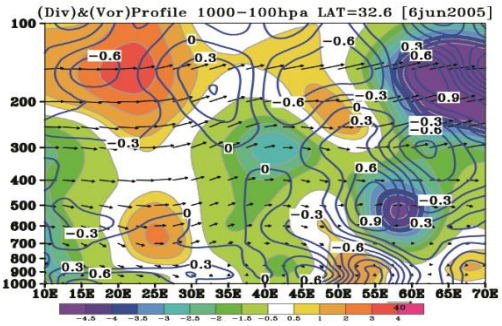
بوجود آمده است که نهایتاً تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری جو سبب شده تا جریانات صعودی فراهم گردد. اما از تراز ۷۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال یک هسته بسیار قوی آنتی سیکلونی بر روی ایران و بخصوص منطقه حاکم است که سبب شده است تا با بسته هوا با همگرایی فوقانی شرایط نزولی خود را به سمت پایین طی نماید و در سطوح پایینتر با افزایش دما، افزایش ضخامت جو و در نهایت واگرایی سطحی بوجود آورد (شکلهای ۱۶ تا ۱۹).



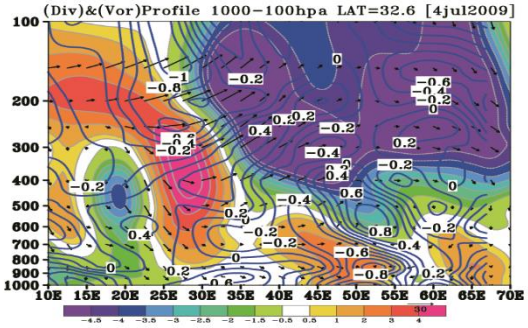
شکل ۱۶. نیمرخ قائم تاوایی و واگرایی برای عرض ۳۲ درجه(عرض شهر اصفهان)(الگوی اول)



شکل ۱۷. نیمرخ قائم تاوایی و واگرایی برای عرض ۳۲ درجه(عرض شهر اصفهان)(الگوی دوم)



شکل ۱۸. نیمرخ قائم تاوایی و واگرایی برای عرض ۳۲ درجه(عرض شهر اصفهان)(الگوی سوم)

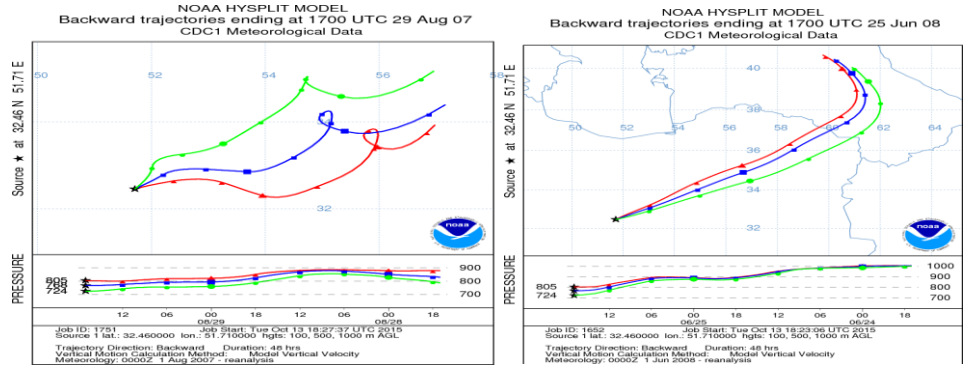


شکل ۱۹. نیمرخ قائم تاوایی و واگرایی برای عرض ۳۲ درجه(عرض شهر اصفهان)(الگوی چهارم)

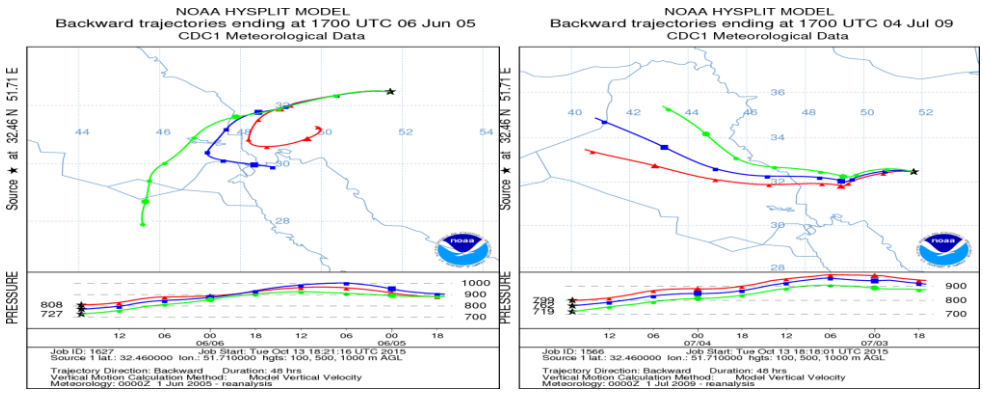
ردیابی پسگرد ذرات معلق در مدل HYSPLIT، بیانگر الگوی مشابهی از مسیر ذرات در سه ارتفاع ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سطح زمین میباشد. در الگوی اول، ذرات از شرق منطقه مورد مطالعه وارد شدهاند. میتوان مرکز این ذرات را در الگوی اول، بیابان های ایران مرکزی دانست که به دلیل تشکیل یک چرخند در نیمه شرقی ایران سبب شده تا صعود هوای خشک با ذرات گردوخاک همراه بوده و مناطق غربی را تحت تأثیر قرار دهد (شکل۲۰). در الگوی دوم، جریانات ورودی ذرات معلق در شرق دریای خزر و شرق ترکمنستان قرار دارد. میتوان دلیل عمده این رویداد را پرفشار تبت و جنوب دریای خزر دانست که تلفیق این دو سامانه سبب شده است تا جریانات شمال شرقی به سمت شهر اصفهان روانه شوند (شکل ۲۱). در الگوی سوم، جهت جریانات ذرات معلق کاملاً غربی بوده است که کانون اصلی آن شرق سوریه و غرب عراق است (شکل ۲۲). شکل ۲۳، در سه ارتفاع ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری جریانات به گونهای دیگر است. بطوریکه مبدأ ذرات معلق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

هر کدام از سطوح در مکانهای متفاوتی است. در این الگو، ذرات از شمال عربستان، شمال غرب خلیج فارس و غرب استان اصفهان به منطقه وارد شدهاند.



شکل ۲۰. ردیابی ذرات معلق به روش پسگرد(الگوی اول) **شکل ۲۱. ردیابی ذرات معلق به روش پسگرد(الگوی دوم)**

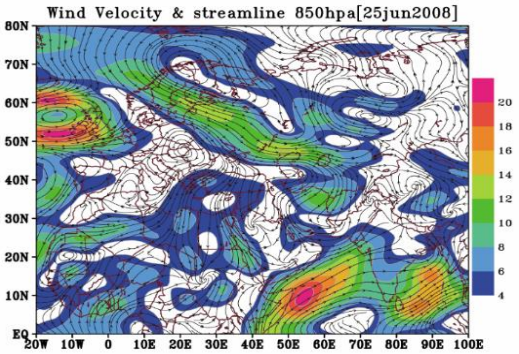


شکل ۲۲. ردیابی ذرات معلق به روش پسگرد(الگوی سوم) **شکل ۲۳. ردیابی ذرات معلق به روش پسگرد(الگوی چهارم)**

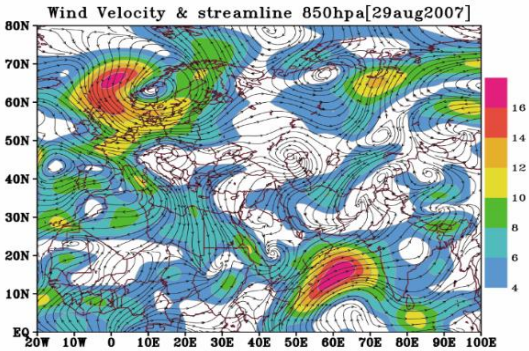
در الگوی اول و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک جریان نسبتاً قوی از شرق دریاچه آرال شروع و تا ایران مرکزی و جنوب دریای خزر ادامه یافته است که هسته سرعت آن نزدیک به ۸ متر بر ثانیه میباشد. از دلایل گسترش این سیستم به داخل کشور میتوان به واچرخند تشکیل شده بر روی خزر اشاره کرد که با ترکیب شدن با واچرخند جنوب روسیه، سبب شدت گرفتن این جریانات شده اند(شکل ۲۴). در شکل ۲۵ یک سامانه چرخندی قوی با جهتی شمال غرب-جنوب شرق در غرب روسیه تشکیل شده است که تا شمال اروپا ادامه دارد. با وارد شدن این جریانها به شرق خزر و برخورد با واچرخندهای مرکز روسیه و تبت به چند شاخه جدا تبدیل شده اند. از شاخه های اصلی این الگو میتوان به ورود یک سامانه از شمال شرق به اصفهان اشاره کرد. همانطور که در مدل ردیابی پسگرد ذرات معلق نیز اشاره شد جهت جریانات در دو الگوی اول و دوم، شرق و شمال شرق بوده است که با نقشههای جریان و سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مطابقت دارند. در شکل ۲۶ ملاحظه میشود که یک جریان شمالی با عبور از شرق مدیترانه وارد خاورمیانه شده است و بر روی عراق جهت این جریانات غرب به شرق شده و وارد کشور شده است. افزایش سرعت باد بر روی عراق سبب شده تا جریان انتقالی ذرات معلق به جو بهوجود آید. با انتقال این ذرات و روانه شدن به داخل کشور سبب تشدید آلودگی در مناطقی همچون شهر اصفهان شده است. در الگوی چهارم یک جریان غرب و جنوب غربی وارد جنوب غرب ایران شده است. ورود این جریانات با یک

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

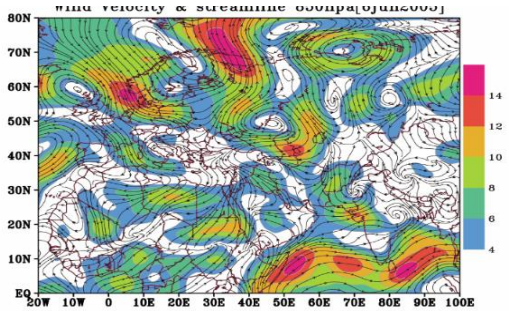
شکستگی در جنوب زاگرس همراه بوده که سبب شده تا این جریانهای عبوری از روی عراق و کویت وارد ایران مرکزی شوند(شکل ۲۷).



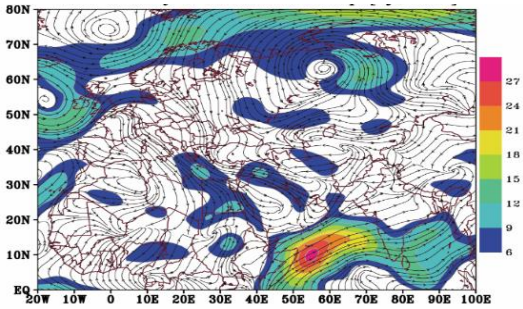
شکل ۲۴. جریان و سرعت باد د تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(الگوی اول)



شکل ۲۵. جریان و سرعت باد د تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(الگوی دوم)



شکل ۲۶. جریان و سرعت باد د تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(الگوی سوم)

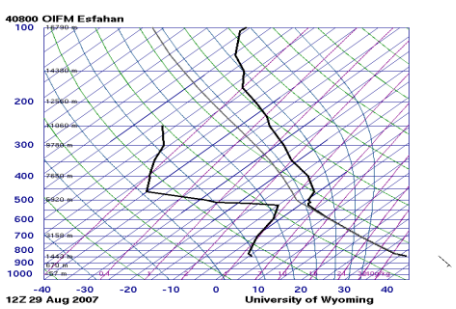


شکل ۲۷. جریان و سرعت باد د تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال(الگوی چهارم)

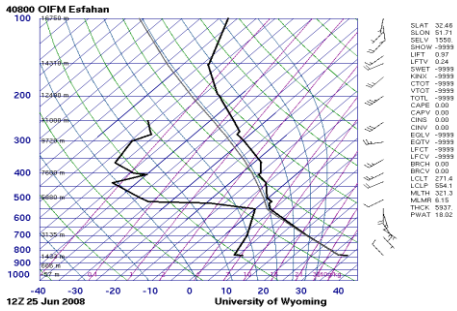
- **تحلیل ترمودینامیک روزهای بسیار آلوده شهر اصفهان با استفاده از نمودارهای t-Skew**

در این بخش با استفاده از دادههای ایستگاه جو بالای شهر اصفهان و بهرهگیری از برخی دادههای مکمل، ویژگیهای ترمودینامیکی جو در زمان رخداد روزهای بسیار آلوده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش میتواند درک عمیقتری از سازوکار حاکم بر آلودگیهای شدید این شهر فراهم نماید. شکلهای ۲۸ تا ۳۱ وضعیت پایداری و ناپایداری جو و نوع ارتفاع لایه وارونگی را در نمودارهای اسکیوتی ایستگاه جو بالای شهر اصفهان نشان میدهد. در الگوی اول و دوم ملاحظه میشود که ما بین ترازهای ۶۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال ناپایداری ضعیفی بوجود آمده است ولی در ادامه به دلیل نزول هوا لایه وارونگی دمایی قویی بوجود آورده و سبب شده تا جریانات بالاسو به حداقل خود برسد. از نظر شکل، وارونگی دمایی ایجاد شده در تراز فوقانی، یک نمونه برجسته از تیپ وارونگی سوبسیدانسی یا وارونگی حاصل از فرونشینی است که در هوای خشک، پایدار و بدون ابر ایجاد شده و از مشخصههای بارز آن، کاهش ناگهانی، همزمان و قابل ملاحظه رطوبت در محدوده لایه وارونگی است(شکل ۲۸ و ۲۹). در الگوهای سوم و چهارم نیز جوی ساکن مشاهده میشود که با افزایش ارتفاع، خطوط دمای نقطه شبنم و دمای هوا از یکدیگر دور شده است و ضخامت جو افزایش یافته است (شکلهای ۳۰ و ۳۱).

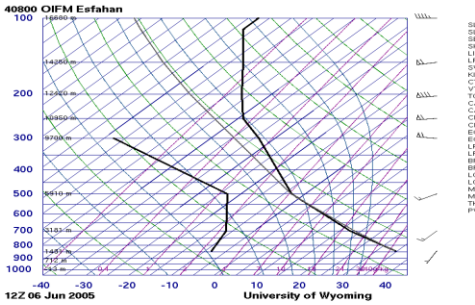
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]



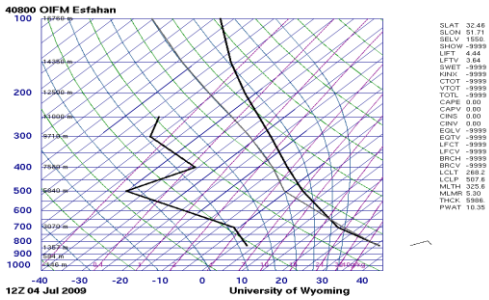
شکل ۲۹. نمودار اسکیوتی ایستگاه اصفهان(الگوی دوم)



شکل ۲۸. نمودار اسکیوتی ایستگاه اصفهان(الگوی اول)



شکل ۳۱. نمودار اسکیوتی ایستگاه اصفهان(الگوی چهارم)



شکل ۳۰. نمودار اسکیوتی ایستگاه اصفهان(الگوی سوم)

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر نقش گردش منطقهای جو و الگوهای فشار مقیاس همدید در بروز روزهای بسیار آلوده شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا، ابتدا ویژگیهای کلی آلودگی شهر اصفهان مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس سازوکار حاکم بر وقوع دورههای آلودگی حدی در این شهر با بهرهگیری از یک روش ترکیبی مبتنی بر تحلیلهای همدید، ترمودینامیکی و ردیابی پسگرد ذرات معلق، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسیهای انجام شده یافتههای زیر را در بر داشته است:

یافته ها نشان میدهد روزهای بسیار آلوده شهر اصفهان در غالب ۴ الگوی همدیدی قابل تبیین میباشند. این چهار الگو ۹۱ درصد از واریانس کل دادهها را به خود اختصاص داده است. بر این اساس میتوان چنین نتیجهگیری کرد که بروز روزهای همراه با آلودگی بسیار شدید در اصفهان بیش از آنکه ریشه در عوامل محلی داشته باشد، حاصل برهمکنش شرایط محلی با گردش جو در مقیاس منطقهای است. به عبارتی شهر اصفهان تنها زمانی روزهای بسیار آلوده را تجربه خواهد نمود که گردش منطقهای جو شرایط را برای افزایش غلظت آلایندهها فراهم نماید.

از عوامل اصلی رخداد روزهای همراه با بیشینه آلودگی میتوان به پرارتفاع جنب حارهای و پیشروی آن به سمت عرضهای بالاتر دانست. که بطور کلی میتوان چنین اظهار داشت که نقش الگوهای همدیدی و ساختار گردش جو در ترازهای میانی جو سهم بیشتری را نسبت به سایر عوامل به خود اختصاص دادهاند. سامانه گردشی یاد شده در اکثر روزها یا بصورت مستقیم و یا بصورت ترکیبی با سایر سیستمهای جوی در پیدایش روزهای بسیار آلوده مشارکت دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

نقش عوامل محلی همچون بوجود آمدن لایه وارونگی و افزایش ضخامت جو بواسطه تسلط سامانههای پرفشار بر روی منطقه را نیز میتوان در تشدید شرایط مذکور دانست.

استفاده از مدل ردیابی پسگرد ذرات معلق و بررسی روابط ترمودینامیکی جو، درک عمیقتر و در عین حال دقیقتر از سازوکارهای حاکم بر وقوع آلودگیهای حدی در شهر اصفهان فراهم نموده است. نتایج حاصل از این روش نشان داد که رخداد روزهای بسیار آلوده در شهر اصفهان را نمیتوان در آلایندههای شهری همچون کارخانههای صنعتی اتومبیلها و... دانست بلکه ورود ذرات معلق از مناطق مختلف سبب شده است تا آلودگی از شدت بالاتری برخوردار باشد.

در واقع پژوهش حاضر بر این امر تاکید دارد که محققانی از جمله :علیجانی،۱۳۸۴؛ حسین پور، ۱۳۹۰؛ مفیدی، ۱۳۹۳، بر نقش ملامعارض و برجسته سامانه های برون حاره عام و واچرخندهای مهاجر بطور خاص رسیده اند.

منابع

اسراری، الهام و مریم پایدار.۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات غلظت ذرات معلق شهر مشهد با استفاده از داده های هواشناسی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*، **۴**: ۸۶- ۹۱.

بیدختی، عباسعلی و زهرا شرعی پور.۱۳۸۸. شرایط هواشناختی جو بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا مطالعه موردی: شهر تهران. *مجله محیط شناسی*، **۵۲**: ۱-۱۴.

حجازی زاده، زهرا. ۱۳۷۶. بررسی همدیدی نرمال پرفشار جنب حاره. *رشد آموزش جغرافیا*، **۴۵**: ۲۰-۲۵.

حجازی زاده، زهرا؛ فرشاد پژوه، صنم کوهی و فرزانه جعفری.۱۳۹۶. واکاوی رابطه الگوهای همدید با میزان ذرات معلق آلاینده فراگیر در استان تهران. *فصلنامه جغرافیا*، سال پانزدهم، **۵۳**: ۲۱- ۳۶.

حسین پور، زینب. ۱۳۹۰. *تحلیل همدیدی آلودگی هوای شهر تهران با تاکید بر ذرات معلق*. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران. استاد راهنما علی اکبر شمسی پور.

حلبیان، امیرحسین و جواد پورشهبازی فراشبندی.۱۳۹۵. واکاوی شرایط همدید - ترمودینامیک آلودگی هوای شهر اصفهان مطالعه موردی(۱۳-۱۵ آذر ۱۳۹۱). *پژوهشهای محیط زیست*، **۷(۴۱)**.

رنجبر سعادت آبادی، عباس و لیلا محمدیان محمدی. ۱۳۸۹. مطالعه میانگین الگوهای همدیدی بر اساس رخداد غلظتهای مختلف آلاینده CO در فصول تابستان و پاییز در تهران. *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، **۷۲**: ۱۲۹-۱۱۱.

صفوی، یحیی و بهلول علیجانی. ۱۳۸۵. بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران. *پژوهش های جغرافیایی*، شماره **۵۸**: ۱۱۲-۹۹.

ضرابی، اصغر.؛ جمال محمدی و علی اصغر عبدالهی. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان. *فصلنامه جغرافیای ایران*، دوره هشتم، **۲۶**: ۱۵۹-۱۵۲.

عزتیان، ویکتوریا. ۱۳۸۶. *بررسی تاثیر پارامترهای هواشناسی بر شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان*. پایان نامه دکترا، دانشگاه اصفهان.

عطایی، هوشمند و سادات هاشمی نسب. ۱۳۹۰. بررسی آماری آلودگی هوای شهر اصفهان و ارتباط آن با فراسنج های اقلیمی. *یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران*، دانشگاه شهید بهشتی. ۹۱.

عطایی، ههوشمند و سادات هاشمی نسب.۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل آماری شاخص استاندارد آلودگی(PSI) هوای شهر اصفهان. *اولین همایش ملی جغرافیا و مدیریت محیط*، دانشگاه آزاد اسلامی آستارا.

علیجانی، بهلول. ۱۳۸۴. رابطه بین توزیع فشار و تراکم آلاینده ها در تهران. *پژوهش های جغرافیایی*. **۵۱**.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

فلاح قالهری، غلامعباس. ۱۳۹۳. *اصول و مبانی هواشناسی*. سبزوار. چاپ ۱. انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری.

مفیدی، عباس؛ سلیمان صادقی، مهین جهانشیری و رضا دوستان.۱۳۹۳. نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۱۰**.

Air Weather Service. ۱۹۹۰. *The Use of the Skew-T, log P Diagram in Analysis and Forecasting. Technical report*, AWS/TR-۷۹/۰۰٦, Scott Air Force Base, Illinois ٦۲۲۲٥- ٥۰۰۸: ۱٦٤.

Ccoyllo, S.O.R.; Andrade M.F. ۲۰۰۲. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil. *Environmental Pollution*. ۱۱٦ **(۲):** ۲٥۷-۲٦۳.

Chen Z.C; X.R. Guo, W.H. Wang, D.S. Chen, and S.Y. cheng. ۲۰۰۸. Relationship between atmospheric pollution processes and synoptic pressure patterns in northern China. *Atmospheric Environment*, **٤۲**:٦۰۷۸–٦۰۸۷.

Draxler, R.R; B. Stunder, G. Rolph, A. Stein, and A. Taylor. ۲۰۰۹. *Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories 4 user's guide*. NOAA Tech. Memo, ERL-ARL.

Draxler R.R, and GD Rolph. ۲۰۱۱. *HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*). Model access via NOAA ARL READY Website (http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT. php). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

Draxler, R.R, and GD Rolph. ۲۰۱۱. *HYSPLIT (HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory*), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring,MD.

Draxler, RR. and G. D Hess. ۱۹۹۸. An overview of the HYSPLIT_٤ modeling system for trajectories, dispersion and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*, **٤۷:** ۲۹٥-۳۰۸.

Flocas, H; A. Kelessis, C. Helmis, M. Petrakakis, M. Zoumakis, and K. Pappas. ۲۰۰۹. Synoptic and local scale atmospheric circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology* .**۹٥**: ۲٦٥–۲۷۷.

Goldberg, M.L. ۲۰۱۱. The Top ۱۰ Most Air Polluted Cities in the World are. World Health Organization (WHO), UN Dispatch, ۲٦ Sep. ۲۰۱۱, Available at http://www.undispatch.com/the-top-۱۰-most-air-polluted-cities-in-the-world-are.

He, J; S. Gong, Y. Yu, L. Yu, L. Wu, H. Mao, C. song, S. zhao, H. liu, X. li, and R. Li. ۲۰۱۷. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during ۲۰۱٤–۲۰۱٥ in major Chinese cities. *Environmental pollution*, **۲۲۳**: ٤۸٤-٤۹٦.

Jury, M. R. ۲۰۱۷. Statistics and meteorology of air pollution episodes over the South African Highveld based on satellite–model datasets. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **٥٦(٦)**: ۱٥۸۳-۱٥۹٤.

Lazaridis, M. ۲۰۱۱. *First Principles of Meteorology and Air Pollution*. Springer Dordrecht New York Heidelberg London,DOI: ۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۹٤-۰۰۷-۰۱٦۲-٥

Miao, Y; J. Guo, S. Liu, H. Liu, Z. Li, W. Zhang, and P. Zhai. ۲۰۱۷. Classification of summertime synoptic patterns in Beijing and their associations with boundary layer structure affecting aerosol pollution. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ۱۷(٤): ۳۰۹۷-۳۱۱۰.

Makra, L; J. Mika, A. Bartzokas, R. Be´czi, E. Borsos, and Z. Su¨meghy. ۲۰۰٦. An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special interest in air pollution levels. *Meteorology and Atmospheric Physices* ,**۹۲**: ۱۱٥–۱۳۷.

Stunder, B.J.B. ۱۹۹۷. *NCEP Model Output – FNL ARCHIVE DATA, TD-6141*. Prepared for National Climatic Data Center (NCDC).

Tu, J; Z. Xia, H. Wang, and W. Li. ۲۰۰۷.Temporal variations in surface ozone and its precursors and meteorological effects at an urban site in China. *Atmospheric Research*, **۸٥**: ۳۱۰-۳۳۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.1.11.7]