

## شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو موثر در آلودگی هوای شهر اصفهان

هوشمند عطایی: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران\*  
سادات هاشمی نسب: مربی اقلیم‌شناسی، دانشگاه پیام نور، اصفهان، ایران

### چکیده

در این پژوهش برای بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان از داده‌های شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI) روزانه سه ایستگاه پایش کیفیت آلودگی (میدان لاله، آزادی و بزرگمهر) در محدوده شهر اصفهان طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۴ استفاده شده است. رویکرد مورد نظر در این پژوهش محیطی به گردشی بوده، بنابراین، برای مشخص نمودن اثر گذاری و ارتباط بیشینه‌های PSI روزانه، طی دوره آماری روزهای با بیش از عدد ۱۲۰ انتخاب شده‌اند. بر این اساس، نقشه‌های الگوهای تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) برای مختصات ۱۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی از پایگاه اقلیمی NCEP/NCAR استخراج شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که الگوهای گردشی تراز میانی جو تاثیر به سزایی در آلودگی هوای شهر اصفهان داشته، که در دوره‌های سرد و گرم سال، کانونی از پرفشارهای گسترده، بر روی قلمروی وسیعی از ایران و به خصوص منطقه مورد مطالعه مشاهده شده که حضور این کانون پرفشار، سبب پایداری و تراکم ذرات بر روی شهر اصفهان شده است. واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، الگوی گردشی، سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، شاخص استاندارد آلودگی هوا، شهر اصفهان

## ۱- مقدمه

## ۱-۱- بیان مساله

بی توجهی انسان نسبت به محیط زیست از معضلات قرن اخیر است که آلودگی هوا بخشی از این معضل می باشد. موقعیت جغرافیایی، نوع کاربری اراضی، فعالیت های انسانی و آب و هوا از جمله عوامل تشدید کننده آلودگی هوا هستند. امروزه با توسعه شهرها، صنایع و گسترش کارخانه ها، کارگاههای صنعتی و وسایل نقلیه در همه مناطق جهان، محیط زیست انسان شدیداً متاثر از این گسترش و پراکندگی گردیده به طوریکه که آب و هوا در نقاطی از جهان مورد تهدید قرار گرفته و حتی در پاره ای نقاط مخاطره آمیز می باشد. کشورهای جهان برای جلوگیری از آلودگی هوا شیوه های گوناگونی به کار می برند. تعدادی از آنها معیارهای کنترل شدیدی وضع کرده و گروهی دیگر مسئله را نادیده گرفته اند. یکی از راههای کاهش آلودگی وضع استانداردهای خروجی یا محدودیت مواد خروجی در سطح قابل قبول است. در حال حاضر ۷ شهر بزرگ کشورمان با مسائل آلودگی درگیر هستند و ۷ شهر دیگر در شرف آلودگی قرار دارند و بیش از ۶۰ درصد از آلودگی هوا در اکثر شهرهای بزرگ ناشی از کار وسایل نقلیه خصوصی و عمومی و بقیه مربوط به کارخانه ها، صنایع و منابع خانگی است و یکی از ۷ شهر بزرگ که با مسایل آلودگی درگیر هستند اصفهان است. آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل و خسارات ناشی از تصادفات شهری در ایران سالانه حدود ۴۰۰ میلیارد تومان به اقتصاد ملی زیان وارد می کند که بررسی اقدامات مذکور حاکی از آن است که کم هزینه ترین

راه مبارزه با آلودگی هوا پیشگیری از انتشار آلاینده ها با بهره گیری از فن آوریهای مناسب است. صنایع از فعالیت های اساسی و حیاتی در هر منطقه می باشد، صنایع از جمله منابع ساکن تولید آلاینده محسوب می شود و با توجه به نوع سوخت مصرفی و محصولات تولیدی، آلاینده های مختلفی در مقادیر متفاوت منتشر می نماید. پدیده های آب و هوایی بر کیفیت هوای شهر تاثیر زیادی دارند و شرایط بحرانی آلودگی هوا تحت شرایط جوی خاصی ایجاد و تشدید می شود. شناخت ارتباط بین شرایط جوی و کیفیت هوای شهر به پژوهشگران این امکان را می دهد که اثرات سوء ناشی از این ارتباط را به حداقل برسانند. در شهر اصفهان نزدیک به ۶۰ درصد هوا پایدار و آرام است (کاوایی ۱۳۸۶) که این امر پایش کیفیت هوای شهر را ضروری می کند. از طرفی سامانه های سینوپتیکی غالب، ارتفاع سازه های شهری و توپوگرافی نیز بر کیفیت هوای شهری اثر دارند لذا با برنامه ریزی مناسب شهری، زیست محیطی می توان تا حدودی از آثار سوء آلودگی هوا بر انسان و محیط زیست کاست. شهر اصفهان به عنوان یکی از شهرهای بزرگ کشور در سالهای اخیر با این مشکل زیست محیطی (آلودگی هوا) روبه رو بوده است.

## ۱-۲- اهمیت و ضرورت پژوهش

هوای پاک مایه زندگی بشر است و نیاز به آن بیش از نیاز به غذا و آب می باشد. صنایع مدرن امروزی، باعث تولید گازها و ذرات زیادی می شود که هوای کره زمین را آلوده می کنند. عوامل جوی موثر در آلودگی هوا، پخش و انتشار آلاینده های هوا تابع استقرار شرایط جوی جغرافیایی در زمان و مکان معین

می باشد. گاهی اوقات شرایط جوی در پخش آلوده کننده ها موثر بوده که گاه شرایط مناسبی را ایجاد و گاه نیز باعث تشدید آلودگی می شود. بنابراین با وجود پیشرفت های مختلف تکنولوژیکی مطالعه چگونگی شرایط تشدید آلودگی در کانون توجه بسیاری از برنامه ریزان قرار گرفته است. در نهایت می توان اذعان داشت که بحث پیرامون آلودگی هوا از جنبه های مختلف دارای اهمیت می باشد و اولین گام در زمینه آلودگی هوا، ارزیابی است. بنابراین اهمیت و ارزش این پژوهش در بررسی آماری بیشینه آلودگی هوای شهر اصفهان و تطابق آن با الگوهای گردشی تراز میانی جو طی دوره زمانی روزانه است. نتایج این پژوهش در جهت تصمیم گیری برنامه ریزان زیربنایی شهر اصفهان می تواند مفید و موثر واقع شود.

### ۱-۳- پیشینه پژوهش

پیرامون آلودگی هوا مطالعات متعددی در جهان صورت پذیرفته که در این میان می توان به موارد زیر اشاره نمود:

برانگ فیل<sup>۱</sup> (۱۹۷۱) در پژوهشی با عنوان « مهم ترین فاکتورها تجمع دی اکسید گوگرد در مرکز استکهلم » ابتدا به بررسی همبستگی میزان دی اکسید گوگرد و وارونگی دما پرداخت و سپس بیان نمود که گردایان قائم دما در ۳۷ متری از سطح در ساعات اولیه صبح مشخصه خوبی برای پیش بینی آلودگی می باشد. پترسون<sup>۲</sup> (۱۹۷۲) از بردارهای ویژه برای مطالعه الگوی آلاینده های هوا استفاده نمود. ضرایب بردار ویژه به عنوان متغیرهای وابسته، تابعی از فراسنج های

<sup>۳</sup> - Hertel

<sup>۴</sup> - Ccoyllo.et

<sup>۵</sup> - São Paulo

<sup>۶</sup> - Moussiopoulo.et

<sup>۱</sup> - Bringfelt

<sup>۲</sup> - Patterson

ری<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله ای با عنوان « یک روش جدید برای تخمین سطح کیفیت هوا با استفاده رگرسیون و سینوپتیک » طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۶ به این نتایج دست یافتند که  $M_8$  و  $O_3$  وابسته به تغییرات فصلی می باشند و مدل ECMWF عملکرد ضعیف تری نسبت به مدل های  $M_8$ ،  $O_3$ ،  $PM_{10}$  و سری زمانی اطلاعات هواشناسی دارد. باچهالز<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله ای با عنوان « مشخصات آلودگی هوا و ارتباط آن با الگوهای میانی جو در شمال غرب اروپا » طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۷ و ۱۵ ایستگاه پایش کیفیت هوا در بلژیک، فرانسه، آلمان و لوکزامبرگ به این نتیجه دست یافتند که رژیم های گردش سیکلونی نسبت به رژیم های آنتی سیکلونی و نصف النهاری در افزایش کیفیت هوا موثرتر بوده و روزهای با پدیده بارش نسبت به روزهای با حاکمیت توده هوای خشک در کاهش  $PM_{10}$  و افزایش کیفیت هوا اثر گذارتر می باشند. در ادبیات ایران در خصوص آلودگی هوا می توان به کارهای ارزشمند زیر اشاره نمود:

سلطانیه (۱۳۷۵) در طرح پژوهشی تحت عنوان « مدل سازی و شبیه سازی تشکیل و انتقال مه دود فتوشیمیایی در هوای تهران » با بررسی منابع آلاینده وضعیت آب و هوایی و جغرافیایی اطلاعات جامعی در زمینه تشکیل مه دود فتوشیمیایی ارائه نموده است. علایی (۱۳۷۶) در طرحی تحت عنوان « نمونه گیری، آنالیز و مدل سازی ذرات در هوای شهر تهران جهت شناسایی سهم منابع مختلف » نمونه هوا را آنالیز

گردید که محاسبات روزانه مدل شباهت هایی با کل سال دارد و این مدل برای دوره های زمانی طولانی ابزار عملی مناسبی می باشد. گویال<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) در مقاله ای با عنوان « درک مشکل آلودگی حمل و نقل در مقابل کیفیت هوای محیطی » از حمل و نقل به عنوان عامل اصلی آلودگی شهر نام برده است و معتقد است که ۳۰٪ تا ۸۰٪ از کل آلودگی های هوا را اتومبیل ها تشکیل می دهد و وی در این مقاله مشارکت عمومی و آگاهی از مسئله حمل و نقل و آلودگی و همچنین مزایای تکمیل مدیریت استراتژیها را مطرح نموده که بر اساس تحلیل اطلاعات علمی و تکنیکی استوار است. چن<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله ای با عنوان « بررسی ارتباط بین آلودگی هوا و فرایندهای کوتاه الگوهای فشار در شمال چین » با استفاده از شاخص (API) در ۱۰ شهرستان در شمال چین و الگوهای فشار در طی پاییز و زمستان (۲۰۰۲-۲۰۰۶) با بکارگیری روش های آماری به این نتایج دست یافتند که افزایش شاخص (API) با فشار بالا و پایین هوا، بخش عقبی کم فشار و کاهش آن با شیب های رو به بالای فشار مرتبط است. چورمن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله ای با عنوان « مدل سازی مکانی و تاثیرات سینوپتیک در تراکم ازن در پیچیدگی مکان نگاری در جنوب ایتالیا » با استفاده از بادهایی در مقیاس محلی طی ۴ دوره ۵ تا ۷ روزه به عنوان نماینده هر فصل به بررسی غلظت ازن اقدام نموده اند و مشخص شد هنگامی که باد دریا-کوه به خوبی در منطقه توسعه یابد در مقدار تراکم ازن موثر می باشد. دیمی زی ری<sup>۴</sup>

<sup>4</sup> - Demuzere.et

<sup>5</sup> - Buchholz. et

<sup>7</sup> - Goyal

<sup>2</sup> - Chen.et

<sup>3</sup> - Schu'rmann.et

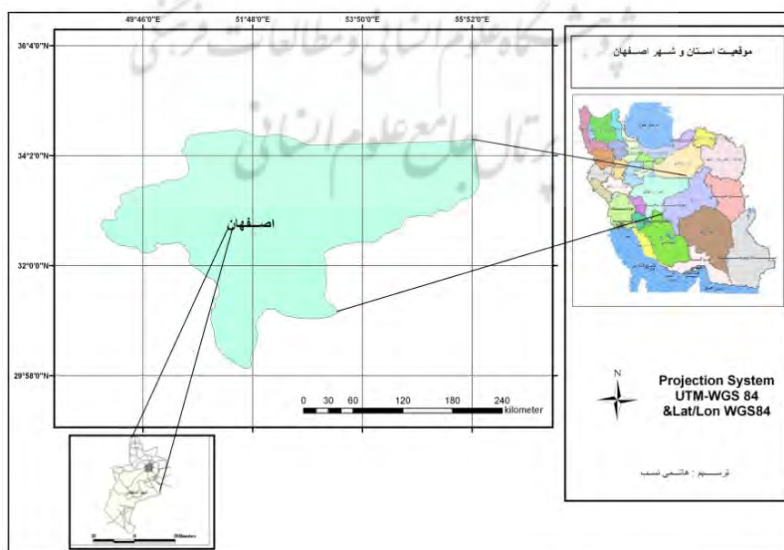
همکاران (۱۳۸۹) در مقاله ای با عنوان « بازننگری طرح جامع کنترل آلودگی هوای تهران بزرگ و روند پیشرفت محورهای طرح » استراتژی های مناسب به منظور کنترل آلودگی هوای تهران را با استفاده از نظر سنجی کارشناسان مرتبط با طرح از جمله حمل و نقل عمومی، معاینه فنی، مدیریت ترافیک و پیشنهاد سوخت جایگزین را ارائه نموده اند. ضرابی و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله ای با عنوان « بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان » به این نتایج دست یافتند که از مجموع کل آلاینده های وارد شده به شهر اصفهان ۱۳ درصد متعلق به صنایع شهری، ۱۱ درصد مربوط به منابع خانگی و ۷۶ درصد از کل آلاینده ها مرتبط به منابع آلوده کننده ناشی از ترافیک در شهر می باشد. عطایی و هاشمی نسب (۱۳۹۰) در مقاله ای تحت عنوان « بررسی آماری آلودگی هوای شهر اصفهان و ارتباط آن با فراسنج های اقلیمی » به این نتایج دست یافتند که در روزهایی که سرعت باد کم و میزان فشار زیاد باشد آلودگی افزایش یافته و روزهایی که رطوبت نسبی افزایش یابد از مقدار  $SO_2$  و CO کاسته می گردد. عطایی و هاشمی نسب (۱۳۹۰) در مقاله ای با عنوان « تجزیه و تحلیل آماری شاخص استاندارد آلودگی (PSI) هوای شهر اصفهان » به این نتایج دست یافتند که بالاترین میزان شاخص استاندارد هوا در فصل تابستان گزارش شده است که در ردیف آلوده واقع گردیده و فصل تابستان در شهر اصفهان آلوده ترین فصل سال است که یکی از دلایل عمده آن قرار گرفتن این شهر در منطقه خشک و نیمه خشک و نبود نزولات آسمانی و کاهش میزان رطوبت نسبی در این فصل است.

نموده و غلظت موجود در آن را در هر فصل تعیین نموده است. بلوکی (۱۳۷۹) در پایان نامه ای تحت عنوان « مطالعه و بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان » مطالبی در زمینه منابع آلاینده در شهر اصفهان، نوع انرژی مصرفی و میزان انتشار آلاینده از این منابع ارائه داده و نقش پارامترهای جوی در نحوه انتشار آلاینده ها را بررسی کرده است. شرعی پور و همکاران (۱۳۸۴) در مقاله ای با عنوان « بررسی آلودگی هوای شهر تهران و ارتباط آن با مشخصه های هواشناسی به این نتایج دست یافتند که همبستگی بین مشخصه های هواشناسی و غلظت آلاینده ها در فصل سرد سال معنی دار می باشد. صفوی و همکاران (۱۳۸۵) در مقاله ای با عنوان « بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران » ارتباط الگوهای فشار و آلودگی هوای تهران را مورد بررسی قرار داده اند. نتایج نشان می دهد که معمولاً غلظت های بالای آلاینده ها با فشار جو مرتبط می باشد. عزتیان (۱۳۸۶) در رساله دکتری با عنوان « بررسی تاثیر پارامترهای هواشناسی بر شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان » مطالبی در زمینه منابع آلاینده در شهر اصفهان و نوع سوختهای مصرفی و میزان انتشار آلاینده ها از این منابع ارائه داده و نقش پارامترهای هواشناسی را در نحوه انتشار آلاینده ها بررسی کرده است. قسامی و همکاران (۱۳۸۶) در مقاله ای با عنوان « بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران » به این نتایج دست یافتند که سامانه پرفشار منطقه ای (منطقه ایران)، از نوع سامانه های عرض های میانی که در ناحیه حاکم باشد غلظت آلاینده ها افزایش یافته و گاهی اوقات ممکن است دو تا سه برابر، بیشتر از حد مجاز باشد. محرم نژاد و

آلودگی (میدان لاله، آزادی و بزرگمهر) در محدوده شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۸۶-۱۳۸۴ استفاده شده است. رویکرد مورد نظر در این پژوهش محیطی به گردشی بوده، لذا جهت مشخص نمودن اثر گذاری ارتباط بیشینه های PSI روزانه، طی دوره آماری روزهای با بیش از عدد ۱۲۰ انتخاب شده اند. بر این اساس نقشه های الگوهای تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) برای مختصات ۱۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی از پایگاه اقلیمی NCEP/NCAP استخراج شد.

#### ۱-۷- موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهر اصفهان در فلات مرکزی ایران در دشتی وسیع بین کوهستان زاگرس و پیش کوههای 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.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر اصفهان

#### ۱-۴- هدف

هدف از این پژوهش بررسی آماری بیشینه آلودگی هوای شهر اصفهان و تطابق آن با الگوهای گردشی تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) طی دوره زمانی روزانه است.

#### ۱-۵- سوال و فرضیه

در این پژوهش سعی بر آن است که سؤال مطرح شده پاسخ داده شود و همچنین صحت فرضیه مورد ارزیابی قرار گیرد.

- آیا الگوهای گردشی تراز میانی جو تاثیر زیادی

در آلودگی های بیشینه شهر اصفهان دارد؟

- الگوهای گردشی تراز میانی جو تاثیر بسزایی در

آلودگی شدید شهر اصفهان دارد.

#### ۱-۶- مواد و روش شناسی

در این پژوهش از داده های شاخص استاندارد

آلودگی هوا (PSI) روزانه سه ایستگاه پایش کیفیت

## ۲- مفاهیم و دیدگاه نظری پژوهش

اثر آلودگی هوای شهری روشن ترین مثال و بهترین گواه از جرح و تعدیل های ناخواسته انسانی و در پی آن اقلیمی است که شکل و اندازه این پدیده (آلودگی هوا) حاصل ویژگی های مکانی، زمانی و تاثیر فراسنج های اقلیمی، شهری و محلی می باشد. آلاینده ها با توجه به شکل فیزیکی به سه گروه مایع، جامد و گاز دسته بندی می شوند. آلاینده های گازی موجود در جو طیف وسیعی دارند و منبع انتشار آنها طبیعی و یا ناشی از فعالیتهای بشر است. معمولاً آلاینده های گازی به سه دسته کلی به شرح زیر طبقه بندی می شوند:

الف) آلاینده های اولیه: توسط فعالیتهای طبیعی یا مصنوعی و در مقیاس وسیع مستقیماً به تروپوسفر گسیل می شوند، مانند ذرات ریز گرد و غبار، دی اکسید گوگرد، منو اکسید کربن، اکسید های نیتروژن و هیدروکربن ها.

ب) آلاینده های ثانویه: از بر هم کنش آلاینده های اولیه با دیگر آلاینده ها در برابر نور خورشید در تروپوسفر ایجاد می شوند مانند اوزون، پراکسی استیل نترات و آلدئیدها (فرمالئید، آکرولین).

ج) آلاینده های سمی: حضور این مواد با هر غلظتی در محیط خطرناک است. این آلاینده ها منابع محدودی دارند و مقدارشان در جو ناچیز است مانند آزبست، بریلیوم، جیوه، آرسنیک، کادمیوم، بنزن، پلوتونیوم، منگنز و ... (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۶)

نحوه انتشار از منبع و شرایط جوی، تعیین کننده نحوه پراکنش و میزان تاثیر آلاینده گازی می باشد.

یک آلاینده گازی پس از خروج از منبع با توجه به وضعیت جوی سه بر هم کنش خواهد داشت:

- تفرق و پخش: در لایه های عمودی و افقی صورت گرفته و به پایداری جو، تلاطم و سمت و سرعت باد در ارتفاعات مختلف بستگی دارد.

- دگرگونی و تبدیل: عکس العملهای شیمیایی آلاینده با رطوبت و دیگر مواد موجود در جو است.

- جابجایی: آلاینده پس از خروج از منبع و پس از طی مسافتی دچار جذب یا نهشت می شود.

میزان آلودگی جو به منابع انتشار بستگی دارد، ولی همه انواع آلاینده ها اثرات منفی یکسانی ندارند.

انتشار طبیعی در اکسید کربن و ترکیبات ازت، جهت تداوم بقاء جانداران حائز اهمیت است، ولیکن

هنگامی که غلظت آنها از حد مجاز عبور می کند در زمره آلاینده ها قرار می گیرند. ذرات موجود در جو

دائماً در حال آمیزش و جابجایی هستند، بنابراین، جو یک فضای رقیق کننده مطلوب برای آلاینده ها

محسوب می شود. جو برای پراکنش آلاینده ها ظرفیت خاصی دارد و پس از برون ریزی آلاینده از

کانون انتشار کنترل موثری بر آن نمی توان اعمال نمود لذا کنترل آلودگی هوا یک فناوری پیشگیرانه و نه یک

فناوری اصلاحی و ترمیمی را می طلبد (کاویانی، ۱۳۸۶: ۲۵۵). آلاینده ها با توجه به شکل

فیزیکی به سه گروه مایع، جامد و گاز دسته بندی می شوند. آلاینده های گازی موجود در جو طیف

وسعی دارند و منبع انتشار آنها طبیعی و یا ناشی از فعالیتهای بشر است. معمولاً آلاینده های گازی به سه

دسته کلی به شرح زیر طبقه بندی می شوند:

الف) آلاینده های اولیه: توسط فعالیتهای طبیعی یا مصنوعی و در مقیاس وسیع مستقیماً به تروپوسفر

برخی از انواع آلاینده های گازی موجود در جو شامل: هیدرو کربن ها، منواکسید کربن، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، اکسید کننده های فتوشیمیایی، ازون، ذرات، غبار و دود است. در واقع پنج آلاینده اصلی که معمولاً برای محاسبه شاخص آلودگی هوا مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: منواکسید کربن، هیدروکربن ها، اکسید های نیتروژن، ذرات و اکسید های گوگرد گاه به جای هیدروکربن ها، مقادیر اکسید کننده های فتوشیمیایی مثل ازون در نظر گرفته می شود (پوی، ۱۳۷۸: ۵۱).

### ۳- بحث

جهت بررسی سینوپتیکی الگوهای گردشی تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) به لحاظ اختصار صرفاً الگوهای گردشی روز رخداد پدیده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، که به شرح زیر است:

**۲۸ جولای ۲۰۰۵ (۶ مرداد ۱۳۸۴)**

در زمان استقرار این الگو کانون پرارتفاع ۵۸۷۵ (ژ.پ.م) در مدیترانه شکل گرفته است که به نظر می رسد به کانون پرفشار جنب حاره نزدیک است. این آرایش گردشی نشانگر حاکمیت پرفشار جنب حاره تقریباً بر سراسر ایران و در عین حال عرصه کنش فرودی در شمال دریای خزر است. بر اساس این الگوی گردشی زبانه پرفشار بسط یافته جنب حاره در جهت شرقی گسترش مداری قابل توجهی پیدا کرده است؛ به گونه ای که تمامی پهنه های شمالی و شرقی افریقا، بخشهای زیادی از عربستان و گستره بسیار وسیعی از ایران (از جمله اصفهان) را به طور کامل فرا می گیرد و به سبب این سیطره آشکار شرایط پایداری دینامیکی فوق العاده شدیدی را به این مناطق تحمیل

گسیل می شوند، مانند ذرات ریز گرد و غبار، دی اکسید گوگرد، منواکسید کربن، اکسید های نیتروژن و هیدروکربن ها.

ب) آلاینده های ثانویه: از بر هم کنش آلاینده های اولیه با دیگر آلاینده ها در برابر نور خورشید در تروپوسفر ایجاد می شوند مانند ازون، پراکسی استیل نترات و آلدئیدها (فرمالئید، آکرولین).

ج) آلاینده های سمی: حضور این مواد با هر غلظتی در محیط خطرناک است. این آلاینده ها منابع محدودی دارند و مقدارشان در جو ناچیز است مانند آزبست، بریلیوم، جیوه، آرسنیک، کادمیوم، بنزن، پلوتونیوم، منگنز و ... (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۶)

نحوه انتشار از منبع و شرایط جوی، تعیین کننده نحوه پراکنش و میزان تاثیر آلاینده گازی می باشد. یک آلاینده گازی پس از خروج از منبع با توجه به وضعیت جوی سه بر هم کنش خواهد داشت:

- تفرق و پخش: در لایه های عمودی و افقی صورت گرفته و به پایداری جو، تلاطم و سمت و سرعت باد در ارتفاعات مختلف بستگی دارد.

- دگرگونی و تبدیل: عکس العملهای شیمیایی آلاینده با رطوبت و دیگر مواد موجود در جو است.

- جابجایی: آلاینده پس از خروج از منبع و پس از طی مسافتی دچار جذب یا نهشت می شود.

میزان آلودگی جو به منابع انتشار بستگی دارد، ولی همه انواع آلاینده ها اثرات منفی یکسانی ندارند. انتشار طبیعی در اکسید کربن و ترکیبات ازت، جهت تداوم بقاء جانداران حائز اهمیت است، ولیکن هنگامی که غلظت آنها از حد مجاز عبور می کند در زمره آلاینده ها قرار می گیرند.



است که این موضوع شرایط پایداری دینامیکی در خور توجهی را بر این مناطق تحمیل می نماید. گذر منحنی هم ارتفاع ۵۸۰۰ (ژ.پ.م) می تواند نماد این سامانه پرفشار تلقی گردد. بالاترین شاخص (۱۷۲) در طول دوره آماری مربوط به این روز است.

**۱۴ دسامبر ۲۰۰۵ (۲۳ آذر ۱۳۸۴)**

در زمان استقرار این الگوی گردشی کانون کم ارتفاعی با مرکزیت ۵۴۵۰ (ژ.پ.م) بر روی غرب دریای مدیترانه بسته شده است و بر روی ایران جریانها تقریباً مداری هستند. شاخص آلودگی در این روز عدد ۱۲۶/۵ را نشان می دهد. البته با توجه به سردی هوا در اواخر آذر و پسروی پرفشار جنب حاره، منطقه مورد مطالعه می تواند تحت تاثیر پدیده وارونگی دما باشد که این امر در شدت آلودگی موثر است.

**۱۷ جولای ۲۰۰۶ (۲۶ تیر ۱۳۸۵)**

سامانه پراارتفاع عربستان در این روز نسبت به روز قبل تجزیه گردیده، اندکی تضعیف شده و به سوی غرب جابه جا شده است بدین سبب کانون جدیدی از این سامانه بر ارتفاع بر روی بخشهای جنوب غربی ایران (خوزستان) شکل گرفته که گستره جغرافیایی آن اصفهان را نیز در بر می گیرد. در مجموع ایران به طور کامل تحت سیطره و استیلای پرفشار جنب حاره قرار گرفته است. از سوی دیگر کم فشار شمال غرب دریای سیاه نسبت به روز قبل اندکی در جهت نصف النهاری به سوی جنوب عرضهای پایین جا به جا شده است.

**۲۲ جولای ۲۰۰۶ (۳۱ تیر ۱۳۸۵)**

می نماید. برقراری شرایط پایداری ناشی از استقرار پرفشار دینامیکی جنب حاره از یکسو به نفع افزایش تابشهای کوتاه ورودی است و از این طریق جو را گرم می کند و از دیگر سو این گرمایش دینامیکی اثر گرمایش تابشی را تقویت می نماید. از این گذشته در حالت استقرار پایداری دینامیکی انباشت بخار آب در قسمت پایین جو موجب تقویت اثر گلخانه ای و سرانجام تشدید گرمایش هوا می گردد.

**۳ دسامبر ۲۰۰۵ (۱۲ آذر ۱۳۸۴)**

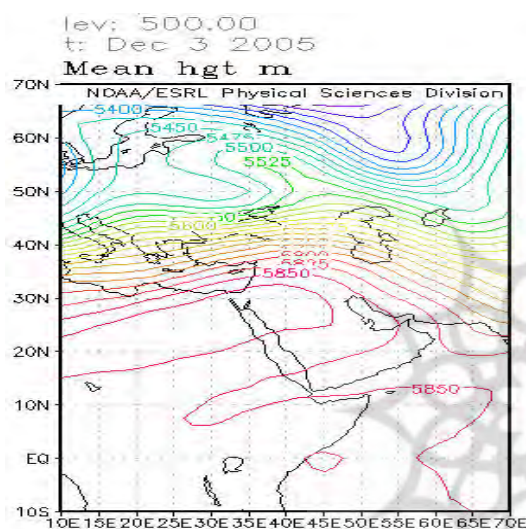
در این روز پرفشار جنب حاره از نظر نصف النهاری اندکی به سمت جنوب کشیده می شود، اما در جهت شرق گسترش مداری قابل توجهی داشته و منطقه وسیعی از شمال افریقا، شمال عربستان، عراق و ایران (نواحی مرکزی و جنوبی) را تحت سیطره خود قرار داده است و از طرف دیگر فرونشست هوا در عرضهای جغرافیایی بالا سبب تراکم آلاینده ها و نامطلوب ساختن کیفیت هوا در این روز شده است.

**۶ دسامبر ۲۰۰۵ (۱۵ آذر ۱۳۸۴)**

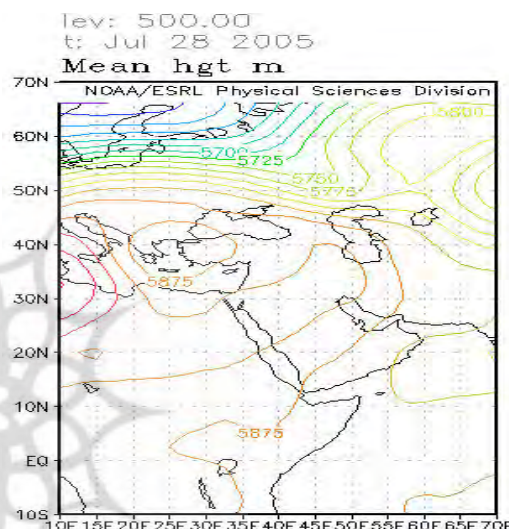
در طی حاکمیت این الگو استقرار یک فرود بر روی بخش غربی مدیترانه و یک فراز بر روی دریای سیاه دیده می شود. بر روی بخش شمالی ایران جریانهای لایه میانی جو تقریباً غربی است. به بیان دیگر بر روی غرب مدیترانه منحنی های هم ارتفاع دارای انحنا فرود و بر روی دریای سیاه دارای انحنای فرازی است. این آرایش را می توان چنین تفسیر کرد که در مجموع غرب مدیترانه مکان ترجیبهی استقرار فرود و دریای سیاه مکان ترجیبهی استقرار فراز است. به نظر می رسد در زمان رخداد این الگوی گردشی بخش های مرکزی (اصفهان) و جنوبی کشور همچنان تحت سیطره و حاکمیت پرفشار جنب حاره

عرضهای جنب حاره ای سبب این شیو شده است. از سوی دیگر استقرار فرودی عمیق را بر روی دریای مدیترانه مشاهده می کنیم که محور آن از روی جزیره کرک می گذرد و مجموع این عوامل با توجه به فصل تابستان سبب افزایش دما و تراکم آلاینده ها در منطقه مطالعاتی شده است.

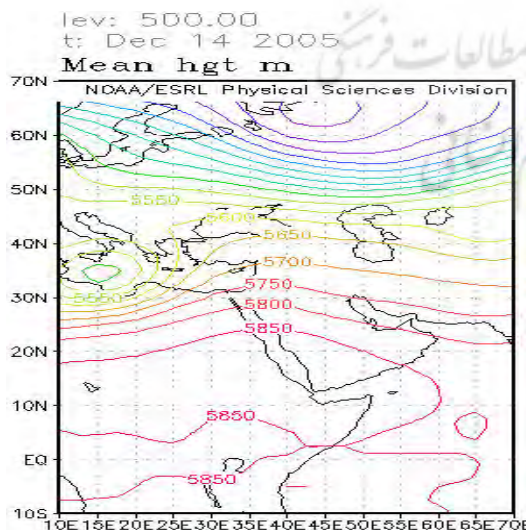
در این الگوی گردشی کانون پر ارتفاع ۵۹۰۰ (ژ.پ.م) بر روی قسمتهای وسیعی از کشور، همچنین بر روی منطقه مورد مطالعه استیلای کامل یافته و باعث پایداری هوا شده است. کانون کم ارتفاعی با ارتفاع مرکزی ۵۴۵۰ (ژ.پ.م) و با شیو نصف النهاری مبین تبیین حرارتی به عرضهای پایین تر است. به عبارت دیگر تباین حرارتی عرضهای جنب قطبی با



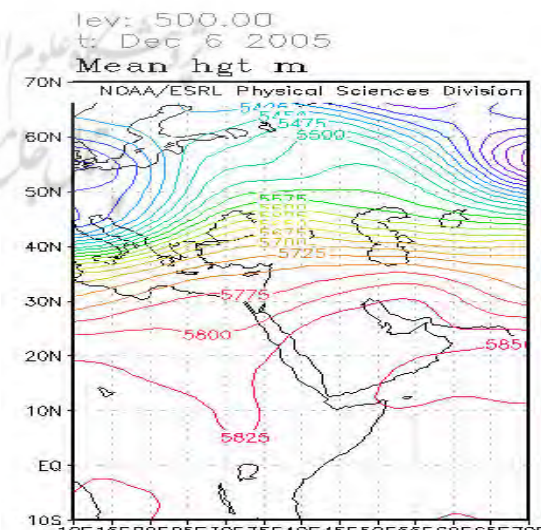
شکل ۳- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۴/۹/۱۲  
دسامبر ۲۰۰۵) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



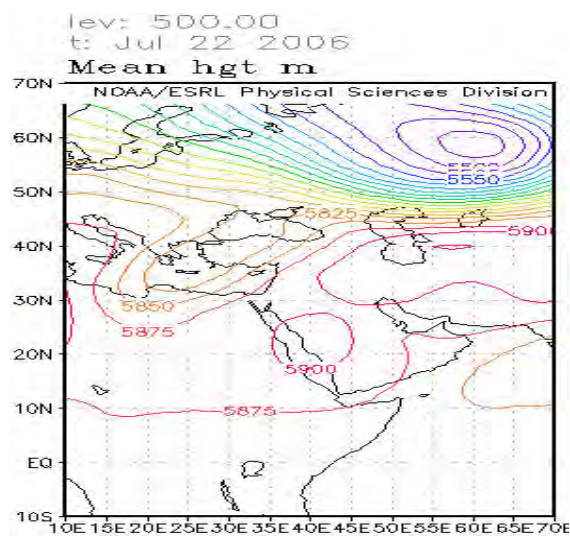
شکل ۲- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۴/۵/۶  
جولای ۲۰۰۵) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۵- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۴/۹/۲۳  
دسامبر ۲۰۰۵) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)

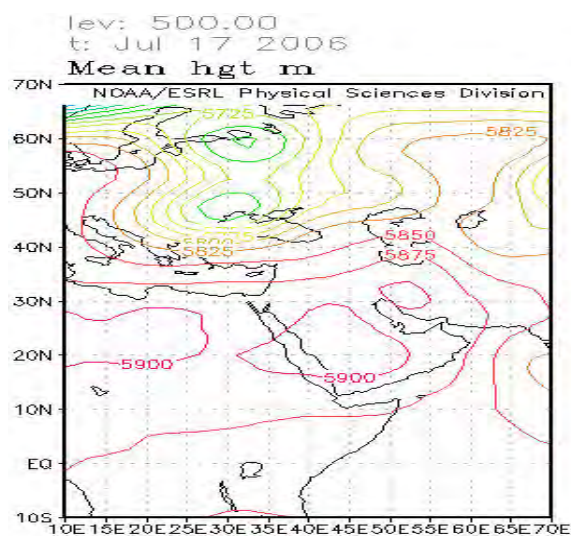


شکل ۴- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۴/۹/۱۵  
دسامبر ۲۰۰۵) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۷- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۵/۴/۳۱ (۲۲

جولای ۲۰۰۶) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۶- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۵/۴/۲۶ (۱۷

جولای ۲۰۰۶) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)

در این روز ما بین دریای خزر و دریاچه خوارزم قرار گرفته است.

#### ۲۱ ژوئن ۲۰۰۷ (۳۱ خرداد ۱۳۸۶)

در این روز کانونی از پرارتفاع جنب حاره با ارتفاع مرکزی ۵۸۷۵ (ژ.پ.م) به غیر از شمال و شمال غرب کشور تقریباً بر تمامی ایران احاطه دارد. همچنین فرود روز قبل در این روز تا شرق دریای مدیترانه را در بر گرفته است. کانون پر ارتفاع تشکیل شده بر روی اقیانوس هند در این روز گسترش مداری یافته و قسمتهایی از دریای عمان را در بر گرفته است.

#### ۴ جولای ۲۰۰۷ (۱۳ تیر ۱۳۸۶)

در این روز زبانه پرارتفاع ۵۸۷۵ (ژ.پ.م) تقریباً تمام ایران را تحت حاکمیت خود قرار داده است. کانون پرارتفاع ۵۹۰۰ (ژ.پ.م) فقط بر روی قسمتهایی از جنوب ایران قرار گرفته است. از سوی دیگر در شمال دریای مدیترانه کانون کم ارتفاعی با مرکزیت ۵۵۲۵ (ژ.پ.م) در شمال اروپا شکل گرفته و زبانه

#### ۲۱ آگوست ۲۰۰۶ (۳۰ مرداد ۱۳۸۵)

در زمان استقرار این الگوی گردشی کانون پرفشار جنب حاره به سمت عرضهای پایین تر عقب نشینی کرده و ارتفاع مرکزی آن در این روز به ۵۹۵۰ (ژ.پ.م) رسیده است. همچنین زبانه ۵۹۰۰ (ژ.پ.م) به سمت غرب عقب نشینی کرده و در این روز فقط جنوب و غرب ایران را در بر گرفته است. و مرز پرفشار جنب حاره در این روز فقط جنوب و مرکز دریای خزر را در بر گرفته است و از سوی دیگر کانونی کم ارتفاع با ارتفاع مرکزی ۵۶۲۵ (ژ.پ.م) در شمال اروپا شکل گرفته است و زبانه های آن به سمت شرق و عرضهای پایین تر در حال گسترش هستند.

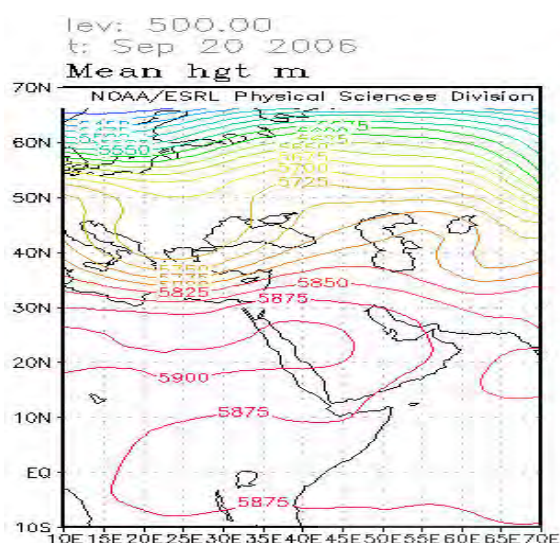
#### ۲۰ سپتامبر ۲۰۰۶ (۲۹ شهریور ۱۳۸۵)

در زمان استقرار این الگوی گردشی کانون پرفشار ۵۹۰۰ (ژ.پ.م) به سمت غرب در حال عقب نشینی می باشد. از سوی دیگر فرود عمیق روز قبل در این روز بر روی شرق مدیترانه قرار گرفته و فراز روز قبل



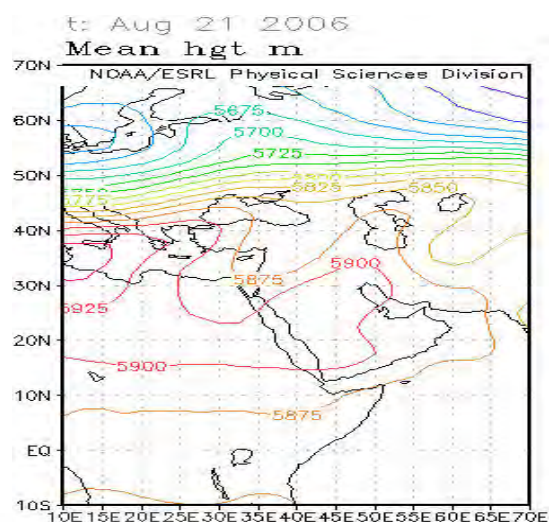
پیشروی است.

های آن به سمت شرق و عرضهای پایین تر در حال



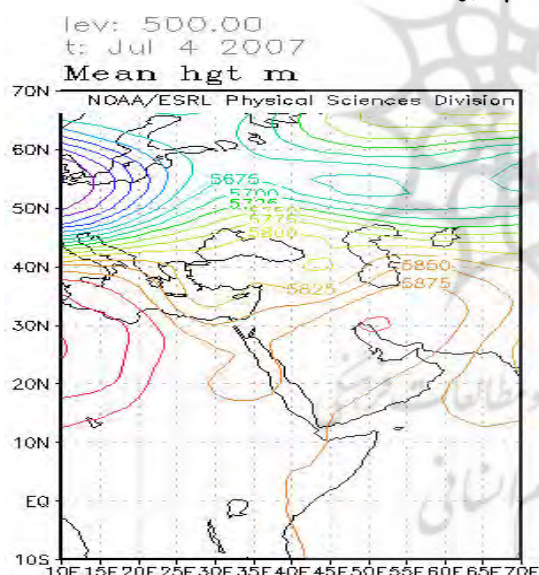
شکل ۹- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۵/۶/۲۹ (۲۰)

سپتامبر ۲۰۰۶) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



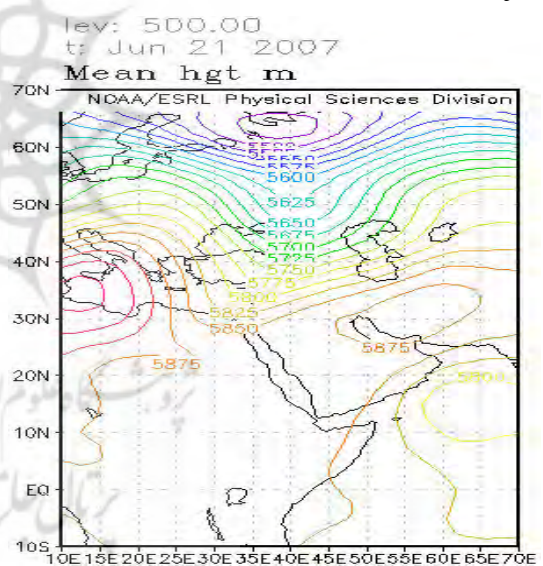
شکل ۸- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۵/۵/۳۰ (۲۱)

آگوست ۲۰۰۶) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۱۱- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۶/۴/۱۳ (۴)

جولای ۲۰۰۷) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۱۰- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۶/۳/۳۱ (۲۱)

ژوئن ۲۰۰۷) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)

سرخ کشیدگی پیدا کرده است. همچنین کانونی از پرارتفاع جنب حاره با ارتفاع مرکزی ۵۸۷۵ (ژ.پ.م) نیز در شرق دریای مدیترانه بسته شده است. از دیگر سو کانون کم ارتفاعی با ارتفاع مرکزی ۵۵۵۵ (ژ.پ.م) در محدوده تقریباً ۵۵ تا ۶۰ درجه عرض شمال و

۲۶ جولای ۲۰۰۷ (۴ مرداد ۱۳۸۶)

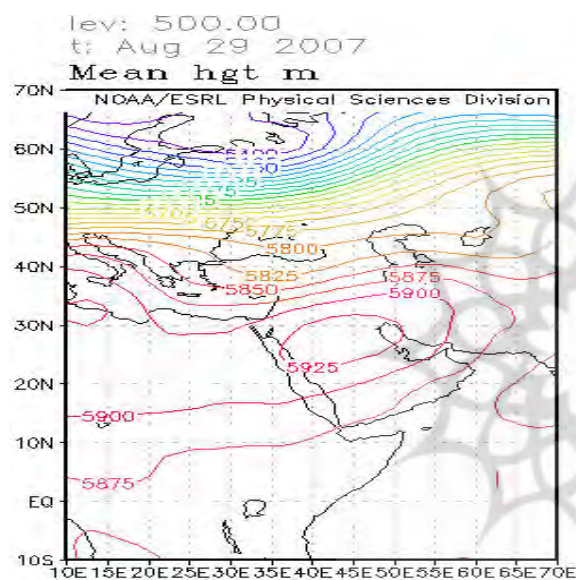
در زمان استقرار این الگوی گردش کانون پرارتفاع ۵۹۰۰ (ژ.پ.م) جنب حاره هم جا به جایی مداری و هم نصف النهاری داشته است و از سمت شرق تا مرکز ایران (حدود اصفهان) و از غرب تا شرق دریای

کم ارتفاع ۵۴۰۰ (ژ.پ.م) در جهت نصف النهاری به سمت شرق جابجایی داشته است. فرود حاصله سبب شده که منحنی های هم ارتفاع به هم نزدیک شده، فشردگی و شیو شدیدی بر ایران ایجاد نماید که شرایط را جهت تراکم هوا و افزایش آلاینده در منطقه مطالعاتی فراهم نموده و با توجه به فصل گرم سال و تراز نامه انرژی که مثبت است میزان شاخص آلودگی در این روز بالا است.

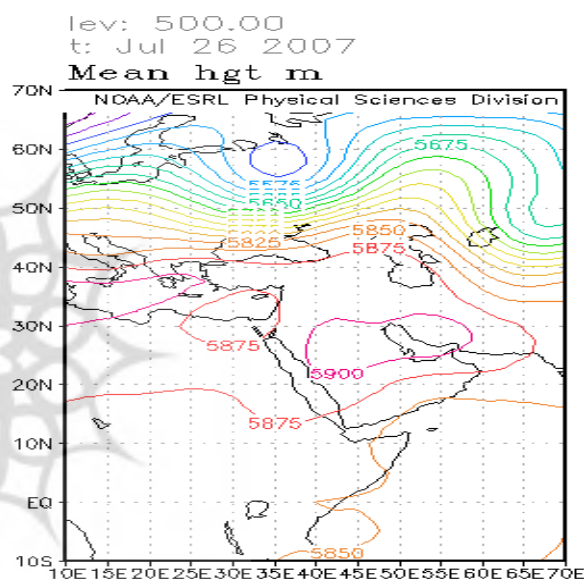
۳۳ تا ۳۷ درجه طول شرقی بسته شده و به سمت شرق در حال پیشروی می باشد. فراز مشاهده شده در روز قبل در این روز روی دریای خزر دیده می شود.

۲۹ آگوست ۲۰۰۷ (۷ شهریور ۱۳۸۶)

در زمان استقرار این الگوی گردشی کانون پرارتفاع جنب حاره تقریباً تمام ایران را تحت استیلای کامل خود قرار داده است و شرایط پایداری خاصی را بر کل منطقه خصوصاً اصفهان حاکم کرده است. کانون



شکل ۱۳- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۶/۶/۷ (۲۹ آگوست ۲۰۰۷) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۱۲- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۸۶/۵/۴ (۲۶ جولای ۲۰۰۷) ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)

مرکزی ۵۹۰۰ (ژ.پ.م) بر روی عربستان و جنوب غربی ایران شکل گرفته است و زبانه های آن تقریباً تمام سطح کشور خصوصاً اصفهان را با ارتفاع ۵۸۷۵ (ژ.پ.م) تحت حاکمیت خود قرار داده است و استقرار این الگوی گردشی شرایط پایداری را بر کل ایران از جمله اصفهان ایجاد نموده است.

- الگوی ترکیبی دوره سرد سال

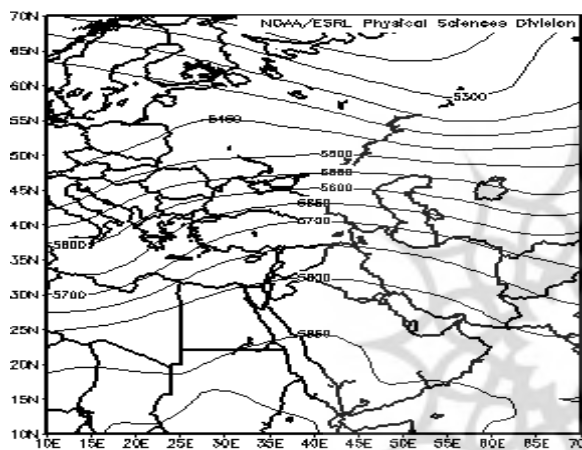
در نهایت الگوهای ترکیبی غالب رخداد پدیده (آلودگی هوا) به شرح ذیل در دو دسته شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند:

- الگوی ترکیبی دوره گرم سال

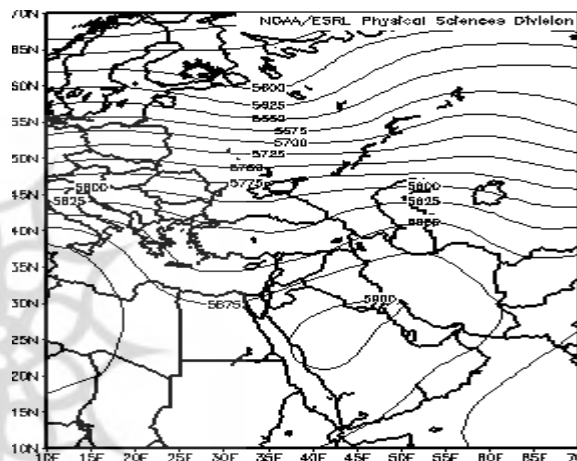
شکل ۱۴ آرایش گردشی تراز ۵۰۰ (ه.پ) روزهای گرم سال، طی دوره آماری مطالعه حاضر را با مقادیر بالای ۱۲۰ نشان می دهد. در زمان استقرار این الگوی گردشی کانونی از پرارتفاع جنب حاره با ارتفاع

را به نمایش می‌گذارد. در زمان رخداد این الگوی گردشی تقریباً بخش‌های مرکزی (به ویژه اصفهان) و جنوب ایران متأثر از کانون پرفشار جنب حاره ای مورد بحث در این الگو است، به طوری که منحنی هم ارتفاع ۵۸۰۰ (ژ.پ.م) تقریباً از اصفهان می‌گذرد. بدین سبب شرایط پایداری دینامیکی بر این پهنه‌ها حکمفرما است.

شکل ۱۵ آرایش گردشی تراز ۵۰۰ روزهای سرد سال را با مقادیر عددی شاخص استاندارد آلودگی بالای ۱۲۰ را نشان می‌دهد. این آرایش نشانگر استقرار کانونی از پرفشار جنب حاره بر روی جنوب عربستان، دریای سرخ و افریقا است. در عین حال آرایش منحنی‌های هم ارتفاع بر روی شرق دریای مدیترانه، آرایش فرودی کم عمق، و بر روی شمال غرب و نیمه شمالی ایران آرایش فرازی با ارتفاع کم



شکل ۱۵- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال دوره سرد سال طی دوره آماری ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)



شکل ۱۴- نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال دوره گرم سال طی دوره آماری ماخذ: سایت ناسا (NCEP/NCAR)

سال کانونی از پرفشار گسترده جنب حاره مشاهده می‌شود که حضور این کانون پرفشار سبب پایداری و تراکم ذرات بر روی شهر اصفهان شده است. بالاترین میزان شاخص استاندارد آلودگی هوا در فصل تابستان در طی دوره آماری بالای ۱۵۰ بوده است که در ردیف آلوده قرار می‌گیرد و در نهایت می‌توان گفت که فصل تابستان در شهر اصفهان آلوده‌ترین فصل سال است

در مجموع در اغلب روزهای گرم در منطقه مطالعاتی برقراری شرایط پایداری ناشی از استقرار پرفشار دینامیکی جنب حاره از یکسو به نفع افزایش

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ (ه.پ) نشان داد که در روزهای گرم سال کانونی از پرفشار گسترده جنب حاره تقریباً بخش‌هایی از جنوب و مرکز (حدود اصفهان) را به طور کامل تحت سیطره خود قرار می‌دهد. و شرایط دینامیکی بر گستره وسیعی از کشور حکمفرما می‌باشد. و در روزهای سرد سال زبانه‌های پرفشار جنب حاره تقریباً بر جنوب و مرکز ایران (حدود اصفهان) حاکمیت دارد. در نهایت می‌توان اذعان داشت که در منطقه مورد مطالعه (اصفهان) در دوره سرد و هم در دوره گرم

علی کی نژاد و سیروس ابراهیمی، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، تبریز.

سبزی پرور، علی اکبر، لبافی میرقوامی، مسعود، (۱۳۸۱)، ازن و فعالیت های صنعتی، کارگاه آموزشی هواشناسی آلودگی هوا و شیمی جو، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی.

سلطانی، محمد، (۱۳۷۵)، مدل سازی و شبیه سازی تشکیل و انتقال مه دود در هوای شهر تهران، نشریه نیوار، شماره ۳۱، انتشارات سازمان هواشناسی کشور.

شرعی پور، زهره، بیدختی، عباس علی، (۱۳۸۴)، بررسی آلودگی هوای شهر تهران و ارتباط آن با مشخصه های هواشناسی، اولین همایش آلودگی هوا و آثار آن بر سلامت.

صداقت کردار، عبدا...، جهانگیری، زهره، رحیم زاده، فاطمه (۱۳۸۲)، توانایی های بالقوه علم آمار در مطالعات هواشناسی آلودگی هوا، کنفرانس آمار دانشگاه طباطبایی.

صفوی، سید یحیی، علیجانی، بهلول، (۱۳۸۵)، بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۸.

ضرابی، اصغر، محمدی، جمال، عبدالمهدی، علی، اصغر، (۱۳۸۹)، بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان، فصلنامه جغرافیای ایران، دوره هشتم، شماره ۲۶.

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

عطایی، هوشمند، هاشمی نسب، سادات، (۱۳۹۰)، بررسی آماری آلودگی هوای شهر اصفهان و ارتباط

تابشهای کوتاه ورودی است و از این طریق جو را گرم می کند و از دیگر سو این گرمایش دینامیکی اثر گرمایش تابشی را تقویت می نماید. از این گذشته در حالت استقرار پایداری دینامیکی انباشت بخار آب در قسمت پایین جو موجب تقویت اثر گلخانه ای و سرانجام تشدید گرمایش هوا می گردد.

## ۵- پیشنهادها

از آنجایی که تعداد ایستگاه های موجود در شهر اصفهان برای پایش منظم و دقیق آلاینده ها کافی به نظر نمی رسد لذا برای تکمیل و بهینه سازی بانک اطلاعات آلاینده های هوای شهر اصفهان نکات زیر پیشنهاد می گردد:

- ایجاد شبکه های پایش آلاینده ها؛
  - تشکیل بانک اطلاعات جامع آلاینده ها؛
  - تدوین استاندارد های ملی برای سطوح مجاز آلاینده ها؛
  - اطلاع رسانی به عموم در خصوص عوامل انسانی تولید آلاینده ها.
- پی نوشت ها
- هکتوپاسکال یا میلی بار با حروف (ه.پ)، ژئوپتانسیل دکامتر با حروف (ژ.پ.م) عنوان شده است.

## منابع

بلوکی، میترا، (۱۳۷۹)، مطالعه و بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان و عوامل اقلیمی موثر بر آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

پوی، رو چبانوگلاس (۱۳۷۸)، مهندسی محیط زیست (هوا و زایدات جامد)، جلد دوم، ترجمه محمد

- Bringfelt, B. (1971). Important factors for the sulphur dioxide concentration in central Stockholm, *Atmos. Env.*, N 11, 949-972.
- Chen. Z.H a, Cheng. S.Y, Li .J.B., Guo. X.R, Wang. W.H, Chen D.S, (2008), Relationship between atmospheric pollution processes and synoptic pressure patterns in northern China, *Atmospheric Environment* 42, pp 6078– 6087
- Ccoyllo, S.O.R., M. F., Andrade .(2002). The influence of meteorological conditions on the behavior of
- Demuzere. M, Lipzig.N, (2010), A new method to estimate air-quality levels using a synoptic-regression approach. Part I: Present-day O3 and PM10 analysis, *Atmospheric Environment* 44, pp 1341– 1355
- Goyal.S.V, (2005). Understanding Urban Vehicular Pollution Problem Vis- A –Vis
- Moussiopoulos.N, C.G. Helmis, H.A. Flocas, P. Louka, V.D. Assimakopoulos b,
- C. Naneris, P. Sahn, (2004), A modelling method for estimating transboundary air pollution in southeastern Europe, *Environmental Modelling & Software* vol 19, pp 549–558
- Hertel ,Ole.(2002). Assessing the Impacts of Traffic Air Pollution on Human Exposure and Health. Institute of cancer Epidemiology, Danish cancer society .Denmark.
- Schuermann. G.J, Algieri. A, Hedgecock. I.M., Manna.. Pirrone .G, N, Sprovieri. F, (2009), Modelling local and synoptic scale influences on ozone concentrations in a topographically complex region of Southern Italy, *Atmospheric Environment* 43, pp 4424–4434
- www.cdc.noaa.gov
- آن با فراسنج های اقلیمی، یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، دانشگاه شهید بهشتی. ص ۹۱.
- عطایی، هوشمند، هاشمی نسب، سادات، (۱۳۹۰)، تجزیه و تحلیل آماری شاخص استاندارد آلودگی (PSI) هوای شهر اصفهان، اولین همایش ملی جغرافیا و مدیریت محیط، دانشگاه آزاد اسلامی آستارا.
- علایی، مهدی، (۱۳۷۶)، نمونه گیری آنالیز و مدل سازی ذرات معلق هوایی شهر تهران جهت تعیین سهم منابع مختلف، گزارش پروژه، انتشارات سازمان هواشناسی.
- قسامی، طاهره، علی اکبری بیدختی، عباس علی، صداقت کردار، عبدا.. صحرایان، فاطمه، (۱۳۸۶)، بررسی شرایط همدیدی حاکم در چند دوره بحرانی آلودگی هوای شهر تهران، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، پاییز ۹ (۳) مسلسل ۳۴ (ویژه نامه)
- کاویانی، محدرضا (۱۳۸۶) میکروکلیماتولوژی؛ انتشارات سمت؛ دانشگاه تهران؛ تهران.
- محرم نژاد، ناصر، اجتهادی، مرجان، (۱۳۸۹)، بازنگری طرح کنترل آلودگی هوای تهران بزرگ و روند پیشرفت محورهای طرح، مجله توسعه و تغییرات اقلیم، شماره ۲.
- Buchholz .s, Junk.j, Krein.A, Heinemann.G, Hoffmann.L, (2010), Air pollution characteristics associated with mesoscale atmospheric patterns in northwest continental Europe, *Atmospheric Environment* vol44, pp 5183–5190