

# تحلیل هم‌دیدي روند تغییرات اوزون استراتوسفري در کلان‌شهر تهران

دکتر قاسم کبخسروي<sup>۱\*</sup>، حمید بیات<sup>۲</sup>

## چکیده

در این پژوهش، به منظور بررسی نوسانات اوزون لایه استراتوسفري، ابتدا داده‌های اوزون موجود و دمای سطح زمین در مقیاس روزانه ایستگاه ژئوفیزیک شهر تهران، در دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ تهیه شد. سپس با کمک نقشه‌های اسکویی در روزهای همراه با بالاترین و کمترین مقادیر اوزون در هر ماه، ارتفاع وردایست محاسبه شد. همچنین به منظور بررسی اثرات هم‌دیدي بر تغییرات اوزون استراتوسفري، نقشه ژئوپتانسیل ترازهای ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم شد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش اوزون، دمای سطح زمین کاهش یافته و با کاهش اوزون، بر دمای سطح زمین افزوده شده‌است و بیشترین سطح معناداری و ضریب همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد، متعلق به فصل بهار و سپس فصل پاییز است. از لحاظ هم‌دیدي پربندهای ارتفاع سطح ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی، در روزهای همراه با افزایش اوزون، سازگاری خوبی با تغییرات ستون کلی اوزون جو نشان می‌دهد، به طوری که در بیشتر موارد، عبور پراارتفاع‌ها و ناهه‌های ورتکس قطبی از منطقه، باعث ایجاد سرمایش شدید و افزایش غلظت اوزون در پوش سپهر شده‌است و برعکس، با دور شدن ناهه و ورتکس قطبی، پشته عمیقی از پرفشار عربستان تا منطقه مورد مطالعه، گسترش یافته و با فرارفت هوای گرم در پشته‌ها، سبب افزایش ارتفاع سطح ژئوپتانسیلی و کاهش اوزون در منطقه می‌شود؛ بنابراین با توجه به متوسط ارتفاع سطح ژئوپتانسیلی ترازهای ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، ارتفاع تروپوپاز و دمای سطح زمین ایستگاه اوزون سنجی ژئوفیزیک تهران، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در طی کاهش ارتفاع سطح ژئوپتانسیل و تروپوپاز، همگرایی اوزون در ترازهای بالا صورت گرفته و نزول آن باعث افزایش ستون اوزون کلی جو شهر تهران شده و به همان نسبت، دمای سطح زمین نیز کاهش می‌یابد و برعکس، با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل و تروپوپاز، واگرایی اوزون در ترازهای بالا صورت گرفته و ستون اوزون کلی جو کاهش و دمای سطح زمین نیز افزایش می‌یابد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۷، زمستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

صفحات: ۲۱۸-۱۹۹



واژه‌های کلیدی:

اوزون استراتوسفري، وردایست، نوسانات، هم‌دیدي، کلان‌شهر تهران.

## چون اوزون فراوان‌ترین اکسیدکننده فتوشیمیایی

موجود در جو است، استاندارد ملی کیفیت هوای آمریکا براساس آن تنظیم شده‌است. براساس این استاندارد، حضور اوزون در غلظت‌های بیش از ۰/۱۲ قسمت در میلیون، در سطوح پایینی جو خطرناک خواهد بود و وجود مقادیر بالاتر بیانگر تولید اوزون توسط منابع انسانی است (خوشحال و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳۳). غلظت اوزون بسیار کم است. معمولاً مقدار آن چند مولکول به ازای یک میلیون مولکول هواست، ولی همین مقدار اندک برای زندگی حیاتی دارد زیرا با جذب اشعه UV، مانع از رسیدن آن به سطح

## مقدمه

گاز اوزون در سال ۱۸۳۹ توسط شونباین کشف شد و تا سال ۱۸۵۰ کسی نمی‌دانست که این گاز یکی از گازهای تشکیل‌دهنده جو است. اوزون حدود  $6 \times 10^6$  درصد از حجم هوا را تشکیل می‌دهد و به صورت ناهمگن در جو توزیع شده‌است. حدود ۱۰ درصد آن در تروپوسفر و ۹۰ درصد دیگر در استراتوسفر موجود است. از آنجایی که قسمت اعظم اوزون جو در استراتوسفر قرار دارد، این ناحیه از اوزون، ناحیه اوزون استراتوسفري نامیده می‌شود (Fishman et al, 2003: 893-907).

فرابنفش به این نتیجه رسیدند که کاهش بلندمدت اوزون طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۲ منجر به افزایش تطابقی تابش فرابنفش در بازه طول موج ۳۰۰-۳۴۰ نانومتر شده است (Herman et al, 1996: 2117-2120).

بررسی روزانه اوزون سطحی ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۲ نشان داد که در طی روز، فرارفت هوای آلوده اوزون‌دار، توسط باد دشت به کوه به محل ایستگاه روی می‌دهد و با افزایش شدت باد، مقدار اوزون افزایش می‌یابد. بیشینه کوچک ثانویه در اواخر بعدازظهر برخی ماه‌های تابستان، به علت تغییر در رژیم باد، از دشت به کوه و کوه به دشت به وقوع می‌پیوندد (بیدختی و شرعی‌پور، ۱۳۸۶: ۶۳).

دیاب و همکاران در سال ۲۰۰۴ در بررسی تغییرات فصلی اوزون در ایرن آفریقای جنوبی بر تأثیرگذاری سیستم‌های همیدی جو بر غلظت حداکثری اوزون در فصل بهار تأکید داشتند (Diab et al, 2004: 109).

در تحقیقی که والمیکیس (۲۰۰۵) درباره اوزون کلی و ارتفاع وردایست در عرض‌های میانی در شهر آتن یونان انجام داد، نتیجه گرفت که الگوی سینوپتیکی اوزون کلی، بسیار متغیر بوده و تغییرپذیری کوتاه‌مدت اوزون کلی مشاهداتی، تا اندازه‌ای مربوط به افت و خیزهای ارتفاع وردایست است. علاوه بر این، رابطه بلندمدت بین تغییرپذیری ارتفاع وردایست و اوزون کلی نشان داده است که معمولاً آهنگ کاهش اوزون کلی در اثر افزایش ارتفاع وردایست در تابستان  $8/51-$  و در زمستان  $11/2-$  واحد دابسون است (Vlamakis, 2005: 3605-3612).

نیکلین در پژوهشی در سال ۲۰۰۵ تحت عنوان ارتباط اوزون کلی با نوسان شمالگان به این نتیجه رسید که در زمستان، شاخص نوسان شمالگان از نظر فازی مخالف مقادیر اوزون کلی است. به عبارت

زمین می‌شود. براساس تحقیقات انجام‌شده، تغییرات اقلیمی بر اوزون و همچنین تغییرات اوزون بر اقلیم تأثیرگذار است.

به عبارت دیگر دما، رطوبت نسبی، باد و حضور سایر مواد شیمیایی جو، بر تولید اوزون و برعکس حضور اوزون بر اجزای تشکیل‌دهنده جو مؤثر است. هرچه میزان اوزون کلی بیشتر باشد، مقدار پرتو UV که به سطح زمین می‌رسد، کاهش پیدا می‌کند و برعکس هرچه میزان اوزون کلی کمتر باشد، مقدار پرتو UV که به سطح زمین می‌رسد بیشتر خواهد بود. در نتیجه مقدار اوزون موجود در جو، نه تنها از نظر اقلیم‌شناسی، بلکه از لحاظ زیست‌محیطی نیز دارای اهمیت بسزایی است و هر نوع کاهش آن می‌تواند خطراتی جدی را برای سلامتی مردم و جانوران و گیاهان دربر داشته باشد. به طور کلی عوامل متعددی اوزون کلی جو را تحت تأثیر قرار می‌دهند که در این میان می‌توان به عوامل هواشناسی، ارتفاع وردایست، ضخامت اتمسفر، گردش‌های آرام سپهری، فعالیت خورشیدی، انفجار آتشفشان‌ها، گازهای کلروفلورکربن (CFC)، گازهای گلخانه‌ای، کوه‌های شیمیایی و انفجارهای ناشی از سوخت هواپیماها اشاره کرد. از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام گرفته است، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. موتی در بررسی تغییرپذیری اوزون کلی درباره امواج باروکلینیکی به این نتیجه رسید که همبستگی قوی بین آنومالی‌های تاوایی، پتانسیلی ناشی از امواج باروکلینیکی وردایست و اوزون برقرار است (Mote, 1991: 1900-1903).

هان زو (۱۹۹۶) با استفاده از اطلاعات ماهواره نیمبوس نشان داد که مناطق مرتفع فلات تبت نسبت به نواحی هم‌جوار کم‌ارتفاع، مقدار اوزون کمتری را نشان می‌دهند (Hanzou, 1996: 1029-1032).

هرمن و همکاران (۱۹۹۶) در بررسی رابطه بین کاهش بلندمدت اوزون و افزایش بلندمدت تابش

منطقه حاره‌ای غرب آفریقا را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داده که با افزایش عرض جغرافیایی، تغییرات سالانه و فصلی اوزون کلی افزایش یافته است. در این تحقیق همچنین رابطه همبستگی بین تغییرات سالانه اوزون و پارامترهای دما و بارش نیز بررسی شده است و اوزون کلی در حکم یک شاخص آرام سپهری تغییرات اقلیمی معرفی شده است (Akinyemi, 2010: 445-447).

هود و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تغییرات دهه‌ای اوزون و درجه حرارت استراتوسفر پایین، رابطه مثبتی با فعالیت سیکل یازده‌ساله خورشید دارد و نشان دادند که انسو بر اوزون و درجه حرارت استراتوسفر پایینی نیز اثر دارد (Hood et al, 2010: 115).

ایودجی و امانوئل در سال ۲۰۱۳ در بررسی تغییرات زمانی و فضایی کل اوزون ستون جو در سراسر آفریقای غربی، به این نتیجه رسیدند که حداکثر و حداقل اوزون در همه ایستگاه‌ها به ترتیب برابر است با ۲۳۲ و ۳۰۵ واحد دابسون و اختلاف بین این دو حدود ۷۳ دابسون است. در توزیع اوزون فصلی، حداقل اوزون در فصل خشک و حداکثر آن در فصل‌های مرطوب اتفاق می‌افتد و مقدار کاهش اوزون در هر سال حدود ۰/۶- در واحد دابسون است (Ayodeji & Emmanuel, 2013: 43-54).

کریمی در سال ۱۳۹۳ بررسی همدیدی غلظت اوزون تروپوسفری کلان شهر تهران به این نتیجه رسید که بیشترین تمرکز و شدت این آلاینده در دوره گرم سال یعنی ماه‌های تیر و مرداد اتفاق می‌افتد که مهم‌ترین الگوی گردش تبیین‌کننده آن کم‌فشار سطحی و پرفشار جنب حاره هستند (کریمی، ۱۳۹۳: ۷). زویگیتسو و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تغییرات و روند کل اوزون ستون جو در طول دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۷۹، به این نتیجه رسیدند که بادهای مداری در استراتوسفر، فعالیت‌های خورشیدی، نوسانات قطب شمال و قطب جنوب، النینو، فوران

دیگر فاز مثبت نوسان شمالگان مطابق با کاهش مقادیر اوزون کلی در عرض‌های میانی است (Nikulin, 2005: 285).

مباشری (۱۳۸۶) در پایش تغییرات لایه اوزون در جو ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در سال ۱۳۸۶ به این نتیجه رسید که یکنواختی اوزون در فصول تابستان و پاییز به سرعت در حال وقوع بوده و برای عرض‌های میانه به مقادیر بسیار پایین در حال همگرایی است، البته این مسئله کم‌وبیش در تمامی منطقه‌های صنعتی ایران قابل مشاهده است. میزان اوزون در فصول تابستان و پاییز کاهش می‌یابد. در ناحیه‌هایی همچون رشته‌کوه‌های البرز، استان اردبیل و دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز، آنومالی‌هایی در توزیع اوزون در مقایسه با سایر نقاط دیده می‌شود، ولی تاکنون به زیر حد مجاز نرسیده است (مباشری، ۱۳۸۶: ۵۴-۴۳).

سی‌کاگنازو و همکاران (۲۰۰۹) واکنش اوزون استراتوسفری را به انسو با مدل شیمی اقلیم تحلیل کرده و به این نتیجه رسیدند که گرمایش غیرمعمول با افزایش دینامیکی غیرمعمول اوزون کلی در شمال ۷۰ درجه شمالی و با کاهش قابل توجه در اوزون ناحیه حاره همراهی می‌شود. همچنین نشان دادند روند افزایش اوزون با افزایش فعالیت گردشی در خلال فعالیت انسو مطابقت دارد (Cagnazza et al, 2009: 8935).

انتون و همکاران در سال ۲۰۱۰ در بررسی تغییرات روزانه کل ستون اوزون جو در مادرید اسپانیا، به نتیجه رسیدند که مقدار اوزون در ماه‌های بهار و تابستان تغییرات بیشتری نسبت به فصول پاییز و زمستان از خود نشان می‌دهد که این الگو احتمالاً ناشی از فرایندهای فتوشیمیایی روزانه در تروپوسفر پایین در مناطق شهری است (Anton et al, 2010: 2793-2798).

اکی‌نی‌می (۲۰۱۰) ضریب تغییرات نسبی سالانه اوزون کلی و همبستگی این تغییرات با عرض جغرافیایی برای دوره سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۹ در

پیرسون محاسبه شد و در نهایت نقشه‌های ژئوپتانسیلی سطح ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکالی در محیط نرم‌افزاری گرادس (Grads) به‌منظور بررسی اثرات همدیدی بر تغییرات اوزون استراتوسفری (مقادیر بالاترین و کمترین اوزون در فصول مختلف) ترسیم و تحلیل شد.

### نتایج و بحث

#### - بررسی مقادیر اوزون

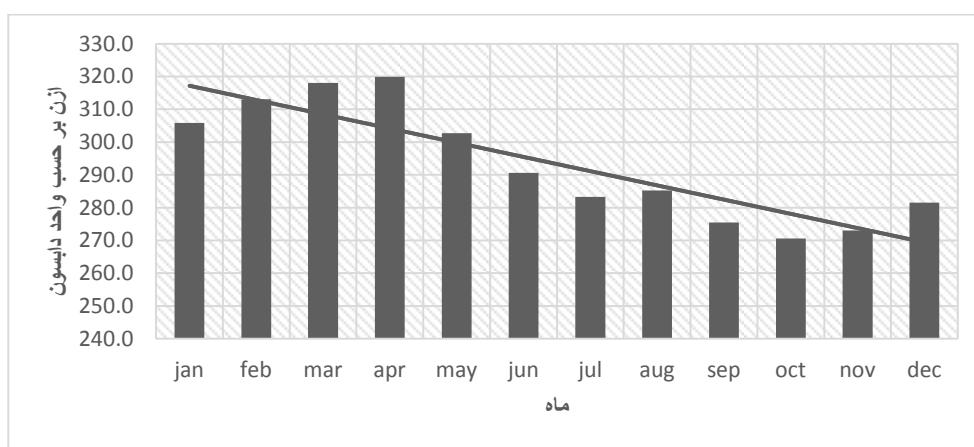
محدوده تغییرات اوزون کلی در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ میلادی در مقیاس سالانه بین ۲۱۴ تا ۳۹۵/۵ واحد دابسون است. بیشترین مقدار اوزون در فصل زمستان و بهار، به ترتیب با ۳۹۵ و ۳۹۳ واحد دابسون و با انحراف معیار ۳۲/۳۶ و ۲۳/۵۳ مشاهده می‌شود. کمترین مقدار اوزون نیز به ترتیب با ۲۱۴ و ۲۲۷ واحد دابسون با انحراف معیار ۲۱/۵۷ و ۳۲/۳۶ در فصل‌های زمستان و پاییز مشاهده می‌شود. به‌طور کلی در مقیاس فصلی، در فصول سرد سال به علت قوی‌تر شدن فعالیت‌های سینوپتیکی، تغییرات اوزون بین مقادیر بالاترین و پایین‌ترین نسبت به فصول گرم سال بیشتر است. در فصول گرم سال، از جمله تابستان، به‌علت استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای آزور بر فراز منطقه و وجود جو پایدار، نوسانات اوزون استراتوسفر کمتر است. وجود انحراف معیار پایین این فصل (۱۱/۷۳)، نسبت به دیگر فصول نیز (زمستان ۳۲/۳۶، بهار ۲۳/۵۳، پاییز ۲۱/۵۷) بیانگر این امر است (جدول ۱). شکل (۱) میزان تغییرات اوزون را برحسب ماه‌های سال نشان می‌دهد. براساس این نمودار، حداکثر اوزون در ماه‌های آوریل و مارس به ترتیب با ۳۲۰ و ۳۱۷ واحد دابسون و حداقل آن متعلق به ماه‌های اکتبر و نوامبر به ترتیب با ۲۷۰/۵ و ۲۷۳ واحد است؛ بنابراین بین حداکثر و حداقل مقادیر اوزون حدود ۴۸ واحد دابسون اختلاف وجود دارد.

آتشفشانی، محتوای اتمسفر مقدار اوزون را کاهش می‌دهند (Zvyagintsev et al, 2015: 575-584).

شنگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ در بررسی کلی اوزون ستون جو از نوامبر ۱۹۷۸ تا ژوئیه ۲۰۱۶ در فلات تبت به این نتیجه رسیدند که روند مقدار اوزون از ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ کاهش یافته است، اما کاهش از سال ۱۹۹۶ نشان داده می‌شود و روند اوزون کلی از سال ۲۰۰۳ به تدریج افزایش یافته است. همچنین منطقه غنی از اوزون در جنوب‌شرقی فلات تبت با حداقل مقدار ۲۶۰ واحد اوزون برحسب دابسون مشخص شد. در طول دوره آماری، حداکثر مقدار اوزون در ماه مارس و حداقل آن در اکتبر رخ می‌دهد. همچنین در طول ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه مقدار رویداد اوزون پایین است و بین ۱۹۴ تا ۲۲۸ دابسون می‌رسد (Sheng et al, 2017: 528-534).

#### روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش برای بررسی نوسانات اوزون لایه استراتوسفری، ابتدا داده‌های اوزون موجود در مقیاس روزانه از ایستگاه ژئوفیزیک شهر تهران با مختصات جغرافیایی ۴۵° ۳۵' درجه عرض جغرافیایی و ۲۳° ۵۱' درجه طول جغرافیایی در دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ تهیه شد. مقادیر اوزون روزانه ایستگاه زمینی تهران، توسط دستگاه اوزون‌سنجی در واحد دابسون در طول روز و شرایط جوی مناسب، تا چندین نوبت اندازه‌گیری می‌شود. پس از آن داده‌های دمای روزانه نیز در همین مقیاس مورد مطالعه، از سازمان هواشناسی دریافت شد. روزهایی که دارای مقادیر بالا و پایین اوزون در هر کدام از ماه‌های سال بودند، استخراج شد و نقشه‌های اسکویی این روزها برای محاسبه ارتفاع تروپوپاز (وردایست) به کار گرفته شد. در مرحله بعد برای ارتباط بین دمای سطح زمین، مقدار اوزون و ارتفاع تروپوپاز ضریب همبستگی



شکل ۱: میزان مقادیر اوزون ایستگاه ژئوفیزیک در ماه‌های مختلف (۲۰۰۵-۲۰۱۰)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

بیشترین سطح معناداری و ضریب همبستگی بین مقدار اوزون و دمای سطح زمین در سطح اطمینان ۹۹ درصد، متعلق به فصل بهار و سپس فصل پاییز است و کمترین آن متعلق به فصل زمستان است که میزان سطح معناداری بالاتر از ۰/۰۵ نشان می‌دهد؛ بنابراین رابطه و تفاوت متغیر دما و اوزون در این فصل معنادار نیست که این امر نیز به دلیل وجود سیستم‌های جوّی ناپایدار است که در این زمان بر روی منطقه مستقر شده و نوسان‌هایی در کمیت‌های مقدار اوزون و دمای سطح زمین ایجاد می‌کند. با این وجود، براساس جداول شماره (۳) تا (۶) بین مقادیر بالاترین و کمترین اوزون و دمای سطح زمین در طی دوره آماری در فصل زمستان حدود ۹۴/۴ درصد، فصل بهار ۸۳/۳ درصد، فصل تابستان ۴۴/۴ درصد و در فصل پاییز ۸۳/۳ درصد با افزایش اوزون، دمای سطح زمین کاهش پیدا کرده است.

#### رابطه بین مقادیر اوزون و دمای سطح زمین

با اندکی توجه به شکل‌های شماره (۲) تا (۷) و جدول (۱)، در مجموع افت و خیزهایی در مقادیر اوزون برای سال‌های مختلف، به علت تغییرات جوّی و فصلی مشاهده می‌شود. از اثرات بارز اوزون بر اقلیم، تغییرات دمایی است. بین مقادیر کاهش و افزایش اوزون با مقادیر کاهش و افزایش دمای سطح زمین رابطه مستقیم و معکوسی مشاهده می‌شود. به گونه‌ای که با افزایش اوزون، دمای سطح زمین کاهش یافته و با کاهش اوزون، بر دمای سطح زمین افزوده شده است؛ بنابراین اهمیت اقلیمی لایه اوزون به علت نقش آن در بودجه انرژی زمین است؛ چراکه از طریق توانایی جذب پرتوی ورودی، تأثیر مستقیم بر روی دمای سطح زمین دارد. در مواقع افزایش اوزون، جذب تابش موج کوتاه خورشیدی در استراتوسفر بیشتر انجام شده، در نهایت مقدار انرژی‌ای که به جوّ پایین و سطح زمین می‌رسد، کاهش می‌یابد.

جدول ۱: مشخصات توصیفی داده‌های اوزون و دمای ایستگاه ژئوفیزیک (۲۰۰۵-۲۰۱۰)

مقیاس	پارامتر	تعداد روزها	متوسط داده‌ها	حداقل داده‌ها	حداکثر داده‌ها	انحراف معیار	واریانس	چولگی
سال	اوزون	۳۶۵	۲۹۳/۰۲	۲۱۴	۳۹۵/۵	۲۸/۱۳	۷۹۱/۳	۰/۶۸
	دما	۳۶۵	۲۳/۷۸	-۴/۴	۴۲/۶	۱۰/۶۵	۱۱۳/۴	-۰/۲۵۸
بهار	اوزون	۹۱	۳۰۴/۳	۲۳۹	۳۹۳	۲۳/۵۳	۵۵۳/۷	۰/۹۰۶
	دما	۹۱	۲۹/۰۵	۱۲/۲	۴۰/۶	۵/۹۷	۳۵/۶	-۰/۳۱۲
تابستان	اوزون	۹۲	۲۸۱/۸	۲۳۳	۳۱۳	۱۱/۷۳	۱۳۷/۶	-۰/۳۸۴
	دما	۹۲	۳۵/۱۷	۲۴/۶	۴۲/۶	۳/۴۲	۱۱/۷	-۰/۵۵۱
پاییز	اوزون	۹۲	۲۷۴/۲	۲۱۴	۳۴۹/۹	۲۱/۵۷	۴۶۵/۳	۰/۲۲۹
	دما	۹۲	۱۷/۹	۳	۳۲/۶	۷/۲۶	۵۲/۷	۰/۰۵۶
زمستان	اوزون	۹۰	۳۱۲/۱۸	۲۲۷	۳۹۵/۵	۳۲/۳	۱۰۴۷/۲	-۰/۰۰۲
	دما	۹۰	۱۲/۷۵	-۴/۴	۲۹/۴	۶/۴۳	۴۱/۴۳	۰/۰۵۶

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

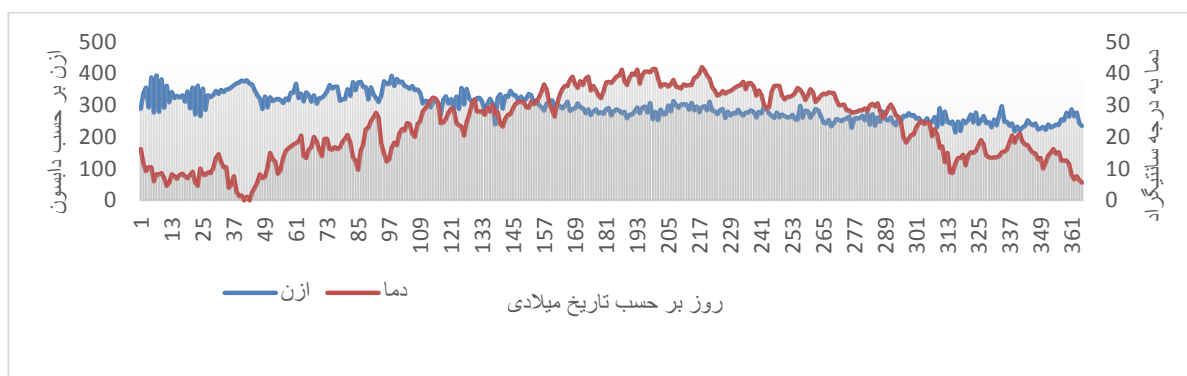
جدول ۲: سطح معناداری و ضریب همبستگی مقادیر اوزون استراتوسفر و دمای سطح زمین (۲۰۱۰-۲۰۰۵)

مقیاس	پارامتر	اوزون	دما
سالانه	Pearson Correlation Ozone Sig. (2-tailed)	۱	** -۰/۲۷۹ .....
زمستان	Pearson Correlation Ozone Sig. (2-tailed)	۱	-۰/۰۵۱ ۰/۱۱۹
بهار	Pearson Correlation Ozone Sig. (2-tailed)	۱	** -۰/۶۷۹ .....
تابستان	Pearson Correlation Ozone Sig. (2-tailed)	۱	* -۰/۰۹۱ ۰/۰۱۷
پاییز	Pearson Correlation Ozone Sig. (2-tailed)	۱	** -۰/۴۱۳ .....

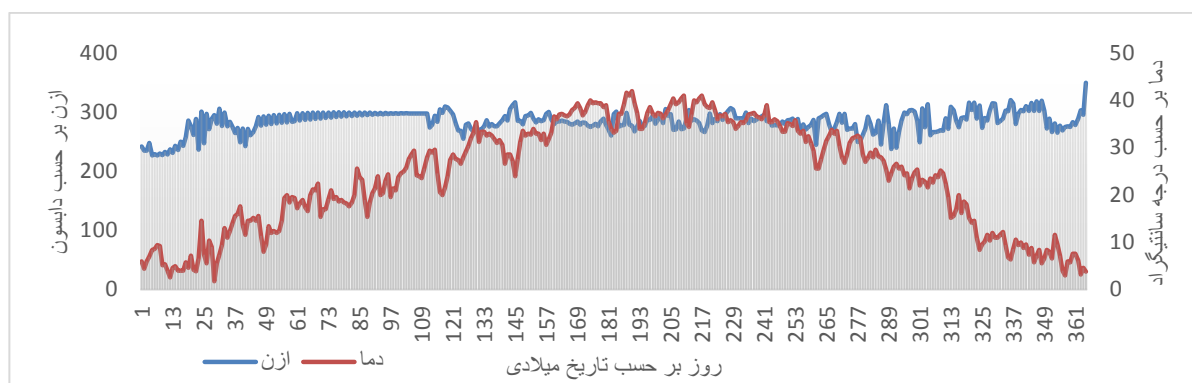
مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

\* Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

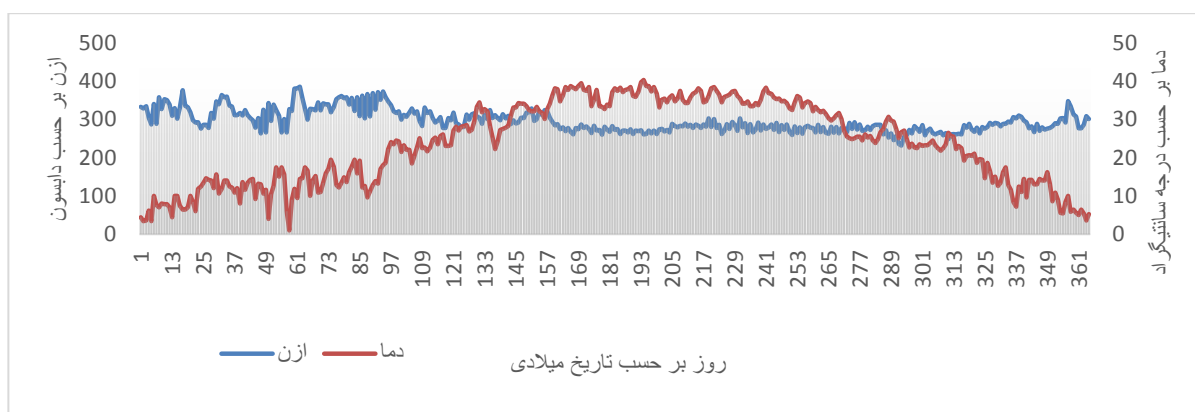
\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۲: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۵

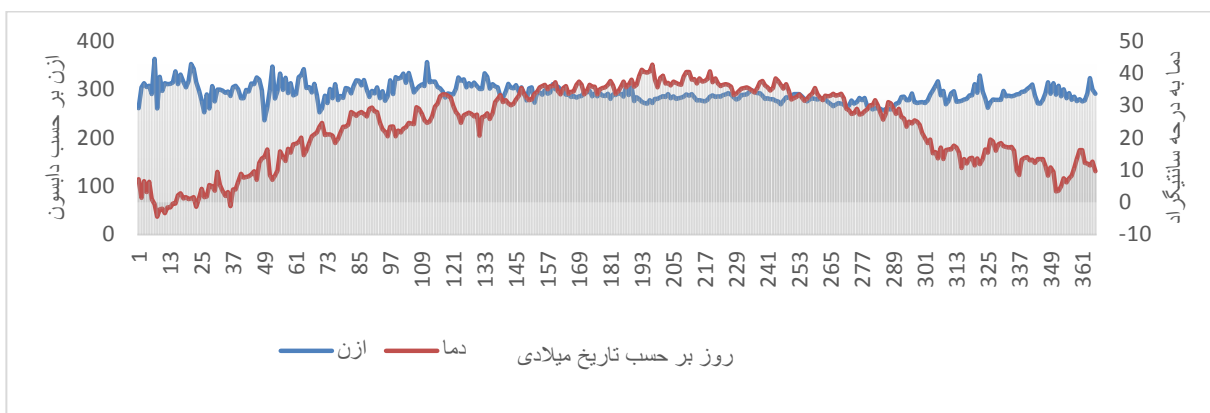


شکل ۳: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۶

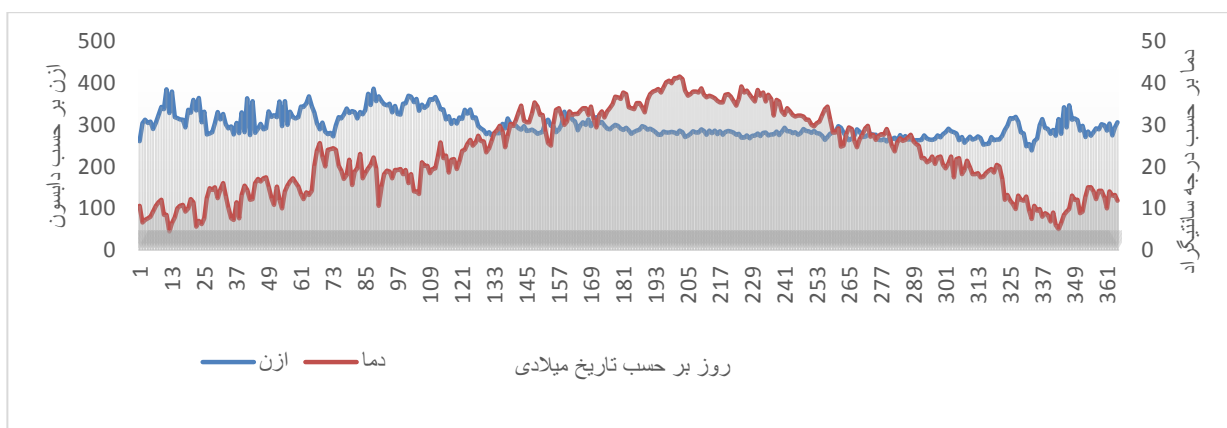


شکل ۴: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۷

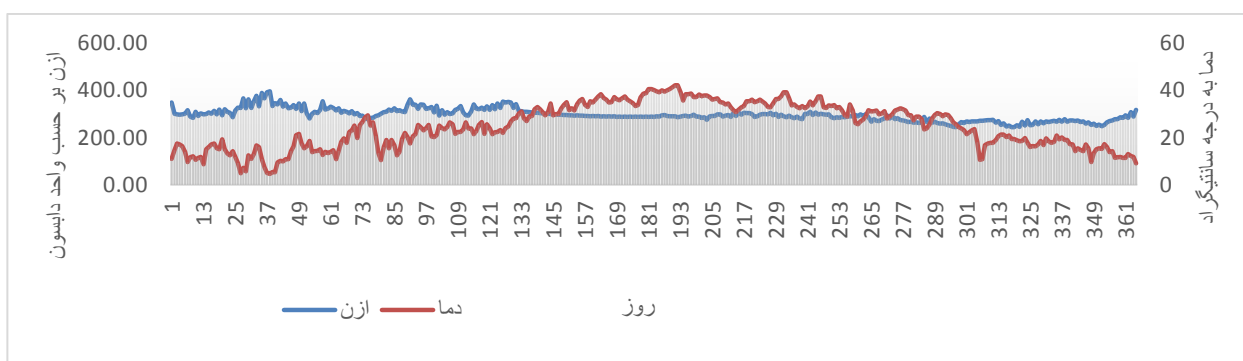
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۵: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۸



شکل ۶: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۹



شکل ۷: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۱۰

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



جدول ۳: مقادیر بالاترین، کمترین اوزون، متوسط دما، ارتفاع تروپوپاز و ارتفاع ژئوپتانسیلی ایستگاه ژئوفیزیک فصل زمستان

متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط دمای سطح زمین	کمترین مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	تاریخ	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط دمای سطح زمین	بالاترین مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	تاریخ
۵۵۳۰	۱۰۲۲۵	۱۱۰۴۳	۱۰	۲۶۶/۱۴	۲۰۰۵/۱/۲۴	۵۶۰۰	۱۰۳۵۰	۱۰۱۵۲	۸/۲	۳۹۳/۸۲	۲۰۰۵/۱/۱۷
۵۷۰۰	۱۰۴۷۵	۱۱۷۱۰	۸/۴	۲۲۷	۲۰۰۶/۱/۵	۵۵۰۰	۱۰۱۷۵	۱۶۵۸۵	۷/۴	۳۰۶	۲۰۰۶/۱/۳۱
۵۷۹۰	۱۰۶۰۰	۱۸۳۸۰	۱۲/۴	۲۷۴/۹	۲۰۰۷/۱/۲۴	۵۵۶۰	۱۰۲۲۵	۱۵۹۱۶	۷	۳۵۷/۱	۲۰۰۷/۱/۱۸
۵۵۷۰	۱۰۳۵۰	۲۵۷۹۲	۱/۶	۲۵۲/۲	۲۰۰۸/۱/۲۶	۵۴۷۰	۱۰۰۷۵	۹۷۲۹	-/۶	۳۶۲/۴	۲۰۰۸/۱/۱۷
۵۶۰۰	۱۰۴۵۰	۱۷۰۰۶	۱۰/۶	۲۶۱/۲	۲۰۰۹/۱/۱	۵۵۳۰	۱۰۱۵۰	۱۰۴۱۰	۸/۴	۳۸۵/۵	۲۰۰۹/۱/۱۱
۵۶۷۰	۱۰۵۲۵	۱۱۴۳۲	۱۲	۲۸۳/۵	۲۰۱۰/۱/۹	۵۵۸۰	۱۰۲۵۰	۱۱۷۰۱	۷/۲	۳۶۶/۷	۲۰۱۰/۱/۲۸
۵۷۱۰	۱۰۴۵۰	۱۲۴۲۰	۷	۲۸۸	۲۰۰۵/۲/۱۷	۵۴۳۰	۱۰۰۵۰	۸۸۶۰	۱/۲	۳۷۸/۸۹	۲۰۰۵/۲/۱۱
۵۶۳۰	۱۰۴۵۰	۱۶۱۰۷	۱۱/۶	۲۴۲/۷۱	۲۰۰۶/۲/۱۰	۵۶۸۰	۱۰۴۷۵	۱۵۵۴۵	۱۳	۲۹۹/۴۱	۲۰۰۶/۲/۲
۵۵۷۰	۱۰۴۰۰	-	۱۳	۲۶۲/۳۶	۲۰۰۷/۲/۱۶	۵۵۹۰	۱۰۳۰۰	۱۴۸۹۴	۱۱/۸	۳۶۲/۵۵	۲۰۰۷/۲/۱
۵۷۲۰	۱۰۶۰۰	۱۶۴۱۳	۱۴	۲۳۶/۲	۲۰۰۸/۲/۱۸	۵۵۹۰	۱۰۳۵۰	۱۷۷۸۳	۷	۳۴۷/۲	۲۰۰۸/۲/۲۱
۵۵۱۰	۱۰۲۷۵	۱۸۷۲۷	۱۰/۶	۲۶۱/۲	۲۰۰۹/۲/۱۱	۵۷۰۰	۱۰۵۷۵	۱۶۶۱۸	۸/۴	۳۸۵/۵	۲۰۰۹/۲/۱۰
۵۶۲۰	۱۰۴۵۰	۱۷۶۰۷	۱۸/۶	۲۸۰/۶	۲۰۱۰/۲/۲۲	۵۵۱۰	۱۰۲۵۰	۹۷۱۶	۴/۶	۳۹۵/۵	۲۰۱۰/۲/۷
۵۷۲۰	۱۰۶۰۰	-	۱۸/۴	۳۰۴/۶۸	۲۰۰۵/۳/۱۰	۵۶۴۰	۱۰۳۷۵	۱۶۴۱۸	۱۵/۶	۳۷۴	۲۰۰۵/۳/۲۷
۵۶۸۰	۱۰۴۷۵	-	۱۹/۴	۲۸۴/۹۸	۲۰۰۶/۳/۱	۵۶۲۰	۱۰۳۵۰	۱۸۲۲۸	۱۸/۶	۲۹۹/۸۵	۲۰۰۶/۳/۱۸
۵۶۳۰	۱۰۴۷۵	۱۷۶۸۷	۱۶/۶	۲۹۸/۵	۲۰۰۷/۳/۶	۵۶۳۰	۱۰۳۵۰	۱۷۶۵۹	۱۴/۴	۳۸۴/۲	۲۰۰۷/۳/۳
۵۸۱۰	۱۰۶۵۰	۲۱۲۱۶	۲۳/۴	۲۵۲/۶	۲۰۰۸/۳/۱۰	۵۵۶۰	۱۰۳۷۵	۱۸۹۱۵	۱۴/۶	۳۴۱/۹	۲۰۰۸/۳/۴
۵۷۴۰	۱۰۵۷۵	۱۷۸۴۲	۲۴/۴	۲۷۲/۲	۲۰۰۹/۳/۱۴	۵۶۵۰	۱۰۳۷۵	-	۲۲/۲	۳۸۷/۱۹	۲۰۰۹/۳/۲۹
۵۷۹۰	۱۰۷۵۰	۱۸۹۱۲	۲۹/۴	۲۷۸/۱	۲۰۱۰/۳/۱۶	۵۶۹۰	۱۰۴۷۵	۱۵۴۱۱	۲۰/۲	۳۳۹/۱	۲۰۱۰/۳/۳۱

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۴: مقادیر بالاترین، کمترین اوزون، متوسط دما، ارتفاع تروپوپاز و ارتفاع ژئوپتانسیلی ایستگاه ژئوفیزیک فصل بهار

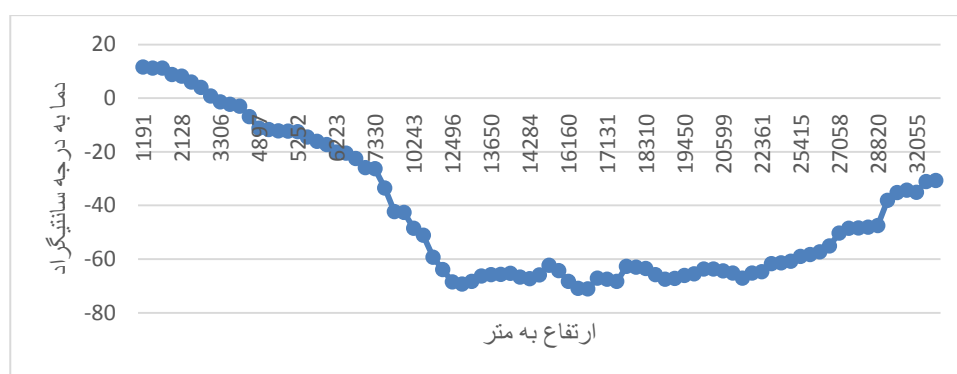
متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط دمای سطح زمین	کمترین مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	تاریخ	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط دمای سطح زمین	بالاترین مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	تاریخ
۵۷۳۰	۱۰۶۲۵	۱۸۲۶۹	۲۴/۴	۲۷۰	۲۰۰۵/۴/۲۷	۵۷۰۰	۱۰۵۷۵	۱۶۵۲۴	۱۶/۶	۳۹۳	۲۰۰۵/۴/۱۸
۵۷۸۰	۱۰۶۷۵	۱۲۷۴۱	۲۹/۴	۲۷۲	۲۰۰۶/۴/۲۲	۵۶۸۰	۱۰۴۷۵	۱۱۱۱۳	۲۱/۶	۳۱۰	۲۰۰۶/۴/۲۸
۵۸۱۰	۱۰۷۲۵	۱۲۶۷۱	۲۶	۲۷۲/۲	۲۰۰۷/۴/۲۷	۵۶۳۰	۱۰۴۰۰	۱۲۹۰۶	۱۸	۳۷۲/۱	۲۰۰۷/۴/۴
۵۶۵۰	۱۰۴۵۰	۱۷۹۲۹	۲۱/۸	۲۷۶	۲۰۰۸/۴/۴	۵۶۸۰	۱۰۴۵۰	۱۸۱۴۴	۲۴/۶	۳۵۶/۲	۲۰۰۸/۴/۲۰
۵۷۴۰	۱۰۶۲۵	-	۲۱/۶	۳۰۲/۲	۲۰۰۹/۴/۲۷	۵۶۵۰	۱۰۳۷۵	۱۹۰۹۴	۱۶	۳۶۹/۸	۲۰۰۹/۴/۱۱
۵۷۷۰	۱۰۶۲۵	-	۲۵	۲۹۲/۶	۲۰۱۰/۴/۱۲	۵۶۵۰	۱۰۵۲۵	۱۸۲۸۲	۱۷/۴	۳۶۲/۳	۲۰۱۰/۴/۱۱
۲۶۳۶۰	۱۷۰۰	۱۸۶۴۰	۲۷	۲۳۹	۲۰۰۵/۵/۱۸	۵۶۴۰	۱۰۴۲۵	۱۸۹۲۹	۲۳/۲	۳۵۴/۰۹	۲۰۰۵/۵/۵
۵۸۵۰	۱۸۰۰	۱۷۲۸۲	۲۸	۲۵۵/۴	۲۰۰۶/۵/۵	۵۷۹۰	۱۰۶۷۵	۱۶۸۵۳	۲۴	۳۱۶/۶	۲۰۰۶/۵/۲۵
۵۸۰۰	۱۰۶۲۵	۱۷۷۷۱	۲۸	۲۷۹/۲	۲۰۰۷/۵/۴	۵۸۳۰	۱۰۷۷۵	۱۷۵۴۰	۳۲	۳۲۷/۶	۲۰۰۷/۵/۳۱
۵۸۲۰	۱۰۷۵۰	۱۷۷۲۵	۳۳/۶	۲۷۲/۵	۲۰۰۸/۵/۳۱	۵۷۴۰	۱۰۵۷۵	۱۷۶۴۰	۲۶/۶	۳۳۳	۲۰۰۸/۵/۱۲
۵۸۱۰	۱۰۷۵۰	-	۲۶/۲	۲۷۵	۲۰۰۹/۵/۱۲	۵۷۸۰	۱۰۶۲۵	۱۳۴۲۰	۲۶/۴	۳۳۶/۹	۲۰۰۹/۵/۴
۵۸۳۰	۱۰۷۵۰	۱۸۵۱۸	۳۱/۶	۲۹۴/۴	۲۰۱۰/۵/۳۱	۵۶۹۰	۱۰۵۰۰	-	۲۲	۳۵۲/۵	۲۰۱۰/۵/۶
۵۹۰۰	۱۱۰۵۰	۱۸۰۵۰	۳۴/۶	۲۶۹	۲۰۰۵/۶/۲۴	۵۷۹۰	۱۰۷۰۰	۱۸۰۴۶	۳۱	۳۳۱	۲۰۰۵/۶/۱
۵۸۵۰	۱۱۰۲۵	۱۶۶۲۷	۳۵/۶	۲۷۰/۰۸	۲۰۰۶/۶/۳۰	۵۸۵۰	۱۰۸۲۵	-	۳۱/۸	۳۰۰/۷	۲۰۰۶/۶/۷
۵۸۳۰	۱۰۹۲۵	۱۸۰۶۴	۳۳/۲	۲۵۹/۳	۲۰۰۷/۶/۲۷	۵۸۱۰	۱۰۷۵۰	۱۷۷۲۵	۳۰	۳۲۳/۶	۲۰۰۷/۶/۵
۵۸۷۰	۱۱۰۰۰	۱۸۵۲۳	۳۷/۶	۲۸۰/۲	۲۰۰۸/۶/۲۹	۵۸۱۰	۱۰۸۵۰	۱۸۴۰۰	۳۶	۳۱۰/۴	۲۰۰۸/۶/۷
۵۸۳۰	۱۰۷۷۵	-	۳۳/۶	۲۸۲/۲	۲۰۰۹/۶/۵	۵۸۵۰	۱۰۷۷۵	-	۳۲/۴	۳۱۳/۳	۲۰۰۹/۶/۱۷
۵۹۰۰	۱۱۰۷۵	-	۴۰/۶	۲۸۶/۷۱	۲۰۱۰/۶/۳۰	۵۸۵۰	۱۰۸۰۰	۱۷۳۴۶	۳۲/۴	۲۹۴/۶۲	۲۰۱۰/۶/۱

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

## -تغییرات ارتفاعی تروپوپاز با ناهنجاری‌های اوزون کلان‌شهر تهران

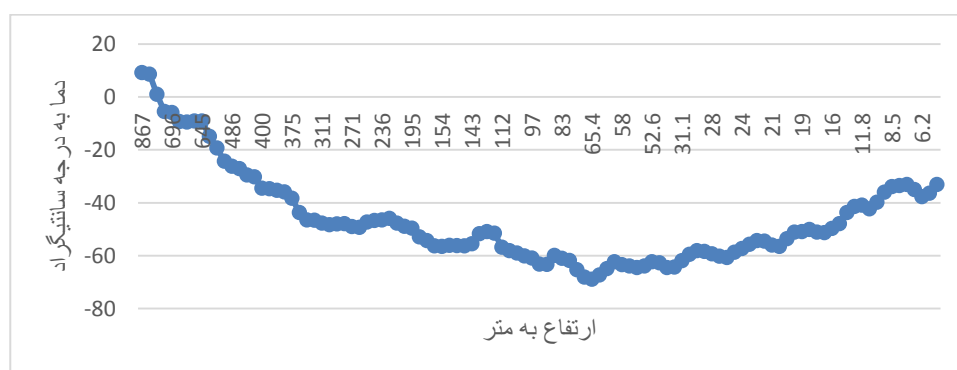
وردایست (تروپوپاز) به مرز بین تروپوسفر و استراتوسفر اطلاق می‌شود. تروپوپاز منطقه‌ای است که در آنجا کاهش دما با افزایش ارتفاع متوقف می‌شود و جو در آنجا به‌طور کامل خشک است. میزان کاهش دما در تروپوسفر مثبت است. یعنی در لایه تروپوسفر با افزایش ارتفاع، از میزان دما کاسته می‌شود. در حقیقت تروپوپاز منطقه‌ای است که این میزان کاهش دما از مثبت به منفی تغییر می‌کند؛ بنابراین میزان کاهش دما در استراتوسفر منفی است. به عبارت دیگر، در این لایه با افزایش ارتفاع، بر میزان دمای هوا افزوده می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳۳-۱۱۳).

تعریف دقیق تروپوپاز که سازمان جهانی هواشناسی از آن استفاده می‌کند: تروپوپاز مرز بین تروپوسفر و استراتوسفر است (Andrews, 1987: 487). جایی که در آن معمولاً تغییر ناگهانی در میزان کاهش دما اتفاق می‌افتد، به شرطی که میزان متوسط نرخ کاهش دما بین این سطح و همه سطوح بالاتر با فاصله ۲ کیلومتری آن از ۲ درجه سانتی‌گراد در هر کیلومتر تجاوز نکند (Hirschberg, 1989: 918-550 ; Rigby, 1992: 636 ; Reichler et al, 2003:16) در پژوهش حاضر برای تأییدگذاری ارتفاع تروپوپاز بر مقدار اوزون، ارتفاع تروپوپاز در هر کدام از ماه‌ها در روزهای همراه با افزایش و کاهش اوزون، در طول دوره آماری محاسبه شد (جداول ۳ تا ۶).



شکل ۸: مقدار دما از سطح زمین تا تراز ۷ هکتوپاسکال (۱۰ فوریه ۲۰۰۹)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



شکل ۹: مقدار دما از سطح زمین تا تراز ۷ هکتوپاسکال (۱۱ فوریه ۲۰۰۹)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

مشاهده می‌شود. با توجه به دو نمودار، مشاهده می‌شود زمانی که ارتفاع تروپوپاز افزایش یافته، مقدار اوزون کاهش و با کاهش ارتفاع تروپوپاز، مقدار اوزون افزایش یافته است (۱۲۴ واحد اوزون برحسب دابسون بیشتر از ۱۱ فوریه ۲۰۰۹). این امر بیانگر آن است که با کاهش ارتفاع وردایست، لایه استراتوسفر ضخیم‌تر شده و این امر باعث انتقال اوزون از مناطق دیگر توسط بادهای مداری به منطقه خواهد شد (شکل‌های ۸ و ۹). به‌طور کلی بین مقادیر بالاترین و کمترین اوزون و ارتفاع تروپوپاز در طی دوره آماری در فصل زمستان حدود ۷۹ درصد، فصل بهار ۷۳ درصد، فصل تابستان ۶۷ درصد و در فصل پاییز ۶۲ درصد با افزایش لایه تروپوپاز، مقدار اوزون کاهش پیدا کرده است.

با توجه به تعداد زیاد نقشه‌های Skew-t موارد مطالعاتی، در این تحقیق فقط به دو نمونه روند دمایی جو بسنده می‌کنیم، اما نتایج تمامی نقشه‌های اسکویی در جداول (۳ تا ۶) آورده شده است. به‌عنوان مثال بالاترین اوزون در ماه فوریه سال ۲۰۰۹ در ۲ اکتبر ۲۰۰۹ با مقدار ۳۸۵/۵ اوزون برحسب دابسون گزارش شده است. برای تعیین ارتفاع تروپوپاز نمودارهای دمایی از سطح زمین تا ترازهای فوقانی جو ترسیم شد. جایی که میزان کاهش دما، روند مثبت را طی می‌کند محل تروپوپاز است که در این روز ارتفاع تروپوپاز در ارتفاع ۱۶۶۱۸ متری از سطح زمین واقع شده است. کمترین مقدار اوزون در این ماه مربوط به ۱۱ فوریه ۲۰۰۹ با مقدار اوزون ۲۶۱/۲ واحد دابسون مشاهده می‌شود. در این روز ارتفاع تروپوپاز در ارتفاع ۱۸۷۲۷ متری از سطح زمین (تراز ۶۵ هکتوپاسکال)

جدول ۵: مقادیر بالاترین، کمترین اوزون، متوسط دما، ارتفاع تروپوپاز و ارتفاع ژئوپتانسیلی ایستگاه ژئوفیزیک فصل تابستان

متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط دمای سطح زمین	کمترین مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	تاریخ	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	متوسط ارتفاعی دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط دمای سطح زمین	مقدار اوزون بر حسب واحد دابسون	تاریخ
۵۹۱۰	۱۱۰۲۵	۱۸۰۳۰	۳۸/۴	۲۵۴	۲۰۰۵/۷/۲۰	۵۹۰۰	۱۱۰۵۰	۱۶۰۰۵	۳۸	۳۱۳	۲۰۰۵/۷/۲۶
۵۸۳۰	۱۱۰۰۰	-	۳۴	۲۶۰/۷	۲۰۰۶/۷/۱	۵۹۱۰	۱۱۰۷۵	-	۳۷	۳۰۵/۲	۲۰۰۶/۷/۲۲
۵۸۸۰	۱۱۰۵۰	۱۸۰۵۶	۴۰/۲	۲۶۰/۵	۲۰۰۷/۷/۱۳	۵۸۵۰	۱۰۹۲۵	۱۸۰۳۰	۳۴/۲	۲۸۸/۵	۲۰۰۷/۷/۲۹
۵۹۲۰	۱۱۰۵۰	۱۷۹۱۵	۴۰/۲	۲۷۰/۴	۲۰۰۸/۷/۱۳	۵۸۲۰	۱۱۰۰۰	۱۷۲۳۴	۳۵/۶	۳۰۵/۸	۲۰۰۸/۷/۱۵
۵۹۱۰	۱۱۰۵۰	-	۳۸/۲	۲۷۰/۹	۲۰۰۹/۷/۲۳	۵۸۵۰	۱۰۹۷۵	-	۳۴/۲	۲۹۶/۸	۲۰۰۹/۷/۷
۵۹۰۰	۱۱۰۷۵	۱۷۷۴۶	۳۷/۸	۲۷۵/۷	۲۰۱۰/۷/۲۲	۵۸۷۰	۱۱۰۲۵	۱۷۷۴۴	۳۶/۶	۲۹۸/۸	۲۰۱۰/۷/۲۶
۵۸۹۰	۱۱۰۷۵	۱۷۹۵۸	۲۳/۶	۲۶۰	۲۰۰۵/۸/۱۵	۵۸۹۰	۱۱۰۲۵	۱۶۸۶۶	۳۸/۴	۳۱۱	۲۰۰۵/۸/۹
۵۹۱۰	۱۱۰۷۵	۱۶۷۷۲	۳۹/۲	۲۶۶/۳	۲۰۰۶/۸/۶	۵۸۸۰	۱۰۹۵۰	۱۶۷۵۰	۳۵/۸	۳۰۷	۲۰۰۶/۸/۱۶
۵۸۹۰	۱۱۰۷۵	۱۷۷۴۲	۳۴/۴	۲۶۱/۱	۲۰۰۷/۸/۱۲	۵۸۴۰	۱۰۹۰۰	۱۶۸۵۷	۳۵/۴	۳۰۱/۸	۲۰۰۷/۸/۱۹
۵۹۰۰	۱۱۰۵۰	۱۷۵۲۸	۳۷/۶	۲۷۴/۹	۲۰۰۸/۸/۴	۵۸۸۰	۱۰۸۷۵	۱۸۷۰۱	۳۴/۶	۲۹۷/۸	۲۰۰۸/۸/۲۲
۵۸۹۰	۱۱۰۷۵	-	۳۷/۲	۲۶۷/۸	۲۰۰۹/۸/۱۶	۵۸۷۰	۱۰۸۷۵	-	۳۲/۴	۲۹۳	۲۰۰۹/۸/۲۹
۵۸۳۰	۱۰۸۷۵	۱۶۷۷۲	۳۳/۴	۲۷۷/۶	۲۰۱۰/۸/۲۷	۵۸۵۰	۱۰۸۷۵	۱۷۲۸۸	۳۵/۲	۳۰۹/۱	۲۰۱۰/۸/۳۰
۵۸۸۰	۱۰۸۷۵	۱۷۱۲۸	۳۳/۸	۲۳۳	۲۰۰۵/۹/۲۵	۵۸۸۰	۱۰۹۵۰	۱۷۸۱۶	۳۴/۸	۲۹۸	۲۰۰۵/۹/۱۳
۵۸۱۰	۱۰۷۷۵	۱۸۰۳۴	۲۵/۶	۲۴۴/۶	۲۰۰۶/۹/۱۸	۵۸۱۰	۱۰۷۲۵	۱۷۶۹۰	۳۰/۴	۲۹۷/۴	۲۰۰۶/۹/۲۷
۵۸۵۰	۱۱۰۰۰	۱۸۷۳۷	۳۲/۴	۲۵۸/۶	۲۰۰۷/۹/۸	۵۸۱۰	۱۹۷۲۵	۱۸۱۰۳	۲۵	۲۹۰/۳	۲۰۰۷/۹/۳۰
۵۷۹۰	۱۰۷۵۰	۱۸۱۱۲	۲۹	۲۶۲	۲۰۰۸/۹/۲۷	۵۸۶۰	۱۰۸۲۵	۱۵۹۸۵	۳۳/۴	۲۹۰/۳	۲۰۰۸/۹/۲۹
۵۸۶۰	۱۰۸۵۰	۱۵۸۷۵	۲۹/۴	۲۶۲/۹	۲۰۰۹/۹/۲۲	۵۸۱۰	۱۰۸۰۰	۱۶۰۶۶	۲۹/۲	۲۹۷	۲۰۰۹/۹/۱۱
۵۸۹۰	۱۰۸۷۵	۱۶۷۸۱	۳۱	۲۶۷/۵	۲۰۱۰/۹/۲۲	۵۸۸۰	۱۰۹۲۵	۱۷۹۷۵	۳۵/۴	۳۰۶/۶۲	۲۰۱۰/۹/۱

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

جدول ۶: مقادیر بالاترین، کمترین اوزون، متوسط دما، ارتفاع تروپوپاز و ارتفاع ژئوپتانسیلی ایستگاه ژئوفیزیک فصل پاییز

تاریخ	مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط ارتفاع منحنی تروپوپاز در ژئوپتانسیل در ۲۵۰ تراز	متوسط ارتفاع منحنی تروپوپاز در ژئوپتانسیل در ۵۰۰ تراز	تاریخ	متوسط ارتفاع منحنی تروپوپاز در ژئوپتانسیل در ۲۵۰ تراز	متوسط ارتفاع منحنی تروپوپاز در ژئوپتانسیل در ۵۰۰ تراز	کمترین مقدار اوزون برحسب واحد دابسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط ارتفاع منحنی تروپوپاز در ژئوپتانسیل در ۲۵۰ تراز	متوسط ارتفاع منحنی تروپوپاز در ژئوپتانسیل در ۵۰۰ تراز
۲۰۰۵/۱۰/۱۵	۲۸۰	۲۶	۱۷۹۶۴	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰	۲۰۰۵/۱۰/۳	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰	۲۲۸	۲۷/۶	۱۶۶۹۳	۱۰۷۷۵	۵۸۳۰
۲۰۰۶/۱۰/۳۱	۳۱۳/۵	۲۱/۶	۱۵۳۹۵	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰	۲۰۰۶/۱۰/۱۷	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰	۲۳۷/۶	۲۴/۶	۱۶۴۲۶	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰
۲۰۰۷/۱۰/۲	۲۹۲/۳	۲۵	۱۷۲۸۴	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰	۲۰۰۷/۱۰/۲۰	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰	۲۳۱/۱	۲۶/۶	۱۹۱۵۲	۱۰۷۲۵	۵۸۵۰
۲۰۰۸/۱۰/۳۱	۳۰۶/۴	۱۵/۶	۱۶۶۸۷	۱۰۵۰۰	۵۷۲۰	۲۰۰۸/۱۰/۱۱	۱۰۵۰۰	۵۷۲۰	۲۵۶/۶	۲۵/۶	۱۶۸۷۷	۱۰۷۲۵	۵۸۳۰
۲۰۰۹/۱۰/۲۹	۲۹۱/۱	۲۰/۸	۱۶۲۵۰	۱۰۶۲۵	۵۷۵۰	۲۰۰۹/۱۰/۱۶	۱۰۶۲۵	۵۷۵۰	۲۶۰/۵	۲۹	-	۱۰۷۷۵	۵۸۳۰
۲۰۱۰/۱۰/۱۲	۲۸۷/۵	۲۳/۴	۱۸۷۱۲	۱۰۶۵۰	۵۷۵۰	۲۰۱۰/۱۰/۲۴	۱۰۶۵۰	۵۷۵۰	۳۴۴/۱	۲۵/۶	۱۶۶۱۸	۱۰۷۵۰	۵۸۳۰
۲۰۰۵/۱۱/۳۰	۲۹۷	۱۵/۲	۱۲۷۶۵	۱۰۵۷۵	۵۷۳۰	۲۰۰۵/۱۱/۱۲	۱۰۵۷۵	۵۷۳۰	۲۱۴	۱۱/۶	-	۱۰۴۲۵	۵۹۰۰
۲۰۰۶/۱۱/۱۸	۳۱۶/۴۶	۱۴/۶	۱۶۵۷۵	۱۰۴۰۰	۵۶۳۰	۲۰۰۶/۱۱/۱	۱۰۴۰۰	۵۶۳۰	۲۶۱/۱	۲۳/۵	۱۵۰۳۳	۱۰۷۲۵	۵۸۲۰
۲۰۰۷/۱۱/۳۰	۲۹۴	۱۲/۸	۱۵۳۲۱	۱۰۴۲۵	۵۶۷۰	۲۰۰۷/۱۱/۷	۱۰۴۲۵	۵۶۷۰	۲۴۷/۸	۲۶/۴	۱۸۶۶۰	۱۰۶۷۵	۵۸۰۰
۲۰۰۸/۱۱/۱۷	۳۲۸/۵	۱۱/۸	۱۸۶۳۳	۱۰۳۵۰	۵۶۳۰	۲۰۰۸/۱۱/۲۰	۱۰۳۵۰	۵۶۳۰	۲۶۱/۵	۱۵/۴	۱۸۰۹۳	۱۰۶۵۰	۵۸۱۰
۲۰۰۹/۱۱/۲۳	۳۱۹/۳	۹/۸	-	۱۰۳۵۰	۵۶۱۰	۲۰۰۹/۱۱/۲۹	۱۰۳۵۰	۵۶۱۰	۲۳۸/۷۱	۷/۴	-	۱۰۴۷۵	۵۶۸۰
۲۰۱۰/۱۱/۷	۲۷۵/۶	۱۷/۸	۱۹۶۸۰	۱۰۷۰۰	۵۸۱۰	۲۰۱۰/۱۱/۱۴	۱۰۷۰۰	۵۸۱۰	۲۴۴	۱۹/۴	۲۰۳۱۰	۱۰۷۲۵	۵۸۱۰
۲۰۰۵/۱۲/۲۷	۲۸۸	۸	۱۶۶۱۷	۱۰۳۷۵	۵۶۵۰	۲۰۰۵/۱۲/۵	۱۰۳۷۵	۵۶۵۰	۲۱۷	۱۸/۲	۱۶۷۷۰	۱۰۶۰۰	۵۷۷۰
۲۰۰۶/۱۲/۳۱	۳۴۹/۹	۳/۸	۱۷۴۶۶	۱۰۲۵۰	۵۵۷۰	۲۰۰۶/۱۲/۲۰	۱۰۲۵۰	۵۵۷۰	۲۶۵/۴	۹/۶	۲۰۴۳۸	۱۰۵۵۰	۵۷۲۰
۲۰۰۷/۱۲/۲۳	۳۴۶/۷	۱۰	۱۸۷۵۶	۱۰۳۵۰	۵۶۳۰	۲۰۰۷/۱۲/۱۰	۱۰۳۵۰	۵۶۳۰	۲۶۶/۲	۱۳	-	۱۰۴۲۵	۵۶۵۰
۲۰۰۸/۱۲/۲۹	۳۲۳/۴	۱۱/۴	۱۶۸۰۲	۱۰۳۰۰	۵۶۱۰	۲۰۰۸/۱۲/۱۰	۱۰۳۰۰	۵۶۱۰	۲۷۰/۶	۱۳/۴	۱۶۵۲۹	۱۰۵۵۰	۵۷۴۰
۲۰۰۹/۱۲/۱۳	۳۴۶/۶	۹/۸	-	۱۰۳۵۰	۵۶۱۰	۲۰۰۹/۱۲/۱	۱۰۳۵۰	۵۶۱۰	۲۶۷	۹/۴	-	۱۰۴۰۰	۵۶۵۰
۲۰۱۰/۱۲/۳۱	۳۱۷/۰۹	۹	۱۷۷۷۹	۱۰۴۷۵	۵۶۸۰	۲۰۱۰/۱۲/۱۸	۱۰۴۷۵	۵۶۸۰	۲۴۷/۳	۱۵/۲	۱۸۶۶۳	۱۰۴۵۰	۵۷۲۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

را بر روی ایستگاه اوزون سنجی تهران نشان می‌دهد (جدول شماره ۶). در این الگو در هر دو تراز ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال ورتکس قطبی با گسترش جنوب سوی خود هسته کم ارتفاع قوی بر روی شرق روسیه ایجاد کرده است. این ناوه عمیق حاصل از این چاله سرد در هر دو تراز با راستای شمال شرقی- جنوب غربی تا نوار میانی کشور ایران نفوذ کرده است. این ناوه فشاری با تشدید جریانات سرد جنب قطبی و فرارفت سرد جنب قطبی و قطبی باعث ایجاد سرمایش شدید در نیمه شمالی کشور شده است. به این ترتیب با افزایش غلظت اوزون در پوش سپهر و کاهش انرژی ورودی به ورد سپهر باعث تشدید سرمایش و گسترش ورتکس قطبی به عرض‌های جنوبی شده است. اشکال شماره (۱۰ ج و د) الگوی همیدیدی غالب را در شرایط اوزون پایین (۱/۳۱/۲۳) واحد برحسب دابسون) نشان می‌دهد (جدول شماره ۶).

## -تحلیل الگوهای همیدیدی غالب در شرایط اوزون بالا و پایین

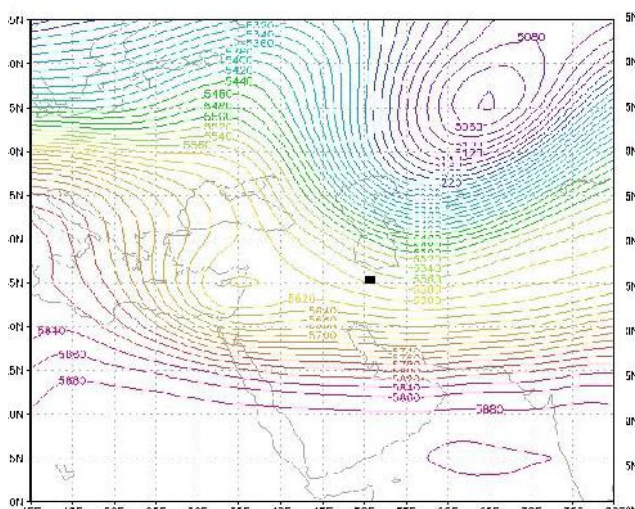
همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد، در هر فصل از سال حدود ۳۶ نمونه از شرایط اوزون بالا و اوزون پایین در دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ انتخاب و نقشه‌های همیدیدی ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان نماینده ورد سپهر میانی و بالایی در محیط نرم‌افزاری Grads ترسیم شد. پس از بررسی چشمی نقشه‌های همیدیدی، الگوی غالب هر فصل برای نمونه‌های اوزون بالا و پایین استخراج شد. شرایط همیدیدی غالب برای هر فصل به‌صورت زیر بوده است:

### ۱- الگوی همیدیدی فصل پاییز

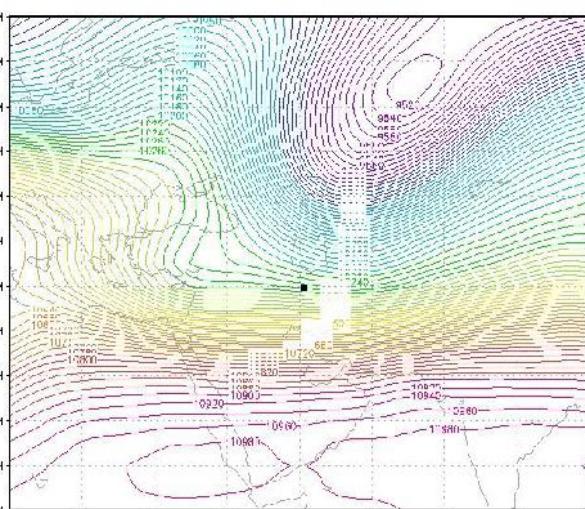
اشکال شماره (۱۰ الف و ب) الگوی همیدیدی غالب در شرایط اوزون بالا (۳۴۹/۹ واحد برحسب دابسون)

مطالعاتی فرارفت گرم از عرض‌های جنوبی‌تر به سمت قطب و گسترش یک پشته عمیق از نزدیک استوا تا نزدیک روسیه را شاهد خواهیم بود. مرکز واچرخندی روی شبه‌جزیره عربستان کاملاً تقویت شده است و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به ضخامت ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر و در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال تا ۱۰۹۵۰ ژئوپتانسیل متر افزایش یافته است.

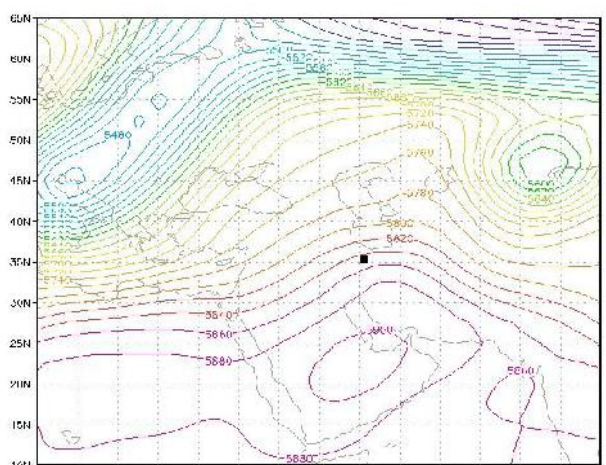
در این شرایط در هر دو تراز ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکالی پشته بسیار گسترده و عمیقی از پرفشار عربستان که در جنوب خلیج فارس و مرکز عربستان قرار می‌گیرد، در جهت عرض‌های شمالی گسترش می‌یابد. به طوری که این پشته تا عرض ۶۰ درجه شمالی گسترش می‌یابد. به عبارت دیگر در شرایط اوزون پایین‌تر، در پوش سپهر برروی محدوده



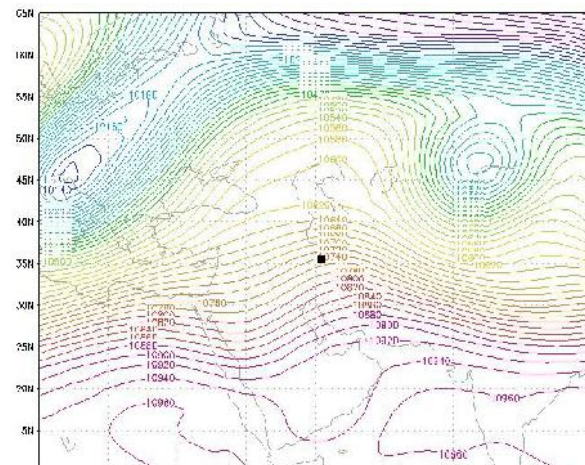
(الف) تراز ۵۰۰ در ۳۱ دسامبر ۲۰۰۶



(ب) تراز ۲۵۰ در ۳۱ دسامبر ۲۰۰۶



(ج) تراز ۵۰۰ در ۲۰ اکتبر ۲۰۰۷



(د) تراز ۲۵۰ در ۲۰ اکتبر ۲۰۰۷

شکل ۱۰: شرایط همدیدی اوزون بالا (شکل‌های الف و ب)، اوزون پایین (شکل‌های ج و د) در الگوی فصل پاییز

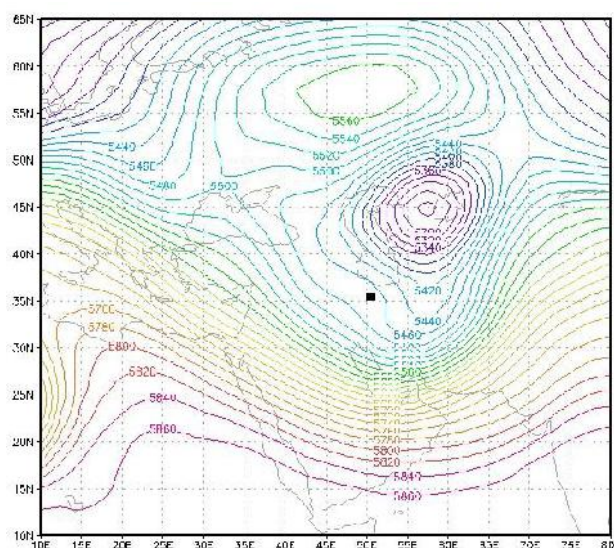
(نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون سنجی ژئوفیزیک تهران)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

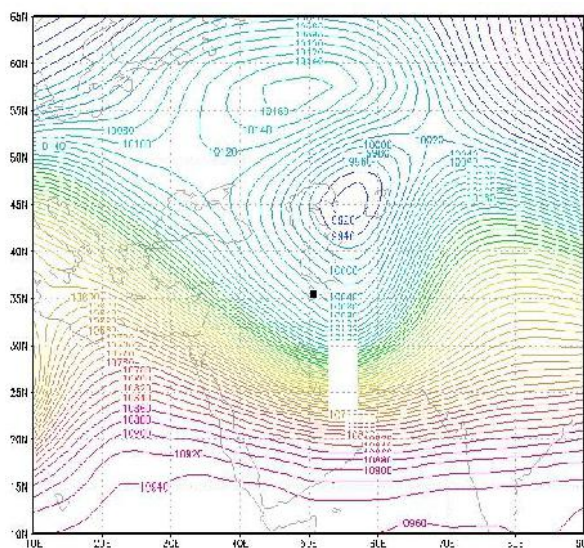
## ۲- الگوی همیدی فصل زمستان

اشکال شماره (۱۱ الف و ب) الگوی همیدی حاکم بر شرایط اوزون بالا (۳۶۲/۴) واحد برحسب دابسون) را در فصل زمستان نشان می‌دهد (جدول شماره ۳). همانطور که دیده می‌شود، الگوی همیدی حاکم بر ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال در این فصل نیز شباهت زیادی با الگوهای همیدی فصل پاییز دارد. در شرایط اوزون بالا، بالای پوش سپهر در محدوده منطقه (طول‌های ۲۰ تا ۱۰۰ درجه شرقی و عرض‌های استوا تا قطب) به دلیل تقویت و گسترش جنوب سوی ورتکس قطبی ناوه گسترده‌ای ابتدا بر روی شرق سبیری و در محدوده استقرار پرفشار سبیری ایجاد شده و با گسترش ورتکس قطبی به عرض‌های جنوبی ناوه عمیقی بر روی ایران گسترش یافته است که هسته کم‌ارتفاع بسیار قوی را بر روی شرق دریای مازندران ایجاد کرده است که ارتفاع این چاله کم‌ارتفاع سرد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۵۲۶۰

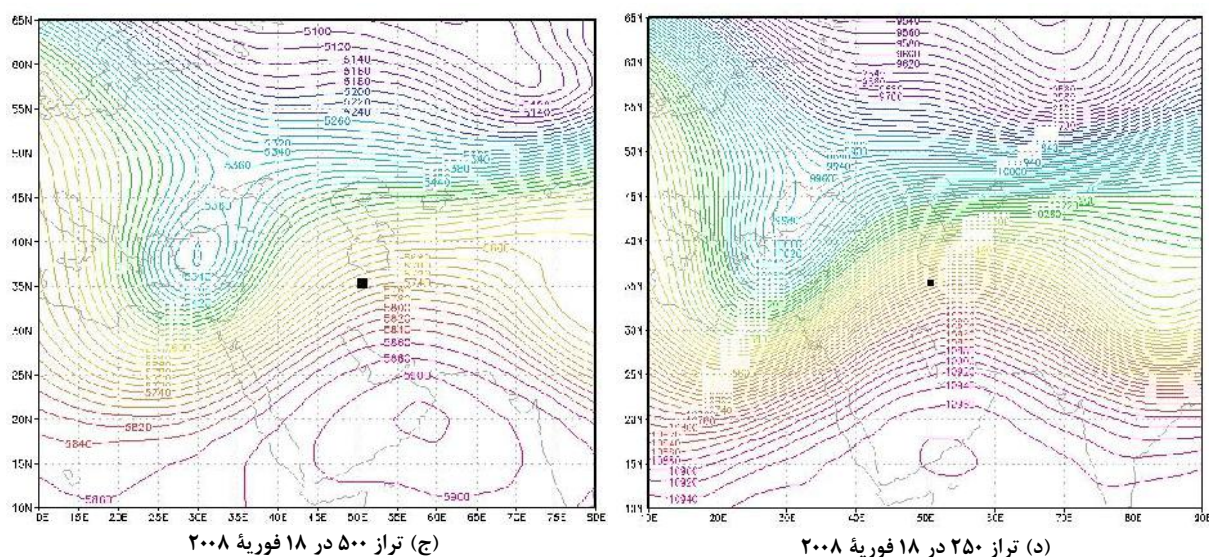
ژئوپتانسیل متر و در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال به ۹۹۵۰ ژئوپتانسیل متر کاهش یافته است. در شرایط اوزون پایین (۲۳۶/۲) واحد برحسب دابسون) در این فصل نیز الگوی حاکم شباهت زیادی به الگوی پاییز دارد. در این الگو نیز پشته عمیقی با راستای جنوبی-شمالی، سراسر ایران را تا شمال دریای مازندران فراگرفته است. با وجود اینکه با توجه به شرایط فصل ورتکس قطبی تا عرض ۵۰ درجه شمالی گسترش داشته است، ولی پشته حاصل از پرفشار عربستان، سراسر ایران را دربرگرفته است. پرفشار عربستان نسبت به دوره پاییزی خود قوی شده است و ارتفاع مرکزی آن در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به ۵۹۴۰ ژئوپتانسیل متر و در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال بالاتر از ۱۰۹۰۰ ژئوپتانسیل متر افزایش پیدا کرده است که نسبت به فصل پاییز افزایش قابل توجهی دارد (اشکال شماره ۱۱ ج و د).



الف) تراز ۵۰۰ در ۷ ژانویه ۲۰۰۸



ب) تراز ۲۵۰ در ۷ ژانویه ۲۰۰۸



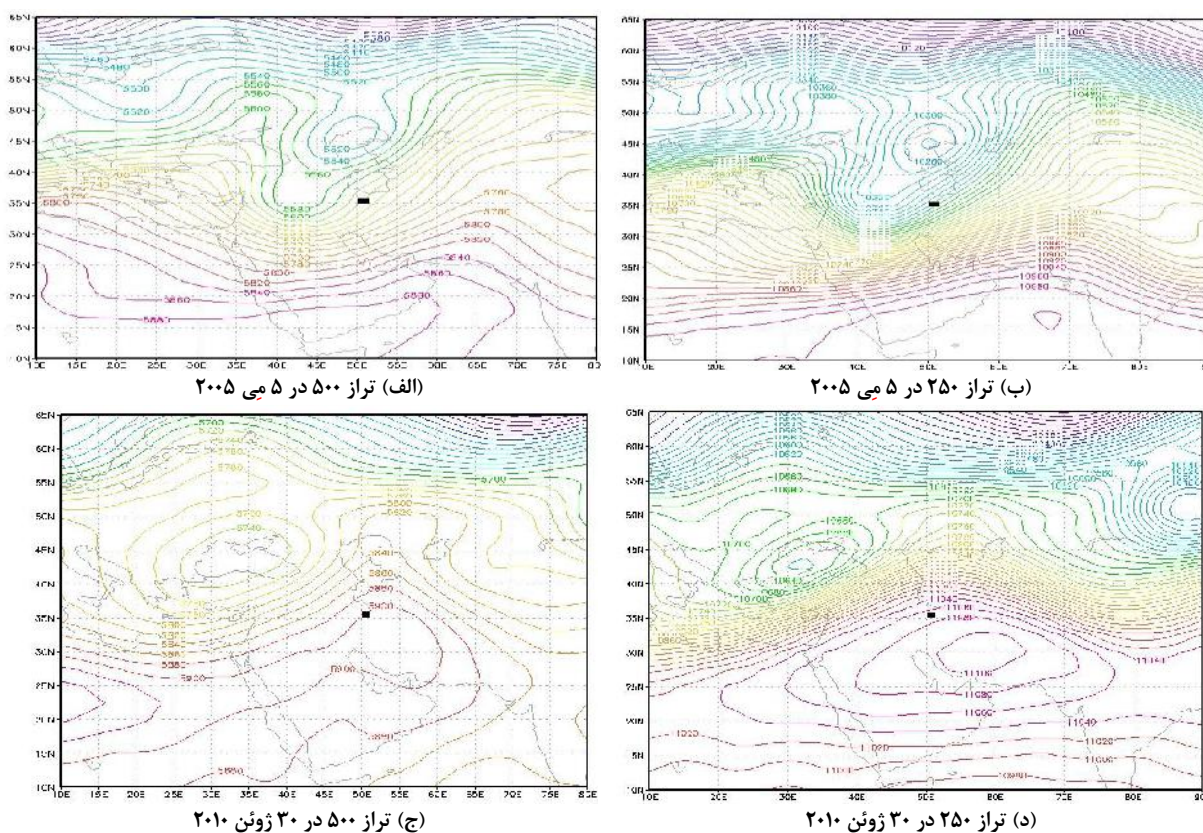
شکل ۱۱: شرایط همدیدی اوزون بالا (شکل‌های الف و ب)، اوزون پایین (شکل‌های ج و د) در الگوی فصل زمستان (نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون سنجی ژئوفیزیک تهران)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

### ۳- الگوی همدیدی فصل بهار

اشکال شماره (۱۲ الف و ب) نقشه ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال را برای شرایط اوزون بالا (۳۵۴/۰۹) در فصل بهار نشان می‌دهد (جدول شماره ۴). الگوی همدیدی حاکم در این فصل بیانگر دو هسته کم ارتفاع سرد در راستای طول جغرافیایی ایران است. ورتکس قطبی با یک هسته کم ارتفاع بسته در شمال روسیه و نزدیک کلاهدک قطبی و هسته کم ارتفاع دوم بر روی نیمه شمالی دریای مازندران بسته شده است. در ناوه حاصل از این دو چاله سرد، همراستا قرار دارند و این دو ناوه سرد با تقویت همدیگر با راستای شمال، شمال شرقی، جنوب، جنوب غربی تا غرب عربستان و دریای سرخ امتداد یافته است. این ناوه بسیار عمیق، فرارفت سرد قطبی را تا بخش غربی ایران نشان می‌دهد و تا جنوب عربستان گسترش پیدا کرده است. الگوی حاکم بر اوزون پایین (۲۸۶/۷) واحد برحسب

دابسون) در این روز شباهت زیادی با الگوی اوزون پایین زمستان دارد. با این تفاوت که هسته مرکزی پرفشار عربستان با حرکت شمال سوی برروی شمال استان بوشهر و فارس قرار گرفته است. پشته حاصل از این پرفشار با راستای جنوبی- شمالی تا شمال دریای مازندران گسترش پیدا کرده است. درمقابل ورتکس قطبی در شمال مرزهای روسیه در محدوده دریای سیاه استقرار دارد و به دلیل گسترش شمال سوی پشته، امکان گسترش برروی ایران را پیدا نکرده است. پرفشار عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با هم ارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر با زبانه پرفشار آفریقا یکپارچه شده، ولی در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال به صورت سلول منفرد و مستقل با هم ارتفاع ۱۱۱۰۰ ژئوپتانسیل متر برروی ایران قرار دارد و زبانه‌های آن کل ایران را دربرگرفته است (اشکال شماره ۱۲ ج و د).



شکل ۱۲: شرایط همدیدی اوزون بالا (شکل‌های الف و ب)، اوزون پایین (شکل‌های ج و د) در الگوی فصل بهار (نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون‌سنجی ژئوفیزیک تهران)

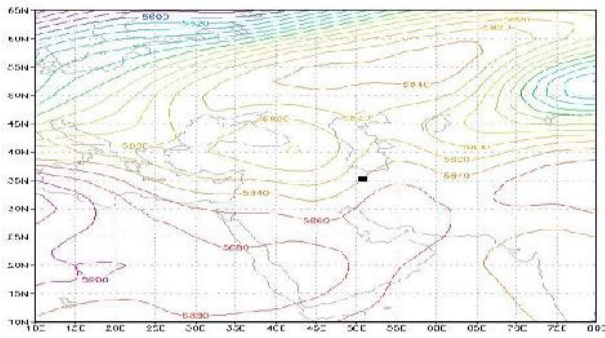
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

#### ۴- الگوی همدیدی فصل تابستان

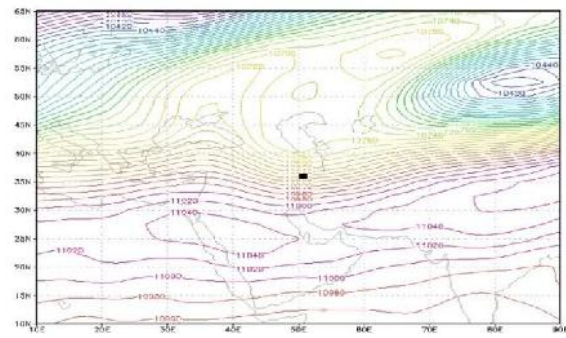
اشکال شماره (۱۳ الف و ب) الگوی همدیدی حاکم بر شرایط اوزون بالا (۳۰۱/۸) واحد برحسب دابسون) را در فصل تابستان در ترازهای ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد (جدول شماره ۵). در این الگو پرفشار عربستان به صورت یک هسته مستقل بر روی جنوب غرب دریای مازندران و غرب استان تهران استقرار دارد که زبانه آن با راستای شمال شرقی- جنوب غربی تمام ایران و شبه جزیره عربستان را فراگرفته و پشته آن تا شمال دریای مازندران گسترش پیدا کرده است. در مقابل در این الگو ورتکس قطبی کاملاً در شمال روسیه تظاهر پیدا کرده و با گسترش مداری خود تمام حلقه کلاهی قطبی را دربر گرفته است. در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال سلول پرفشار عربستان با گسترش مداری خود تمام عرض کشور ایران را دربر گرفته است و در عرض‌های بالاتر ورتکس قطبی با جابه‌جایی جنوب سوی خود حدود ۵ تا ۱۰ درجه جنوبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد

حاکم بر شرایط اوزون پایین (۲۷۴/۹) واحد برحسب دابسون) را در فصل تابستان نشان می‌دهد (جدول شماره ۵). در این الگو پرفشار عربستان به صورت یک هسته مستقل بر روی جنوب غرب دریای مازندران و غرب استان تهران استقرار دارد که زبانه آن با راستای شمال شرقی- جنوب غربی تمام ایران و شبه جزیره عربستان را فراگرفته و پشته آن تا شمال دریای مازندران گسترش پیدا کرده است. در مقابل در این الگو ورتکس قطبی کاملاً در شمال روسیه تظاهر پیدا کرده و با گسترش مداری خود تمام حلقه کلاهی قطبی را دربر گرفته است. در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال سلول پرفشار عربستان با گسترش مداری خود تمام عرض کشور ایران را دربر گرفته است و در عرض‌های بالاتر ورتکس قطبی با جابه‌جایی جنوب سوی خود حدود ۵ تا ۱۰ درجه جنوبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار دارد

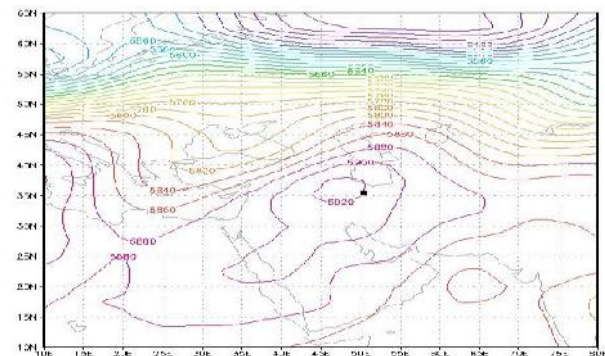




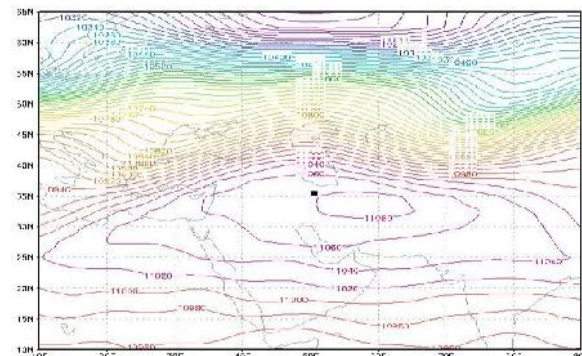
(الف) تراز ۵۰۰ در ۱۹ آگوست ۲۰۰۷



(ب) تراز ۲۵۰ در ۱۹ آگوست ۲۰۰۷



(ج) تراز ۵۰۰ در ۴ آگوست ۲۰۰۸



(د) تراز ۲۵۰ در ۴ آگوست ۲۰۰۸

شکل ۱۳: شرایط همدیدی اوزون بالا (شکل‌های الف و ب)، اوزون پایین (شکل‌های ج و د) در الگوی فصل تابستان

(نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون‌سنجی ژئوفیزیک تهران)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

کاهش و افزایش اوزون با مقادیر کاهش و افزایش دمای سطح زمین رابطه مستقیم و معکوسی مشاهده می‌شود. به‌گونه‌ای که با افزایش اوزون، دمای سطح زمین کاهش یافته و با کاهش اوزون، بر دمای سطح زمین افزوده شده‌است. بیشترین سطح معناداری و ضریب همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد متعلق به فصل بهار و بعد از آن فصل پاییز است. در بررسی رابطه بین مقدار اوزون و ارتفاع تروپوپاز نیز می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که زمانی که ارتفاع تروپوپاز افزایش یافته، مقدار اوزون کاهش و با کاهش ارتفاع تروپوپاز، مقدار اوزون افزایش یافته است. این امر بیانگر این است که با کاهش ارتفاع وردایست، لایه استراتوسفر ضخیم‌تر شده و این امر باعث انتقال اوزون از مناطق دیگر توسط بادهای مداری به منطقه می‌شود. به‌طور کلی بین مقادیر بالاترین و کمترین اوزون و ارتفاع تروپوپاز در طی دوره آماری در فصل زمستان حدود ۷۹ درصد، فصل بهار ۷۳

**نتیجه**

گاز اوزون استراتوسفری مانع از رسیدن پرتوهای مخرب و زیان‌آور فرابنفش به سطح زمین می‌شود. این گاز به‌علت نقش محوری در مسئله روند گرم‌شدن جهانی، از اهمیت کم‌نظیری برخوردار است. غلظت اوزون استراتوسفری با تغییرات فصلی، تغییرات منظمی دارد. در ایستگاه ژئوفیزیک تهران حداکثر آن در ماه‌های فروردین، اسفند، بهمن، دی و حداقل آن در ماه‌های مهر، آبان و شهریور به وقوع می‌پیوندد. میزان تغییرات بالاترین و پایین‌ترین اوزون در هر کدام از فصل‌ها متفاوت است، به‌طوری که متوسط اختلاف بالاترین و پایین‌ترین مقدار اوزون در فصل زمستان برابر با ۹۱، پاییز ۶۲، تابستان ۳۸ و فصل پاییز ۶۲ واحد اوزون برحسب دابسون است. در بررسی رابطه بین مقدار اوزون و دمای سطح زمین در کلان‌شهر تهران می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که بین مقادیر

## منابع

- درصد، فصل تابستان ۶۷ درصد و در فصل پاییز ۶۲ درصد با افزایش لایه تروپوپاز، مقدار اوزون کاهش پیدا کرده است. از لحاظ همدیدی پربندهای ارتفاع سطح ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی، در روزهای همراه با افزایش اوزون، سازگاری خوبی با تغییرات ستون کلی اوزون جو نشان می‌دهد، به طوری که در بیشتر موارد، عبور پراارتفاع‌ها و ناوهای ورتکس قطبی به منطقه، باعث ایجاد سرماپاش شدید و افزایش غلظت اوزون در پوش سپهر شده است. برعکس با دور شدن ناوه و ورتکس قطبی، پشته عمیقی از پرفشار عربستان تا منطقه مورد مطالعه گسترش یافته و با فرارفت هوای گرم در پشته‌ها، سبب افزایش ارتفاع سطح ژئوپتانسیلی و کاهش اوزون در منطقه می‌شود؛ بنابراین عوامل اصلی وجود اوزون‌های بالا و پایین را می‌توان به دینامیک جو و جریانات صعودی و نزولی هوا نسبت داد. با توجه به متوسط ارتفاع سطح ژئوپتانسیلی در ترازهای ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و ارتفاع تروپوپاز و دمای سطح زمین ایستگاه اوزون‌سنجی ژئوفیزیک تهران، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در طی کاهش ارتفاع سطح ژئوپتانسیل و ارتفاع تروپوپاز، همگرایی اوزون در ترازهای بالا صورت گرفته و نزول آن باعث افزایش ستون اوزون کلی جو شهر تهران می‌شود و به همان نسبت دمای سطح زمین نیز کاهش می‌یابد. برعکس با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی و ارتفاع تروپوپاز، واگرایی اوزون در ترازهای بالا صورت می‌گیرد و ستون اوزون کلی جو کاهش و دمای سطح زمین نیز افزایش می‌یابد.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ ایران غازی؛ محمدباقر بهیار؛ ویکتوریا عزتیان (۱۳۸۶). تحلیل و بررسی اوزون شهر اصفهان، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان. دوره ۲۲. شماره ۱. صفحات ۱۵۴-۱۳۳.
- کریمی، صادق (۱۳۹۳). تحلیل همدیدی تغییرات اوزون تروپوسفری کلان‌شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال ۱۴. شماره ۳۲. صفحات ۲۶-۷.
- لشکری، حسن؛ عباسعلی دادشی؛ زینب محمدی (۱۳۹۶). تحلیل تغییرات ماهانه ارتفاع تروپوپاز بر روی ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۹. شماره ۱. صفحات ۱۳۳-۱۱۳.
- مباحثی، محمدرضا (۱۳۸۶). پایش تغییرات اوزون در جو ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مجله محیط‌شناسی. سال ۳۳. شماره ۴۴. صفحات ۵۴-۴۳.
- بیدختی، عباسعلی؛ زهرا شرعی‌پور (۱۳۸۶). بررسی تغییرات اوزون در محدوده ایستگاه سینوپتیک مؤسسه ژئوفیزیک برای سال ۲۰۰۲، مجله محیط‌شناسی. شماره ۴۳. صفحات ۷۴-۶۳.
- Akinyemi, M. L (2010). Total ozone as a stratospheric indicator of climate variability over West Africa, *Int.J.Phys.Sci*,5,PP.447-451.
- Anton, M. Lopez , A. Serrano , M. Banon and Garcia, J. A (2010). Diurnal variability of total ozone column over Madrid (Spain), *Atmospheric Environment*,pp.2793-2798.
- Andrews, D. G., Holton, J. R., & Leovy, C. B. (1987). *Middle atmosphere dynamics* (No. 40). Academic press. Mehr 20, 1366 AP- Science - 489 pages.

- Zvyagintseva, A. M. Vargina, P and Peshin. S (2015). Total Ozone Variations and Trends during the Period 1979-2014, Atmospheric and Oceanic Optics, 2015, Vol. 28, No. 6, PP.575-584.
- Hirschberg, P. A and Michael Fritsch, J (1989). Tropopause Undulations and the Development of Extratropical Cyclones, monthly weather review, Vol 119, PP.918-550.
- Han, Z (1996). Seasonal Variation and trends of TOMS ozone over Tibet, geophys. res. lett. 23. PP.1029-1302.
- Hood, L, L. Soukharev, B. and McCormack, J. P (2010). Decadal variability of the tropical stratosphere: Secondary influence of the El Niño–Southern Oscillation, JOURNAL of geophysical Research, Vol. 115. PP.1-16.
- Herman, J. R., P. K. Bhartia, J. Ziemke, Z. Ahmad, and Larko, D (1996). UV-B increases (1979-1992) from decreases in total ozone, Geophysical Research Letters, 23, PP. 2117-2120.
- Vlamakis, A (2005). Tropopause and total ozone at mid-latitudes, International Journal of Remote Sensing, 26, PP.3605-3612.
- Mote, P. W., J. R., Holton and Wallace, J. M (1991). Variability in total ozone associated with baroclinic waves, Journal of the Atmospheric Sciences, 48, PP.1900-1903.
- Nikulin, G (2005). Impact of Rossby waves on ozone distribution and dynamics of stratosphere and troposphere, IRF scientific report 285, Swedish Institute of Space Physics Kiruna, Kiruna, Sweden, ISBN 91-7305-946-3.
- Ayodeji, O and Emmanuel, C (2013). Analysis of temporal and spatial variability of total column ozone over West Africa using daily TOMS measurements, Atmospheric Pollution Research, 4, PP.387-397.
- Cagnazzo, C. Manzini, E. Calvo, N. Douglass, A. Akiyoshi, H. Bekki, S. Chipperfield, M. Dameris, M. Deushi, A. M. Fischer, H. Garny, A. Gettelman, M. A. Giorgetta, D. Plummer, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata, A. Stenke, H. Struthers, and Tian. W (2009). Northern winter stratospheric temperature and ozone responses to ENSO inferred from an ensemble of Chemistry Climate Models, Atmos. Chem. Phys., Vol. PP.8935-8948.
- Diab R. D., Thompson A. M., Mari K., Ramsay L and Coetzee G. J. R (2004). Tropospheric ozone climatology over Irene, South Africa, from 1990 to 1994 and 1998 to 2002, Journal of Geophysical Research-Atmospheres, PP.1-11.
- Fishman, J., Wozniak, A. E. and Creilson, J. K. (2003). Global distribution of tropospheric ozone from satellite measurements using the empirically corrected tropospheric ozone residual technique: Identification of the regional aspects of air pollution, Atmos. Chem. Phys., 3, PP.893-907.
- Rigby, M. (1992). International Meteorological Vocabulary. Revised edition. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, P. 636. ISBN 92-63-02182-1.
- Reichler, T.; Dameris, M. and Sausen, R. (2003). Determining the tropopause height from gridded data, Geophysical research letters, 30(20).pp.16.
- Sheng. Bo . Liang, Z and Yu Long, T (2017). Stratospheric ozone change over the Tibetan Plateau, Atmospheric Pollution Research 8 .PP.528-534.

