

تحلیل هم‌دیدي روند تغییرات اوزون استراتوسفري در کلان‌شهر تهران

دکتر قاسم کیخسروی^{۱*}، حمید بیات^۲

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 اسکوییته 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 ناوهای ورتکس قطبی از منطقه، باعث ایجاد سرمایش شدید و افزایش غلظت اوزون در پوش سپهر شده‌است و 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 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

مقدمه

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

گاز اوزون در سال ۱۸۳۹ توسط شونباين کشف شد و تا سال ۱۸۵۰ کسی نمی‌دانست که این گاز یکی از گازهای تشکیل‌دهنده جو است. اوزون حدود 6×10^6 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 همدیدی 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 ۸/۵۱- و در زمستان ۱۱/۲- 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 یازده ساله 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).

اکی‌نی می (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

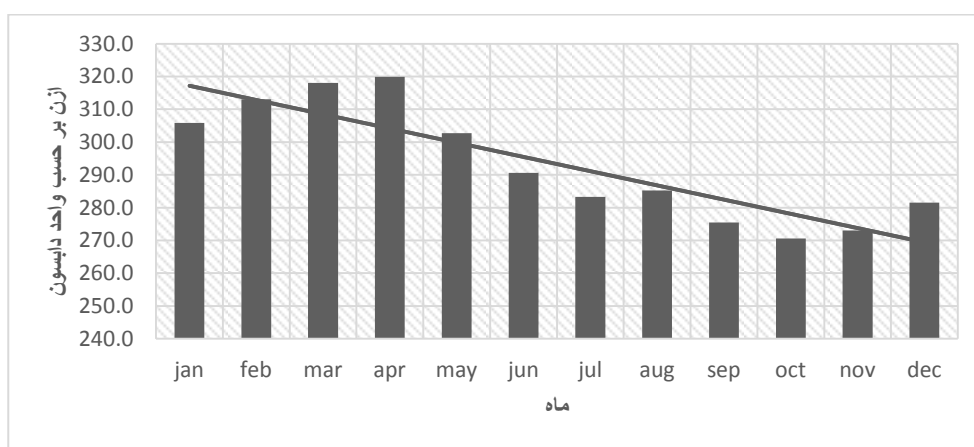
محدوده تغییرات اوزون کلی در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ میلادی در مقیاس سالانه بین ۲۱۴ تا ۳۹۵/۵ واحد دابسون است. بیشترین مقدار اوزون در فصل زمستان و بهار، به ترتیب با ۳۹۵ و ۳۹۳ واحد دابسون و با انحراف معیار ۳۲/۳۶ و ۲۳/۵۳ مشاهده می‌شود. کمترین مقدار اوزون نیز به ترتیب با ۲۱۴ و ۲۲۷ واحد دابسون با انحراف معیار 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 برفراز 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 اسکوییتی 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

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.

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.

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

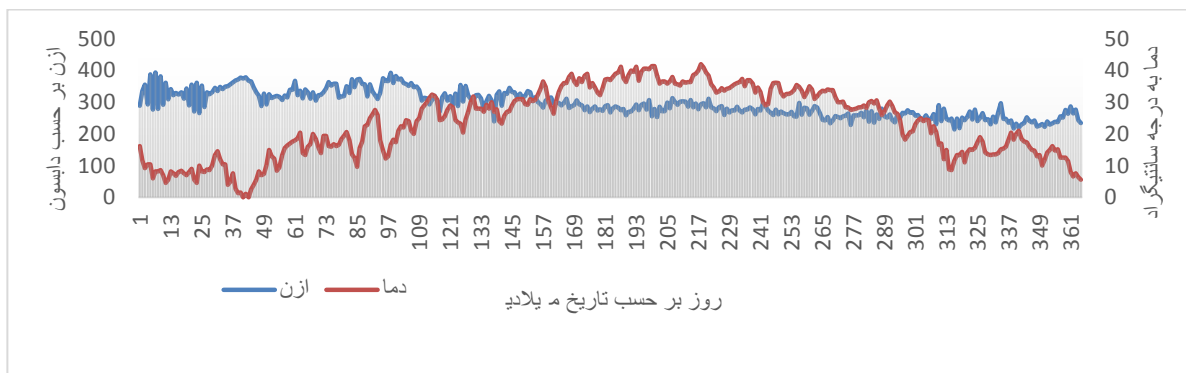
جدول ۲: سطح معناداری و ضریب همبستگی مقادیر اوزون استراتوسفر و دمای سطح زمین (۲۰۱۰-۲۰۰۵)

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

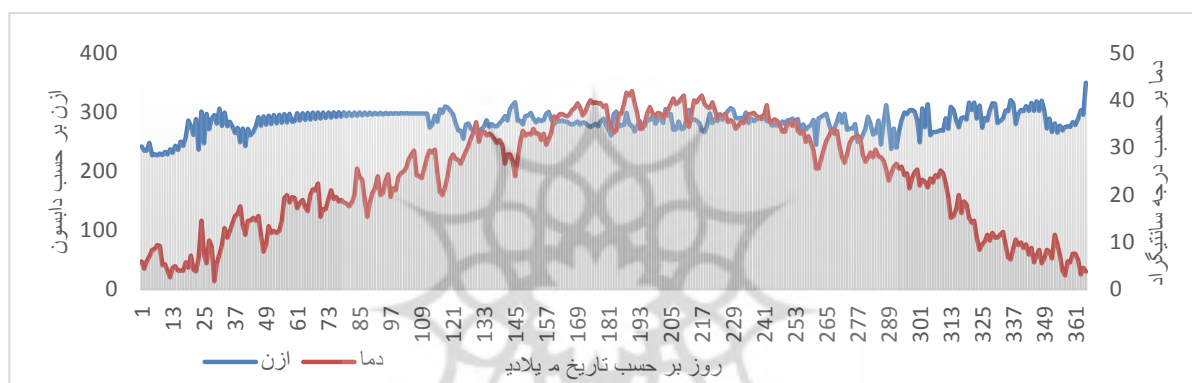
مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

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

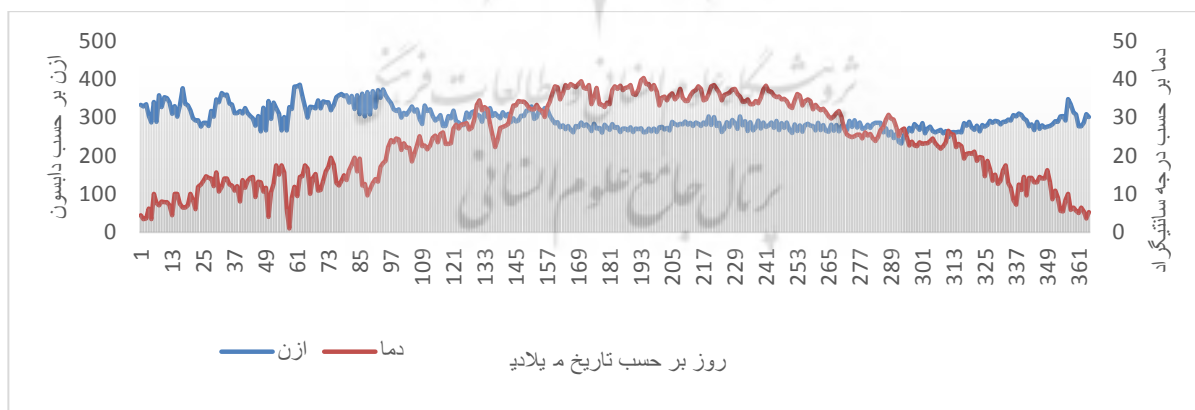
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



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

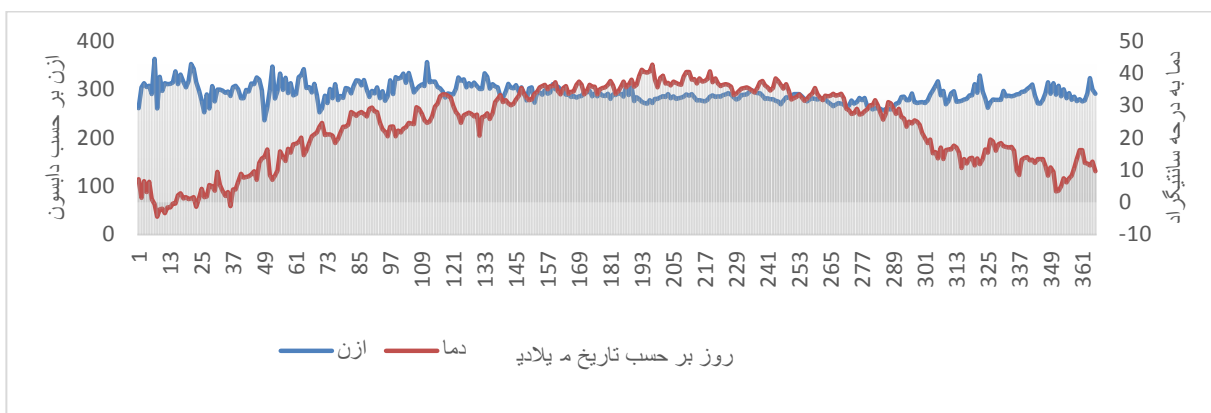


شکل ۳: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۶

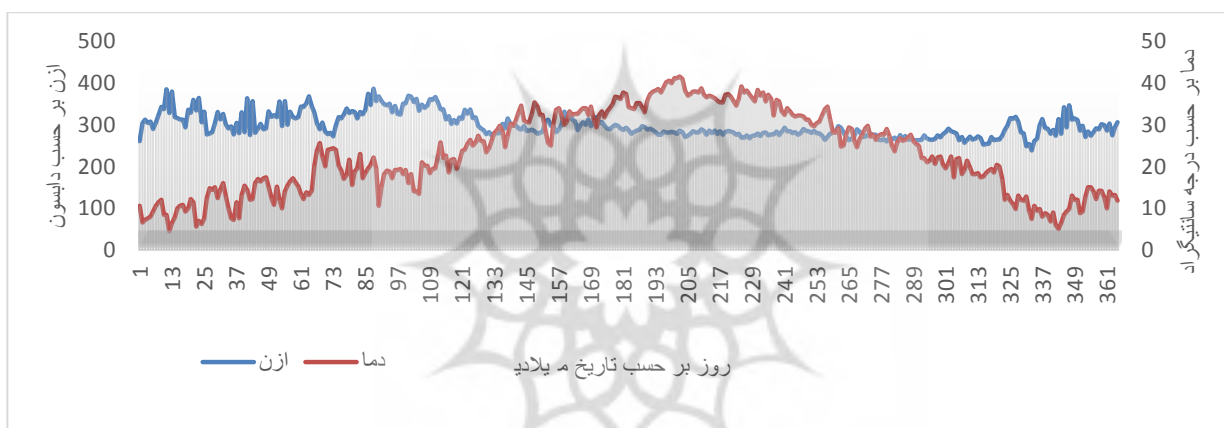


شکل ۴: متوسط دمای سطح زمین و مقدار اوزون روزانه ایستگاه ژئوفیزیک در سال ۲۰۰۷

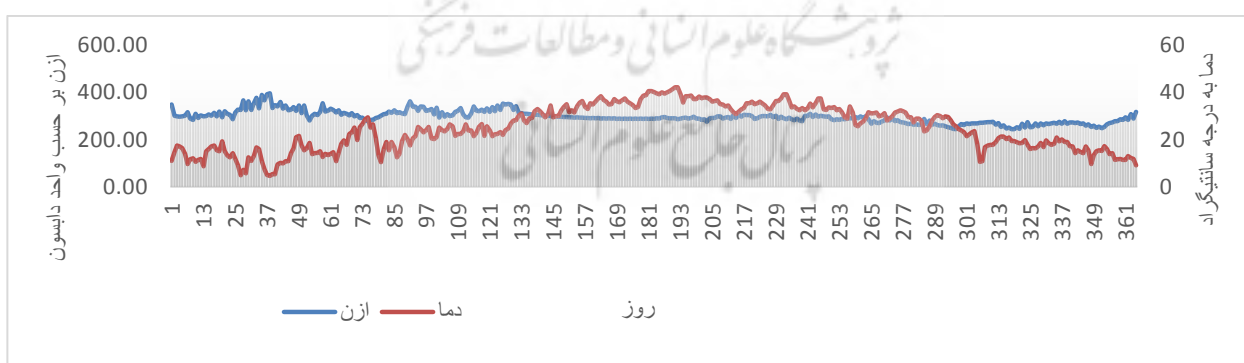
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷



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

تاریخ	مقدار اوزون برحسب واحد دایسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	ارتفاع دو منحنی ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	تاریخ	مقدار اوزون برحسب واحد دایسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	ارتفاع دو منحنی ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰
۲۰۰۵/۱/۱۷	۳۹۳/۸۲	۸/۲	۱۰۱۵۲	۱۰۳۵۰	۵۶۰۰	۲۰۰۵/۱/۲۴	۲۶۶/۱۴	۱۰	۲۶۶/۱۴	۲۰۰۵/۱/۲۴	۵۵۳۰
۲۰۰۶/۱/۳۱	۳۰۶	۷/۴	۱۶۵۸۵	۱۰۱۷۵	۵۵۰۰	۲۰۰۶/۱/۵	۲۲۷	۸/۴	۱۱۷۱۰	۱۰۴۷۵	۵۷۰۰
۲۰۰۷/۱/۱۸	۳۵۷/۱	۷	۱۵۹۱۶	۱۰۲۲۵	۵۵۶۰	۲۰۰۷/۱/۲۴	۲۷۴/۹	۱۲/۴	۱۸۳۸۰	۱۰۶۰۰	۵۷۹۰
۲۰۰۸/۱/۱۷	۳۶۲/۴	-/۶	۹۷۲۹	۱۰۰۷۵	۵۴۷۰	۲۰۰۸/۱/۲۶	۲۵۲/۲	۱/۶	۲۵۷۹۲	۱۰۳۵۰	۵۵۷۰
۲۰۰۹/۱/۱۱	۳۸۵/۵	۸/۴	۱۰۴۱۰	۱۰۱۵۰	۵۵۳۰	۲۰۰۹/۱/۱	۲۶۱/۲	۱۰/۶	۱۷۰۰۶	۱۰۴۵۰	۵۶۰۰
۲۰۱۰/۱/۲۸	۳۶۶/۷	۷/۲	۱۱۷۰۱	۱۰۲۵۰	۵۵۸۰	۲۰۱۰/۱/۹	۲۸۳/۵	۱۲	۱۱۴۳۲	۱۰۵۲۵	۵۶۷۰
۲۰۰۵/۲/۱۱	۳۷۸/۸۹	۱/۲	۸۸۶۰	۱۰۰۵۰	۵۴۳۰	۲۰۰۵/۲/۱۷	۲۸۸	۷	۱۲۴۲۰	۱۰۴۵۰	۵۷۱۰
۲۰۰۶/۲/۲	۲۹۹/۴۱	۱۳	۱۵۵۴۵	۱۰۴۷۵	۵۶۸۰	۲۰۰۶/۲/۱۰	۲۴۲/۷۱	۱۱/۶	۱۶۱۰۷	۱۰۴۵۰	۵۶۳۰
۲۰۰۷/۲/۱	۳۶۲/۵۵	۱۱/۸	۱۴۸۹۴	۱۰۳۰۰	۵۵۹۰	۲۰۰۷/۲/۱۶	۲۶۲/۳۶	۱۳	-	۱۰۴۰۰	۵۵۷۰
۲۰۰۸/۲/۲۱	۳۴۷/۲	۷	۱۷۷۸۳	۱۰۳۵۰	۵۵۹۰	۲۰۰۸/۲/۱۸	۲۳۶/۲	۱۴	۱۶۴۱۳	۱۰۶۰۰	۵۷۲۰
۲۰۰۹/۲/۱۰	۳۸۵/۵	۸/۴	۱۶۶۱۸	۱۰۵۷۵	۵۷۰۰	۲۰۰۹/۲/۱۱	۲۶۱/۲	۱۰/۶	۱۸۷۲۷	۱۰۲۷۵	۵۵۱۰
۲۰۱۰/۲/۷	۳۹۵/۵	۴/۶	۹۷۱۶	۱۰۲۵۰	۵۵۱۰	۲۰۱۰/۲/۲۲	۲۸۰/۶	۱۸/۶	۱۷۶۰۷	۱۰۴۵۰	۵۶۲۰
۲۰۰۵/۳/۲۷	۳۷۴	۱۵/۶	۱۶۴۱۸	۱۰۳۷۵	۵۶۴۰	۲۰۰۵/۳/۱۰	۳۰۴/۶۸	۳۰/۴	-	۱۰۶۰۰	۵۷۲۰
۲۰۰۶/۳/۱۸	۲۹۹/۸۵	۱۸/۶	۱۸۲۲۸	۱۰۳۵۰	۵۶۲۰	۲۰۰۶/۳/۱	۲۸۴/۹۸	۱۹/۴	-	۱۰۴۷۵	۵۶۸۰
۲۰۰۷/۳/۳	۳۸۴/۲	۱۴/۴	۱۷۶۵۹	۱۰۳۵۰	۵۶۳۰	۲۰۰۷/۳/۶	۲۹۸/۵	۱۶/۶	۱۷۶۸۷	۱۰۴۷۵	۵۶۳۰
۲۰۰۸/۳/۴	۳۴۱/۹	۱۴/۶	۱۸۹۱۵	۱۰۳۷۵	۵۵۶۰	۲۰۰۸/۳/۱۰	۲۵۲/۶	۲۳/۴	۲۱۲۱۶	۱۰۶۵۰	۵۸۱۰
۲۰۰۹/۳/۲۹	۳۸۷/۱۹	۲۲/۲	-	۱۰۳۷۵	۵۶۵۰	۲۰۰۹/۳/۱۴	۲۷۲/۲	۲۴/۴	۱۷۸۴۲	۱۰۵۷۵	۵۷۴۰
۲۰۱۰/۳/۳۱	۳۳۹/۱	۲۰/۲	۱۵۴۱۱	۱۰۴۷۵	۵۶۹۰	۲۰۱۰/۳/۱۶	۲۷۸/۱	۲۹/۴	۱۸۹۱۲	۱۰۷۵۰	۵۷۹۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

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

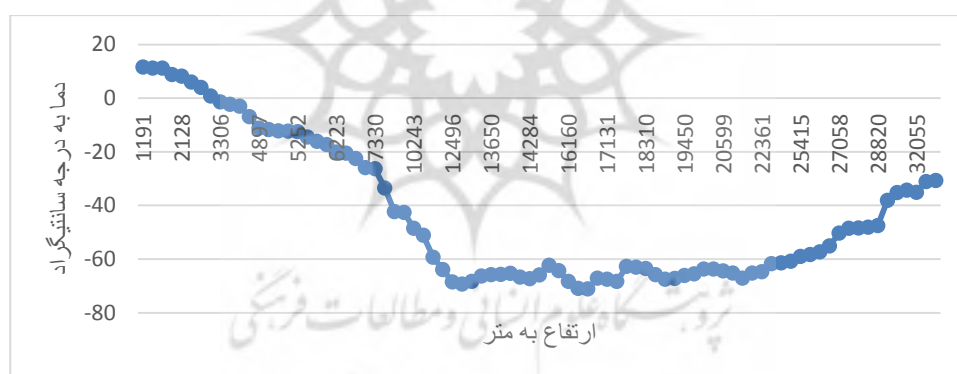
تاریخ	مقدار اوزون برحسب واحد دایسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	ارتفاع دو منحنی ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	تاریخ	مقدار اوزون برحسب واحد دایسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	ارتفاع دو منحنی ژئوپتانسیل در تراز ۲۵۰	ارتفاع دو منحنی برحسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰
۲۰۰۵/۴/۱۸	۳۹۳	۱۶/۶	۱۶۵۲۴	۱۰۵۷۵	۵۷۰۰	۲۰۰۵/۴/۲۷	۲۷۰	۲۴/۴	۱۸۲۶۹	۱۰۶۲۵	۵۷۳۰
۲۰۰۶/۴/۲۸	۳۱۰	۲۱/۶	۱۱۱۱۳	۱۰۴۷۵	۵۶۸۰	۲۰۰۶/۴/۲۲	۲۷۲	۲۹/۴	۱۲۷۴۱	۱۰۶۷۵	۵۷۸۰
۲۰۰۷/۴/۴	۳۷۲/۱	۱۸	۱۲۹۰۶	۱۰۴۰۰	۵۶۳۰	۲۰۰۷/۴/۲۷	۲۷۲/۲	۲۶	۱۲۶۷۱	۱۰۷۲۵	۵۸۱۰
۲۰۰۸/۴/۲۰	۳۵۶/۲	۲۴/۶	۱۸۱۴۴	۱۰۴۵۰	۵۶۸۰	۲۰۰۸/۴/۴	۲۷۶	۲۱/۸	۱۷۹۲۹	۱۰۴۵۰	۵۶۵۰
۲۰۰۹/۴/۱۱	۳۶۹/۸	۱۶	۱۹۰۹۴	۱۰۳۷۵	۵۶۵۰	۲۰۰۹/۴/۲۷	۳۰۲/۲	۲۱/۶	-	۱۰۶۲۵	۵۷۴۰
۲۰۱۰/۴/۱۱	۳۶۲/۳	۱۷/۴	۱۸۲۸۲	۱۰۵۲۵	۵۶۵۰	۲۰۱۰/۴/۱۲	۲۹۴/۶	۲۵	-	۱۰۶۲۵	۵۷۷۰
۲۰۰۵/۵/۵	۳۵۴/۰۹	۲۳/۲	۱۸۹۲۹	۱۰۴۲۵	۵۶۴۰	۲۰۰۵/۵/۱۸	۲۳۹	۲۷	۱۸۶۴۰	۱۷۰۰	۲۶۳۶۰
۲۰۰۶/۵/۲۵	۳۱۶/۶	۲۴	۱۶۸۵۳	۱۰۶۷۵	۵۷۹۰	۲۰۰۶/۵/۵	۲۵۵/۴	۲۸	۱۷۲۸۲	۱۸۰۰	۵۸۵۰
۲۰۰۷/۵/۳۱	۳۲۷/۶	۳۲	۱۷۵۴۰	۱۰۷۷۵	۵۸۳۰	۲۰۰۷/۵/۴	۲۷۹/۲	۲۸	۱۷۷۷۱	۱۰۶۲۵	۵۸۰۰
۲۰۰۸/۵/۱۲	۳۳۳	۲۶/۶	۱۷۶۴۰	۱۰۵۷۵	۵۷۴۰	۲۰۰۸/۵/۳۱	۲۷۲/۵	۳۳/۶	۱۷۷۲۵	۱۰۷۵۰	۵۸۲۰
۲۰۰۹/۵/۴	۳۳۶/۹	۲۶/۴	۱۳۴۲۰	۱۰۶۲۵	۵۷۸۰	۲۰۰۹/۵/۱۲	۲۷۵	۲۶/۲	-	۱۰۷۵۰	۵۸۱۰
۲۰۱۰/۵/۶	۳۵۲/۵	۲۲	-	۱۰۵۰۰	۵۶۹۰	۲۰۱۰/۵/۳۱	۲۹۴/۴	۳۱/۶	۱۸۵۱۸	۱۰۷۵۰	۵۸۳۰
۲۰۰۵/۶/۱	۳۳۱	۳۱	۱۸۰۴۶	۱۰۷۰۰	۵۷۹۰	۲۰۰۵/۶/۲۴	۲۶۹	۳۴/۶	۱۸۰۵۰	۱۱۰۵۰	۵۹۰۰
۲۰۰۶/۶/۷	۳۰۰/۷	۳۱/۸	-	۱۰۸۲۵	۵۸۵۰	۲۰۰۶/۶/۳۰	۲۷۰/۰۸	۳۵/۶	۱۶۶۲۷	۱۱۰۲۵	۵۸۵۰
۲۰۰۷/۶/۵	۳۲۳/۶	۳۰	۱۷۷۲۵	۱۰۷۵۰	۵۸۱۰	۲۰۰۷/۶/۲۷	۲۵۹/۳	۳۳/۲	۱۸۰۶۴	۱۰۹۲۵	۵۸۳۰
۲۰۰۸/۶/۷	۳۱۰/۴	۳۶	۱۸۴۰۰	۱۰۸۵۰	۵۸۱۰	۲۰۰۸/۶/۲۹	۲۸۰/۲	۳۷/۶	۱۸۵۲۳	۱۱۰۰۰	۵۸۷۰
۲۰۰۹/۶/۱۷	۳۱۳/۳	۳۲/۴	-	۱۰۷۷۵	۵۸۵۰	۲۰۰۹/۶/۱۵	۲۸۲/۲	۳۳/۶	-	۱۰۷۷۵	۵۸۳۰
۲۰۱۰/۶/۱	۲۹۴/۶۲	۳۲/۴	۱۷۳۴۶	۱۰۸۰۰	۵۸۵۰	۲۰۱۰/۶/۳۰	۲۸۶/۷۱	۴۰/۶	-	۱۱۰۷۵	۵۹۰۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

-تغییرات ارتفاعی تروپوپاز با ناهنجاری‌های اوزون کلان‌شهر تهران

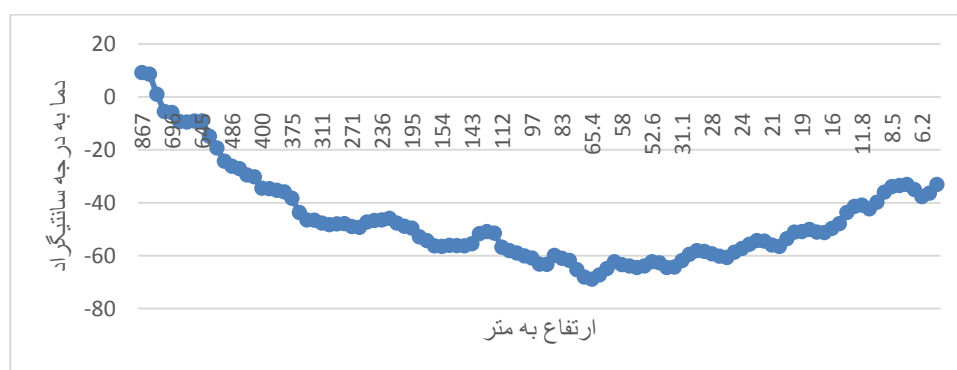
وردایست (تروپوپاز) به مرز بین تروپوسفر و استراتوسفر اطلاق می‌شود. تروپوپاز منطقه‌ای است که در آنجا کاهش دما با افزایش ارتفاع متوقف می‌شود و جو در آنجا به‌طور کامل خشک است. میزان کاهش دما در تروپوسفر مثبت است. یعنی در لایه تروپوسفر با افزایش ارتفاع، از میزان دما کاسته می‌شود. در حقیقت تروپوپاز منطقه‌ای 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 بر حسب 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 اسکوییتی 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 بر حسب 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

تاریخ	مقدار اوزون بر حسب واحد دابسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط ارتفاعی دو منحنی بر حسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰	تاریخ	کمترین مقدار اوزون بر حسب واحد دابسون	متوسط دمای سطح زمین	ارتفاع تروپوپاز به متر	متوسط ارتفاعی دو منحنی بر حسب ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰
۲۰۰۵/۷/۲۶	۳۱۳	۳۸	۱۶۰۰۵	۱۱۰۵۰	۲۰۰۵/۷/۲۰	۲۵۴	۳۸/۴	۱۸۰۳۰	۱۱۰۲۵
۲۰۰۶/۷/۲۲	۳۰۵/۲	۳۷	-	۱۱۰۷۵	۲۰۰۶/۷/۱	۲۶۰/۷	۳۴	-	۱۱۰۰۰
۲۰۰۷/۷/۲۹	۲۸۸/۵	۳۴/۲	۱۸۰۳۰	۱۰۹۲۵	۲۰۰۷/۷/۱۳	۲۶۰/۵	۴۰/۲	۱۸۰۵۶	۱۱۰۵۰
۲۰۰۸/۷/۱۵	۳۰۵/۸	۳۵/۶	۱۷۲۳۴	۱۱۰۰۰	۲۰۰۸/۷/۱۳	۲۷۰/۴	۴۰/۲	۱۷۹۱۵	۱۱۰۵۰
۲۰۰۹/۷/۱۷	۲۹۶/۸	۳۴/۲	-	۱۰۹۷۵	۲۰۰۹/۷/۲۳	۲۷۰/۹	۳۸/۲	-	۱۱۰۵۰
۲۰۱۰/۷/۲۶	۲۹۸/۸	۳۶/۶	۱۷۷۴۴	۱۱۰۲۵	۲۰۱۰/۷/۲۲	۲۷۵/۷	۳۷/۸	۱۷۷۴۶	۱۱۰۷۵
۲۰۰۵/۸/۹	۳۱۱	۳۸/۴	۱۶۸۶۶	۱۱۰۲۵	۲۰۰۵/۸/۱۵	۲۶۰	۲۳/۶	۱۷۹۵۸	۱۱۰۷۵
۲۰۰۶/۸/۱۶	۳۰۷	۳۵/۸	۱۶۷۵۰	۱۰۹۵۰	۲۰۰۶/۸/۶	۲۶۶/۳	۳۹/۲	۱۶۷۷۲	۱۱۰۷۵
۲۰۰۷/۸/۱۹	۳۰۱/۸	۳۵/۴	۱۶۸۵۷	۱۰۹۰۰	۲۰۰۷/۸/۱۲	۲۶۱/۱	۳۴/۴	۱۷۷۴۲	۱۱۰۷۵
۲۰۰۸/۸/۲۲	۲۹۷/۸	۳۴/۶	۱۸۷۰۱	۱۰۸۷۵	۲۰۰۸/۸/۴	۲۷۴/۹	۳۷/۶	۱۷۵۲۸	۱۱۰۵۰
۲۰۰۹/۸/۲۹	۲۹۳	۳۲/۴	-	۱۰۸۷۵	۲۰۰۹/۸/۱۶	۲۶۷/۸	۳۷/۲	-	۱۱۰۷۵
۲۰۱۰/۸/۳۰	۳۰۹/۱	۳۵/۲	۱۷۲۸۸	۱۰۸۷۵	۲۰۱۰/۸/۲۷	۲۷۷/۶	۳۳/۴	۱۶۷۷۲	۱۰۸۷۵
۲۰۰۵/۹/۱۳	۲۹۸	۳۴/۸	۱۷۸۱۶	۱۰۹۵۰	۲۰۰۵/۹/۲۵	۲۳۳	۳۳/۸	۱۷۱۲۸	۱۰۸۷۵
۲۰۰۶/۹/۲۷	۲۹۷/۴	۳۰/۴	۱۷۶۹۰	۱۰۷۲۵	۲۰۰۶/۹/۱۸	۲۴۴/۶	۲۵/۶	۱۸۰۳۴	۱۰۷۷۵
۲۰۰۷/۹/۳۰	۲۹۰/۳	۲۵	۱۸۱۰۳	۱۹۷۲۵	۲۰۰۷/۹/۸	۲۵۸/۶	۳۲/۴	۱۸۷۳۷	۱۱۰۰۰
۲۰۰۸/۹/۹	۲۹۰/۳	۳۳/۴	۱۵۹۸۵	۱۰۸۲۵	۲۰۰۸/۹/۲۷	۲۶۲	۲۹	۱۸۱۱۲	۱۰۷۵۰
۲۰۰۹/۹/۱۱	۲۹۷	۲۹/۲	۱۶۰۶۶	۱۰۸۰۰	۲۰۰۹/۹/۲۲	۲۶۲/۹	۲۹/۴	۱۵۸۷۵	۱۰۸۵۰
۲۰۱۰/۹/۱	۳۰۶/۶۲	۳۵/۴	۱۷۹۷۵	۱۰۹۲۵	۲۰۱۰/۹/۲۲	۲۶۷/۵	۳۱	۱۶۷۸۱	۱۰۸۷۵

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

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

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۷

-تحلیل الگوهای همدیدی 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 همدیدی ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان نماینده ورد سپهر میانی و بالایی در محیط نرم‌افزاری Grads ترسیم شد. پس از بررسی چشمی نقشه‌های همدیدی، الگوی غالب هر فصل برای نمونه‌های اوزون بالا و پایین استخراج شد. شرایط همدیدی غالب برای هر فصل به‌صورت زیر بوده است:

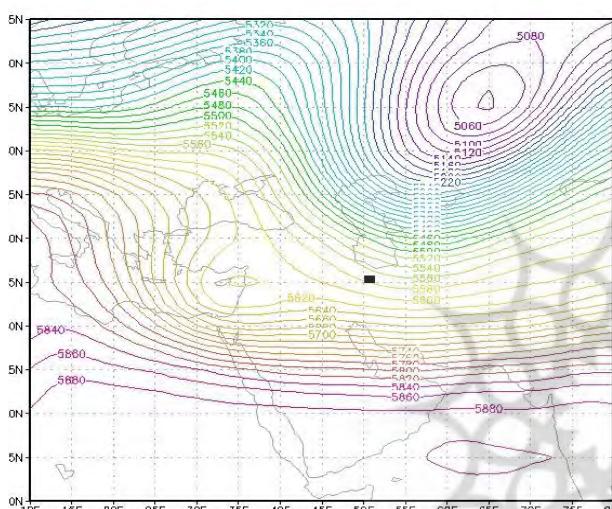
۱- الگوی همدیدی فصل پاییز

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

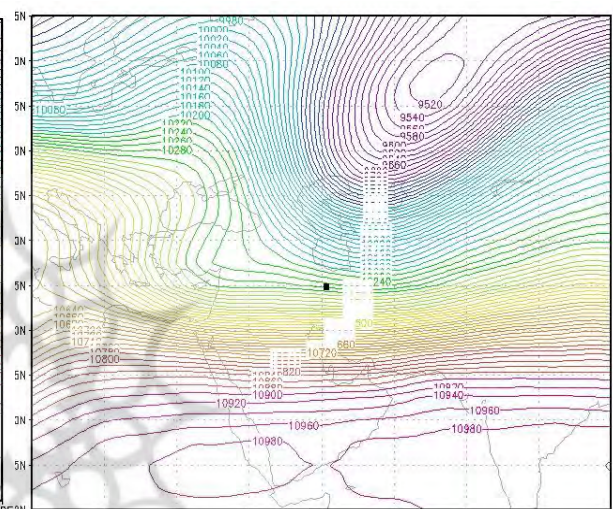
را بر روی ایستگاه اوزون‌سنجی تهران نشان می‌دهد (جدول شماره ۶). در این الگو در هر دو تراز ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال ورتکس قطبی با گسترش جنوب سوی خود هسته کم‌ارتفاع قوی بر روی شرق روسیه ایجاد کرده است. این ناوه عمیق حاصل از این چاله سرد در هر دو تراز با راستای شمال‌شرقی - جنوب‌غربی تا نوار میانی کشور ایران نفوذ کرده است. این ناوه فشاری با تشدید جریانات سرد جنب‌قطبی و فرارفت سرد جنب‌قطبی 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 همدیدی غالب را در شرایط اوزون پایین (۲۳۱/۱ واحد برحسب دابسون) نشان می‌دهد (جدول شماره ۶).

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 شبه جزیره 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.

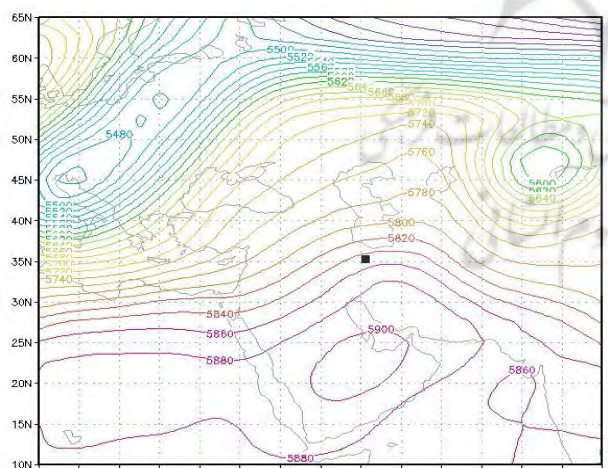
در این شرایط در هر دو تراز ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکالی پشته بسیار گسترده و عمیقی از پرفشار عربستان که در جنوب خلیج فارس و مرکز عربستان قرار می‌گیرد، در جهت عرض‌های شمالی گسترش می‌یابد. به طوری که این پشته تا عرض ۶۰ درجه شمالی گسترش می‌یابد. به عبارت دیگر در شرایط اوزون پایین‌تر، در پوشش سپهر برروی محدوده



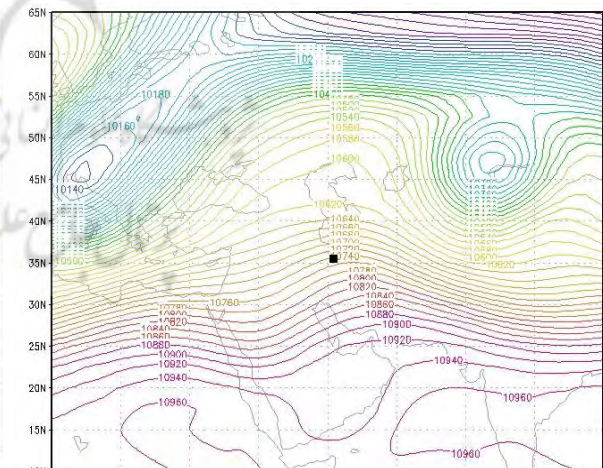
(الف) تراز ۵۰۰ در ۳۱ دسامبر ۲۰۰۶



(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

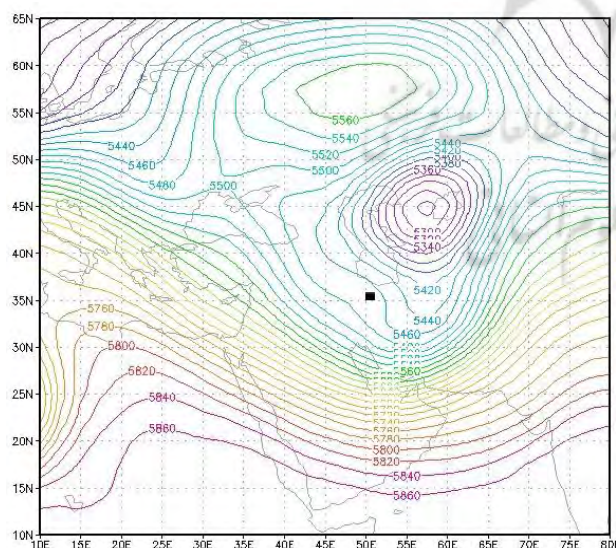
(نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون سنجی ژئوفیزیک تهران)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

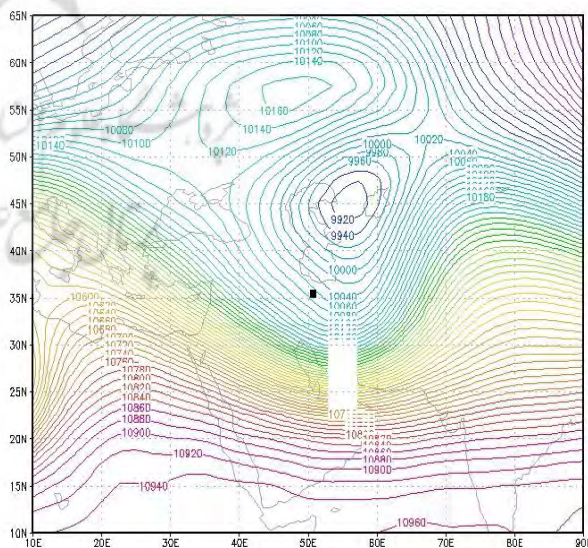
۲- الگوی همیدیدی فصل زمستان

اشکال شماره (۱۱ الف و ب) الگوی همیدیدی حاکم بر شرایط اوزون بالا (۳۶۲/۴) واحد برحسب دابسون) را در فصل زمستان نشان می‌دهد (جدول شماره ۳). همانطور که دیده می‌شود، الگوی همیدیدی حاکم بر ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال در این فصل نیز شباهت زیادی با الگوهای همیدیدی 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

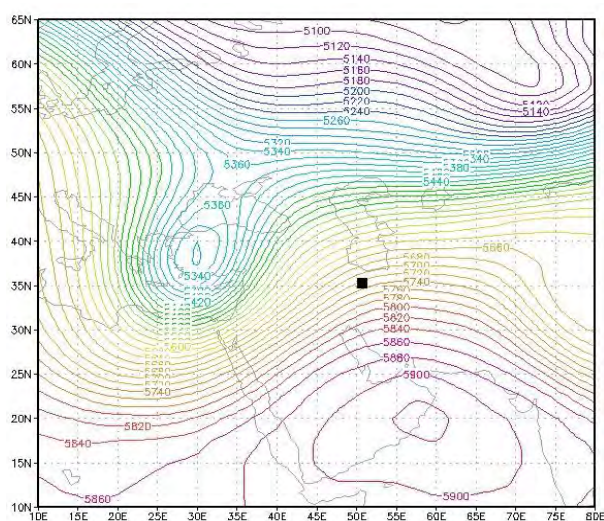
ژئوپتانسیل متر و در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال به ۹۹۵۰ ژئوپتانسیل متر کاهش یافته است. در شرایط اوزون پایین (۲۳۶/۲) واحد برحسب دابسون) در این فصل نیز الگوی حاکم شباهت زیادی به الگوی پاییز دارد. در این الگو نیز پشته عمیقی با راستای جنوبی- شمالی، سراسر ایران را تا شمال دریای مازندران فراگرفته است. با وجود اینکه 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).



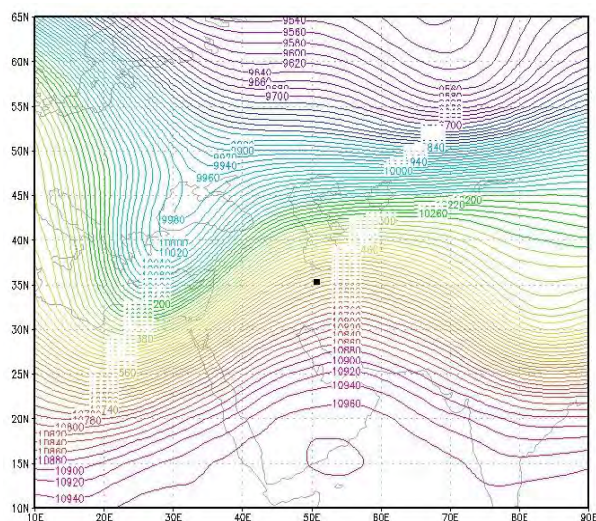
(الف) تراز ۵۰۰ در ۷ ژانویه ۲۰۰۸



(ب) تراز ۲۵۰ در ۷ ژانویه ۲۰۰۸



(ج) تراز ۵۰۰ در ۱۸ فوریه ۲۰۰۸



(د) تراز ۲۵۰۰ در ۱۸ فوریه ۲۰۰۸

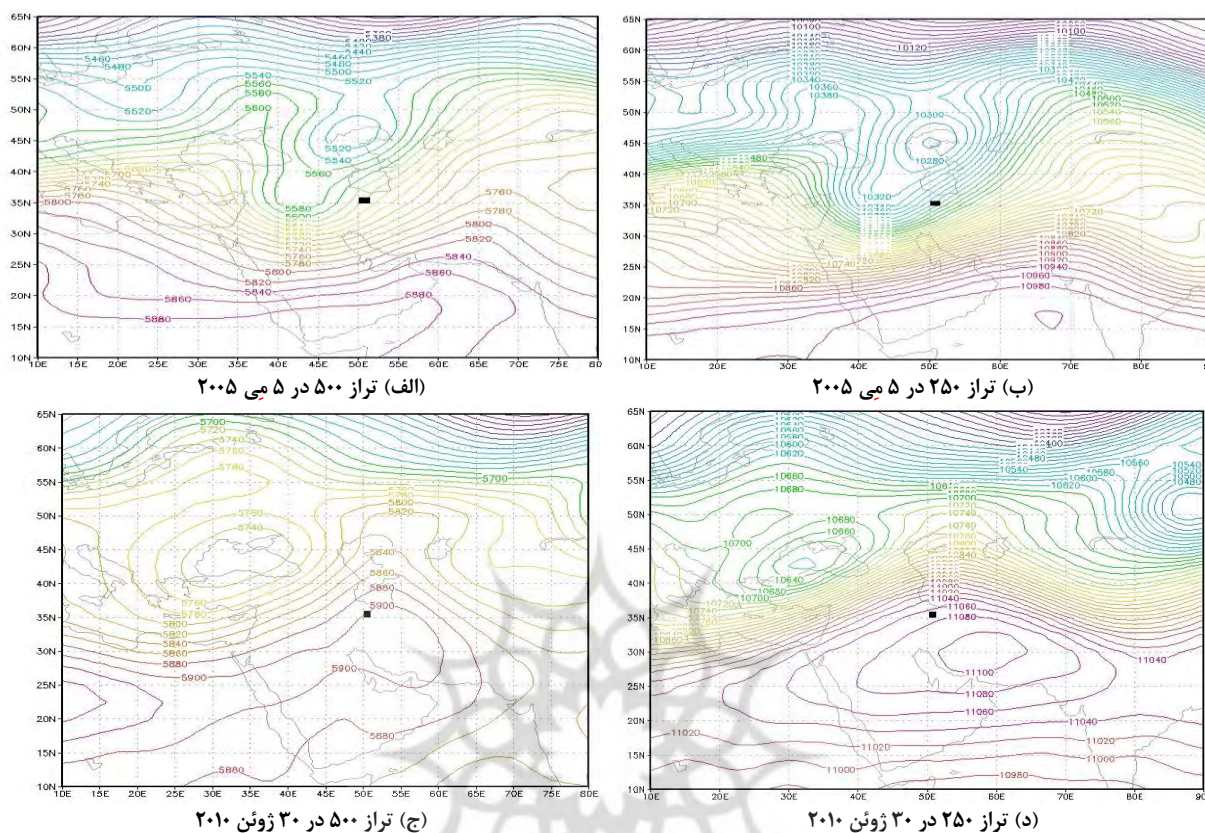
شکل ۱۱: شرایط همدیدی اوزون بالا (شکل‌های الف و ب)، اوزون پایین (شکل‌های ج و د) در الگوی فصل زمستان (نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون سنجی ژئوفیزیک تهران)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

۳- الگوی همدیدی فصل بهار

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 ۲۵۰۰ 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).

اشکال شماره (۱۲ الف و ب) نقشه ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰۰ 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 برروی نیمه شمالی دریای مازندران بسته شده است. در ناوه حاصل از این دو چاله سرد، هم راستا 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



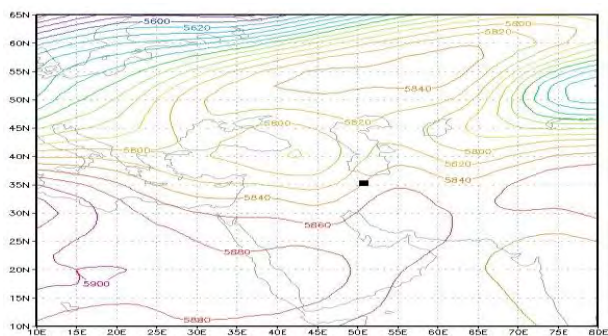
شکل ۱۲: شرایط همدیدی اوزون بالا (شکل‌های الف و ب)، اوزون پایین (شکل‌های ج و د) در الگوی فصل بهار (نقطه مشخص شده: موقعیت ایستگاه اوزون‌سنجی ژئوفیزیک تهران)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

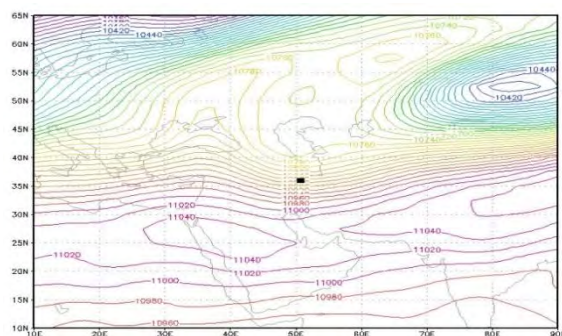
حاکم‌بر شرایط اوزون پایین (۲۷۴/۹) واحد برحسب دابسون) را در فصل تابستان نشان می‌دهد (جدول شماره ۵)، در این الگو پرفشار عربستان به‌صورت یک هسته مستقل بر روی جنوب غرب دریای مازندران و غرب استان تهران استقرار دارد که زبانه آن با راستای شمال شرقی - جنوب غربی تمام ایران و شبه‌جزیره عربستان را فراگرفته و پشته 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 گسترش‌مداری خود تمام حلقه کلاهی قطبی را دربر گرفته است. در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال سلول پرفشار عربستان با گسترش‌مداری 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

۴- الگوی همدیدی فصل تابستان

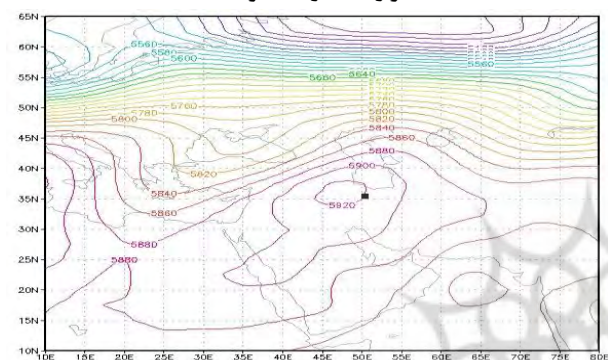
اشکال شماره (۱۳ الف و ب) الگوی همدیدی حاکم‌بر شرایط اوزون بالا (۳۰۱/۸) واحد برحسب دابسون) را در فصل تابستان در ترازهای ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد (جدول شماره ۵). در این فصل الگوهای حاکم کاملاً با فصول دیگر متفاوت شده‌است. در این الگو مرکز ارتفاع زیادی در شمال دریای مازندران بسته شده‌است که با گسترش‌مداری خود تقریباً تمام عرض جغرافیایی صحرای سیبری را دربر گرفته است. بر روی ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال لایه میانی ورد سپهر زبانه‌ای از پرفشار آفریقا بر روی ایران گسترش یافته و تقریباً تمام ایران را دربر گرفته است. در حالی که در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال سلول پرفشار عربستان به‌صورت هسته مستقلی ظاهر شده‌است. اشکال شماره (۱۳ د و ج) الگوی همدیدی



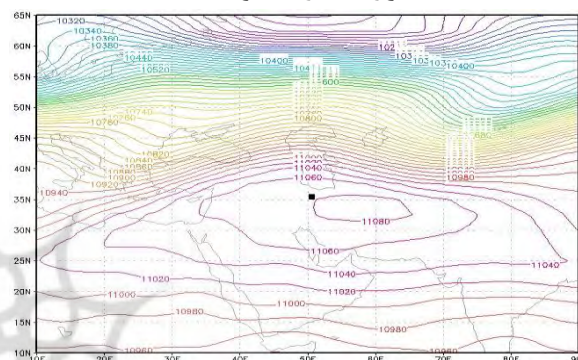
(الف) تراز ۵۰۰ در ۱۹ آگوست ۲۰۰۷



(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

نتیجه

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

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.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی