

صص: ۱۷-۱

تحلیل عددی ازون سطحی و بررسی رابطه آن با شرایط همدیدی جو شهر تهران

علی افشاری آزاد

دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

بهمن رمضانی گورابی *

استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

آتوسا بیگدلی

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

محمد رضا افشاری آزاد

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۴

چکیده

در این پژوهش انتشار ازون سطحی به همراه شرایط همدیدی جو برای سال ۱۳۹۹ و شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. سناریوها شامل شدیدترین انتشار، روزهای پاک، شرایط پایدار و ناپایدار جو، فشار هوا در ترازهای سطح زمین و پانصد هکتوپاسکال و نمودار اسکایوتی فرودگاه مهرآباد مورد تحلیل قرار گرفتند. داده‌های ازون سطحی از ایستگاههای شرکت کنترل کیفیت هوا از شش ایستگاه آلودگی سنجی استخراج شدند. تحلیل بصورت روزانه در طول ۲۴ ساعت شبانه روز و فصلی صورت گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که غلظت این آلاینده از ساعت ۱۰ صبح صعودی شده و تا ۴ عصر با سرعت افزایش می‌یابد چون شدت تابش و دریافت انرژی در سطح زمین تا عصر به حداکثر میزان خود می‌رسد سپس تا ۶ عصر روند افزایشی آن کند می‌شود و از ۸ شب نزولی می‌شود و پیش از طلوع آفتاب به کمینه غلظت می‌رسد. اما از نظر فصلی تابستان به علت شدت و زاویه تابش خورشید و به دنبال آن افزایش دمای سطح زمین ناشی از تسلط سامانه پرفشار که ناپایداری مطلق ایجاد کرده و به دلیل فقدان وزش باد جابجایی بسته هوا را غیر ممکن می‌سازد. و از سوی دیگر افزایش غلظت اکسیدهای نیتروژن ناشی از سوخت‌های فسیلی (خودروها، پتروشیمی و سوخت پالایشگاهها و کارخانجات) بطور غیرمستقیم باعث افزایش غلظت این آلاینده شده است.

واژگان کلیدی: تحلیل عددی، الگوهای سینوپتیک، ازون سطحی، تهران.

مقدمه

ازن سطحی یک آلاینده بزرگ با تأثیرات بالقوه بر سلامت عمومی در مناطق صنعتی و در مناطق در حال توسعه در سرتاسر جهان است. این پدیده باعث مرگ زودرس بیش از ۲۰۰ هزار نفر در سال می‌شود. (Cohen et al., 2017; Liang et al., 2018) شهرهای بزرگ جهان براحتی با این پدیده مواجه هستند. ازن سطح زمین یک گاز ردیابی مهم است که کیفیت هوا را مختل می‌کند این گاز در تروپوسفر قابل مشاهده و ردیابی است. معمولاً به دو روش تشکیل می‌شود: یکی از طریق^۱ NOx (سوخت‌های فسیلی) و دیگری^۲ VOCs (موادی که در دمای اتاق تبخیر شده و عمدتاً از مواد ساختمانی و خانگی مانند موبایل‌ها، دستگاه‌های تولید برق، حشره‌کش‌ها و سموم دفع آفات تولید می‌شوند) (Monks et al., 2015). هنگامی که NOx و VOCs با هم ترکیب شوند نتیجه آن ایجاد ازن سطحی است که منجر به ایجاد smog (مه دود) در شهرها می‌شود. اثرات ازن بر سلامتی انسان بویژه در فضای بسته شامل تحریک چشم، بینی و گلو شده منجر به سردرد و سرگیجگی، ضعف دید و در نهایت از دست دادن حافظه می‌شود. علاوه بر تأثیر بر سلامتی انسان، ازن سطحی بر روی گیاهان نیز مؤثر بوده و از رشد آنها جلوگیری می‌کند و با ضعیف کردن گیاه، آن‌را به شدت در برابر آفات و تنش‌ها آسیب‌پذیر می‌کند. (Han et al., 2018; Lu et al., 2019) از دیگر اثرات VOCs باران اسیدی است. PH باران معمولی ۵/۴ اما باران اسیدی دارای PH ۴/۲ است که بسیار خطرناک جلوه می‌نماید. باران اسیدی حیات آبی و مواد مغذی خاک را از بین می‌برد و با آزاد کردن آلومینیوم به حیات گیاهی و جانوری آسیب شدیدی وارد می‌کند (Verstraeten et al., 2015). سطح آلاینده‌گی VOCs در خانه‌ها دو تا ۵ برابر بیشتر از فضای باز است هم انتشار و هم آب و هوا بر کیفیت ازن سطحی مؤثر است. خوشبختانه میزان انتشار VOCs در حال کاهش است. میزان انتشار آن از ۳۴/۷ میلیون تن در سال ۱۹۶۵ به ۱۶/۷ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ رسیده است. کشورهای خاورمیانه به همراه هندوستان و چین بیشترین میزان انتشار ازن سطحی را بر عهده دارند. کشور قطر در خاورمیانه با ۶۷/۵ قسمت در بیلیون بالاترین میزان انتشار را دارد. ایران با میانگین ۵۸ در میانه بالای جدول قرار دارد. میزان استاندارد این گاز ۰/۰۷۵ قسمت در میلیون یا ۷۵ قسمت در بیلیون می‌باشد (www.EPA.gov/VOCs, 2019).

پرسش کلیدی در این پژوهش اینجاست که تغییرات در شرایط همدیدی جو چگونه در پراکندگی و انتشار ازن سطحی مؤثر است. انتشارات و تمرکزهای بالای ازن سطحی با دمای بالا، سرعت باد کم، آسمان صاف و هوای پایدار، و الگوهای همدیدی هوا که مقیاسی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر از جو را در بر می‌گیرد در رابطه است. (Camalier et al 2007; Jacob and Winner 2009) پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است. شاید بتوان با قاطعیت بیان کرد که کشور چین بسیار پیشگام و پرکار در زمینه بررسی ازن سطحی و رابطه آن با شرایط همدیدی جو باشد. به لحاظ کمیت در کشورهای دیگر کمتر مشاهده شده است که میتوان به کشور ما ایران نیز اشاره داشت که در موضوع این پژوهش کاری انجام نشده است.

^۱ Nitrogen oxides^۲ Volatile organic compounds

هان هان و همکاران (۲۰۱۹) شرق چین، سلن و همکاران (۲۰۱۶) غرب چین، وانگ و همکاران (۲۰۱۷) سه شهر پکن، تیان جین و هبه‌ای، شو و همکاران (۲۰۱۶) دلتای رود یانگتزه و ژو چن و همکاران (۲۰۲۰) برای دلتای رودخانه مروارید جملگی رابطه میان شرایط سینوپتیکی جو و انتشار ازن سطحی را در زمانهای مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد که انتشار و غلظت ازن سطحی در مناطق یاد شده تابعی از میزان انتشار در سطح زمین و شرایط همدیدی هوا می‌باشد.

کوپر (۲۰۱۲)، بلومر (۲۰۰۹)، تونر (۲۰۱۳)، وانگ (۲۰۱۳) و وو (۲۰۰۸) پراکندگی ازن سطحی و انتشارات آن‌را از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ در شرق آمریکا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند سپس شرایط و الگوهای همدیدی هوای منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش همه آن‌ها نشان داده است که به دلیل غلبه الگوهای ناپایدار جو در زمان مورد مطالعه از میزان ازن سطحی در منطقه مورد مطالعه کاسته شده است. شن و مایکلی (۲۰۱۷) ضمن راستی آزمایی پژوهش آنان به مقایسه میزان انتشارات ازن سطحی در دهه مطالعه پژوهشگران فوق و دهه پیش از آن پرداخته و یافته‌های آنان را مورد تأیید قرار داده‌اند. پژوهش مشابهی در بریتانیا بوسیله روپ و همکاران (۲۰۱۶) نیز انجام شده است.

همین پژوهش در سال (۲۰۱۹) بوسیله کیم و همکاران برای کره جنوبی، ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) برای هنگ کنگ، تانگ و همکاران (۲۰۰۹) برای جنوب سوئد انجام شده است که همگی به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

برای ایران تحقیقات متمرکز و جامعی که رابطه میان ازن سطحی و شرایط و الگوهای همدیدی هوا را بررسی کند انجام نشده است. اما انتشارات و غلظت ازن سطحی برای ایستگاه ژئوفیزیک تهران بوسیله بیدختی (۲۰۰۲)، جعفری و علیجانی (۱۳۹۱) تغییرات ماهانه و فصلی ازن سطحی را برای شهر فیروزکوه، آروین (۱۳۹۰) روند تغییرات شبانه‌روزی آن‌را برای شهر اصفهان، خوشحال و همکاران (۱۳۸۶) برای شهر اصفهان و عزتیان و همکاران (۱۳۹۰) برای شهر اصفهان و در نهایت محمدنیا و همکاران (۱۳۹۶) رابطه ازون سطحی و اکسیدهای نیتروژن را برای شهر تبریز مورد بررسی قرار داده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود هیچکدام نقش شرایط سینوپتیکی و همدیدی را در نظر نگرفته‌اند.

شهر تهران همواره در رده آلوده‌ترین شهرهای جهان بوده رتبه این شهر گاهی دوم و گاهی سوم در جهان شده است. در این پژوهش انتشار یکی از آلاینده‌های مهم یعنی ازون سطحی و رابطه آن با شرایط سینوپتیکی جو مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های ازن سطحی به صورت ساعتی و روزانه از شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران وابسته به شهرداری تهران بدست آمده است. داده‌های هواشناسی شامل باد، دما، باران و ساعات آفتابی از سازمان هواشناسی کشور گرفته شده است. برای تحلیل همدیدی از نقشه‌های ترازهای مختلف جو استفاده شده است که تأکید بیشتر بر روی تراز سطح زمین و ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده است. از این نقشه‌ها برای ردیابی توده یا توده‌های هوا بر روی شهر تهران استفاده

شده است. در نقشه‌ها خطوط هم‌فشار و ارتفاع آنها از سطح زمین و شکل آنها (پشته یا ناوه) برای شناسایی کم‌فشار یا پرفشار بودن توده هوا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی فاصله میان خطوط هم‌فشار نیز مهم است زیرا فاصله زیاد حاکی از فقدان جابجایی بسته هوا است که از نشانه‌های پایداری جو است. به دلیل در دسترس بودن داده‌های رادیوسوند فرودگاه مهرآباد، از آن برای تحلیل پایداری و ناپایداری جو استفاده شده است. در رادیوسوند سرعت باد بویژه در سطح زمین، وارونگی دما، دمای نقطه شبنم و فاصله خط همدمای شبنم با دمای بسته هوا مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

برای تحلیل شرایط پایداری و ناپایداری، شاخص‌های Showalter^۳، Cape^۳ (انرژی پتانسیل همرفتی در دسترس)، CIN^۴ (مهار همرفتی)، و KINX استفاده شده است. در جدول ۱ مقدار هر یک از این شاخص‌ها و ارتباط آن با پایداری و ناپایداری جو ارائه شده است. درباره شاخص‌ها مهمترین نقش را Cin بازی می‌کند چراکه اگر شاخص Cape عدد بالایی باشد اما Cin عددی بالاتر از ۱۰۰ نباشد بندرت ناپایداری رخ می‌دهد. بخاطر همین این دو شاخص باید با هم دیده شوند.

جدول ۱: ویژگی‌های هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش

شاخص	پایدار	ناپایداری شرطی	ناپایداری مطلق
Showalter	>۴	صفر تا ۲-	-۳
Cape	<۳۰۰	۲۵۰۰ تا ۱۰۰۰	>۲۵۰۰
Cin	>۲۰۰	۲۰۰ تا ۱۰۰	<۱۰۰
KINX	صفر تا ۱۸	۲۵ تا ۱۸	۴۵ تا ۳۵

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: ویژگی‌های ایستگاه‌های سینوپتیک

ایستگاه سینوپتیک	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از دریا
مهرآباد	۵۱ و ۱۹	۳۵ و ۴۱	۱۱۹۱
ژئوفیزیک	۵۱ و ۲۳	۳۵ و ۴۴	۱۴۲۳
چیتگر	۵۱ و ۰۸	۳۵ و ۴۵	۱۲۱۵

مأخذ: برداشت از google Earth

جدول ۳: ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر تهران

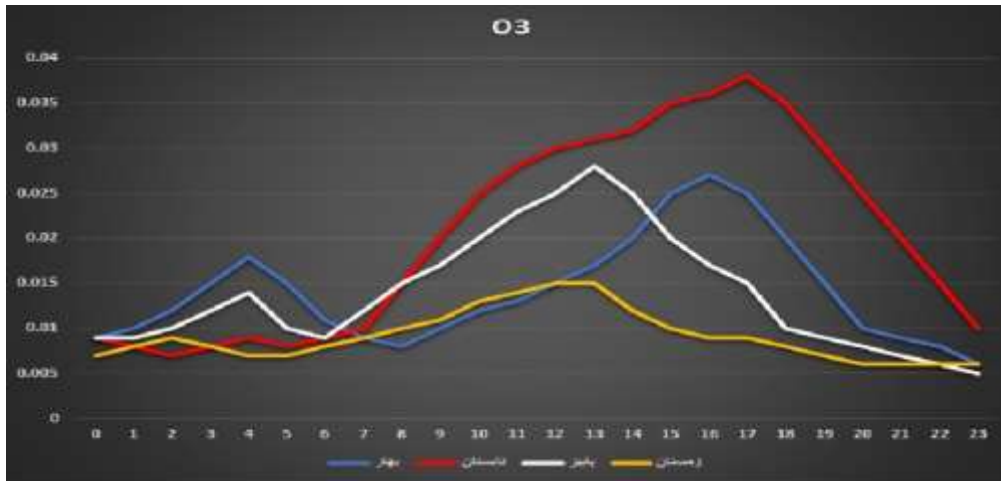
ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	میدان فتح	۱۲۰۰	۴۲-۳۵	۲۰-۵۱
۲	پونک	۱۵۲۰	۴۹-۳۵	۲۹-۵۱
۳	دانشگاه شریف	۱۱۵۰	۳۹-۳۵	۲۴-۵۱
۴	شادآباد	۱۲۰۰	۴۳-۳۵	۲۵-۵۱
۵	صنعت	۱۵۰۰	۴۷-۳۵	۲۶-۵۱
۶	بازار	۱۰۵۲	۳۸-۳۵	۲۲-۵۱

مأخذ: شرکت کنترل کیفیت هوای تهران

یافته‌های پژوهش

یافته‌های توصیفی

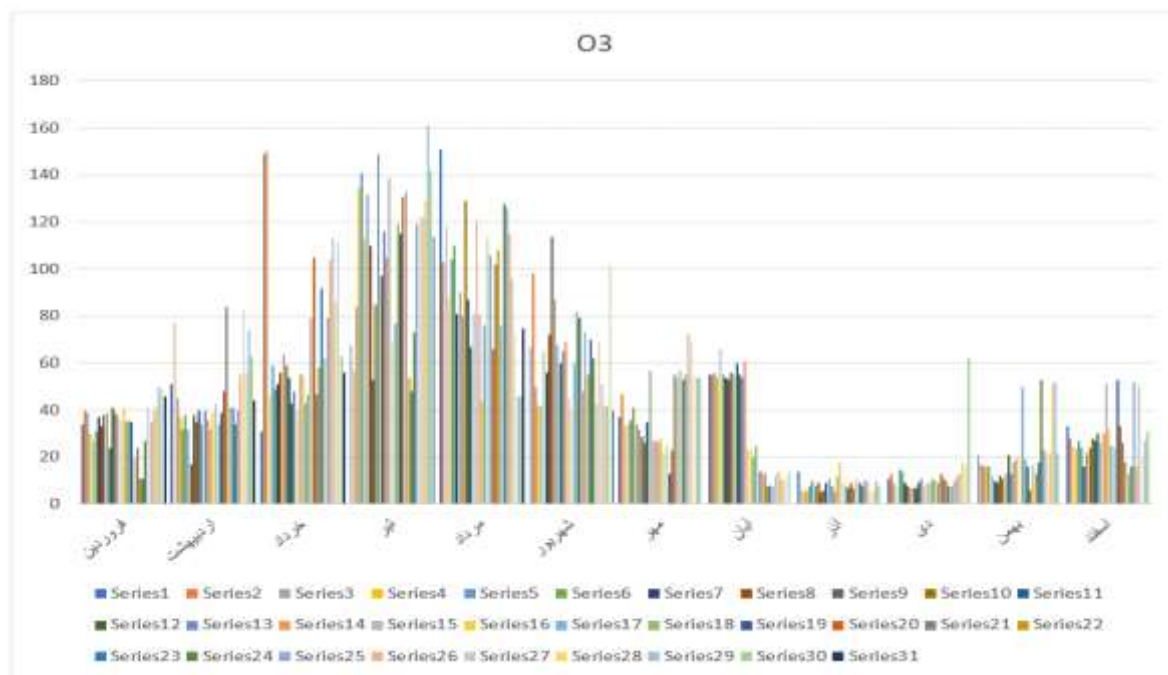
در ابتدا شرایط وضع موجود انتشار آلاینده ازن سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل یک پراکندگی فصلی ابن آلاینده به نمایش گذاشته شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: پراکندگی فصلی ازن سطحی برای شهر تهران

بر اساس شکل ۱ غلظت ازن سطحی در فصل تابستان (خط قرمز) بیشتر از سایر فصول سال است. زمستان (خط زرد) کمترین میزان غلظت را در میان فصول برخوردار است.



مأخذ: محاسبات نگارنده بر اساس داده های خام شرکت کنترل کیفیت هوا. منظور از SERIES روزهای هر ماه است
شکل ۲: تغییرات روزانه و ماهانه آلاینده ازن سطح زمین در محدوده مناطق مطالعه و هشت ایستگاه آلاینده سنجی.

شکل ۲ پراکندگی و انتشار آلاینده ازن سطحی را در محدوده مطالعه به نمایش گذاشته است. تیر مرداد و شهریور بیشترین میزان از انتشار این آلاینده است. پس از این سه ماه، خرداد نیز از میزان بالایی برخوردار است. آذر، دی و بهمن کمترین میزان انتشار این آلاینده هستند. بطور کلی نیمه دوم سال بسیار کمتر و پایین تر از نیمه اول سال است. ظاهراً این آلاینده با دما و تابش خورشید رابطه مستقیم دارد. میزان استاندارد روزانه این آلاینده ۷۰ قسمت در بیلیون است در صورتیکه بر اساس شکل بالا بسیاری از روزهای سال مقدار این آلاینده بسیار بیشتر از حد استاندارد آن است.

جدول ۴: تعداد روزهای سال ۱۳۹۹ بر اساس غلظت آلاینده ازن سطحی

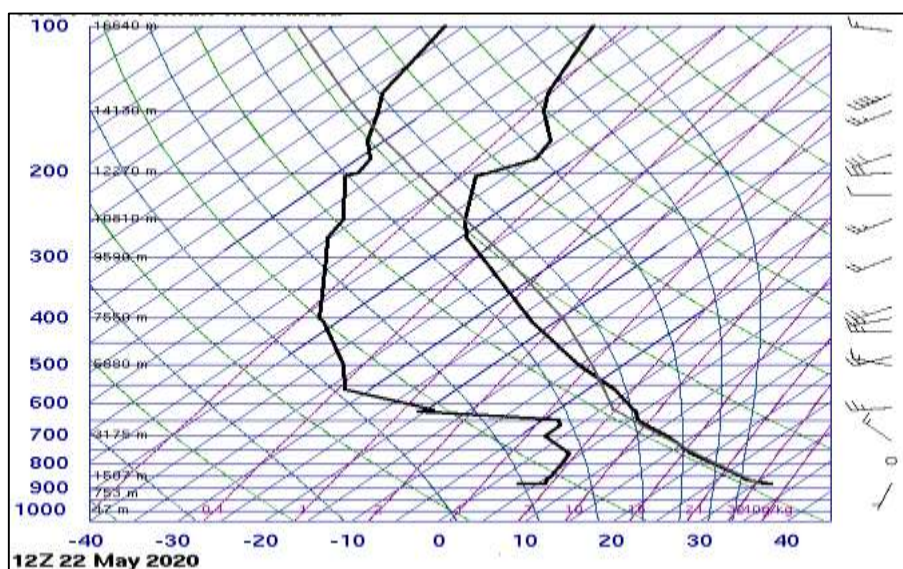
غلظت PPb	۱۰۰ و بالاتر	۷۰ تا ۱۰۰	۵۰ تا ۷۰	صفر تا ۵۰
تعداد روز	۲۸	۴۰	۸۹	۲۰۹

مأخذ: نگارندگان

برای جدول ۴ این توضیح ضروری است که گرچه عدد ۵۰ تا ۷۰ قسمت در بیلیون برای ازون استاندارد محسوب می شود اما در بسیاری از کشورهای جهان این محدوده را هشدار تلقی کرده و لزوم توجه به آن را مطرح کرده اند از جمله این کشورها می توان به آمریکا، کانادا، استرالیا و آلمان اشاره کرد.

سناریو اول: شدیدترین

روزهای دوم و سوم خرداد ۱۳۹۹ میزان ازن سطحی برای ردیابی هشت ساعته برای هشت ایستگاه در این پژوهش از ۱۸۰ در ایستگاه پونک، ۲۰۴ ایستگاه شریف، ۱۸۸ میدان فتح، ۱۹۶ منطقه دو شهرداری، ۲۰۳ ایستگاه ویلا، ۲۰۶ ایستگاه ژئوفیزیک تا ۲۲۰ قسمت در بیلیون (ppb) ایستگاه بازار به ثبت رسیده است.



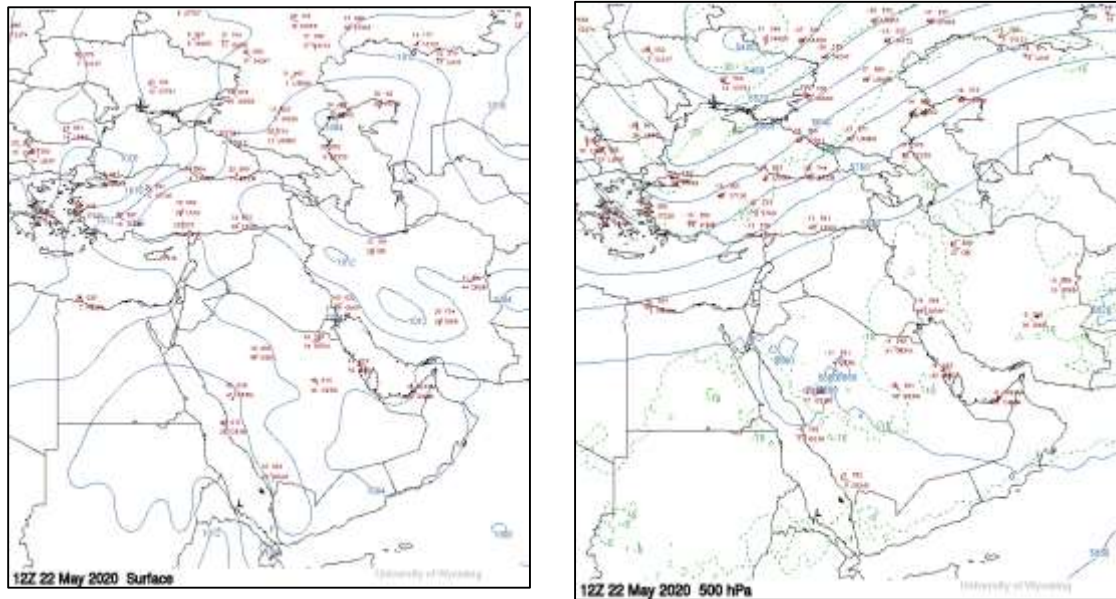
مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نمودار اسکیتی برای روز سوم خرداد ۱۳۹۹

داده‌های رادیوسوند برای روز سوم خرداد ۱۳۹۹ به شرح زیر است:

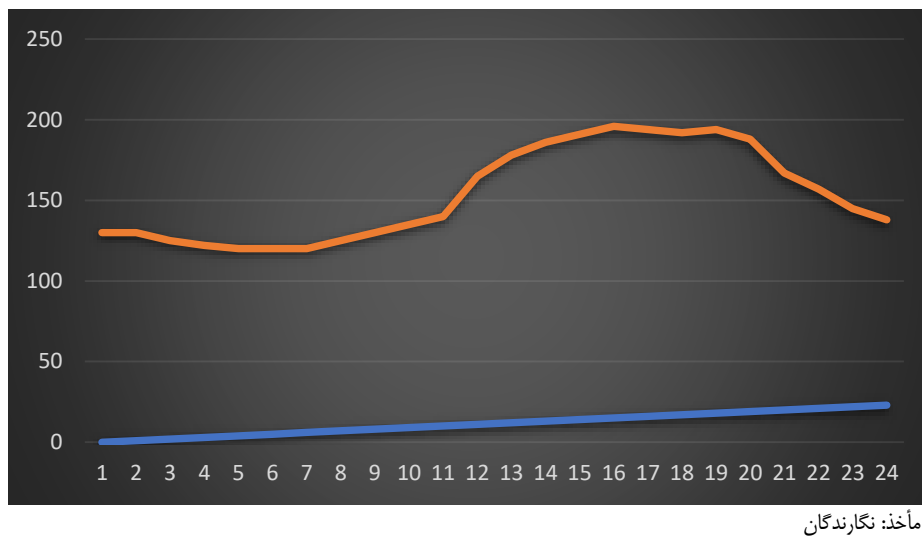
Showalter: 2/45 Cape: 58 Cin: -97 Kinx: 14

بر اساس داده‌های بالا شرایط جو در حالت پایداری مطلق قرار دارد زیرا برای رسیدن به ناپایداری سه شاخص شوالتر باید به سوی اعداد منفی، Cape و Cin باید به سوی اعداد مثبت بزرگ میل کنند که در این بسته هوا چنین شرایطی برقرار نیست. از سوی دیگر به دلیل نقش بیشتر Cin در ناپایدار شدن هوا، حتی اگر Cape عدد مثبت بزرگ باشد و شرایط منفی Cin هرگز کمکی به ناپایدار شدن بسته هوا نمی‌کند. در این بسته هوا Cin یک عدد منفی بزرگ است و نشان می‌دهد که شرایط پایداری مطلق در بسته هوا برقرار است. سرعت باد در این بسته هوا تا تراز ۷۵۰ هکتوپاسکال تقریباً صفر است. فاصله میان دمای هوا و نقطه شبنم بسیار زیاد است دمای سطح زمین ۳۱ درجه و نقطه شبنم ۱۰- است که حاکی وجود رطوبت اندک در هواست و به دلیل دمای بالای بسته هوا ظرفیت رطوبت پذیری آن افزایش یافته و در نتیجه بسته هوا هرگز به اشباع نخواهد رسید. آب قابل بارش بسیار ناچیز ۶ میلیمتر است که شاهی دیگر بر مدعای این پژوهش مبنی بر پایداری مطلق بسته هواست..



شکل ۴: نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین برای سوم خرداد ۱۳۹۹

در شکل ۴ دو نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه سطح زمین برای روز سناریو ارائه شده است. بررسی نقشه تراز ۵۰۰ نشان می‌دهد که کل کشور تحت تسلط یک پشته بزرگ قرار گرفته است. ردیابی سیاره‌ای نقشه نشان می‌دهد که این پرفشار از غرب مدیترانه به شرق جابجا شده است. هرچه به شرق رسیده ارتفاع آن افزایش یافته است و تا ۵۸۸۰ متر بالا رفته است. ایران در میانه دو ارتفاع ۵۸۸۰ و ۵۸۶۰ متر این پرفشار قرار دارد. فاصله بین خطوط هم‌فشار بر روی کشور بسیار زیاد است بطوریکه هیچ زبانه هم‌فشاری از روی کشور عبور نکرده است. این فاصله بسیار زیاد خطوط هم‌فشار نشان می‌دهد که هوا در سطح زمین بسیار آرام است و جریان بادی برقرار نمی‌شود وقتی این شرایط برای بسته هوا رخ دهد هوا حتماً پایدار است زیرا برای ناپایداری شدن باید زبانه‌های هم‌فشار به هم نزدیک شده و شکل تراف یا ناوه را به خود بگیرند. نمودار اسکینوتی در شکل ۳ نیز این مسئله را تأیید می‌کند. نقشه سطح زمین (شکل سمت چپ) نشان می‌دهد که هم‌فشار ۱۰۰۴ هکتوپاسکال از روی شهر تهران می‌گذرد. و کل کشور را دو زبانه ۱۰۰۴ و ۱۰۲۰ هکتوپاسکال پوشش داده است که نشان می‌دهد در سطح زمین هم پرفشار تسلط دارد. در سطح زمین هم فاصله خطوط هم فشار بسیار زیاد است که هوای بدون باد را نمایان می‌سازد و صعود هوا را مختل می‌سازد. در واقع از سطح زمین تا ارتفاع تقریباً ۶۰۰۰ متری پرفشار حاکم بوده و هیچگونه جابجایی هوا رخ نمی‌دهد. در نتیجه، هوای صاف و آفتابی، با دمای سطحی ۳۱ درجه در ساعت ۱۲، بدون حضور باد و رطوبت منجر شده تا غلظت آلاینده ازن سطحی به شرایط بحرانی برسد.



شکل : ردیابی ۲۴ ساعت شبانه روز برای شدیدترین غلظت

در شکل ۵ غلظت ازون سطحی در ۲۴ ساعت شبانه روز برای ۸ ایستگاه آلاینده‌سنجی میانگین‌گیری شده و در قالب نمودار ارائه شده است. همانطوریکه از شکل دریافت می‌شود از ساعت ۱۰ صبح روند صعودی افزایش غلظت شروع شده و تا ساعت ۱۸ ادامه می‌یابد. علت اصلی افزایش شدت تابش در این ساعات و بالا رفتن دمای سطحی است اما در دوام آن تا ساعت ۱۸ عصر عامل ثانویه یعنی ترافیک شهری را نیز باید به آن افزود زیرا ترافیک شهری غلظت NOx را افزایش داده و آن هم بطور غیر مستقیم در افزایش ازون سطحی مؤثر است. در شب و بامداد به دلیل نبود تابش و پایین آمدن دمای سطحی از غلظت ازون سطحی کاسته می‌شود. اما همانطور که در نمودار پیداست کاهش غلظت قابل توجه نیست در واقع ازون تولید شده در روز در شب نیز دوام آورده است علت آن به سکون هوا باز می‌گردد به دلیل غیبت باد عمل زدایش و پاکسازی از هوا صورت نمی‌گیرد و در نتیجه از غلظت کلی آن کاسته نمی‌شود.

سناریوی دوم: روز پاک

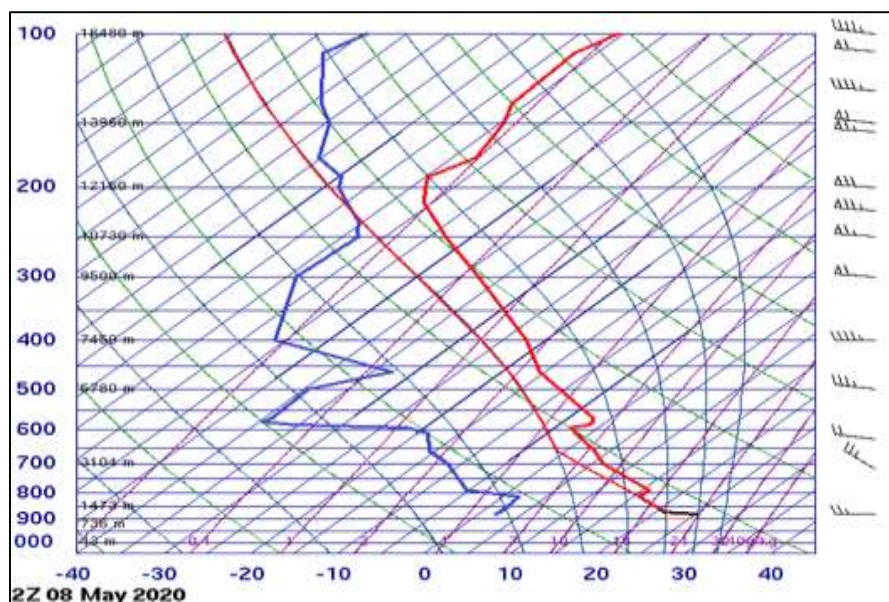
برای سناریو دوم روز پاک در نظر گرفته شده است. در تمام سال ۱۳۹۹، به طور میانگین از ایستگاه‌های منتخب، ۱۶ روز پاک وجود داشته است که همه روزهای پاک در فصل بهار و دو ماه فروردین و اردیبهشت بوده است. در این پژوهش یک روز پاک ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ به عنوان نمونه مورد تحلیل قرار می‌گیرد. میانگین شاخص کیفیت هوا (AQI) در این روز ۴۳ بوده که چون کمتر از ۵۰ است در محدوده هوای پاک قرار می‌گیرد. میزان غلظت ازون سطحی برای همه ایستگاه‌های این پژوهش کمتر از ۲۰ قسمت در بیلیون بوده که فاصله بسیار زیادی با استاندارد ۷۰ قسمت در بیلیون دارد. برای این روز نمودار اسکیموتی برای ایستگاه مهرآباد مورد تحلیل قرار می‌گیرد. شاخص‌های پایداری و ناپایداری جو هم از

طریق نمودار اسکویوتی و هم از طریق نقشه ترازهای سطح زمین و ۵۰۰ هکتوپاسکال مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌گیرند که در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.

جدول ۵: داده‌های اقلیمی روز پاک

ایستگاه	دمای سطح زمین سلسیوس	نقطه شبنم سلسیوس	رطوبت نسبی درصد	سرعت باد گره	جهت باد درجه	بارندگی میلیمتر
مهرآباد	۲۰/۵	۲/۵	۲۵	۰ تا ۲۶	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر
ژئوفیزیک	۲۱/۲	۳/۳	۳۳	۰ تا ۲۴	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر
چیتگر	۲۱/۸	۳/۵	۳۶	۰ تا ۲۷	۲۴۰ تا ۳۱۰	صفر

مأخذ: محاسبات نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی کشور



مأخذ: نگارندگان

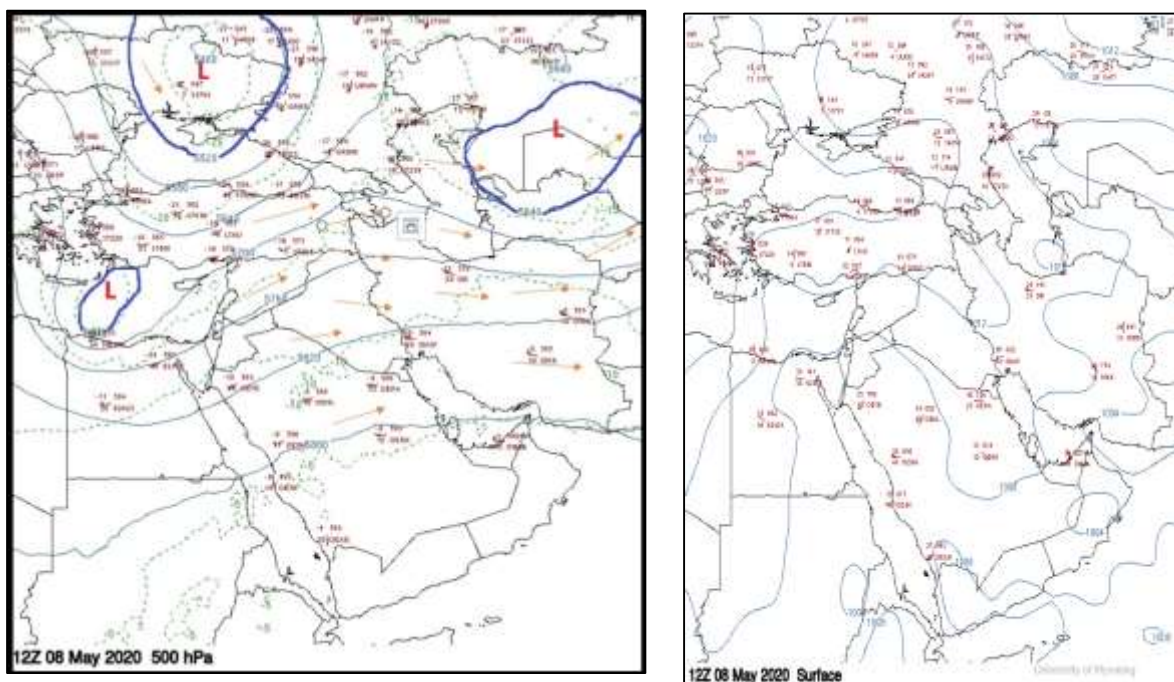
شکل ۶: نمودار اسکویوتی برای روز پاک

میزان هر یک از شاخص‌های ناپایداری عبارتند از:

Cape: 0 Showalter index: 4.47 K index: 13.90 Convective Inhibition: 0.00

مقدار آب قابل بارش در طول زمان اندازه‌گیری تنها ۹/۶۰ میلیمتر بوده است. دمای سطح زمین در این روز به حداکثر ۲۳ درجه سلسیوس رسیده و نقطه شبنم ۳ درجه بوده است. بر اساس شاخص شوالتر جو پایدار است همین ویژگی برای شاخص K نیز صادق است. میزان شاخص پتانسیل فرارفتی یا Cape نیز عدد صفر است برای ناپایدار شدن جو باید عدد به سمت مثبت بالا باشد. پس جو پایدار است و هیچ ابری هم شکل نگرفته است. همه ویژگی‌های یاد شده نشان می‌دهد که نباید شاخص آلاینده‌گی این اندازه پایین باشد.

بر اساس نمودار اسکویوتی هیچگونه وارونگی دمایی شکل نگرفته است. نمودار ساعت صبح نیز همین مسئله را تأیید می‌کند. علت اصلی این پدیده وزش باد با سرعت بالاست. باد در سطح زمین ۱۲ متر بر ثانیه است و این پدیده جابجایی هوا را سرعت می‌بخشد.



شکل ۷: نقشه سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز پاک

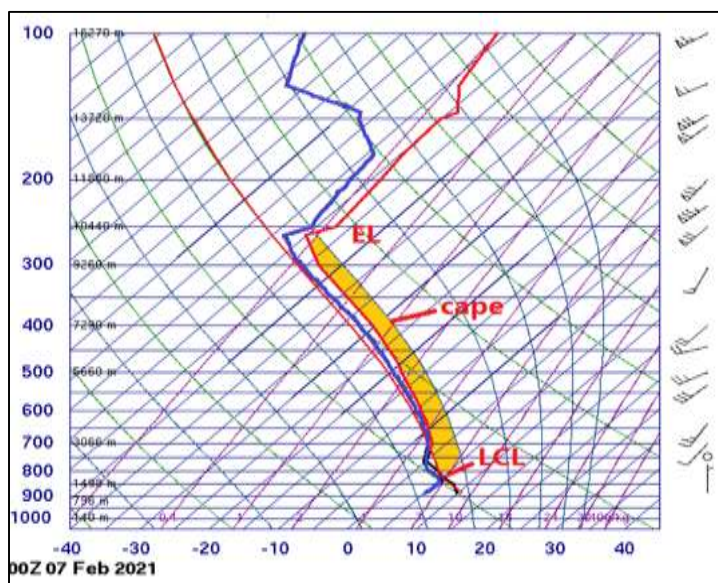
علت این رخداد اما در ویژگی اقلیمی و پارامترهای آن باید باشد. در ادامه نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین ارائه شده است. در ابتدا ویژگی باد مورد بررسی قرار می‌گیرد. سرعت باد در سطح زمین ۲۵ گره (۱۲/۸ متر بر ثانیه یا ۴۶ کیلومتر بر ساعت) است. این سرعت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۳۵ گره افزایش می‌یابد و در سطوح بالاتر از ۵۰ گره نیز بیشتر می‌شود. جهت وزش باد نیز از ۲۶۰ درجه تا ۳۱۰ درجه غربی را دربر می‌گیرد. سرعت زیاد باد در سطح زمین باعث زدودن آلاینده‌ها شده و شرایط منطقه را در حالت پاک قرار می‌دهد. سرعت باد بیشتر از ۶ متر بر ثانیه کاملاً آلاینده‌ها را از محیط می‌زداید. این روند با پژوهش‌های زیر همخوانی دارد. (Kim, et al, 2015, Yansui Liu, et al, 2020, Ayansina, et al, 2015)

بر اساس نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل سمت چپ) سه سامانه کم‌فشار کشور را احاطه کرده‌اند. یک کم‌فشار عمیق روی سودان تشکیل شده که به سامانه سودانی معروف است و از طریق زبانه جنوب غربی وارد کشور می‌شود. یک کم‌فشار روی شزق دریای خزر بسته شده است. یک کم‌فشار دیگر روی دریای سیاه تشکیل شده است که پیشانی این سامانه روی شمال غرب ایران مستقر شده است. خط همدمای ۱۰- درجه ایران را در بر گرفته است. بر روی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال میدان باد نیز ترسیم شده است (پیکانه‌های قهوه‌ای) که با جهت حرکت سامانه‌ها همخوانی و مطابقت

دارد. اما روی نقشه سطح زمین در شکل سمت راست خط همدمای ۲۵ درجه از تهران عبور می‌کند. دمای نقطه شبنم برای ایستگاه مهرآباد ۲۹- درجه است که حاکی از فقدان رطوبت در هواست. خطوط همفشار ۱۰۰۴ و ۱۰۰۶ هکتوپاسکال در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. گرمای هوا در سطح زمین موجب انبساط و صعود هوای محیط شده و سرعت بالای باد در ترازهای میانی و بالایی جو باعث اختلاف دما و فشار در محیط شده و در نتیجه سرعت باد در سطح زمین را افزایش می‌دهد. این مسئله باعث قرار گرفتن محیط در شرایط پاک از لحاظ شاخص آلاینده‌گی می‌شود. بنابراین تنها دلیل قرار گرفتن شهر در شرایط پاک اختلاف فشار سطح زمین و تراز بالای جو است که باعث جابجایی شدید هوا شده که نتیجه آن وزش باد با شدت مناسب است.

سناریو سوم: روز ناپایدار

برای سناریوی سوم یک روز بارانی به همراه جوی ناپایدار تعیین شده است. روز ۱۹ بهمن ۱۳۹۹ با توجه به بررسی نقشه های تراز بالای جو و ایستگاههای موجود در محدوده مطالعه به عنوان یک روز ناپایدار جوی در نظر گرفته شده است. برای این روز همه ایستگاههای سنجش آلودگی عدد زیر ۲۰ قسمت در بیلون را ثبت کرده‌اند.



مأخذ: نگارندگان

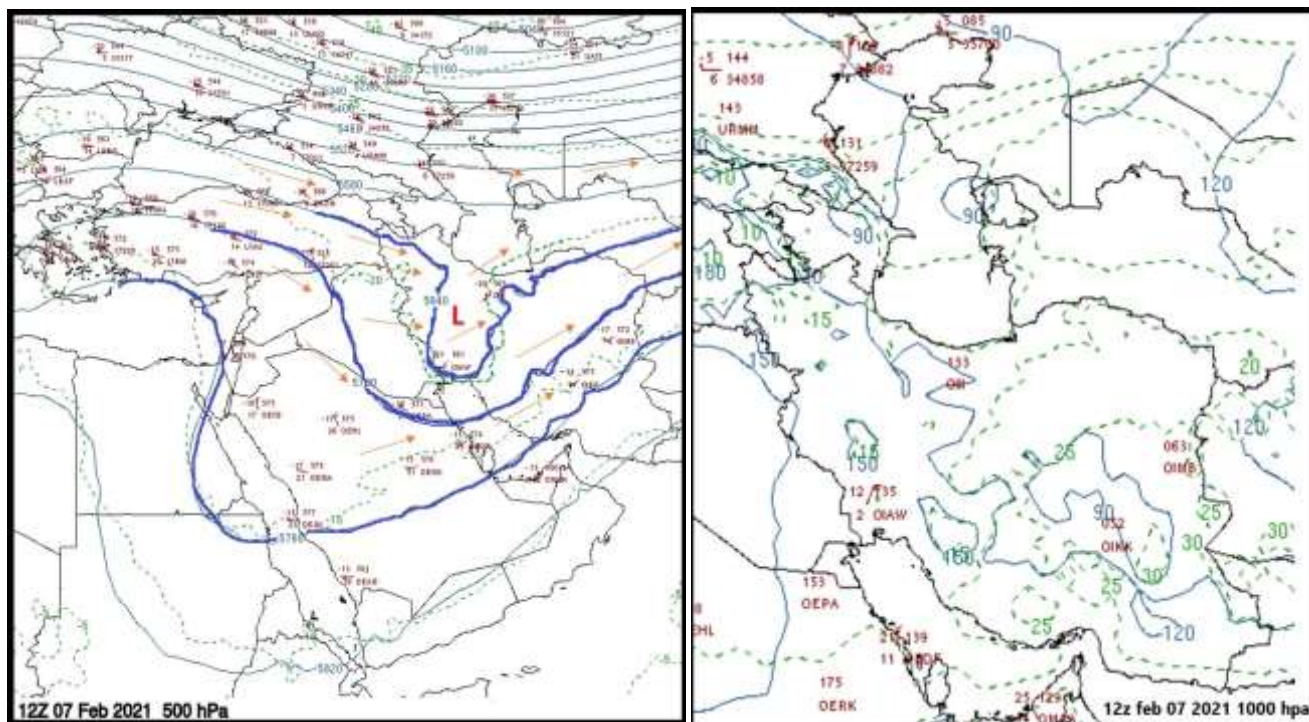
شکل ۸: نمودار اسکیتی برای سناریو سوم

در سناریوی سوم شرایط جوی ناپایدار و روز توأم با بارندگی در نظر گرفته شده است. بر مبنای نمودار اسکیتی ارتفاع پایه ابر ۸۵۰ متر است. فاصله بسیار اندک دمای محیط با نقطه شبنم حاکی از وجود رطوبت کافی در جو است. میزان آب قبل بارش در این بسته هوا ۱۸/۳۷ میلیمتر است که با توجه به دمای هوا میزان آن قابل توجه است. دمای بسته هوا و دمای محیط کاملاً موازی هستند و نشان می‌دهد که هیچگونه وارونگی دمایی وجود ندارد. سرعت باد در سطح زمین

حداکثر به ۵ گره یا ۲ متر بر ثانیه می‌رسد که البته نقطه ضعف چنین روزی به حساب می‌آید. میزان هر یک از شاخص‌های ناپایداری بر اساس نمودار اسکویوتی عبارتند از:

Cape: 23.97 Showalter: 0.49 K index: 32:30 CIN: -4.51

در نمودار اسکویوتی بالا **cape** به رنگ زرد نشان داده شده است. با توجه به درجه بدست آمده این شاخص در حد مثبت و نه چندان قوی از نظر ناپایداری درجه‌بندی می‌شود. شاخص شوالتر نیز نشان‌دهنده ناپایدار بودن هواست اما ناپایداری شدید نیست. همین مسئله برای شاخص **K** نیز صادق است. برای مطابقت نمودار اسکویوتی با نقشه هواشناسی، نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ارائه شده است. بر اساس نقشه این تراز هوای سرد از عرض‌های بالا در حال ریزش است و روی ایران جریان کم‌فشار برقرار است. از سوی دیگر با مطابقت دادن نقشه سیاره‌ای برای همین روز ایران در قسمت پیشانی جریان مرطوب مدیترانه‌ای قرار گرفته است. در شکل ۱۰ در نقشه تراز ۵۰۰ (سمت چپ) ناوه عمیق مدیترانه‌ای که ایران را نیز در بر گرفته است به رنگ آبی نشان داده شده است. با ترسیم میدان باد روی نقشه تراز ۵۰۰ (پیکانهای قهوه‌ای) جهت حرکت ناوه نیز به نمایش گذاشته شده است. خط هم‌فشار ۵۶۴۰ متر که در مرکز آن کم‌فشار بسته شده تهران و نیمه غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. اما با دنبال کردن خط همدم‌ا(رنگ سبز در نقشه سطح زمین سمت راست شکل ۱۰) این خط از خوزستان خارج می‌شود که نشان‌دهنده ورود همزمان سیستم سودانی از جنوب غرب ایران می‌باشد. در نقشه سطح زمین چندین مرکز کم‌فشار بسته شده است که حاکی از فعالیت شدید دو سامانه مدیترانه‌ای و سودانی است. فاصله خطوط هم‌فشار در هر دو نقشه کم و خطوط به هم نزدیک شده‌اند که در اصطلاح شیب ناپایداری را افزایش داده‌اند. این مسئله باعث شده تا ارتفاع ناپایداری تا تراز ۳۰۰ (ارتفاع ۹۰۰۰ متری) در جو بالا رود هر چند از عمق زیادی برخوردار نیست (شکل CAPE در نمودار اسکویوتی در شکل ۹) با ترکیب شدن این سه سامانه باعث افت دمای ۱۵ درجه‌ای نسبت به روزهای گذشته در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه شده و بارندگی قابل توجهی در نیمه غربی کشور داشته است. در جدول زیر مقادیر هریک از عناصر در روز مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۹: نقشه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست) و ۵۰۰ هکتوپاسکال سمت چپ

جدول ۶: اطلاعات اقلیمی مربوط به سناریوی سوم

ایستگاه	دمای سطح زمین	نقطه شبنم	رطوبت نسبی درصد	سرعت باد گره	جهت باد درجه	بارندگی میلیمتر
مهرآباد	۳/۲ - ۸/۸	۱/۶ - ۷/۹	۸۲	۴ تا ۰	۳۱۰ تا ۲۴۰	۲/۳
ژئوفیزیک	۴/۶ - ۹/۲	۳/۸ - ۲/۱	۸۵	۳ تا ۰	۳۱۰ تا ۲۴۰	۳/۲
چیتگر	۲/۲ - ۷/۸	۱/۶ - ۸/۹	۸۷	۴ تا ۰	۳۱۰ تا ۲۴۰	۱/۹

مأخذ: نگارندگان

در سناریو سوم از لحاظ غلظت ازون سطحی روز پاک بوده است. به دلیل نبود تابش خورشید و دمای پایین سطح زمین شرایط برای تشکیل ازون سطحی فراهم نبوده است. حتی اگر باد نیز وجود داشت میزان غلظت ازون سطحی بسیار پایین تر از این مقدار ثبت شده می شده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش غلظت و پراکندگی ازون سطحی و رابطه آن با شرایط همدیدی یا سینوپتیکی جو مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نقشه‌های ترازهای مختلف، داده‌های رادیوسوند و داده‌های ایستگاه‌های آلاینده‌سنجی ابزار و داده‌های این پژوهش بوده‌اند. سه سناریو برای این پژوهش تعریف شد. سناریوی اول روز شدیدترین غلظت، سناریوی دوم روز پاک و سناریوی سوم روز ناپایدار مطلق جو و برای هر یک از سناریوها داده‌های مورد نیاز استخراج و مورد تحلیل قرار گرفتند. بررسی ۲۸ روز غلظت ازون بالای ۱۰۰ قسمت در بیلیون نشان می‌دهد که در همه این روزها شرایط همدیدی یکسان بر

شهر حاکم بوده است. قرار گرفتن پرفشار بر روی شهر و زبانه ۱۰۰۸ تا ۱۰۲۰ هکتوپاسکالی در سطح زمین بر روی شهر تهران، دمای سطح زمین بالا، فاصله بسیار زیاد میان دمای نقطه شبنم و دمای سطح زمین، فقدان باد از شرایط همدیدی حاکم بر شهر در شرایط غلظت بالای ازن سطحی بوده است. تحلیل ۲۴ ساعته نیز روند رو به افزایش در نیمه روز تا عصر را نشان می‌دهد. از نظر شرایط همدیدی، بهترین حالت برای برقراری شرایط هوای پاک عبارت است از برقراری شرایط ناپایدار به نحوی که شهر در پیشانی ناوه قرار بگیرد و در سطح زمین باد با سزعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه برقرار باشد. در سناریو دوم برای شهر تهران این حالت برقرار بوده است.

از لحاظ رابطه باد و زدودن آلاینده‌ها پژوهش‌های (Kim, et al, 2015, Yansui Liu, et al, 2020, Ayansina, et al, 2015) با این پژوهش همخوانی دارد.

از لحاظ حاکم شدن شرایط پرفشار و قرار گرفته پشته در محدوده مطالعه و نقش آن در افزایش غلظت ازن سطحی (Han (2019) و Wang (2016) که برای شرق چین انجام شده است و Bloomer (2009) که برای شرق آمریکا انجام شده است با این پژوهش همخوانی دارد. رابطه میان بارش و غلظت ازن سطحی پژوهش (Giaccone (2019) مؤید پژوهش نگارنده می‌باشد.

از لحاظ بررسی رابطه شاخص‌های ناپایداری و غلظت ازن سطحی این پژوهش با مطالعات (Kim (2021) و همکارانش که برای کشور کره جنوبی انجام شده مطابقت دارد.

منابع

- ۱- آروین عباسعلی (۱۳۹۱): بررسی تغییرات شبانه‌روزی ازن تروپوسفری اصفهان، سپهر دوره ۲۲ شماره ۴۷ صص ۴۲ - ۵۴
- ۲- بیدختی عباسعلی، شرعی زهرا (۱۳۸۶): بررسی تغییرات ازن سطحی در محدوده ایستگاه سینوپتیک (هواشناسی) موسسه ژئوفیزیک محیط شناسی، دوره ۳۳ شماره ۴۲ صص ۶۳ - ۷۴
- ۳- جعفری عقی‌آباد، محمد؛ علیجانی، بهلول (۱۳۹۱): تحلیل اقلیمی تغییرات ماهانه و فصلی ازن سطحی شهر فیروزکوه، پژوهش-های اقلیم شناسی پاییز ۱۳۹۱- شماره ۱۱ صص ۱-۱۴
- ۴- خوشحال دستجردی جواد غازی ایران بهیار محمدباقر عزتیان ویکتوریا (۱۳۸۶) تحلیل و بررسی تغییرات ازن شهر اصفهان، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، سال: (۱۳۸۶): | دوره: ۲۲ | شماره ۱ (ویژه نامه جغرافیا) صص: ۱۳۳- ۱۵۴
- ۵- محمدی ناهیده، ظروفچی بنیس خالد، شاکری مسعود، شاکرخطیبی محمد، فاتحی فر اسماعیل، محمودیان امیر (۱۳۹۶): تحلیل ارتباط بین ازن سطحی و اکسیدهای نیتروژن در هوای شهر تبریز، نشریه: مهندسی عمران و محیط زیست (دانشکده فنی) سال: ۱۳۹۶، دوره: ۴۷، شماره ۱ (پیاپی ۸۶) صص ۱۰۷-۱۱۴
- ۶- ویکتوریا عزتیان، ابراهیم اسعدی اسکویی (۱۳۹۰): بررسی نوسانات ازن سطحی در شهر اصفهان، نیوار دوره ۳۵، ۷۳-۷۲.

- 7- Bloomer, B.J., Stehr, J.W., Piety, C.A., Salawitch, R.J., Dickerson, R.R., (2009): Observed Relationships Of Ozone Air Pollution With Temperature And Emissions. *Geophys. Res.Lett.* 36, 269–277.
- 8- Camalier, L., Cox, W., Dolwick, P., (2007): The Effects Of Meteorology On Ozone In Urban Areas And Their Use In Assessing Ozone Trends. *Atmos. Environ.* 41, 7127–7137. Chan, C.K., Yao, X., 2008. Air Pollution In Mega Cities In China. *Atmos. Environ.* 42, 1–42.
- 9- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Estimates And 25-Year Trends Of The Global Burden Of Disease Attributable To Ambient Air Pollution: An Analysis Of Data From The Global Burden Of Diseases Study 2015, *Lancet*, 389, 1907–1918, 2017.
- 10- Han Han Jane Liu¹, Lei Shu, Tijian Wang, Huiling Yuan, (2019): Local And Synoptic Meteorological Influences On Daily Variability Of Summertime Surface Ozone In Eastern China, *Atmospheric Physic And Chemistry*.
- 11- Honglong Yang ,Chao Lu ,Yuanyuan Hu ,Pak-Wai Chan, Lei Li 3, And Li Zhang, (2020): Effects Of Horizontal Transport And Vertical Mixing On Nocturnal Ozone Pollution In The Pearl River Delta, *Atmosphere*, <https://doi.org/10.3390/Atmos13081318>
- 12- Hyun Cheol Kima, Dasom Lee Fong, Ngana Byeong (2021): Synoptic Weather And Surface Ozone Concentration In South Korea, *Atmospheric Environment Volume 244*, 1 January 2021, 117985, <https://doi.org/10.5194/Acp-2019-494>
- 13- Jacob, D.J., Winner, D.A., (2009): Effect Of Climate Change On Air Quality. *Atmos. Environ.* 43,51–63.
- 14- Lin Tang, Deliang Chen, Per-Erik Karlsson, Yongfeng Gu, Tinghai Ou – (2009): Synoptic Circulation And Its Influence On Spring And Summer Surface Ozone Concentrations In Southern Sweden, *Boreal Environment Research* 14: 889–902, ISSN 1239-6095 (Print) ISSN (Online).
- 15- Liu, J., Wang, L., Li, M., Liao, Z., Sun, Y., Song, T., Gao, W., Wang, Y., Li, Y., Ji, D., Hu, B., Kerminen, V.-M., Wang, Y., Kulmala, M., (2019a): Quantifying The Impact Of Synoptic Circulation Patterns On Ozone Variability In Northern China From April To October 2013–2017. *Atmos. Chem. Phys.* 19, 14477–14492.
- 16- Lei Shu, Tijian Wang, Han Han, Min Xie, Pulong Chen, Mengmeng Li, Haowu, (2019): Summertime Ozone Pollution In The Yangtze River Delta Of Eastern China During 2013–2017: Synoptic Impacts And Source Apportionment, *Environmental Pollution Volume 257*, February 2020, 113631.
- 17- Monks, P. S., Archibald, A. T., Colette, A., Cooper, O., Coyle, Derwent, R., Fowler, D., Granier, C., Law, K. S., Mills, G. E., Stevenson, D. S., Tarasova, O., Thouret, V., Von Schneidemesser, E., Sommariva, R., Wild, O., And Williams, M. L.: Tropospheric Ozone And Its Precursors From The Urban To The Global Scale From Air Quality To Short-Lived Climate Forcer, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 8889–8973.
- 18- R J Pope, E W Butt, M P Chipperfield¹, R M Doherty, S Fenech, (2016): The Impact Of Synoptic Weather On UK Surface Ozone And Implications For Premature Mortality, *Environmental Research*, DOI 10.1088/1748-9326/11/12/124004.
- 19- Shen, L., Mickley, L. J., And Tai, A. P. K.: Influence Of Synoptic Patterns On Surface Ozone Variability Over The Eastern United States From (1980): To 2012, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 10925–1093.
- 20- Verstraeten, W. W., Neu, J. L., Williams, J. E., Bowman, K. W. Worden, J. R., And Boersma, K. F. Rapid Increases In Tropospheric Ozone Production And Export From China, *Nat. Eosci.*, 8, 690.

- 21- Wang, T., Wei, X. L., Ding, A. J., Poon, C. N., Lam, K. S., Li, Y. S., Chan, L. Y., And Anson, M.: Increasing Surface Ozone Concentrations In The Background Atmosphere Of Southern China, (1994–2007): Atmos. Chem. Phys., 9, 6217–6227.
- 22- Xi Chen, Nan Wang, Gang Wang, Zaihua Wang, Hui Chen, Chunlei Cheng, Mei Li (2020): The Influence Of Synoptic Weather Patterns On Spatiotemporal Characteristics Of Ozone Pollution Across Pearl River Delta Of Southern China, JGR: Atmospheres, Volume 127, Issue 2116 November 2022 E2022jd037121.
- 23- Yang Zhang, Huiting Mao, Aijun Ding, Derong Zhou, Congbin Fu, (2013): Impact Of Synoptic Weather Patterns On Spatio-Temporal Variation In Surface O₃ Levels In Hong Kong During 1999–2011, Atmospheric Environment Volume 73, July 2013, Pages 41-50
- 24- Yansui Liu, Yang Zhou, Jiabin Lu (2020): Exploring The Relationship Between Air Pollution And Meteorological Conditions In China Under Environmental Governance, Nature Scientific Reports) 10:14518.
- 25- Yueming Dong, Jing Lia, Jianping Guob, Zhong Jing, Jian Ga, Yiqi Chu, (2020): The Impact Of Synoptic Patterns On Summertime Ozone Pollution In The North China Plain, Science Of The Total Environment Volume 735, 15 September 2020, 139559.