

## تحلیل اثر الگوی سینوپتیکی رخداد مخاطره آمیز موج گرمای تابستان ۱۳۹۲ و فوت ناشی از آلودگی شهر تهران



مریم ثناپی (M\_sanaei@sbu.ac.ir)

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

مجید خانمحمدی\*

دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه تهران

حسین محمدی (Hmohammadi@ut.ac.ir)

استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۲/۹، تاریخ پذیرش ۱۳۹۴/۲/۳۱)

### چکیده

دما از عناصر اساسی اقلیم است. بررسی تغییرات ناگهانی یا کوتاه‌مدت و درازمدت و تأثیر آن بر ساختار آب‌وهوای کشور اهمیت بسزایی دارد. از طرفی فراوانی، شدت و دوام دماهای افراطی، در پی تغییرات اقلیمی دهه‌های اخیر، می‌تواند بحران‌های مهمی را در شرایط اکوسیستم‌ها پدید آورد. این مخاطرات مواردی مانند ذوب سریع برف، سیلاب، آتش‌سوزی، بهمن و... تا شیوع امراض و کاهش محصولات کشاورزی را در بر می‌گیرد. دماهای افراطی در اثر پایداری هوا و نزول و فرونشینی هوا در کلانشهرها اغلب به تشدید آلودگی هوا منجر می‌شود. از عواقب افزایش آلودگی هوا در درجه اول بروز بیماری‌های تنفسی، تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی و همچنین افزایش مرگ‌ومیر در شهرهاست. در ایران هشت کلانشهر به‌عنوان شهرهای آلوده معرفی شده‌اند که اولین و مهم‌ترین آنها شهر تهران است؛ به طوری که از هر سه روز در سال، یک روز توسط یک یا چند آلاینده آلوده است. شرایط توپوگرافی و محصور شدن در بین سد کوهستانی البرز نیز به تشدید این وضعیت می‌انجامد. تهران در تابستان ۱۳۹۲ (تیر و مرداد) در پی استیلای امواج گرما و رسیدن دما به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد، براساس گزارش سازمان هواشناسی به رکورد گرم‌ترین روزهای سال در ۶۰ سال گذشته رسید [۱]؛ به طوری که بنابر گزارش اداره کل حفاظت محیط زیست تهران پایداری هوا و کاهش کیفیت هوا سبب بروز شرایط ناسالم به‌مدت سه هفته پیاپی در تهران شد. در پژوهش پیش رو، به منظور شناسایی منشأ و الگوی سینوپتیکی امواج گرمای رخ داده، از داده‌های دمای سطح زمین سازمان هواشناسی و همچنین نقشه‌های فشار، ارتفاع و دما در ترازهای سطح زمین، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه NCEP/NCAR و نمودار اسکیتوی پایگاه دانشگاه ایومینگ آمریکا و همچنین آمار فوت‌شدگان بیماری‌های قلبی - عروقی، بیماری‌های تنفسی و سرطانی در زمان مذکور از بخش انفورماتیک سازمان بهشت زهرا استفاده شد. نتایج نشان داد که استقرار زبانه‌های کم‌فشار گنگ در سطح زمین و پرفشار آرزور و لایه وارونگی در تراز میانی و بالای جو، سبب پایداری و افزایش دما و در پی آن حبس شدن آلاینده‌ها در سطح زمین و کاهش کیفیت هوا در تهران شد که در نهایت افزایش دوبرابری مرگ‌ومیر بیماران تنفسی را در پی داشت.

**واژگان کلیدی:** آلودگی هوای تهران، الگوی سینوپتیکی، بیماران تنفسی، تابستان ۱۳۹۲، مرگ‌ومیر، موج گرما.

## مقدمه

دانش مخاطرات عبارت است از تلاش برای شناخت واقعه، پدیده، فرایند، حالت، وضعیت، تفکر و جهان‌بینی که ممکن است برای فرد، جمعیت، جامعه و محیط، زیان جدی جانی و معنوی و جسمی داشته باشد [۱۱]

استفاده بیش از حد سوخت‌های فسیلی، در پی آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به وجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، توفان، تگرگ، توفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، خشکسالی و... است. افزایش این رخدادها در سال‌های اخیر به دغدغه اصلی اقلیم‌شناسان و سران کشورهای جهان تبدیل شده است. دما به‌عنوان شاخصی از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی شناخت هواست و نظر به دریافت نامنظم انرژی خورشیدی به‌وسیله زمین، دستخوش تغییرات بسیار است که خود سبب تغییرات گسترده دیگری در سایر عناصر هواشناسی می‌شود [۶].

آلودگی هوا را می‌توان چنین تعریف کرد: «وجود هر نوع آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز یا تابش پرتوزا و غیرپرتوزا در هوا به تعداد و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر جانداران به خطر اندازد یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد آورد». عوامل متعددی مانند توپوگرافی زمین، خصوصیات آلاینده‌ها، آزادسازی آلاینده‌ها و خصوصیات هواشناسی بر آلودگی هوا تأثیر می‌گذارند. پارامترهای جوی مانند اندازه و جهت باد، رطوبت نسبی و غیره در یک منطقه، آلودگی هوا را تحت تأثیر قرار خواهد داد. استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، و در پی آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی سبب شده است که پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به وجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره زمین و افزایش موج‌های گرمایی است. دمای زیاد و استیلای شرایط پایداری هوا در کلانشهرها به‌طور معمول با افزایش آلودگی هوا و کاهش کیفیت هوا همراه است. از عواقب افزایش آلودگی هوا در درجه اول بروز بیماری‌های تنفسی، تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی و افزایش مرگ‌ومیر در شهرهاست. در تهران در بیش از دوسوم روزهای سال (حدود ۲۵۰ روز)، پدیده وارونگی هوا برقرار است. این حالت بیشتر در پاییز و زمستان روی می‌دهد. عوامل مختلفی بر مرگ‌ومیر انسان‌ها تأثیرگذارند و براساس مطالعات اپیدمیولوژیک دمای زیاد هوا یکی از پنج عامل دارای ارتباط قوی با مرگ‌ومیر است. تغییرات فصلی، اپیدمی آنفلوآنزا،

تغییرات ناگهانی هوا و ... از جمله عوامل دیگرند. از طرفی اثر آلودگی هوا بر سلامت انسان از دیرباز مورد توجه بوده است. مهم‌ترین آثار آلودگی هوا علاوه بر آثار حاد، آثار درازمدت و مزمن آن (بیماری‌های تنفسی و قلبی، بیماری‌های ژنتیکی و غیره) است [۱۸]. در تیر و مرداد ۱۳۹۲ هر دو عامل دمای زیاد هوا و آلودگی هوا شرایط خطرناکی را برای سلامت ساکنان تهران پدید آورد؛ به طوری که شرایط موجود در پی افزایش دما و پایداری هوا سبب حبس شدن آلاینده‌ها در سطح زمین و کاهش کیفیت هوا در تهران شد. پژوهش حاضر با هدف شناخت الگوی سینوپتیکی حاکم بر موج گرمای رخ داده و بررسی تأثیر دما و آلودگی هوا بر نرخ مرگومیر انجام گرفت.

در تحقیقی به تأثیر موج گرمای ۲۰۰۳ بر مرگومیر در شانگهای چین پرداخته شد. در این سال شانگهای با داغ‌ترین تابستان در بیش از ۵۰ سال گذشته روبه‌رو شد و کهنسالان (بالای ۶۵ سال) بیشتر در معرض خطر این موج گرما بودند [۱۳]. اواخر جولای سال ۱۹۸۷ موج گرمایی در سراسر یونان اتفاق افتاد که در نتیجه آن مرگومیر دوبرابر شد، به طوری که در زمان تسلط موج گرما (۲۰ تا ۳۱ جولای) مرگومیر ثبت شده در یونان به ۱۰۰۰ نفر رسید. موج گرمای مذکور با شاخص زیست‌اقلیمی<sup>۱</sup> شاخص ناراحتی (DI) میانگین دما و رطوبت پوست محاسبه شد. نتایج نشان داد که تنش حرارتی بسیار شدید بوده است. همچنین بر اساس شاخص کیفیت هوا (AQSI) آلودگی در آتن به‌ویژه در مرکز شهر بسیار زیاد بود و این وضعیت همراه با آثار حرارتی موج گرما تنش و استرس را افزایش داد و سلامت افراد را به خطر انداخت [۱۴]. در تحقیقی آثار موج گرمایی ۱۹۹۵ ایالات متحده آمریکا بررسی و مشخص شد این موج گرمایی در مدت زمانی کوتاه اما با شدت زیاد در نیمه جولای ۱۹۹۵ موجب مرگ ۸۳۰ نفر شد که ۵۲۵ نفر آنها در شیکاگو و بیشتر کهنسال بودند [۱۵]. در بررسی و ارزیابی موج گرمایی تابستان ۲۰۰۳ اروپا به لزوم اقدام مناسب برای جلوگیری از مرگومیر ناشی از موج گرما تأکید کرد [۱۲]. بررسی افزایش مرگومیر در طی وقوع ۱۷ موج گرمایی در تهران نشان داد که ۱۰۶۹ نفر فوت شدند؛ یعنی به‌ازای هر موج گرمایی در حدود ۹ نفر فوت رخ داد و نرخ مرگومیر ۳ تا ۹ درصد افزایش یافت. به‌عبارت دیگر افزایش دما سبب افزایش آلودگی هوا و در نهایت افزایش نرخ مرگومیر شد [۱۱]. در بررسی و تهیه نقشه ریسک آلودگی شهر تهران با استفاده از منطق فازی مشخص شد که مناطق مرکزی و جنوبی و به‌ویژه مناطق جنوب غربی ریسک بیشتری نسبت به مناطق شمالی و شمال شرقی شهر دارد [۴]. در شناسایی و

1. Physiological Equivalent Temperature

تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو در آلودگی شهر اصفهان مشخص شد که وجود کانون‌های پرفشار سبب پایداری و تراکم ذرات بر روی شهر اصفهان شده است [۵]. حاصل تحلیل الگوی سینوپتیکی وارونگی‌های شدید شهر تهران، شناسایی چهار الگوی سینوپتیکی بود: A, B, C, D. استقرار پشته عمیق در تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال سبب انتقال هوای گرم عرض‌های پایین بر روی هوای سرد سطح زمین شد [۶،۹]. در تحقیق دیگری در زمینه تحلیل سینوپتیکی آلودگی شهر تهران نمودارهای اسکیتی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که استقرار پرفشار منطقه‌ای از نوع سامانه‌های عرض‌های میانی سبب افزایش غلظت آلاینده‌ها به بیش از دو یا سه برابر حد مجاز می‌شود [۱].

## داده‌ها و روش‌ها

### موقعیت منطقه تحقیق

شهر تهران با مساحتی حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع در جنوب کوه‌های البرز واقع شده است [۲۱] و از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع تهران از سطح دریا در حدود ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است. در میدان تجریش ارتفاع حدود ۱۳۰۰ متر و در میدان راه‌آهن ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریاست. شایان ذکر است که این اختلاف سطح به علت گستردگی و وسعت زیاد این شهر است. شیب از شمال به جنوب در دامنه کوهستان شمیرانات ۱۰ تا ۱۵ درصد، از تجریش تا تپه‌های عباس‌آباد ۳ تا ۵ درصد، از عباس‌آباد تا خیابان انقلاب ۲ درصد، و از مرکز شهر تهران تا کناره ۱ درصد است. ارتفاعات البرز شمالی و کوه‌های محدود بی‌بی‌شهربانو دیواره شرقی شهر را تشکیل می‌دهند؛ اما نواحی جنوبی و غربی تهران چندان مرتفع نیست. در نتیجه سدهای کوهستانی شمال و شرق مانع خروج مواد زایدی می‌شود که توسط بادهای غربی (بادهای غالب) به داخل فضای شهری آورده می‌شوند که سبب آلوده شدن هوای شهر به‌ویژه نواحی مرکزی و شرقی می‌شود [۱۰]. تهران از آلوده‌ترین شهرهای جهان است. آمار کیو (Q) از شاخص‌های جهانی است که مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوای شهرهای بزرگ را ثبت می‌کند. وزارت بهداشت براساس این آمار، میزان مرگ‌ومیر سالانه در شهر تهران را بیش از ۴۴۰۰ نفر بر اثر آلودگی هوا اعلام کرده است. در واقع در هر ۲۴ ساعت ۱۲ نفر در تهران بر اثر آلودگی هوا به کام مرگ می‌روند؛ به عبارت دقیق‌تر در هر دو ساعت یک نفر.

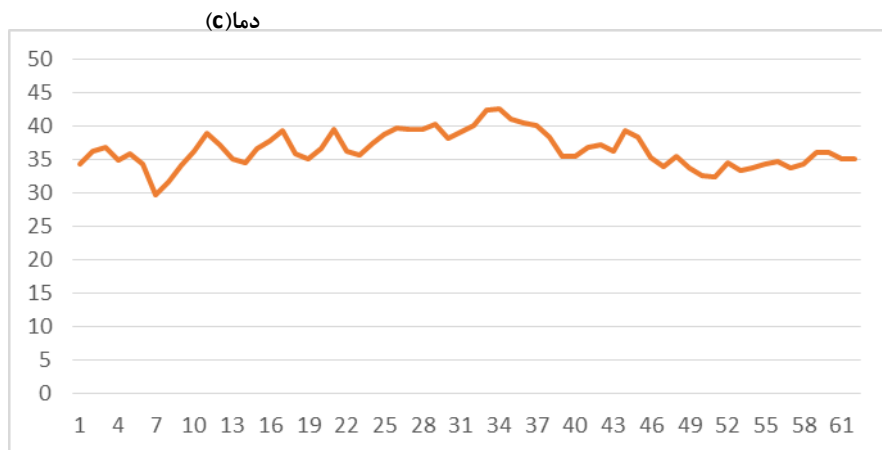
حداقل فوتی بر اثر ذرات معلق هوا سالانه ۲۶۵۸ نفر، بر اثر مونوکسید کربن ۱۵ نفر، بر اثر ازن ۷۲ نفر و بر اثر دی‌اکسید گوگرد ۸۹۶ نفر است.

### دمای تیر و مرداد ۱۳۹۲ تهران

اگرچه تعریف توافق‌شده جهانی از موج گرما وجود ندارد، چنین رویدادهایی شامل یک دوره چندروزه یا بیشتر با درجه حرارت زیاد که به اندازه کافی بیشتر از میانگین باشد می‌شود و به علت استرس فشاری که ایجاد می‌کند به مرگ‌ومیر انسان و آسیب رساندن به پوشش گیاهی منجر می‌شود [۱۵]. چنین حوادث فوق‌العاده‌ای به خصوص با درجه حرارت‌های خیلی زیاد و پایدار با آثار چشمگیر بر شمار مرگ‌ومیر و اقتصاد منطقه‌ای و اکوسیستم‌ها شناخته می‌شوند. تعاریف موج گرما از لحاظ کمی، طول مدت، مقدار شدت بین حداقل و حداکثر باهم فرق دارند [۱۳]. دوره‌های شدیدی از گرما که برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها بحران ایجاد کند امواج گرمایی نام دارد. براساس تعریف ساده انجمن هواشناسی آمریکا، موج گرمایی دوره‌ای از ناهنجاری‌ها و گرماهای ناخوشایند است که به‌طور معمول با رطوبت هوا همراه است. به هر حال موج‌های گرمایی بر پایه عنصر دما شکل می‌گیرند و انحراف از میانگین‌های دما در دوره گرم و تداوم آن را می‌توان موج گرما تلقی کرد. موج گرما اصطلاحی است که به یک دوره طولانی غیرمعمول هوای گرم بالاتر از میانگین در یک منطقه خاص گفته می‌شود. موج‌های گرمایی جزء رویدادهای فرین<sup>۱</sup> محسوب می‌شوند که با روند افزایشی دما در مناطق خشک در دوره سرد و دوره گرم رخ می‌دهند [۱۶].

در پی وقوع موج گرما، دما در تابستان ۱۳۹۲ (تیر و مرداد) براساس گزارش سازمان هواشناسی به رکورد گرم‌ترین روزهای سال در ۶۰ سال گذشته رسید (شکل ۱). دامنه وسعت موج گرمای رخ داده با توجه به اخبار منتشرشده از خبرگزاری‌ها مختص کشور ایران نبود، بلکه در چین و بیشتر کشورهای اروپایی دماهای زیاد گزارش شد که حاکی از استیلای موج گرم بر این نواحی بوده است. این شرایط در تهران سبب گرمای بی‌سابقه شد، به طوری که دمای بیشینه به‌طور میانگین در تیرماه به ۴۰/۵ و در مردادماه به ۴۲/۵ درجه سانتی‌گراد رسید که در قیاس با سال گذشته ۱/۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد در تیر و مرداد افزایش داشت (جدول ۱). این مقدار در مقایسه با دمای دوازده‌ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۹) در تیر و مرداد به ترتیب ۲/۵ تا ۶/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشت (جدول ۱). طبق گزارش ماهانه اداره کل هواشناسی تهران این افزایش دما نسبت به میانگین بلندمدت در تیرماه ۲ درجه و در مردادماه ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشت. در

بررسی روند دما در تیر و مرداد ۱۳۹۲ (شکل ۱) ملاحظه می‌شود که موج گرمای رخ داده از چند موج گرمایی تشکیل شده بود که در پی تضعیف یکی، دیگری شدت یافت. هر موج گرما بر روی نمودار با یک جهش مشخص می‌شود. امواج گرما در پی هم و با افزایش دما مشخص می‌شوند. این روند افزایشی در دوم مرداد که در نمودار با روز ۳۳ مشخص شده به اوج رسید.



شکل ۱. نمودار دمای بیشینه در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در تهران

جدول ۱. میانگین دمای بیشینه تیر و مرداد در ایستگاه مهرآباد تهران در سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۷۹-۱۳۹۱

| ردیف | ماه/ سال | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۱ | ۱۳۷۹-۱۳۹۱ |
|------|----------|------|------|-----------|
| ۱    | تیرماه   | ۴۰/۴ | ۳۹/۲ | ۳۷        |
| ۲    | مردادماه | ۴۲/۶ | ۳۹/۶ | ۳۶/۲      |

#### کیفیت هوا در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در تهران

به‌طور معمول کیفیت هوا در شهرها پس از ثبت مقادیر آلاینده براساس شاخص‌هایی تعریف می‌شود. از شاخص‌های مهم در این زمینه می‌توان به شاخص کیفیت هوا AQI اشاره کرد. به‌طور کلی AQI شاخص دیگری برای گزارش روزانه کیفیت هواست [۱۷]. این شاخص مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن آن) آگاه می‌سازد و آثار سلامت مرتبط با آن را ارائه می‌کند. به‌عبارتی، AQI به آثار سلامت ناشی از مواجهه با هوای آلوده (ناسالم) می‌پردازد. شاخص کیفیت هوا برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن، ازن سطح زمین، مونواکسید

کربن و دی اکسید گوگرد محاسبه می‌شود و کیفیت هوا را در شش دسته خوب (Good)، متوسط (Moderate)، ناسالم برای گروه‌های حساس (Unhealthy for sensitive groups)، ناسالم (Unhealthy)، خیلی ناسالم (Very unhealthy) و خطرناک (Hazardous) قرار می‌دهد.

در تهران ۳۸ ایستگاه پایش فعال وجود دارد. از این تعداد ۱۶ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست است که در فرهنگسرای بهمن، امام خمینی، پارک ترافیک پونک، پارک رازی، پارک سلامت، پارک شکوفه، پارک قائم، پاسداران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشگاه علم و صنعت، سوهانک، شهرداری منطقه ۱۵، شهرک چشمه، فرمانداری شهر ری، قلهک، سرخه‌حصار، و پردیسان واقع شده‌اند و ۲۱ ایستگاه تحت نظر شرکت کنترل کیفیت هوا مشغول فعالیت‌اند. داده‌های کیفیت هوا در پژوهش پیش رو مربوط به اداره کل حفاظت محیط زیست شهر تهران است که میانگین داده‌های ایستگاه‌های نام‌برده، به‌همراه دمای بیشینه آن در ماه‌های تیر و مرداد استفاده شد (جدول ۲). با بررسی روزهایی که شرایط ناسالم حاکم بوده و نمودار سیر دمای بیشینه (شکل ۱) ملاحظه می‌شود که هر موج گرما و جهش در نمودار دمای بیشینه با بروز شرایط ناسالم همراه بوده است، به‌طوری که طول مدت موج گرما با تداوم شرایط ناسالم همراه است. این بدان معناست که وقوع موج گرما سبب آلودگی طولانی‌مدت در تهران بوده است. به‌طوری که از ۱۶ مرداد پس از کاهش دما و تضعیف موج گرما شرایط سالم دوباره برقرار شد. از این رو شناسایی ماهیت و الگوی سینوپتیکی موج گرمای رخ داده، به شناسایی شرایط ایجاد آلودگی تهران در زمان مذکور منجر خواهد شد. بدین منظور نقشه‌های هوا در سطح زمین و تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ از پایگاه NCEP/NCAR دریافت شد. چون داده‌های دمای بیشینه در ساعت ۱۵ به‌وقت محلی توسط سازمان هواشناسی کشور گزارش می‌شود، نقشه‌ها نیز برای ساعت ۱۲ ظهر (ساعت ۱۵ به وقت محلی) اخذ شد. در تحلیل نقشه‌ها مشخص شد که منشأ و الگوی امواج گرمای رخ داده یکی بوده و در واقع امواج گرمایی، یک موج گرمایی بادوام و طولانی بوده است؛ از این رو برای جلوگیری از اطاله کلام در ادامه تنها به بررسی روز اوج با بیشترین دما یعنی دوم مرداد (۲۴ جولای) پرداخته می‌شود.

در بررسی میزان مرگ‌ومیر در طی بروز شرایط ناسالم با حاکمیت ذرات معلق در هوای شهر تهران آمار فوت‌شدگان در سه بخش بیماری‌های تنفسی، قلبی-عروقی و سرطان که از بخش انفورماتیک سازمان بهشت زهرا اخذ شد، تعداد فوت‌شدگان در بخش‌های مذکور در تاریخ‌های مشخص شده استخراج شد (جدول ۳). شایان توضیح است که فوت بر اثر بیماری‌های سرطانی شامل سرطان خون، لوزالمعده، ریه، کبد و سرطان مغزی و بیماری‌های قلبی-عروقی

شامل ایست و سکنه قلبی، نارسایی قلبی و سکنه مغزی و بیماری‌های تنفسی شامل آسم، نارسایی تنفسی، آسم ریه، پنومونی و بیماری‌های ریوی است.

جدول ۲. کیفیت هوای شهر تهران و دمای بیشینه تیر و مرداد ۱۳۹۲

| ردیف | تاریخ / نوع<br>آلاینده | $Pm_{2.5}$ | $Pm_{10}$ | $So_2$ | $No_2$ | $O_3$ | CO | وضعیت<br>کلی | دمای<br>بیشینه |
|------|------------------------|------------|-----------|--------|--------|-------|----|--------------|----------------|
| ۱    | ۱۳۹۲/۴/۲               | ۱۱۲        | ۸۰        | ۳۱     | ۵۹     | ۵۳    | ۳۸ | ناسالم       | ۲۶/۴           |
| ۲    | ۱۳۹۲/۴/۳               | ۱۲۲        | ۹۳        | ۳۴     | ۵۸     | ۶۲    | ۵۳ | ناسالم       | ۳۷             |
| ۳    | ۱۳۹۲/۴/۴               | ۱۳۰        | ۱۰۲       | ۳۳     | ۵۴     | ۵۴    | ۳۱ | ناسالم       | ۳۵             |
| ۴    | ۱۳/۴/۱۲                | ۱۰۱        | ۶۷        | ۲۷     | ۵۴     | ۳۴    | ۳۳ | ناسالم       | ۳۷/۲           |
| ۵    | ۱۳۹۲/۴/۱۵              | ۱۰۲        | ۶۹        | ۲۷     | ۶۰     | ۶۲    | ۴۵ | ناسالم       | ۲۶/۸           |
| ۶    | ۱۳۹۲/۴/۱۸              | ۱۰۲        | ۷۷        | ۲۴     | ۶۱     | ۵۳    | ۴۲ | ناسالم       | ۳۶             |
| ۷    | ۱۳۹۲/۴/۲۴              | ۱۱۶        | ۸۶        | ۲۴     | ۵۲     | ۵۰    | ۴۰ | ناسالم       | ۳۷/۴           |
| ۸    | ۱۳۹۲/۴/۲۵              | ۱۱۲        | ۸۶        | ۲۱     | ۵۵     | ۵۳    | ۴۱ | ناسالم       | ۳۸/۸           |
| ۹    | ۱۳۹۲/۴/۳۰              | ۱۲۲        | ۱۰۳       | ۲۶     | ۴۹     | ۵۵    | ۳۶ | ناسالم       | ۳۸/۲           |
| ۱۰   | ۱۳۹۲/۴/۳۱              | ۱۱۴        | ۸۶        | ۲۸     | ۵۵     | ۵۳    | ۵۰ | ناسالم       | ۳۹/۲           |
| ۱۱   | ۱۳۹۲/۵/۱               | ۱۱۶        | ۸۶        | ۲۸     | ۵۷     | ۶۰    | ۴۴ | ناسالم       | ۴۰/۲           |
| ۱۲   | ۱۳۹۲/۵/۲               | ۱۱۷        | ۸۷        | ۲۸     | ۵۸     | ۶۰    | ۵۱ | ناسالم       | ۴۲/۴           |
| ۱۳   | ۱۳۹۲/۵/۳               | ۱۰۲        | ۷۸        | ۲۴     | ۵۸     | ۴۵    | ۵۹ | ناسالم       | ۴۲/۶           |
| ۱۴   | ۱۳۹۲/۵/۴               | ۱۰۶        | ۸۷        | ۲۵     | ۴۶     | ۴۷    | ۴۴ | ناسالم       | ۴۱/۲           |
| ۱۵   | ۱۳۹۲/۵/۵               | ۱۱۰        | ۹۹        | ۲۵     | ۴۸     | ۵۰    | ۳۹ | ناسالم       | ۴۰/۶           |
| ۱۶   | ۱۳۹۲/۵/۶               | ۱۱۴        | ۸۲        | ۲۴     | ۴۹     | ۵۷    | ۴۶ | ناسالم       | ۴۰/۲           |
| ۱۷   | ۱۳۹۲/۵/۷               | ۱۲۲        | ۸۹        | ۲۷     | ۶۶     | ۴۸    | ۶۱ | ناسالم       | ۳۸/۴           |
| ۱۸   | ۱۳۹۲/۵/۸               | ۱۱۰        | ۹۳        | ۲۴     | ۵۵     | ۵۲    | ۳۴ | ناسالم       | ۳۵/۶           |
| ۱۹   | ۱۳۹۲/۵/۱۰              | ۱۰۵        | ۸۲        | ۲۷     | ۴۷     | ۵۲    | ۳۱ | ناسالم       | ۳۷             |
| ۲۰   | ۱۳۹۲/۵/۱۱              | ۱۰۲        | ۷۸        | ۲۲     | ۴۲     | ۵۰    | ۳۲ | ناسالم       | ۳۷/۲           |
| ۲۱   | ۱۳۹۲/۵/۱۲              | ۱۱۰        | ۸۴        | ۲۲     | ۵۲     | ۵۸    | ۳۵ | ناسالم       | ۳۶/۴           |
| ۲۲   | ۱۳۹۲/۵/۱۳              | ۱۱۶        | ۸۶        | ۲۶     | ۵۶     | ۵۱    | ۵۳ | ناسالم       | ۳۹/۴           |
| ۲۳   | ۱۳۹۲/۵/۱۴              | ۱۲۰        | ۸۵        | ۲۹     | ۶۵     | ۵۳    | ۵۳ | ناسالم       | ۳۸/۴           |
| ۲۴   | ۱۳۹۲/۵/۱۵              | ۱۲۴        | ۱۰۳       | ۲۹     | ۴۹     | ۴۲    | ۳۱ | ناسالم       | ۳۵/۴           |
| ۲۵   | ۱۳۹۲/۵/۱۶              | ۱۱۶        | ۹۲        | ۳۱     | ۵۲     | ۵۵    | ۳۱ | ناسالم       | ۳۴             |



جدول ۳. تعداد فوت‌شدگان بر اثر بیماری‌های سرطانی، قلبی-عروقی و تنفسی<sup>۱</sup>

| ردیف | تاریخ / شماره مرگ‌ومیر | بیماران سرطانی | بیماران قلبی-عروقی | بیماران تنفسی |
|------|------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| ۱    | ۱۳۹۲/۴/۲               | ۹              | ۵۲                 | ۲۲            |
| ۲    | ۱۳۹۲/۴/۳               | ۱۸             | ۵۱                 | ۱۶            |
| ۳    | ۱۳۹۲/۴/۴               | ۱۴             | ۴۹                 | ۱۰            |
| ۴    | ۱۳/۴/۱۲                | ۱۱             | ۶۱                 | ۱۰            |
| ۵    | ۱۳۹۲/۴/۱۵              | ۱۶             | ۵۶                 | ۱۲            |
| ۶    | ۱۳۹۲/۴/۱۸              | ۱۳             | ۵۰                 | ۱۷            |
| ۷    | ۱۳۹۲/۴/۲۴              | ۸              | ۵۹                 | ۱۴            |
| ۸    | ۱۳۹۲/۴/۲۵              | ۸              | ۵۵                 | ۱۳            |
| ۹    | ۱۳۹۲/۴/۳۰              | ۱۵             | ۶۲                 | ۱۱            |
| ۱۰   | ۱۳۹۲/۴/۳۱              | ۱۶             | ۵۱                 | ۱۶            |
| ۱۱   | ۱۳۹۲/۵/۱               | ۱۲             | ۵۷                 | ۱۶            |
| ۱۲   | ۱۳۹۲/۵/۲               | ۱۱             | ۵۲                 | ۱۱            |
| ۱۳   | ۱۳۹۲/۵/۳               | ۱۶             | ۵۰                 | ۱۲            |
| ۱۴   | ۱۳۹۲/۵/۴               | ۷              | ۵۱                 | ۹             |
| ۱۵   | ۱۳۹۲/۵/۵               | ۱۴             | ۶۱                 | ۷             |
| ۱۶   | ۱۳۹۲/۵/۶               | ۱۱             | ۶۳                 | ۱۱            |
| ۱۷   | ۱۳۹۲/۵/۷               | ۱۲             | ۴۹                 | ۱۵            |
| ۱۸   | ۱۳۹۲/۵/۸               | ۹              | ۵۵                 | ۷             |
| ۱۹   | ۱۳۹۲/۵/۱۰              | ۶              | ۴۳                 | ۱۵            |
| ۲۰   | ۱۳۹۲/۵/۱۱              | ۶              | ۴۲                 | ۱۶            |
| ۲۱   | ۱۳۹۲/۵/۱۲              | ۶              | ۴۲                 | ۸             |
| ۲۲   | ۱۳۹۲/۵/۱۳              | ۱۱             | ۶۰                 | ۶             |
| ۲۳   | ۱۳۹۲/۵/۱۴              | ۹              | ۶۰                 | ۱۶            |
| ۲۴   | ۱۳۹۲/۵/۱۵              | ۱۳             | ۵۴                 | ۱۲            |
| ۲۵   | ۱۳۹۲/۵/۱۶              | ۱۴             | ۴۱                 | ۹             |

۱. منبع: بخش انفورماتیک سازمان بهشت زهرا تهران

## یافته‌های پژوهش

تحلیل سینوپتیکی روز اوج موج گرما: دوم مرداد ۱۳۹۲ (۲۴ جولای ۲۰۱۳)

### تراز دریا (سطح زمین)

کم‌فشار گنگ بخشی از گردش موسمی هند است. شکل‌گیری این کم‌فشار از اوایل اردیبهشت آغاز می‌شود. در اواخر تیر به اوج فعالیت می‌رسد و در اواخر شهریور محو می‌شود. به سبب استقرار پرفشار آזור، گرمایش بی‌دررو از یک سو و پایداری هوا و افزایش تابش‌های کوتاه دریافتی و به دلیل نبود ابر از سوی دیگر، به گسترش این سامانه کم‌ضخامت و کم‌فشار به سوی غرب منجر می‌شود [۸]. وجود هسته‌هایی فرعی از پرفشار مهاجر بر روی دریای خزر و دریای سیاه مانع ریزش هوای خنک‌تر عرض‌های بالا بر روی منطقه شده و استیلای کم‌فشار مذکور را در سطح زمین تداوم بخشیده است.

در نقشه دمای بیشینه در دومتری سطح زمین منحنی ۳۱۵ درجه کلوین (۴۱/۸۵ درجه سانتی‌گراد) علاوه بر تهران، مناطق مرکزی کشور را دربر گرفته است و با توجه به وسعت موج گرمای رخ داده در کشورهای همسایه مشاهده می‌شود که منحنی مذکور قسمت‌هایی از کشورهای ترکمنستان، افغانستان، پاکستان و همچنین عراق، شبه جزیره عربستان تا حواشی دریای سرخ را نیز در بر گرفته است.

### تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال

در نقشه ارتفاعی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال زبانه‌های پرفشار آזור کشور را در بر گرفته است و هسته فرعی آن در شمال شرقی ایران با ارتفاع ۳۱۶۵ ژئوپتانسیل متر بسته شده است. زبانه آن تهران، شهرهای مرکزی و غربی را نیز در بر گرفته است. پرفشار آזור سبب تداوم پایداری و تداوم شرایط خشک و گرمایش در سطح زمین شده است.

جریان‌های مداری هوا در محل رودباد جنب حاره سامانه‌های پرفشاری را پدید می‌آورد که به پرفشارهای جنب حاره موسومند و سامانه‌های پویشی بزرگی هستند که محل فرونشینی هوا می‌باشند. این سامانه‌ها به دلیل گرمایش بی‌دررو و ایجاد پایداری، با هوای گرم، آفتابی و خشک همراه هستند. در دوره گرم سال زبانه‌هایی از پرفشار جنب حاره آזור که بر روی اقیانوس اطلس تشکیل می‌شود و بر روی ایران استقرار می‌یابد. قلمرو عملکرد این زبانه از تراز ۷۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال گسترش دارد و سبب حاکمیت هوایی گرم و خشک بر بخش بزرگی از ایران می‌شود [۱۹؛۲۰]. در نقشه تراز ۵۰۰ نیز استیلای پرفشار آזור مشاهده می‌شود دو هسته فرعی

یکی در عراق با ارتفاع ۲۷۳ ژئوپتانسیل متر و دیگری در شرق ایران و مرکز ایران و پاکستان با ارتفاع ۲۷۴ ژئوپتانسیل متر دیده می‌شود، زبانه‌ای مذکور کشور را احاطه کرده است.

#### نمودار اسکیوتی Skew-T/Log-P

پس از پیدایش دیده‌بانی‌های ایستگاه راوین سون (Rawinsonde)، نمودارهای ترمودینامیکی جهت ترسیم داده عمل کاوش (سوندینگ) و به‌منظور ارزیابی پایداری جو، استفاده شدند. به‌رغم پیشرفت‌های متعدد در فناوری و روش‌های پیش‌بینی، نمودارهای ترمودینامیکی به‌عنوان یک ابزار لازم برای تفسیر اوضاع جوی باقی مانده است. از نمودارهای ترمودینامیکی مورد استفاده جهت تحلیل کاوش در تحقیقات و عملیات جوی Skew-T/Log-P است. استفاده عمده این نمودار ترسیم سونداژ رادیو سوند است که نیمرخ قائم دما و نقطه شبنم را در سرتاسر جو بالای یک نقطه مشخص بر روی زمین فراهم می‌آورد. اطلاعات لازم برای رسم سونداژ از منابع گوناگونی نظیر رادیوسوندها، دراپ‌سوندها، بالن‌های اکتشافی، هواپیما، برون‌داد مدل NWP و سونداژهای ماهواره‌ای جمع‌آوری می‌شوند. از آنجا که فشار با افزایش ارتفاع در جو لگاریتمی کاهش می‌یابد، نمودار دارای خط‌هایی از فشار ثابت (isobars) با فاصله لگاریتمی (Log-P) بوده و همچنین ظاهر مورب خطوط دماهای (Skew-T) ثابت (isotherms) سبب نامیده شدن آن به نمودار skew-T/log-P شده است [۷].

از طریق نمودارهای Skew-T Log-P موارد زیر قابل دستیابی است:

- می‌توان پایداری جو را ارزیابی کرد.
  - می‌توان عناصر آب‌وهوا را در هر لایه جو دیدبانی کرد.
  - تعیین شدت پایداری، دمای همرفت، پیش‌بینی دماها و خصوصیات آب‌وهوایی.
- از آنجا که بروز آلودگی‌های شدید و طولانی‌مدت در کلان‌شهر تهران به‌طور معمول همراه با وارونگی جوی است. برای بررسی وارونگی و همچنین پایداری جوی از نمودار اسکیوتی استفاده شد. به‌طور کلی به‌غیر از تغییرات ناگهانی معکوس یا گرم شدن هوا با افزایش ارتفاع، که وارونگی دمایی نامیده می‌شود، هوای تروپوسفر به‌دلیل دور شدن از سطح زمین که منبع اصلی گرمای هواست، تمایل به خنک شدن تدریجی دارد. کاهش مقدار عادی دما با افزایش ارتفاع در تروپوسفر، افت محیطی دما نامیده می‌شود که مقدار متوسط آن ۰/۶۵ سانتی‌گراد در هر ۱۰۰ متر است [۲].

با توجه به شکل ۲ متوجه می‌شویم که در تراز ۶۷۰ هکتوپاسکال روند کاهش دما با افزایش ارتفاع ثابت مانده و روند معمولی کاهش آن (به‌ازای هر ۱۰۰۰ متر حدود ۶ درجه سانتی‌گراد)

تا ۶۳۰ هکتوپاسکال، مختل شده است. این تراز همان طور که در شکل ۲ مشاهده شد، محل استقرار پرفشار آזור بر منطقه است. از تراز یادشده تا ۴۹۰ هکتوپاسکال روند نرمال منحنی کاهش محیطی دما ادامه یافته است. در تراز حدود ۵۰۰ هکتوپاسکال وارونگی شدید دیده می شود. روند افزایش دما تا تراز ۴۳۰ با اندکی تغییر در روند آن ادامه دارد. افزایش دما در این تراز نیز با حاکمیت شرایط واچرخندی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همراه است. وارونگی دیگری از تراز ۳۳۰ تا حدود ۳۰۰ هکتوپاسکال دیده می شود. وجود شرایط واچرخندی در تراز میانی جو و به همراه افزایش دما و استیلای کم فشار گنگ در سطح زمین سبب حبس مواد آلاینده در سطح زمین و کاهش کیفیت هوا و بروز شرایط ناسالم در شهر تهران شده است. همان طور که ذکر شد از موارد کاربرد نمودارهای اسکیوتی محاسبه میزان پایداری و ناپایداری هواست. برای همین منظور شاخص های متعددی پیشنهاد شده است که یکی از آنها شاخص شوالتر<sup>۱</sup> است. این شاخص یکی از قدیمی ترین شاخص هاست که شوالتر در ۱۹۵۳ معرفی کرده است. این شاخص، پایداری کلی را برای توده های هوا بیان می کند و امکان ناپایداری را بین ترازهای ۸۵۰ تا ۵۰۰ میلی باری اندازه گیری می کند که از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$SI = T - T_1 \quad (1)$$

در آن T دمای محیطی و  $T_1$  دمای بسته هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است. مقادیر منفی این شاخص نشان می دهد که هوای بالای لایه مرزی با توجه به تروپوسفر میانی ناپایدار است. مقادیر مثبت آن نشان دهنده پایداری هواست و هرچه این مقدار بیشتر باشد پایداری بیشتر خواهد بود.

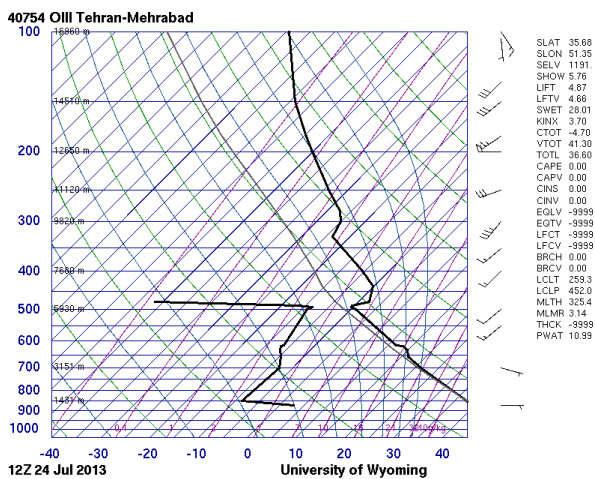
شاخص شوالتر: مقادیر مثبت پایداری، ۰ تا -۴ ناپایداری کم، -۴ تا -۸ ناپایداری زیاد و -۸ و بالاتر ناپایداری شدید.

با توجه به محاسبه مقادیر شاخص شوالتر مطابق با زمان های برقراری وضعیت ناسالم شرایط پایداری جو در اکثر روزها محرز است. اگرچه تنها در سه روز (۳۰ و ۳۱ تیر و ۱۴ مرداد) ناپایداری ضعیف تا به نسبت شدید حاکم است، اما پایداری شدید روزهای متوالی پیشین و پسین تغییری در وضعیت آلودگی سطح زمین نداده و همچنان شرایط ناسالم حاکم است (جدول ۴). این مقدار برای روز مورد تحلیل (دوم مرداد برابر با ۲۴ جولای) ۵/۷۶ است که با توجه به استقرار پرفشار دینامیک آזור در تراز میانی و بالای جو نشان دهنده پایداری هوا و استیلای هوای گرم و خشک منطقه است (شکل ۲).

1. Showalter index

جدول ۴. مقادیر شاخص شوالتر ساعت ۱۲ ظهر ایستگاه مهرآباد تهران

| مقادیر شاخص | تاریخ     | مقادیر شاخص | تاریخ     |
|-------------|-----------|-------------|-----------|
| ۳/۷۶        | ۱۳۹۲/۵/۴  | ۴/۸۴        | ۱۳۹۲/۴/۲  |
| ۴/۳۴        | ۱۳۹۲/۵/۵  | ۵/۷۶        | ۱۳۹۲/۴/۳  |
| ۳/۱۰        | ۱۳۹۲/۵/۶  | ۶/۸۴        | ۱۳۹۲/۴/۴  |
| ۳/۲۴        | ۱۳۹۲/۵/۷  | ۲/۹۱        | ۱۳/۴/۱۲   |
| ۳/۱۹        | ۱۳۹۲/۵/۸  | ۵/۸۴        | ۱۳۹۲/۴/۱۵ |
| ۲/۴۵        | ۱۳۹۲/۵/۱۰ | ۹/۸۶        | ۱۳۹۲/۴/۱۸ |
| ۳/۷۹        | ۱۳۹۲/۵/۱۱ | ۸/۰۰        | ۱۳۹۲/۴/۲۴ |
| ۵/۸۰        | ۱۳۹۲/۵/۱۲ | ۹/۵۱        | ۱۳۹۲/۴/۲۵ |
| ۸/۱۷        | ۱۳۹۲/۵/۱۳ | -۰/۵۸       | ۱۳۹۲/۴/۳۰ |
| -۲/۳۹       | ۱۳۹۲/۵/۱۴ | -۶/۸۳       | ۱۳۹۲/۴/۳۱ |
| ۶/۲۵        | ۱۳۹۲/۵/۱۵ | ۱/۸۶        | ۱۳۹۲/۵/۱  |
| ۵/۲۸        | ۱۳۹۲/۵/۱۶ | ۵/۷۶        | ۱۳۹۲/۵/۲  |
|             |           | ۶/۷۳        | ۱۳۹۲/۵/۳  |



شکل ۲. نمودار اسکایوتی روز ۲۴ جولای ایستگاه مهرآباد تهران در ساعت ۱۲ ظهر

میزان تلفات طی استیلای موج گرما: با توجه به مقادیر جدول مشخص می‌شود بیشتر آمار فوت‌شدگان در گروه بیماران قلبی عروقی دیده می‌شود که به‌طور میانگین ۵۳ نفر در طی

دوره مورد مطالعه است. از آنجا که آلودگی هوا بیش از همه گروه بیماران تنفسی را تحت تأثیر قرار می دهد، برای به دست آوردن نتیجه منطقی تر نرخ مرگومیر در گروه بیماری های مذکور باید در شرایط سالم نیز بررسی می شد، از این رو در شرایطی که به طور معمول هوای تهران در گروه پاک قرار می گیرد نرخ مرگومیر در هر سه شاخه بیماری بررسی شد. از آنجا که در بیشتر سال ها هفته اول فروردین ماه هوای تهران به لحاظ کیفیت پاک است این زمان برای مقایسه انتخاب شد و همچنین با توجه به تداوم حاکمیت شرایط پاک در سال های ۱۳۸۵-۱۳۸۰ و همچنین محدودیت دسترسی به آمار مرگومیر در سال های پیشین، این دوره به منظور مقایسه انتخاب شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه تعداد فوت شدگان در شرایط سالم و ناسالم<sup>۱</sup>

| ردیف | میانگین مرگومیر                       | بیماران سرطانی | بیماران قلبی-عروقی | بیماران تنفسی |
|------|---------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| ۱    | شرایط ناسالم دوره مورد مطالعه         | ۱۱/۴           | ۵۳                 | ۱۲/۴          |
| ۲    | شرایط سالم اول تا ششم فروردین (۸۵-۸۰) | ۱۲/۳           | ۶۵/۱               | ۶/۶           |

با توجه به مقادیر میانگین در جدول ۵ مشاهده می شود تفاوت چشمگیر در دو گروه بیماری های سرطانی و قلبی دیده نمی شود. این در حالی است که نرخ مرگومیر در بین بیماران تنفسی به حدود دوبرابر رسیده است.

### نتایج

پدیده آلودگی هوا یکی از پیام های توسعه صنعتی است که با افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی و مصرف بیشتر سوخت های فسیلی، روز به روز بر شدت آن افزوده می شود. از این رو کیفیت هوا روز به روز و حتی ساعت به ساعت تغییر می کند. تهران به عنوان پایتخت کشور در زمره یکی از آلوده ترین شهرهای جهان قرار دارد. از آنجا که آلودگی هوا بر سلامت انسان تأثیر بسزایی دارد، شناسایی منابع آلوده کننده و شرایط بروز و تشدید شرایط مذکور لازم و ضروری است. در تابستان ۱۳۹۲ (تیر و مرداد) در پی بروز موج گرمایی که تنها مختص به کشور ایران

۱. براساس داده های اخذ شده از بخش انفورماتیک سازمان بهشت زهرا

نیست، بلکه دامنه آن سرزمین‌های همسایه را نیز تحت تأثیر قرار داده است، سبب ایجاد بروز شرایط ناسالم و تداوم آن برای سه هفته پیاپی شد. گرمای کم‌سابقه سبب بروز دماهای بیش از ۴۰ درجه افزایش نسبت به میانگین طولانی‌مدت می‌شود. برای ریشه‌یابی موج گرمای رخ داده با استفاده از نقشه‌های هوا مشخص شد که سیطرهٔ پرفشار دینامیکی آزر در تراز میانی و بالایی جو سبب پایداری هوا شده در پی آن افزایش تابش کوتاه خورشید سبب بالارفتن دما در سطح شده است. تسلط زبانه‌های کم‌فشار گنگ در نقشهٔ تراز دریا بیانگر افزایش تابش کوتاه در سطح زمین است. از طرفی استقرار پرفشارهای مهاجر بر روی دریای خزر و دریای سیاه مانع نفوذ هوای خنک عرض‌های بالا شده و شرایط مذکور را شدت و دوام بخشیده است. در نمودار اسکمیوتی نیز وارونگی ضعیفی در تراز ۷۰۰ و وارونگی شدید در تراز ۵۰۰ دیده می‌شود که در نهایت سبب حبس شدن هوای آلوده و گرم در سطح زمین و بروز شرایط ناسالم شدید در کلانشهر تهران شده است. از آنجا که عامل بروز شرایط ناسالم افزایش غلظت ذرات معلق بوده علاوه بر کودکان و سالمندان بیماران ریوی و تنفسی بیش از همه در معرض خطر قرار گرفتند. همین مسئله افزایش میزان مرگ‌ومیر به‌ویژه در بین بیماران تنفسی را به‌همراه داشته است، به طوری که این میزان، به‌طور تقریبی به‌دوبرابر در مقایسه با شرایط سالم رسیده است. از آنجا که براساس مطالعات، بیش از ۸۰ درصد آلودگی هوای تهران ناشی از منابع متحرک است و این منابع متحرک شامل خودروها، خودروهای دیزلی و موتورسیکلت‌ها است، امید است مدیران شهری و برنامه‌ریزان با اقدامات لازم، زمینه‌ای برای فراهم آوردن هوای سالم و ارتقای کیفیت زندگی شهری ایجاد کنند.

### منابع

- [۱]. اسکانی کزازی، غلامحسین؛ لاله سیاه پیرانی، میترا (۱۳۸۹). تحلیل سینوپتیکی آلودگی هوای شهر تهران، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا: ۱۶۱-۱۳۵.
- [۲]. راسل د. تامپسون (۱۳۸۶). فرایندها و سیستم‌های جوی، ترجمه حسین‌مراد محمدی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران: ۱۶-۱۵.
- [۳]. صفوی، یحیی؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۵). بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸: ۱۱۲-۹۹.
- [۴]. عرب‌امیری، محمد؛ رفیع‌پور، مهرداد؛ علیمحمدی سراب، عباس؛ عسگری، محمدحسین (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه ریسک آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از منطق فازی: ۱-۱۰.

- [۵]. عطایی، هوشمند؛ هاشمی نسب، سادات (۱۳۹۰). شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوای شهر اصفهان، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، شماره ۴، ۹۷-۱۱۲.
- [۶]. لشکری، حسن؛ هدایت، پریسا (۱۳۸۵). تحلیل الگوی سینوپتیکی اینورژن های شدید شهر تهران، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۶، ۸۲-۶۵.
- [۷]. لشکری، حسن (۱۳۹۰). اصول و مبانی تهیه و تفسیر نقشه‌ها و نمودارهای اقلیمی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی: ۸۸-۸۹.
- [۸]. محمدی، حسین (۱۳۹۰). مخاطرات جوی، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۹]. هدایت، پریسا (۱۳۸۱). بررسی سینوپتیکی سیستم‌های اقلیمی مؤثر بر آلودگی هوای شهر تهران و بیماری‌های قلبی و ریوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- [۱۰]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۴). دانش مخاطرات، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم.
- [11]. Ahmadnezhad, E., Holakouie, K., Ardalan, A., Mahmoudi, M. Younesian, M. Nddafi, K. and Mesdaghinia, A., 2013. "Excess Mortality during Heat Waves, Tehran, Iran: An Ecological Time-Series Study". *Journal Punlmed*, 13(1), May, pp. 24-31.
- [12]. Bettina M. 2003, "fifty-third session of the WHO Regional Committee for Europe" 3: PP1-12.
- [13]. Gerald A. Meel and Claudia Tebaldi (2004). More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Wave in the 21<sup>st</sup> Century. National Center For Atmospheric Research (NCAR).
- [14]. Huang W, Kan H, Kovats S. 2011. "The impact of the 2003 heat wave on mortality in Shanghai", China. *Sci Total Environ*; 408, pp. 2418-2420.
- [15]. Hunt .B.G. (2006). A Climatology of Heat Waves from a Multimillennial Simulation. *American Meteorological Society* 20:3801-3821.
- [16]. Matzarakis, A., Mayer, Helmut, 1990. "The Extreme Heat Wave In ATHENS in July 1987 from The Point Of view of Human Biometeorology", *Atmospheric Enviroment* Vol, 25B, No, 2, pp 203-211.
- [17]. Stanly A. changnon, Kenneth E. Kunkel, and Benth C, 1996, "Reinke Midwestern Climat Center, Illinois state Water Survey", *Champaign, Illinois* 77: PP1497-1505.
- [18]. Barry, R., (1997), "Synoptic Climatology, in J.E Oliver and R.W. Fairbrdge (eds)", *The Encyclopedia of Climatology*, New York: Van Nostrand Reinhold Book.
- [19]. Bourne, S.M., Bhatt, U.S., Zhang, J., and Thoman, R., (2009), "Surface-based Temperature Inversions in Alaska from a Climate Perspective", *Atmospheric Research*, pp 353-366.



- 
- [20]. Bahaattin Celik, M.; and Kavy, I., 2004. Relation Between Meteorological factors and pollutants concentrations in karabuk city. *Journal of Science* 20, 87- 95.
- [21]. Safavi, S.Y.; and Alijani, B., 2004. The review of geographical factors impacts on Tehran air pollution. *Geographical researches* 58: 99-114.
- [22]. Amiri, M., 2006. Effects of climate factors and elements in construction of air pollutions in Tehran. M.A.Thesis. geography department of Tehran University.
- [23]. Alijani, B., 2003. The relationships between pressure distribution and pollution density in Tehran city. *Geographical Researches*. 37, 29-40.