

بررسی آلاینده ازن سطحی در شهر تهران طی دوره سال‌های (۲۰۰۸-۲۰۱۱)

زهرا شرعی پور^{۱*} و عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۲

^۱ کارشناس ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۲ استاد گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۱۱/۳۰، پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۴)

چکیده

در این تحقیق، تغییرات زمانی مکانی آلاینده ازن سطح زمین و عوامل هواشناسی مؤثر بر آن در شهر تهران طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ بررسی شده است. بررسی مقادیر روزانه شاخص کیفیت هوا نسبت به آلاینده ازن سطحی در ایستگاه اقدسیه نشان داده است که بیشترین درصد روزهای ناسالم در ماه‌های تیر و مرداد (۹۳٪) قرار دارد. اوج روزانه ازن در ساعت‌های ۱۵-۱۷ رخ داده و متأثر از عوامل گوناگونی، به‌ویژه دمای هوا و تابش خورشیدی است. غلظت ازن در ساعت ۱۱ قبل از ظهر، همبستگی مثبت زیادی با غلظت میانگین روزانه آن دارد. یکی از جالب‌ترین نتایج این است اغلب کاهش وارونگی‌های دمایی شبانه و کاهش پایداری جو می‌تواند باعث افزایش غلظت ازن سطحی شبانه شود.

بررسی بیشینه‌های آلاینده ازن سطحی بهاری روشن ساخته است که برخی سامانه‌های کم ارتفاع و رددسپهر میانی همراه با پدیده‌های و رداپیست تاشونده که منطقه ایران را در عرض‌های شمالی دریای خزر تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توانند از راه نزول هوای خشک سرشار از ازن پوشن سپهری به و رددسپهر، باعث افزایش مقدار آلاینده ازن سطح زمین شوند. بررسی بیشینه‌های ازن سطحی تابستانی و مقایسه آن با شرایط هواشناسی جو بالا نشان داده است که اغلب این بیشینه‌ها در اثر حضور واچرخندها در و رددسپهر میانی منطقه ایران ایجاد می‌شوند. شرایط هواشناسی آفتابی، خشک و آرام در طی روز ناشی از این سامانه‌ها باعث افزایش تولید ازن طی واکنش‌های فوتوشیمیایی می‌شود. بررسی تأثیر بارش بر مقدار آلاینده ازن سطحی روشن ساخته است که در روز بارشی غلظت همه آلاینده‌ها از جمله ازن کاهش می‌یابد ولی در یک تا دو روز پس از بارش درحالی‌که هنوز اکثر آلاینده‌ها غلظت به‌نسبت کمی دارند، غلظت ازن افزایش می‌یابد؛ که این نشانه شفاف‌تر بودن جو برای تابش خورشیدی و ترغیب بیشتر فرایند فوتوشیمیایی تشکیل ازن است.

واژه‌های کلیدی: ازن سطحی، وارونگی دمایی، واکنش فوتوشیمیایی، و رددسپهر، پوشن سپهر، سامانه‌های هواشناسی

Investigation of surface ozone over Tehran for 2008-2011

Shariepour, Z.¹ and Aliakbari Bidokhti, A. A.²

¹Research Assistant, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 18 Feb 2013, Accepted: 14 May 2013)

Summary

Near surface ozone in urban areas can be potentially hazardous for the city dwellers. As a secondary pollutant it can also be an indicator for other air pollutants as nitrogen oxides, NO_x and phenol acetate nitrate (PAN). In this paper time and spatial variations of near surface ozone and the effective meteorological parameters influencing it concentrations, have been investigated for Tehran for the period 2008-2011. The hourly ozone data of four stations namely Aghdasieh (north east), Geophysics (central), Poonak (north west) and Ray (south) for this period were acquired from the Air Quality Control company of

Tehran, and the hourly temperature difference between the near surface and 8 m height were also from the Resalat Mast west of the city. The meteorological data were acquired from the Geophysics station and the data of the vertical distributions of humidity were from Wyoming University data base that provides Skew-T data of the troposphere. The synoptic maps were also acquired from NOAA.

Ozone air pollution index for some air pollution stations as Aghdasieh (north east of the city) show that the period with highest concentration during the year are warm summer months in which 93% of the days were unhealthy. The daily peak of ozone concentration is found at 15-17 hours local time, depending on various meteorological parameters especially air temperature and solar radiation. There is also a strong correlation between the ozone concentration at 11AM local time and its daily mean. Usually the mean daily ozone concentration is about 66% of that of the values at 11AM local time.

The annual peak of the ozone concentration is also in summer as expected. It is also found that as the nocturnal temperature inversion in the surface layer is reduced or the overall stability of the atmosphere is reduced the near surface concentration of ozone increased. This is attributed to the easier down mixing of the ozone in the residual layer (formed previous day) towards the surface. Tehran is surrounded by high mountains in the north and to some extent in the east affecting local near surface circulation. Such flows may advect air with different air pollutants especially from the emission areas (mainly center and south of the city) towards north or east, as towards Agdasieh, the station with an ozone monitoring facility.

Spring time surface ozone variations also show that some mid-latitude low pressure weather system can cause strong tropospheric mixing, including tropopause folding, hence down transport of stratospheric ozone rich air towards the surface. While meteorological conditions associated with maxima of near surface ozone in summers are those with anticyclonic systems in the mid-troposphere of this area. Such conditions are associated with clear skies and strong solar radiations leading to strong photochemical activities that are essential for ozone formation in the atmosphere.

It is also found that precipitation strongly reduces the air pollutants including ozone. It is interesting that following such perceptive events as the sky clears, ozone rate of concentration increase is faster than those of other pollutants. More clear sky following such events leads to stronger solar radiation near the earth surface, leading to stronger built up of ozone near surface.

Keywords: Surface ozone, Temperature inversion, Photochemical activities, Troposphere, Stratosphere, Meteorological systems

۱ مقدمه



واکنش (۳) که به تیتراژ (titration) معروف است هنگام روز و شب رخ می‌دهد ولی واکنش (۱) در حضور تابش خورشیدی صورت می‌گیرد (فوتولیز، در طول موج بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر) و در طی روز رخ می‌دهد. طی

آلاینده ازن سطح زمین با مجموعه‌ای از واکنش‌های فوتوشیمیایی بین آلاینده‌های NO_x و گازهای آلی فرار (VOC_s) در حضور نور خورشید و گرما تشکیل می‌شود. برخی واکنش‌های معروف مرتبط با تشکیل و تخریب ازن سطحی عبارت است از:



روشن ساخت که در ایستگاه ساحلی، روند تغییرات ازن سطحی کاهشی بوده است. هلمینگ و همکاران (۲۰۰۷) در گرینلند نشان دادند که نزول هوای سرشار از ازن پوشن سپهر به وِردسپهر در بازه ارتفاعی سطح زمین تا ارتفاع ۵۰۰ متری از سطح ممکن است تا زیر سطح ۵۰۰ متری هم صورت بگیرد و باعث افزایش غلظت ازن سطح زمین شود.

آدام و همکاران (۲۰۰۸) تحقیقی را در مورد تغییرات روزانه، ماهانه و سالانه غلظت ازن سطحی در ۸ ایستگاه طی دوره ۳ ساله (۲۰۰۳-۲۰۰۵) در اسپانیا به انجام رساندند. نتایج تحقیقات آنها روشن ساخت که در ایستگاه هایی که دورتر از مراکز شهری قرار داشته‌اند، تعداد رخداد غلظت‌های ازن، بیش از حد مجاز استاندارد بوده است. دباچ و آکاد (۲۰۰۹) در ماهاراشرای هند غلظت‌های ازن سطحی در چند ایستگاه متفاوت با موقعیت‌های متنوع شهری، روستایی، صنعتی و کوهستانی طی سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که چشمه‌های آلاینده‌های محلی از قبیل کارخانه های صنعتی و سوزاندن بیومس، سهم عمده‌ای در غلظت زیاد ازن مناطق شهری و روستایی داشته است، در حالی که در مناطق کوهستانی، انتقال منطقه‌ای نقش مهمی بر عهده داشته است.

ردی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که در منطقه‌ای در جنوب هند (آنانتاپور)، افزایش غلظت ازن سطحی در روزهای تعطیلات آخر هفته نسبت به اواسط هفته در اثر عامل کاهش گسیل اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و به دنبال آن کاهش واکنش تیرشدن ناشی از آن در اواخر هفته است.

در تحقیق حاضر، تغییرات زمانی مکانی آلاینده ازن سطح زمین و عوامل هواشناسی مؤثر بر آن در شهر تهران طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

واکنش‌های (۱) و (۲) ازن تولید می‌شود بنابراین، هنگام شب، واکنش (۲) صورت نمی‌گیرد و با روی دادن واکنش (۳)، غلظت ازن کاهش می‌یابد.

منبع اصلی ازن سطحی، فرایندهای فوتوشیمیایی و انتقال ازن پوشن سپهر به وِردسپهر، به ویژه طی فصل بهار است. در مورد آلاینده ازن سطحی و تغییرات آن تاکنون تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. آلاینده ازن نقش مهمی در ایجاد تأثیرات حاد بر سلامت انسان دارد و باعث بیماری‌های تنفسی از قبیل آسم، حساسیت و برونشیت می‌شود. نتایج تحقیقی که گاسانا و همکاران (۲۰۱۲) در امریکا عملی ساخته‌اند نشان داده است که کودکانی که در معرض آلاینده‌های ازن و ذرات معلق ناشی از ترافیک وسایل نقلیه موتوری قرار دارند، بیشتر از افراد بزرگسال در معرض ابتلا به بیماری آسم قرار دارند. نتایج سرژیو چیارلی و همکاران (۲۰۱۱) در برزیل نشان داده است که افزایش غلظت آلاینده‌های ازن و ذرات معلق هوا می‌تواند منجر به افزایش فشار خون در افراد شود ولی تأثیر آن، آنی نیست و با تأخیر زمانی بروز می‌کند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغییرات سالانه تبادل‌های پوشن سپهر- وِردسپهر (STE)، سهم عمده‌ای در بیشینه بهاری ازن دارد (لوی و همکاران، ۱۹۸۵). مینورا (۱۹۹۹) در ژاپن، رابطه بین غلظت‌های هم‌زمان آلاینده‌های NO و ازن سطحی را مورد بررسی قرار داد و رابطه‌ای هذلولوی بین آنها به دست آمده است. بوناسونی و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که برای بررسی نزول هوای سرشار از ازن پوشن سپهری به وِردسپهر می‌توان از نیم‌رخ‌های قائم رطوبت نسبی و گازهای CO و CO₂ استفاده کرد.

ریاس و پینلاس (۲۰۰۴) در شمال غرب حوزه مدیترانه، روند بلندمدت ازن سطحی طی دوره ۸ ساله ۱۹۹۴-۲۰۰۱ در چند ایستگاه با موقعیت‌های متفاوت ساحلی، کوهستانی و شهری را بررسی کردند و نتایج آن

۲ مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از داده‌های ساعتی آلودگی هوای ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای ژئوفیزیک، پونک، اقدسیه و شهری و داده‌های شاخص آلودگی هوای روزانه و همچنین داده‌های ساعتی اختلاف دمای ارتفاع ۸ متری از سطح زمین و دمای نزدیک سطح در ایستگاه برج رسالت وابسته به شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استفاده شده است. داده‌های هواشناسی، مربوط به ایستگاه هواشناسی موسسه ژئوفیزیک است. شکل ۱ نقشه توزیع ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای موردنظر شهر تهران را نشان می‌دهد.

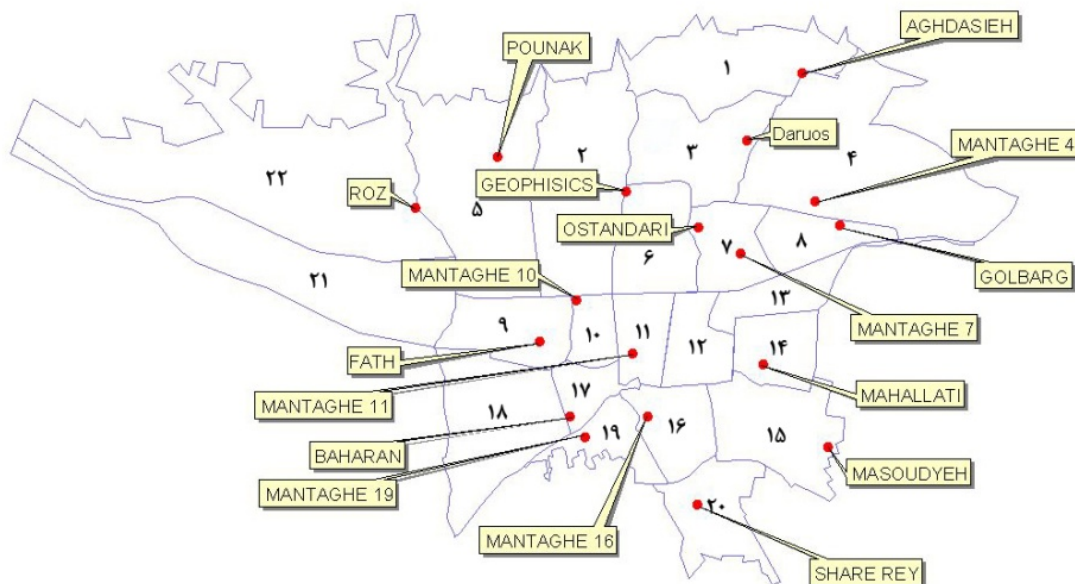
داده‌های نیم‌رخ‌فائم رطوبت نسبی هوا از داده‌های گمانه‌زنی جو بالای دانشگاه و ایومینگ (پایگاه Wyoming) تهیه شده است. نقشه‌های همدیدی هواشناسی مربوط به پایگاه NOAA است. بازه زمانی

تحقیق مربوط به دوره سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ است.

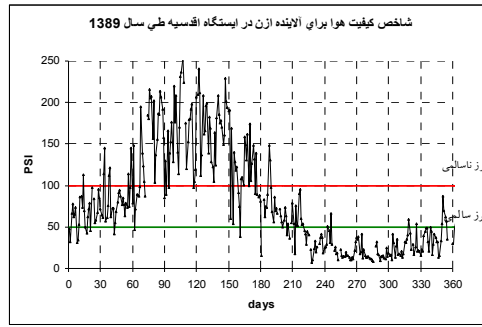
۳ نتایج

۱-۳ شاخص کیفیت هوا

در این بخش شاخص کیفیت هوا نسبت به آلاینده ازن سطحی در ایستگاه اقدسیه بررسی شده است. شکل ۲ تغییرات میانگین روزانه این شاخص را طی سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که در ایستگاه اقدسیه از نظر آلاینده ازن، ۱۰۴ روز از روزهای سال ۱۳۸۹ در وضعیت ناسالم قرار داشته است. همچنین بیشترین روزهای ناسالم در طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد و بیشترین درصد روزهای پاک در دی ماه رخ داده است. روزهای ناسالم ماه‌های خرداد، تیر و مرداد ۱۳۸۹ به ترتیب مقادیر ۷۱، ۹۳ و ۹۳ درصد محاسبه شده است.



شکل ۱. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا.

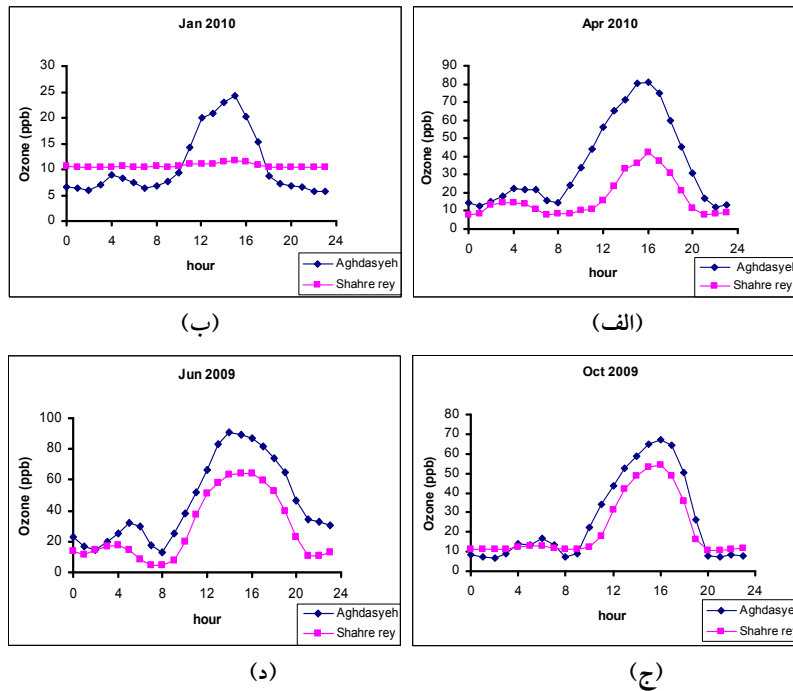


شکل ۲. تغییرات شاخص کیفیت هوا نسبت به آلاینده ازن سطحی در ایستگاه اقدسیه طی سال ۱۳۸۹.

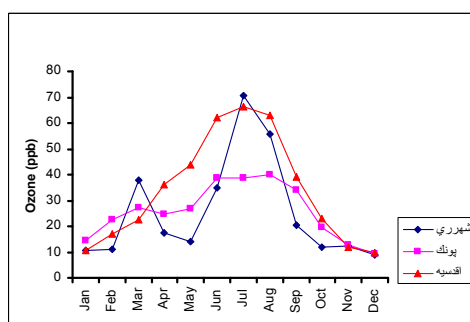
۲-۳ الگوهای روزانه ازن

و سپس شروع به کاهش می‌یابد. تشکیل فوتوشیمیایی آلاینده ازن تحت تأثیر عوامل گوناگونی از قبیل دمای هوا، تابش خورشیدی و غلظت آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن باعث ایجاد چنین الگوی روزانه‌ای می‌شود. همچنین مقایسه مقادیر ساعتی ازن دو ایستگاه نشان می‌دهد که غلظت ازن در ایستگاه اقدسیه بیشتر از ایستگاه شهرری است.

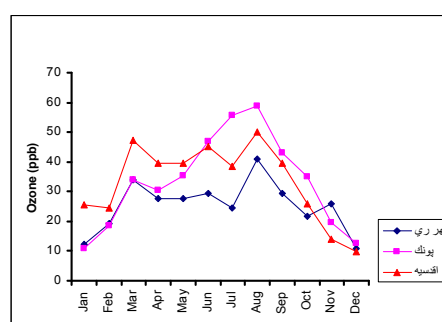
در این قسمت الگوهای روزانه آلاینده ازن سطحی بررسی شده است. شکل ۳ این الگوها را برای نمونه ماه‌های ژانویه، آوریل، ژوئن و اکتبر در ایستگاه‌های اقدسیه و شهرری نشان می‌دهد. بررسی این الگوها روشن می‌سازد که اغلب، مقدار کمینه در شب هنگام رخ می‌دهد. غلظت ازن از حدود ساعت ۸ صبح شروع به افزایش می‌کند تا در ساعت‌های حدود ۱۵-۱۷ بعدازظهر به مقدار اوج می‌رسد



شکل ۳. الگوی ساعتی ازن برای میانگین ماه‌های (الف) ژانویه ۲۰۱۰، (ب) آوریل ۲۰۱۰، (ج) ژوئن ۲۰۰۹ و (د) اکتبر ۲۰۰۹ در ایستگاه‌های اقدسیه و شهرری.



(ب)



(الف)

شکل ۴. تغییرات مقادیر میانگین ماهانه آلاینده ازن طی سال‌های (الف) ۲۰۰۹ و (ب) ۲۰۱۰ در ایستگاه‌های اقدسیه، پونک و شهرری.

۳-۳ تغییرات ماهانه ازن

به ساعت ۱۱ قبل از ظهر است. از آنجا که بیشینه آلاینده ازن در بعد از ظهر رخ می‌دهد، همبستگی در این ساعت در زمینه پیش‌بینی ازن روزانه حائز اهمیت است. این همبستگی‌ها برای نمونه‌های فصلی ایستگاه‌های اقدسیه و شهرری بررسی شده است (جدول ۱). همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضرایب همبستگی در فصل بهار و زمستان قوی‌تر از سایر فصل‌ها است. جدول ۲ هم این ضرایب را برای همه ماه‌های سال ۲۰۱۰ در ایستگاه اقدسیه نشان می‌دهد. شکل ۵ نمودار و رابطه همبستگی خطی مربوط را در ایستگاه اقدسیه طی سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. رابطه به‌دست آمده در ایستگاه اقدسیه طی سال ۲۰۱۰ به صورت زیر است.

$$\text{Ozone}_i(\text{ave}) = 0.6602 \text{Ozone}_i(11) + 6.5956 \quad (4)$$

که در آن، منظور از اندیس i ، شماره روز و $\text{Ozone}_i(11)$ غلظت ساعتی ازن در ساعت ۱۱ است. $\text{Ozone}_i(\text{ave})$ غلظت میانگین روزانه برای روز i م و غلظت‌های ازن برحسب واحد ppb هستند.

در این بخش تغییرات فصلی و ماهانه آلاینده ازن بررسی شده است. شکل ۴ این الگوها را برای ایستگاه‌های اقدسیه، پونک و شهرری طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه فصلی ازن معمولاً در ماه‌های ژوئیه و اوت رخ می‌دهد. تغییرات ماهانه ازن در این ایستگاه‌ها بین ۱۰ و ۷۰ ppb است. کمینه فصلی ازن نیز در ماه‌های ژانویه و دسامبر رخ می‌دهد. در فصل تابستان، عوامل گوناگونی از جمله دمای زیاد هوا، تابش شدید خورشیدی و طولانی شدن روز، باعث افزایش فعالیت فوتوشیمیایی می‌شود و غلظت ازن افزایش پیدا می‌کند.

۳-۴ همبستگی بین غلظت‌های ساعتی و میانگین روزانه ازن

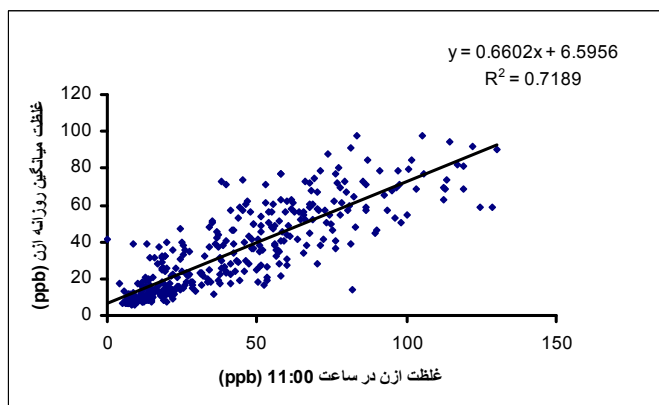
همبستگی بین غلظت‌های ساعتی و میانگین روزانه ازن در اینجا بررسی شده است. بررسی ضرایب همبستگی به‌دست آمده نشان داد که معمولاً بیشترین همبستگی مثبت مربوط

جدول ۱. ضرایب همبستگی بین غلظت‌های ازن میانگین روزانه و ساعت ۱۱:۰۰ هر روز در ایستگاه‌های اقدسیه و شهرری برای فصول مختلف سال.

ایستگاه اقدسیه	ایستگاه شهرری	تاریخ
۰/۶۴	۰/۷	ژانویه ۲۰۱۰
۰/۵۸	۰/۶۳	ژوئن ۲۰۰۹
۰/۵۴	۰/۴۹	اکتبر ۲۰۰۹
۰/۷۳	۰/۷۳	آوریل ۲۰۰۹

جدول ۲. ضرایب همبستگی بین غلظت‌های ازن میانگین روزانه و ساعت ۱۱:۰۰ هر روز در ایستگاه اقدسیه برای ماه‌های سال ۲۰۱۰. همه ضرایب از نظر آماری در سطح ۹۹٪ معنی‌دار هستند.

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۴۹	۰/۵	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۸۱



شکل ۵. نمودار همبستگی بین غلظت‌های ازن میانگین روزانه و ساعت ۱۱:۰۰ هر روز در ایستگاه اقدسیه طی سال ۲۰۱۰.

۳-۵ واریانس دمایی شبانه

در ارتفاع ۸ متری سطح زمین نسبت به چند روز قبل و بعد از آن کاهش یافته است. به عبارت دیگر، کاهش واریانس دمایی شبانه باعث افزایش شبانه ازن سطحی شده است. از آنجا که پارامتر بسامد شناوری (N^2) نمودی از پایداری جو است، تغییرات ساعتی این پارامتر نیز برای ساعت‌های شب محاسبه و نمودار ساعتی آن برای ۸ ژوئن ۲۰۰۹ و چند روز قبل و بعد از آن طبق فرمول زیر محاسبه و مقایسه شده است

$$N^2 = \left(\frac{g}{\theta_0} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \approx \left(\frac{g}{300} \frac{\Delta T}{\Delta z} \right) \quad (5)$$

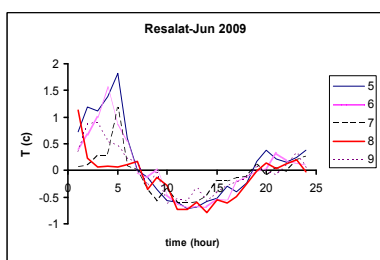
که در آن، g شتاب جاذبه حدود 10 m/s^2 ، θ_0 دمای مینا حدود 300 درجه کلوین، ΔT اختلاف دمای سطح ۸ متری از سطح زمین و Δz ، ۸ متر است. شکل ۷-ب نمودار تغییرات پارامتر بسامد شناوری (N^2) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در روز رویداد ۸ ژوئن ۲۰۰۹، کاهش مقدار بسامد شناوری و کاهش پایداری جوی باعث افزایش غلظت ازن سطحی شده

تأثیر واریانس دمایی شبانه بر غلظت ازن نشان می‌دهد که اغلب، کاهش واریانس دمایی شبانه باعث افزایش غلظت ازن سطحی شبانه می‌شود. البته هر افزایش شبانه ازن را نمی‌توان صرفاً به کاهش واریانس دمایی شبانه نسبت داد. برخی از تحقیقات نشان داده است که این کاهش واریانس دمایی شبانه می‌تواند در افزایش غلظت ازن سطحی روز بعد هم موثر باشد (لین و همکاران، ۲۰۰۴).

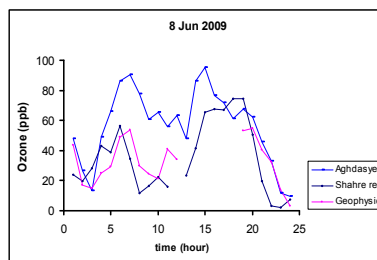
در اینجا برای نمونه به برخی از این موارد اشاره می‌شود. شکل ۶ مربوط به کاهش واریانس دمایی شبانه در روز ۸ ژوئن ۲۰۰۹ است. در تاریخ ۸ ژوئن ۲۰۰۹ در هر سه ایستگاه اقدسیه، شهرری و ژئوفیزیک افزایش شبانه غلظت ازن سطحی نسبت به حالت میانگین مشاهده می‌شود. نمودار واریانس دمایی که از برج رسالت به دست آمده نشان می‌دهد که در این تاریخ، واریانس دمایی شبانه

شکل ۸ نیز رویداد روز ۲۲ ژانویه ۲۰۰۹ را نشان می‌دهد. در این تاریخ در دو ایستگاه ژئوفیزیک و شهری افزایش شبانه غلظت ازن سطحی نسبت به حالت میانگین مشاهده می‌شود که حتی از اوج روزانه نیز بیشتر است. در این شکل بی‌هنجاری وارونگی دمایی نسبت به میانگین ماهانه نشان داده شده است.

است. این ازن که در لایه مرزی همرفتی روزانه تولید شده است می‌تواند در بخش بالایی لایه باقی‌مانده (residual) شبانه (لایه باقی‌مانده از لایه مرزی همرفتی روز) باقی بماند. حال این تجمع ازن می‌تواند در اثر کاهش وارونگی دمایی شبانه و کاهش پایداری هوا به سمت پایین آمیخته شود و با انتقال یافتن به سطح زمین، غلظت ازن سطحی را افزایش دهد.

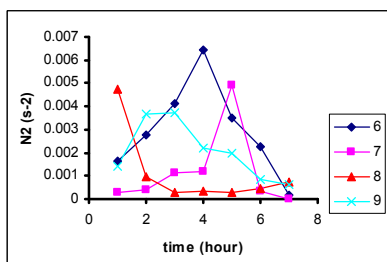


(ب)

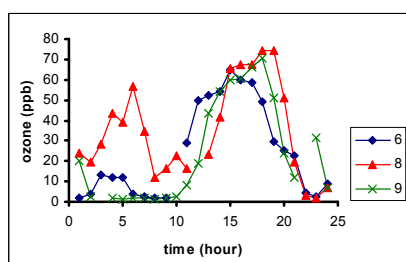


(الف)

شکل ۶. تأثیر کاهش وارونگی دمایی شبانه بر افزایش غلظت ازن، (الف) الگوی روزانه ازن در ایستگاه‌های اقدسیه، شهری و ژئوفیزیک در تاریخ ۸ ژوئن ۲۰۰۹. (ب) مقایسه نمودار ساعتی اختلاف دمایی ارتفاع ۸ متری از سطح زمین در برج رسالت در روزهای ۵ تا ۹ ژوئن ۲۰۰۹. الگوی روز هشتم ژوئن ضخیم‌تر رسم شده است.

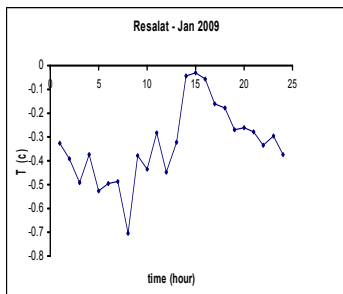


(ب)

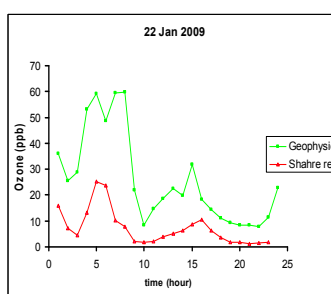


(الف)

شکل ۷. تأثیر کاهش وارونگی دمایی شبانه بر افزایش غلظت ازن برای رویداد ۸ ژوئن ۲۰۰۹. (الف) الگوی روزانه ازن در ایستگاه شهری در روزهای ۶، ۸ و ۹ ژوئن ۲۰۰۹. (ب) مقایسه تغییرات ساعتی پارامتر بسامد شناوری N^2 برای روزهای قبل و بعد از ۸ ژوئن ۲۰۰۹ طی ساعت‌های شب.



(ب)



(الف)

شکل ۸. تأثیر کاهش وارونگی دمایی شبانه بر افزایش غلظت ازن (الف) الگوی روزانه ازن در ایستگاه‌های شهری و ژئوفیزیک در تاریخ ۲۲ ژانویه ۲۰۰۹. (ب) نمودار ساعتی بی‌هنجاری اختلاف دمایی ارتفاع ۸ متری از سطح زمین در برج رسالت در تاریخ ۲۲ ژانویه نسبت به میانگین ماهانه.

۳-۶ پیشینه‌های ازن سطحی بهاری در اثر نفوذ هوای

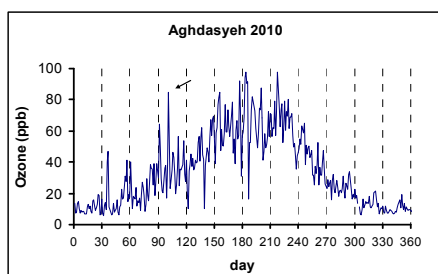
پوشن سپهری به وِردسپهر

مواردی از پیشینه‌های بهاری که در چند ایستگاه تأیید شده، انتخاب و با مقادیر ازن کلی جو مقایسه شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی اکثر تبادل‌های ازنی پوشن سپهر به وِردسپهر معمولاً در فصل بهار صورت می‌گیرد و در اثر آن ازن وِردسپهری و متعاقب آن ازن سطحی هم افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که هر پیشینه آلاینده ازن سطحی بهاری لزوماً منشأ پوشن سپهری ندارد. پیشینه بهاری تبادل‌های پوشن سپهر به وِردسپهر اغلب در شرایط چرخندزایی در جو بالا و همچنین پدیده‌های وِردایست تاشونده روی می‌دهد (مونکس، ۲۰۰۰).

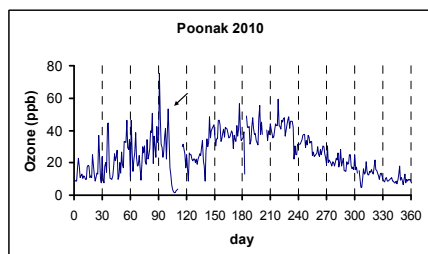
در اینجا برای نمونه به یکی از موارد مشاهداتی اشاره می‌شود. در روز ۱۱ آوریل ۲۰۱۰ در ایستگاه‌های اقدسیه و پونک، افزایش غلظت ازن سطحی مشاهده می‌شود. شکل‌های ۹ و ۱۰ این افزایش را برای ایستگاه‌های اقدسیه و پونک نشان می‌دهد (با فلش نشان داده شده است). در مرحله بعد تغییرات ازن کلی جو با استفاده از داده‌های میانگین روزانه ازن به‌دست آمده از دستگاه دابسون ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک و ماهواره OMI مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. شکل ۱۱ این تغییرات را برای ماه آوریل ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. نتایج این مقایسه نشان داد که در این تاریخ، ازن کلی جو نیز افزایش نشان می‌دهد. در مرحله بعدی سامانه‌های هواشناسی جوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که از چند روز قبل، سامانه کم ارتفاعی از سمت غرب به عرض‌های شمالی منطقه ایران نزدیک می‌شود و در روز ۱۱ آوریل موقعیت آن در شمال دریای خزر قرار می‌گیرد و این سامانه کم ارتفاع از سطح ۷۵۰ hPa تا حدود ۵۰۰ hPa کشیده می‌شود و ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد و روز بعد، از منطقه خارج می‌شود. شکل ۱۲ این نقشه‌ها را در

سطح ۵۰۰ hPa در روزهای ۱۱ و ۱۲ آوریل ۲۰۱۰ نشان می‌دهد.

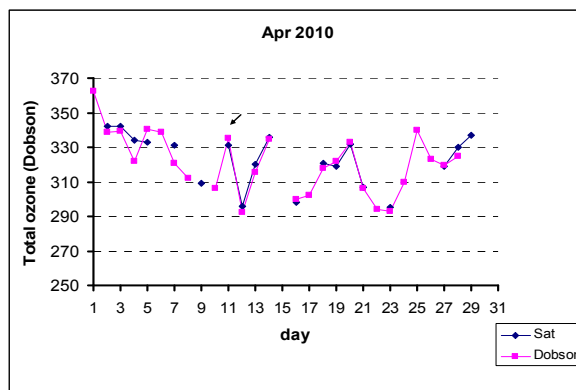
تحت این شرایط، با پدیده وِردایست تاشونده توده هوای پوشن سپهری می‌تواند از راه نزول، به وِردسپهر نفوذ کند. در این صورت، نیم‌رخ‌های قائم رطوبت نسبی به‌دست آمده از داده‌های اندازه‌گیری شده رادیوسوند، باید نزول هوای خشک پوشن سپهر به وِردسپهر را نشان دهد (بوناسونی و همکاران، ۲۰۰۰). به‌این‌منظور، این نیم‌رخ‌های قائم در روز ۱۱ آوریل ۲۰۱۰ و روز بعد از آن بررسی و مقایسه شده است. شکل ۱۳ این نیم‌رخ‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در روز رخداد پدیده، رطوبت نسبی در فاصله ارتفاعی سطح زمین تا ارتفاع ۵ کیلومتری کاهش می‌یابد و با رسیدن به کمتر از ۱۰ درصد، هوای خشک را نشان می‌دهد. در روز بعد (۱۲ آوریل) رطوبت تا مقدار حدود ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. به‌بیان‌دیگر، فاصله بین دو نمودار، اختلاف رطوبت نسبی در این دو روز را نشان می‌دهد.



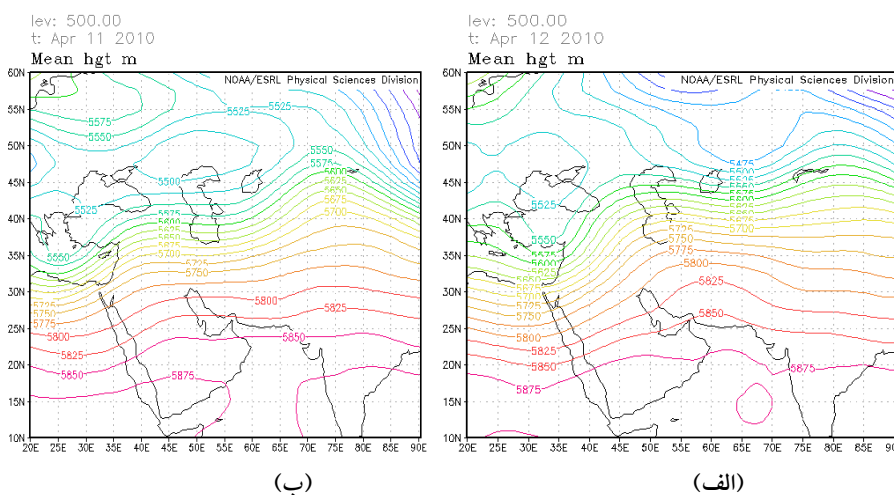
شکل ۹. تغییرات میانگین روزانه ازن سطحی در ایستگاه اقدسیه طی سال ۲۰۱۰.



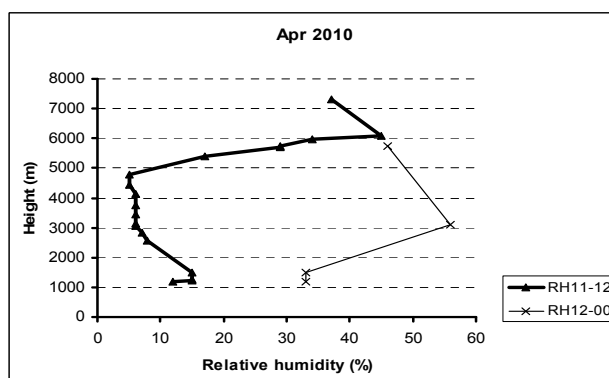
شکل ۱۰. تغییرات میانگین روزانه ازن سطحی در ایستگاه پونک طی سال ۲۰۱۰.



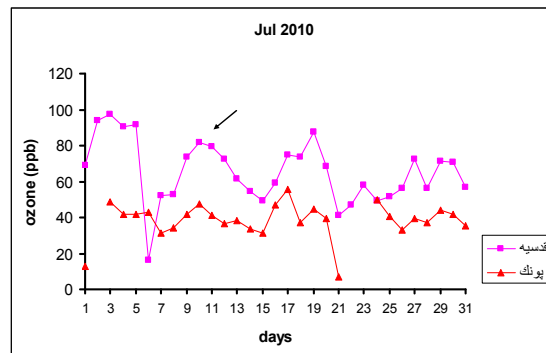
شکل ۱۱. مقایسه تغییرات مقادیر میانگین روزانه ازن کلی جو با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده با دستگاه دابسون ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک و ماهواره OMI طی آوریل ۲۰۱۰.



شکل ۱۲. پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۵۰۰ hPa در روزهای (الف) ۱۱ آوریل و (ب) ۱۲ آوریل ۲۰۱۰ (منبع: سایت NOAA).



شکل ۱۳. مقایسه نیمرخ‌های قائم رطوبت نسبی در روزهای ۱۱ (ساعت ۱۲:۰۰) و ۱۲ (ساعت ۰۰:۰۰) آوریل ۲۰۱۰ (منبع: پایگاه دانشگاه وایومینگ (Wyoming)).

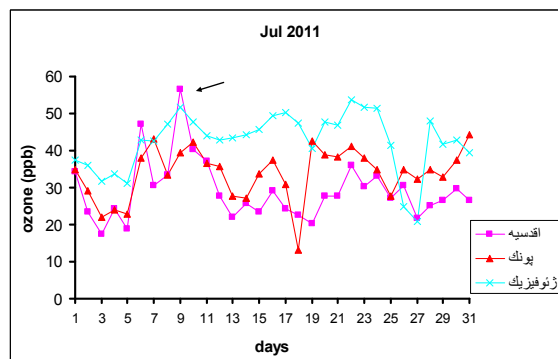


شکل ۱۴. تغییرات میانگین روزانه ازن سطحی در ایستگاه‌های اقدسیه و پونک طی ماه ژوئیه ۲۰۱۰.

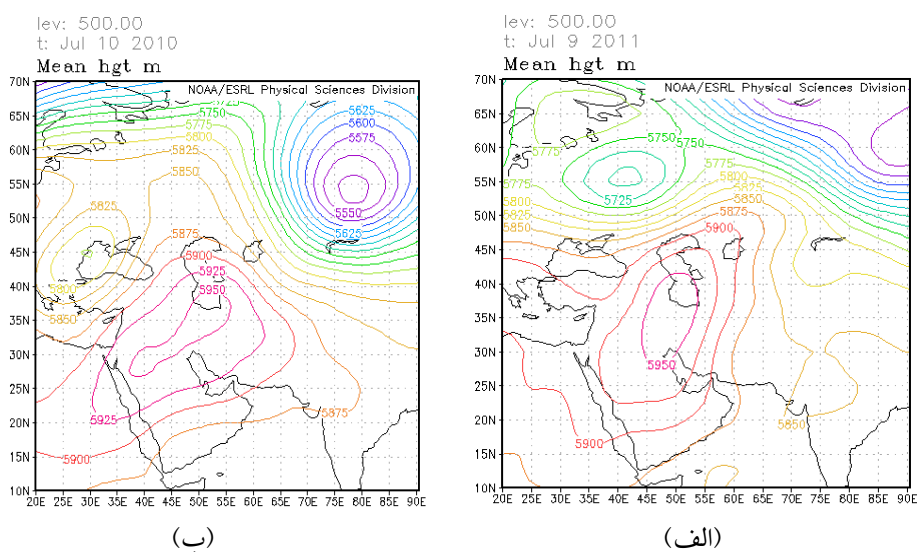
۷-۳ پیشینه‌های تابستانی ازن

در مقیاس منطقه‌ای هستند. سامانه‌های پرفشار تابستانی دارای شرایط هواشناسی آفتابی، خشک و آرام در طی روز هستند و باعث افزایش تولید ازن طی واکنش‌های فوتوشیمیایی می‌شوند (تنگ و همکاران، ۲۰۰۹). در اینجا برای نمونه، به برخی از این موارد اشاره می‌شود. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ پیشینه‌های ازن سطحی را در تاریخ‌های ۹-۱۱ ژوئیه ۲۰۱۰ در ایستگاه‌های اقدسیه و پونک و ۸-۱۰ ژوئیه ۲۰۱۱ در ایستگاه‌های اقدسیه، پونک و ژئوفیزیک نشان می‌دهد. شکل ۱۶ حضور سامانه‌های واچرخندی در سطح hPa ۵۰۰ را در این موارد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این مراکز پُراتفاع سطح hPa ۵۰۰ روی منطقه ایران از دریای خزر تا خلیج فارس گسترده شده است.

پیشینه‌های تابستانی ازن سطحی در اینجا با شرایط هواشناسی جو بالا مقایسه می‌شود. در انتخاب این پیشینه‌ها افزایش ازن در بیش از یک ایستگاه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که معمولاً در تابستان اوج‌های ازن به‌صورت چندروزه است. به‌بیان‌دیگر، نمودار در نقاط اوج به‌صورت پهن است و پیشینه‌های شدید یک‌روزه، کمتر مشاهده می‌شود. معمولاً تغییرات چندروزه ازن می‌تواند با سامانه‌های هواشناسی ارتباط داشته باشد. نتایج مقایسه پیشینه‌های تابستانی ازن با سامانه‌های هواشناسی نشان داد که اکثر این افزایش غلظت ازن در ارتباط با حضور واچرخندها در وِردسپهر میانی در منطقه ایران است. سامانه‌های پرفشار با حرکت آرام، اغلب در ارتباط با مقادیر زیاد ازن سطحی



شکل ۱۵. تغییرات میانگین روزانه ازن سطحی در ایستگاه‌های اقدسیه و پونک طی ماه ژوئیه ۲۰۱۱.

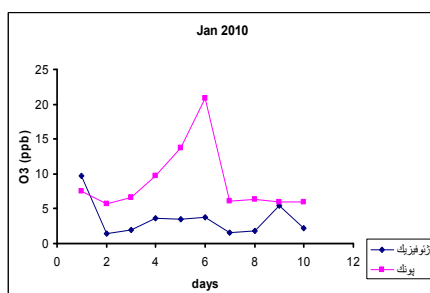


شکل ۱۶. نقشه همدیدی میانگین روزانه پربندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۵۰۰ hPa در منطقه ایران در روزهای (الف) ۱۰ ژوئیه ۲۰۱۰ و (ب) ۹ ژوئیه ۲۰۱۱. (منبع: سایت NOAA).

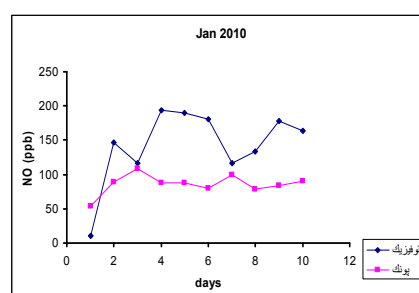
ژئوفیزیک و پونک مورد مقایسه قرار گرفته است. شکل ۱۷ این مقایسه را برای ۱۰ روز ماه ژانویه ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اکثر موارد، غلظت آلاینده NO ایستگاه ژئوفیزیک بیشتر از ایستگاه پونک و برعکس غلظت ازن سطحی ایستگاه ژئوفیزیک کمتر از ایستگاه پونک است. بنابراین یکی از عوامل کمتر بودن غلظت ازن ایستگاه ژئوفیزیک نسبت به ایستگاه پونک، می‌تواند بیشتر بودن غلظت NO در این ایستگاه باشد.

۳-۸ تأثیر واکنش تیتراشدن بر ازن شبانه

تأثیر واکنش تیتراشدن بر غلظت ازن سطحی شبانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. در شب هنگام، به علت نبود تابش خورشیدی، واکنش‌های فوتوشیمیایی تولید ازن صورت نمی‌گیرد و واکنش تیتراشدن هم باعث کاهش غلظت ازن سطحی می‌شود و بنابراین غلظت ازن در شب کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر طی واکنش تیتراشدن، آلاینده NO باعث تخریب ازن سطحی می‌شود. از این رو، غلظت‌های میانگین شبانه آلاینده‌های ازن سطحی و NO دو ایستگاه

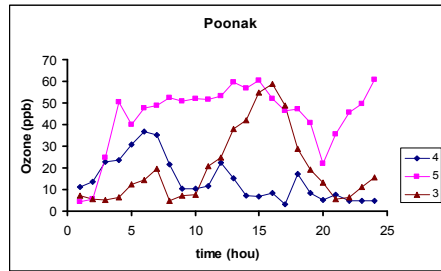


(ب)



(الف)

شکل ۱۷. مقایسه میانگین‌های شبانه آلاینده‌های NO (الف) و ازن سطحی برای ایستگاه‌های ژئوفیزیک و پونک طی ۱۰ روز اول ماه ژانویه ۲۰۱۰.



شکل ۱۸. مقایسه الگوی روزانه اُزن سطحی برای روزهای قبل از بارش (۳ فوریه)، روز بارش (۴ فوریه) و روز بعد از بارش (۵ فوریه) ۲۰۱۰ در ایستگاه پونک.

۳-۹ تأثیر بارش بر اُزن

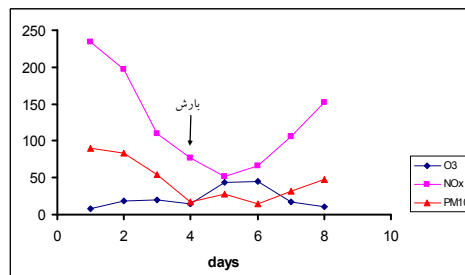
۱۰ را در روزهای قبل و بعد از بارش مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در روز پس از بارش، غلظت اُزن بلافاصله افزایش می‌یابد درحالی‌که، هنوز غلظت سایر آلاینده‌ها کم است. یکی از عوامل این پدیده می‌تواند کاهش غلظت آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن در روز پس از بارش و در پی آن کاهش تخریب اُزن با آنها باشد.

در روز ۲۵ ژانویه ۲۰۱۰ بارش حدود ۵ میلی‌متری در ایستگاه ژئوفیزیک گزارش شده است و در روز بعد از آن (۲۶ ژانویه) افزایش غلظت اُزن سطحی در ایستگاه‌های پونک و اقدسیه مشاهده می‌شود. شکل ۲۰ این مقایسه غلظت اُزن را در روز بارش و بعد از آن نشان می‌دهد.

در روز ۲۶ ژانویه ۲۰۰۸ حدود ۸ میلی‌متر بارش در ایستگاه ژئوفیزیک گزارش شده است و در روز بعد از آن (۲۷ ژانویه) افزایش غلظت اُزن در ایستگاه‌های ژئوفیزیک و پونک مشاهده می‌شود. شکل ۲۱ این مقایسه را برای ایستگاه ژئوفیزیک نشان می‌دهد.

تأثیر بارش بر مقدار غلظت اُزن نیز نشان می‌دهد که معمولاً در یک تا دو روز پس از بارش، مقدار غلظت اُزن افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، در روز بارش، غلظت همه آلاینده‌ها از جمله اُزن کاهش می‌یابد ولی در یک تا دو روز پس از بارش درحالی‌که هنوز اکثر آلاینده‌ها غلظت به نسبت کمی دارند، غلظت اُزن افزایش می‌یابد. در اینجا برای نمونه به برخی از این موارد مشاهده شده اشاره می‌شود.

در روز ۴ فوریه ۲۰۱۰ بارش ۲۵ میلی‌متری در ایستگاه ژئوفیزیک مشاهده شده است و در روز بعد از آن (۵ فوریه) افزایش غلظت اُزن در ایستگاه‌های پونک و اقدسیه مشاهده می‌شود. شکل ۱۸ الگوی روزانه اُزن سطحی را برای روزهای قبل از بارش (۳ فوریه)، روز بارش (۴ فوریه) و روز بعد از بارش (۵ فوریه) در ایستگاه پونک مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در روز بعد از بارش، افزایش اُزن شبانه و روزانه مشاهده می‌شود. شکل ۱۹ غلظت آلاینده‌های اُزن، NO_x و PM_{10}



شکل ۱۹. مقایسه غلظت آلاینده‌های اُزن، NO_x و PM_{10} در روزهای قبل و بعد از بارش تاریخ ۴ فوریه ۲۰۱۰ در ایستگاه پونک.

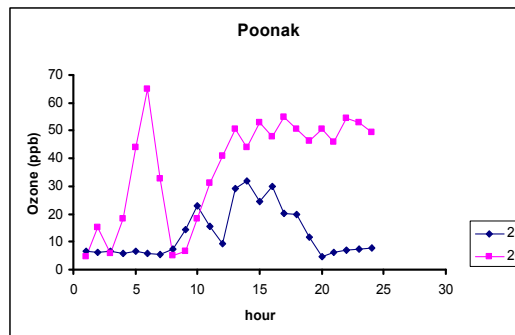
روزانه ازن تحت تأثیر عوامل گوناگونی از قبیل دمای هوا، تابش خورشیدی و غلظت آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن قرار دارد.

بررسی تغییرات فصلی ازن نشان داده است که بیشینه ازن در ماه‌های ژوئیه و اوت و کمینه آن در ماه‌های ژانویه و دسامبر رخ می‌دهد. بیشینه تابستانی ازن در اثر عوامل گوناگونی از قبیل افزایش دمای هوا، تابش شدید خورشیدی و طولانی شدن روز رخ می‌دهد. این نتایج، مشابه نتایج به‌دست آمده در تحقیق آدم و همکاران (۲۰۰۸) در اسپانیا است. محدوده تغییرات میانگین ماهانه ازن در ایستگاه‌های اقدسیه، پونک و شهرری بین ۱۰ ppb و ۱۷۰ است.

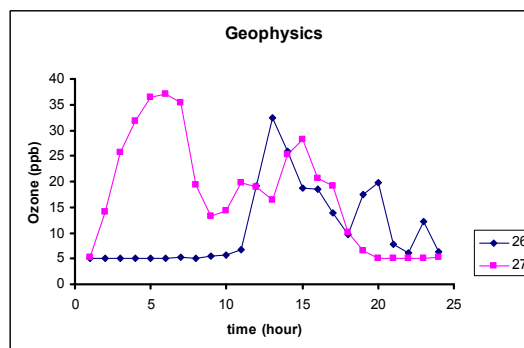
بررسی همبستگی بین غلظت‌های ساعتی و میانگین روزانه ازن روشن ساخت که بالاترین همبستگی مثبت بین غلظت‌های ساعت ۱۱ قبل از ظهر و میانگین روزانه ازن وجود دارد و این ضرایب همبستگی برای سرتاسر سال وجود دارد و برای نمونه، رابطه خطی بین این دو پارامتر در ایستگاه اقدسیه طی سال ۲۰۱۰ به‌دست آمده است. همبستگی در این ساعت (۱۱ قبل از ظهر) در زمینه پیش‌بینی ازن روزانه حائز اهمیت است و می‌توان از آن به‌منزله شاخص استفاده کرد.

بررسی تأثیر وارونگی دمای شبانه بر غلظت ازن نشان داد که اغلب، کاهش وارونگی‌های دمایی شبانه و کاهش پایداری جو می‌تواند باعث افزایش غلظت ازن سطحی شبانه شود. کاهش وارونگی دمایی شبانه می‌تواند تجمع ازنی بالای لایه باقی‌مانده (residual) شبانه را به سمت پایین و به سطح زمین منتقل کند. این نتایج مشابه نتایج به دست آمده از تحقیق لین و همکاران (۲۰۰۴) است.

به‌منظور یافتن بیشینه‌های ازن سطحی بهاری که منشأ پوشش سپهری داشته باشند، بیشینه‌های آلاینده ازن سطحی بهاری مورد تأیید در چند ایستگاه، انتخاب شد. سپس از این بیشینه‌ها مواردی که با افزایش ازن کلی جو همراه



شکل ۲۰. مقایسه الگوی روزانه ازن سطحی در روز بارش (۲۵ ژانویه ۲۰۱۰) و روز بعد از آن در ایستگاه پونک.



شکل ۲۱. مقایسه الگوی روزانه ازن سطحی برای روزهای بارش (۲۶ ژانویه) و در روز بعد از آن (۲۷ ژانویه) ۲۰۰۸ در ایستگاه ژئوفیزیک.

۴ نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تغییرات زمانی مکانی آلاینده ازن سطح زمین و عوامل هواشناسی مؤثر بر آن در شهر تهران طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ بررسی شده است. بررسی مقادیر شاخص کیفیت هوا، نسبت به آلاینده‌های ازن سطحی در ایستگاه اقدسیه طی سال ۱۳۸۹ نشان داده است که حدود ۳۰ درصد از روزهای این سال، ناسالم بوده و بیشترین درصد روزهای ناسالم مربوط به ماه‌های تیر و مرداد (۹۳٪) بوده است.

بررسی الگوی روزانه ازن سطحی روشن ساخت که غالباً اوج ازن در ساعت‌های ۱۵-۱۷ بعد از ظهر و کمینه مقدار ازن نیز در ساعت‌های شب رخ می‌دهد. الگوی

به منظور بررسی کاهش غلظت ازن سطحی شبانه در اثر واکنش تیتراشدن با آلاینده NO، غلظت آلاینده‌های ازن سطحی و NO دو ایستگاه ژئوفیزیک و پونک مقایسه شده است. نتایج این مقایسه روشن ساخت که در اکثر موارد، غلظت آلاینده NO ایستگاه ژئوفیزیک بیشتر از ایستگاه پونک و برعکس غلظت ازن سطحی ایستگاه ژئوفیزیک، کمتر از ایستگاه پونک است.

تشکر و قدردانی

از شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران برای در اختیار قرار دادن داده‌های آلودگی هوا و از سازمان هواشناسی برای در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی تشکر می‌شود.

مراجع

- Adame, J. A., Lozano, A., Bolívar, J. P., De la Morena, B. A., Contreras, J. and Godoy, F., 2008, Behavior, distribution and variability of surface ozone at an arid region in the south of Iberian Peninsula (Seville, Spain), *Chemospher*, **70**, 841-849.
- Bonasoni, P., Evangelisti, F., Bonafe, U., Ravegnani, F., Calzolari, F., Stohl, A., Tositti, L., Tubertini, O. and Colombo, T., 2000, Stratospheric ozone intrusion episodes recorded at Mt. Cimone during the VOTALP project: case studies, *Atmospheric Environment*, **34**, 1355-1365 .
- Debaje, S. B. and Kakade, A. D., 2009, Surface ozone variability over western Maharashtra, India, *Journal of Hazardous Materials*, **161**, 686-700.
- Gasana, J., Dillikar, D., Mendy, A., Forno, E. and Ramos Vieira, E., 2012, Motor vehicle air pollution and asthma in children: A meta-analysis, *Environmental Research*, **117**, 36-45.
- Helmig, D., Oltmans, S. J., Morse, T. O. and Dibb, J. E., 2007, What is causing high ozone at Summit, Greenland, *Atmospheric Environment*, **41**, 5031-5043 .
- Levy, H., Mahlman, J. D. and Moxim, W. J., 1985, Tropospheric ozone The role of transport, *Journal of Geophysical Research*, **90**, 3753-3772.

بودند، انتخاب شد. در مرحله بعد، سامانه‌های هواشناسی همدیدی حاکم در روزهای وقوع بیشینه ازن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که در فصل بهار، برخی سامانه‌های کم ارتفاع و رده‌سپهری به همراه پدیده و ردايست تاشونده که منطقه ایران را در عرض‌های شمالی دریای خزر تحت تأثیر قرار می‌دهند و از سطح hPa ۷۵۰ تا hPa ۵۰۰ گسترده شده‌اند، می‌توانند از راه نزول هوای خشک سرشار از ازن پوشن سپهری به و رده‌سپهر، باعث افزایش مقدار آلاینده ازن سطح زمین شوند. بررسی نزول هوای پوشن سپهری به و رده‌سپهر از راه مقایسه نیم‌رخ‌های قائم رطوبت نسبی حاصل از اندازه‌گیری‌های رادیوسوند، صورت گرفته است. این نتایج مشابه نتایج به‌دست آمده در تحقیق بوناسونی و همکاران (۲۰۰۰) است.

بررسی بیشینه‌های تابستانی ازن سطحی و مقایسه آن با شرایط هواشناسی جو بالا روشن ساخت که اغلب این بیشینه‌ها پهن و چندروزه هستند و معمولاً در حضور و اچرخندها در و رده‌سپهر میانی منطقه ایران ایجاد می‌شوند. شرایط هواشناسی آفتابی، خشک و آرام در طی روز ناشی از سامانه‌های پرفشار تابستانی باعث افزایش تولید ازن طی واکنش‌های فوتوشیمیایی می‌شود. اغلب مراکز این و اچرخندها در سطح hPa ۵۰۰ از دریای خزر تا خلیج فارس گسترده شده‌اند. این نتایج مشابه نتایج به‌دست آمده در تحقیق تنگ و همکاران (۲۰۰۹) است.

بررسی تأثیر بارش بر مقدار آلاینده ازن سطحی نشان داد که در روز بارش، غلظت همه آلاینده‌ها از جمله ازن کاهش می‌یابد ولی در یک تا دو روز پس از بارش در حالی که هنوز اکثر آلاینده‌ها غلظت به نسبت کمی دارند، غلظت ازن افزایش می‌یابد. یکی از عوامل این پدیده می‌تواند کاهش غلظت آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن در روز پس از بارش و در پی آن کاهش تخریب ازن با آنها باشد.

- Research, **98**, 125-139 .
- Ribas, A., Peñuelas, J., 2004, Temporal patterns of surface ozone levels in different habitats of the North Western Mediterranean basin, *Atmospheric Environment*, **38**, 985-992.
- Sergio Chiarelli, P., Amador Pereira, L. A., Nascimento Saldiva, P. H. D., Ferreira Filho C., Bueno Garcia, M. L., Ferreira Braga, A. L. and Conceição Martins, L., 2011, The association between air pollution and blood pressure in traffic controllers in Santo André, São Paulo, Brazil, *Environmental Research*, **111**, 650-655.
- Tang, L., Chen, D., Karlsson, P. E., Gu, Y. and Ou, T., 2009, Synoptic circulation and its influence on spring and summer surface ozone concentrations in southern Sweden, *Boreal Environment Research*, **14**, 889-902.
- Lin, C. H., Wu, Y. L., Lai, C. H., Lin, P. H., Lai, H. C. and Lin, P. L., 2004, Experimental investigation of ozone accumulation overnight during a wintertime ozone episode in south Taiwan, *Atmospheric Environment*, **38**, 4267-4278.
- Minoura, H., 1999, Some characteristics of surface ozone concentration observed in an urban atmosphere, *Atmospheric Research*, **51**, 153-169 .
- Monks, P. S., 2000, A review of the observations and origins of the spring ozone maximum, *Atmospheric Environment*, **34**, 3545-3561 .
- Reddy, B. S. K., Kumar, K. R., Balakrishnaiah, G., Gopal, K. R., Reddy, R. R., Ahammed, Y. N., Narasimhulu, K., Reddy, L. S. S. and Lal, S., 2010, Observational studies on the variations in surface ozone concentration at Anantapur in southern India, *Atmospheric*