

## بررسی تغییرات ازن سطحی در محدوده ایستگاه سینوپتیک (هواشناسی) مؤسسه ژئوفیزیک برای سال ۲۰۰۲

عباسعلی اکبر بیدختی<sup>۱</sup>، زهرا شرعی پور<sup>\*۲</sup>

۱- دانشیار مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۲- کارشناس ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۲/۱

تاریخ دریافت: ۸۴/۳/۷

### چکیده

در این تحقیق اندازه گیری های ازن سطحی و مشخصه های هواشناسی در محدوده ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. این بررسی در دوره یکساله ژانویه ۲۰۰۲ تا نوامبر ۲۰۰۲ انجام شده است. میانگین یکساله تغییرات روزانه ازن سطحی نشان می دهد که مقادیر بالای ازن طی بعد از ظهر و مقادیر پایین ازن طی ساعات اولیه صبح و اواخر شب رخ داده است. مقایسه شدت باد و مقدار ازن سطحی نشان می دهد که طی روز فرارفت هوای آلوده ازن دار توسط باد، دشت، کوه به محل ایستگاه روی می دهد و با افزایش شدت باد، مقدار ازن افزایش می یابد. پیک کوچک ثانویه در اواخر بعد از ظهر برخی ماههای تابستان به علت تغییر در رژیم باد از دشت-کوه به کوه-دشت است. این پیک در فصول دیگر ضعیف می شود. بررسی میانگین ازن ماهانه نشان می دهد که پیک اصلی ازن در ماه مارس (حدود ۶۴/۲ ppbv) و پیک دوم در ماه اگوست (۴۹/۵ ppbv) رخ داده است. مقایسه میانگین ماهانه ازن کلی جو با ازن سطحی نشان می دهد که عامل مهم پیک اصلی که در ماه مارس رخ داده، افزایش ازن کلی جو بالا و انتقال و ریزش آن از استراتوسفر به تروپوسفر است و عامل اصلی پیک دوم که در ماه اگوست رخ می دهد عامل واکنش های فتوشیمیایی است.

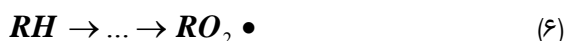
**واژه های کلیدی:** ازن سطحی، واکنش های فتوشیمیایی، ازن کلی، رژیم باد، فرارفت هوا، تهران، استراتوسفر، تروپوسفر.

### سرآغاز

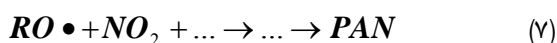
عمل اکسایش رنگها که باعث تغییر رنگ می شود نیز به علت اثر ازن جو است (اسپدینگ، ۱۳۷۱). آلاینده های هوا دو نوع اولیه و ثانویه هستند (Stern, 1984). آلاینده های اولیه از قبیل اکسیدهای نیتروژن<sup>۱</sup> ( $\text{NO}_x$ ) و مونوکسید کربن (CO)، به طور مستقیم از دود اتومبیل ها تولید می شوند ولی آلاینده های ثانویه از قبیل ازن ( $\text{O}_3$ ) در اثر واکنش های فتوشیمیایی<sup>۲</sup> به وجود می آیند. دو منبع اصلی برای ازن تروپوسفری عبارتند از ازن طبیعی تولید شده در اثر انتقال و ریزش ازن استراتوسفری<sup>۳</sup> به تروپوسفر و واکنش های فتوشیمیایی ازن در اثر آلودگی هوا. واکنش فتوشیمیایی تروپوسفری به وسیله فتولیز<sup>۴</sup> ازن،

ازن نقش کلیدی در اکسیداسیون شیمیایی تروپوسفری<sup>۱</sup> داشته و یکی از گازهای گلخانه ای مهم محسوب می شود. از آنجا که غلظت های بالای ازن در لایه مرزی، حیات گیاهان و انسان را به مخاطره می اندازد، تحقیق در مورد آلاینده ازن حائز اهمیت است. غلظت های بالای ازن سطحی باعث ایجاد بیماری های متعددی از جمله بیماری های تنفسی می شود. همچنین این گاز بر گیاهان و مواد غیر زنده نیز تأثیر منفی دارد. از جمله آثار نابود کننده آن بر روی مواد غیر زنده، فرسودگی لاستیک در مجاورت آلاینده ازن و نور خورشید است.

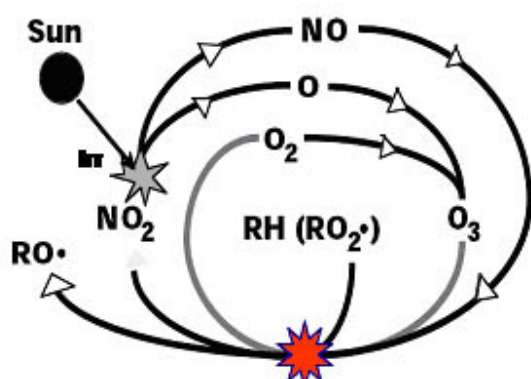
همچنین نحوه تولید رادیکال آلکوکسی  $RO \bullet$  به صورت زیر است:



$RO \bullet$  که مطابق واکنش (۵) تولید شده با  $NO_2$  واکنش داده و در نهایت باعث تولید نیترات استات پروکسی  $PAN$  می‌شود که ترکیبی مضر و سرطان‌زا بوده و مثل ازن، آلودگی ثانویه است مطابق واکنش زیر:



واکنش (۷) سریع و گرم‌زا است. مقدار مجاز  $PAN$  کمتر از ۱۰ ppbv برای دستگاه تنفس است. زنجیره واکنش‌های فوق، در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.



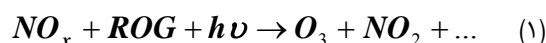
واکنش‌های سریع گرم‌زا

**شکل شماره (۱): نمودار زنجیره واکنش‌های مربوط به تشکیل و تجمع ازن. (گازهای ارگانیک فعال ROG از مصرف شدن کامل ازن برای اکسید کردن NO جلوگیری می‌کنند و باعث افزایش آن می‌شوند. منظور از ستاره بالای عمل فتوشیمیایی در تشکیل ازن و ستاره پایینی، ترکیب سریع و گرم‌زا است) (Turco, 1997)**

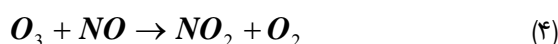
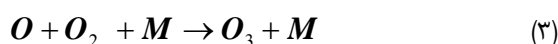
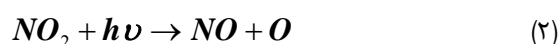
به طور کلی، تغییرات غلظت فتومه دود تحت تأثیر دو عامل اصلی جغرافیایی و فیزیکی قرار دارد. عامل فیزیکی شامل مشخصه‌های هواشناسی از قبیل ابرناکی، سرعت و سمت باد، شدت تابش آفتاب،

توسط تابش اشعه فرابنفش UV با طول موج کمتر از ۳۱۰ nm منجر به تشکیل اتم‌های اکسیژن تحریک شده می‌شود این اتم‌های تحریک شده با بخار آب، واکنش داده و رادیکال‌های هیدروکسید  $OH$  تولید می‌کنند. رادیکال‌های  $OH$  مجموعه‌ای از واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداسیون را تولید می‌کنند و واکنش‌های متان ( $CH_4$ ) و مونوکسید کربن ( $CO$ ) و سایر ترکیبات آلی، بنا به غلظت‌های اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و ( $NO$ ) در اثر فتومه دود<sup>۷</sup> می‌تواند باعث تولید، یا کاهش ازن شود.

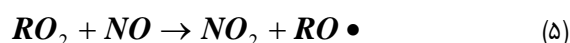
واکنش اصلی که باعث تولید ازن می‌شود عبارت است از:



جزئیات واکنش بالا به صورت زیر است:

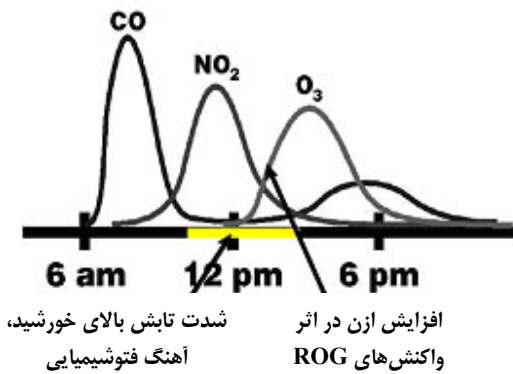


در واکنش‌های بالا،  $ROG$  گاز آلی فعال<sup>۸</sup> است که شامل بخش فعال  $R \bullet$  و هیدروژن H است؛ همچنین واکنش (۴) سریع و گرم‌زا است. مطابق واکنش‌های بالا، ازن همزمان تولید و مصرف می‌شود و به این طریق باید مقدار آن افزایش نیابد، در صورتی که در عمل، مقدار ازن طی روز افزایش می‌یابد. علت این امر، واکنش دیگری است که به طور همزمان رخ می‌دهد و در آن رادیکال آلکیل پروکسی  $RO_2 \bullet$  با اکسید نیتروژن واکنش داده و در حقیقت در اکسید کردن، با ازن رقابت می‌کند و قدرت آن بیش از  $O_3$  بوده و نقش این گاز را تضعیف می‌کند. مطابق واکنش زیر:



بنابراین  $O_3$  کمتر مصرف می‌شود و میزان تولید آن بیشتر از مصرف شده و مقدار آن افزایش می‌یابد.

جمله‌اند. بنابراین شهرهای مختلف دارای آلاینده‌های مختلف و شرایط جوی متفاوتی هستند (غیاث‌الدین، ۱۳۶۷). برای مثال شکل شماره (۳) مربوط به ایالت لس‌آنجلس آمریکا بوده و تعداد روزهایی از سال ۱۹۸۸ را که مقدار ازن از حد مجاز استاندارد بالاتر بوده نشان می‌دهد. همان طور که شکل شماره (۳) نشان می‌دهد با دور شدن از دریا مقدار این گاز افزایش یافته است که نشان دهنده انتقال آن توسط نسیم دریاست.



شکل شماره (۲): نمونه تغییرات روزانه ترکیبات مه دود CO  
NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> در جو شهری در طول روز (Turco, 1997).



سبز، کمتر از ۲۰  
 زرد، از ۳۰ تا ۸۰  
 نارنجی روشن، از ۸۰ تا ۱۲۰  
 نارنجی سیر، از ۱۲۰ تا ۱۴۰  
 قرمز، بیشتر از ۱۴۰

شکل شماره (۳): تعداد روزهایی از سال ۱۹۸۸ در ایالت لس‌آنجلس آمریکا که مقدار ازن از حد استاندارد بالاتر بوده است. مثلث‌ها ایستگاه‌های ثابت اندازه‌گیری هستند (Turco, 1997).

تحقیقی مشابه در مورد ازن سطحی هوا در شهر ساحلی تامپای<sup>۱۵</sup> هند که در منطقه حاره واقع شده، انجام شده است (Nair et al.,

ارتفاع لایه آمیخته و موقعیت زمانی و فصلی است. عامل جغرافیایی شامل ارتفاعات، کوهها، موقعیت محلی منبع آلوده‌ساز و سایر عوامل است. همچنین هر یک از مشخصه‌ها با یکدیگر در ارتباط‌اند. برای مثال سمت و سرعت باد در نزدیکی محل منبع آلاینده، در مقدار پراکنش آن حائز اهمیت است.

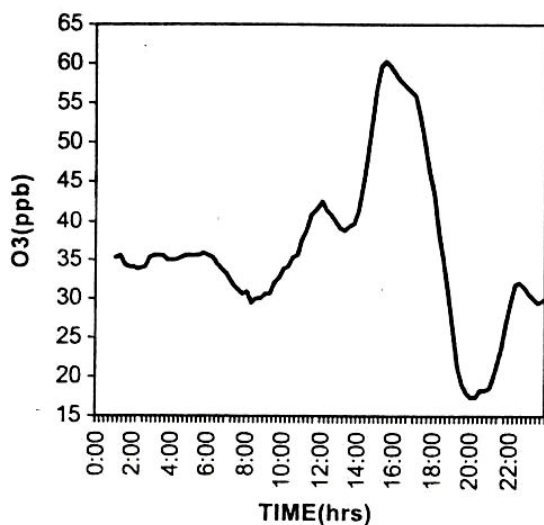
معمولاً آلودگی ازن هوا در فصل تابستان افزایش و در فصل زمستان کاهش یافته و CO در فصل زمستان افزایش می‌یابد. تغییرات زمانی روزانه برای CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> مطابق شکل شماره (۲) است. آلاینده‌هایی از قبیل CO معمولاً در اوایل صبح و اواخر شب مقدار بیشینه دارند و هنگام ظهر مقدار آنها کاهش می‌یابد. کاهش ارتفاع لایه آمیخته در شب و کاهش آمیختگی هوا سبب نهشت<sup>۱۲</sup> آلاینده‌ها در شب شده و مانع انتقال آنها به ارتفاعات بالاتر جو می‌شود.

به طور کلی مقدار ازن در هر مکانی تابع دو عامل فتوشیمی محلی و انتقال است. در نزدیک سطح زمین، ازن به وسیله واکنش‌های فتوشیمیایی آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی مختلف از قبیل فعالیت‌های صنعتی، سوختن توده زنده<sup>۱۳</sup> و دود اتومبیل‌ها تولید می‌شود. غلظت ازن به علت تغییرپذیری در منابع پیش‌نشان ازن از قبیل CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC<sub>s</sub> (مواد آلی فرار<sup>۱۴</sup>) و اثر متقابل فرارفت و سایر فرایندهای گردشی دارای تغییرپذیری بزرگ زمانی و فضایی است. همچنین شرایط هواشناسی بر انتقال و اختلاط گازهای پیش‌نشان تأثیر می‌گذارد. اهمیت فرایندهای فتوشیمیایی در مناطقی با مقدار زیاد شدت تابش خورشیدی همراه با محتوای بالای بخار آب افزایش می‌یابد. علاوه بر این، رشد صنعتی هم به این عوامل طبیعی اضافه می‌شود. تغییرپذیری بالای ازن در مقیاس‌های منطقه‌ای با عوامل بالا نیازمند اندازه‌گیری در مکان‌های مختلف است.

برای تعیین حد مجاز و استاندارد آلودگی ازن هوا طبقه‌بندی خاصی صورت گرفته است که مطابق آن مقدار ۲۰ ppbv آستانه استنشام بوده، مقدار ۱۰۰ ppbv برای افراد حساس که دارای بیماری دستگاه تنفسی اند، حساسیت زاست و مقدار ۳۰۰ ppbv برای بیشتر افراد حساسیت ایجاد می‌کند و مقدار ۱۰۰۰ ppbv بسیار مضر است. همچنین حد مجاز ازن در بیشتر کشورها به طور میانگین ساعتی، ۱۰۰ ppbv است (Turco, 1997). کیفیت هوا به متغیرهای متعددی بستگی دارد که شرایط جوی محلی و آلاینده‌های منتشره از آن

دست آمده از این تحقیق، غلظت هوامیز دوده (کربن سیاه) همبستگی مثبتی با مونوکسید کربن داشته و همچنین افزایش غلظت هوامیز دوده باعث کاهش ازن تروپوسفری می‌شود.

با توجه به اینکه در محیط‌های شهری مثل تهران، فرایندهای فتوشیمیایی باعث تشکیل  $O_3$  می‌شود که آلاینده‌ای ثانویه بوده و بر روی انسان، گیاهان و حتی ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد، شناخت مقدار بیشینه و زمان وقوع غلظت بالای آن از نظر حد مجاز، با توجه به شرایط هواشناختی در محیط‌های شهری از نظر کنترل کیفیت هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین در این تحقیق مقدار ازن و تغییرپذیری روزانه و فصلی آن و مقایسه آن با مشخصه‌های هواشناسی از قبیل سرعت و جهت باد، دما، بارش، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در محدوده ایستگاه سینوپتیک مؤسسه ژئوفیزیک بررسی شده است.



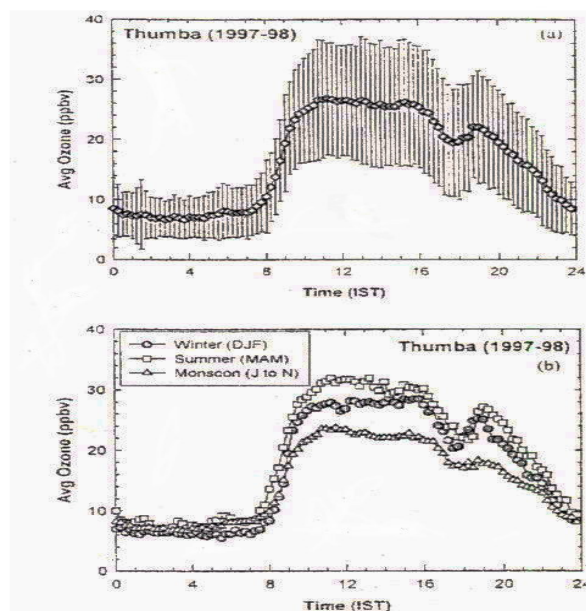
شکل شماره (۵): تغییرات روزانه ازن تروپوسفری برای ماه

ژانویه ۲۰۰۴ (Madhavi Latha, and Badarinath, 2004).

### مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک عبارتند از عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه و ارتفاع ۱۴۱۹ متر. داده‌های ازن سطحی وابسته به ایستگاه پردیسان سازمان محیط زیست بوده و به علت فاصله کم با ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک می‌توان مشخصه‌های هواشناسی یکی را با داده‌های ازن سطحی دیگری مقایسه کرد. داده‌های ازن کلی<sup>۱۷</sup>

در این تحقیق، تغییرات ازن سطحی هوا در دوره یکساله از آوریل ۱۹۹۷ تا مارس ۱۹۹۸ بررسی شده است. شکل شماره (۴) (a) و (b) میانگین روزانه ازن سطحی است که سالانه (a) و فصلی (b) میانگین‌گیری شده است. الگوی فصلی برای فصل‌های زمستان، تابستان و مانسون<sup>۱۶</sup> (سیستمی گردش است که به طور فصلی جهت آن تغییر می‌کند) بررسی شده و برای فصل مانسون (سیستمی گردش است که به طور فصلی جهت آن تغییر می‌کند)، ماههای ژوئن تا نوامبر در نظر گرفته شده است.



شکل شماره (۴): (a) میانگین سالانه تغییرات روزانه ازن سطحی

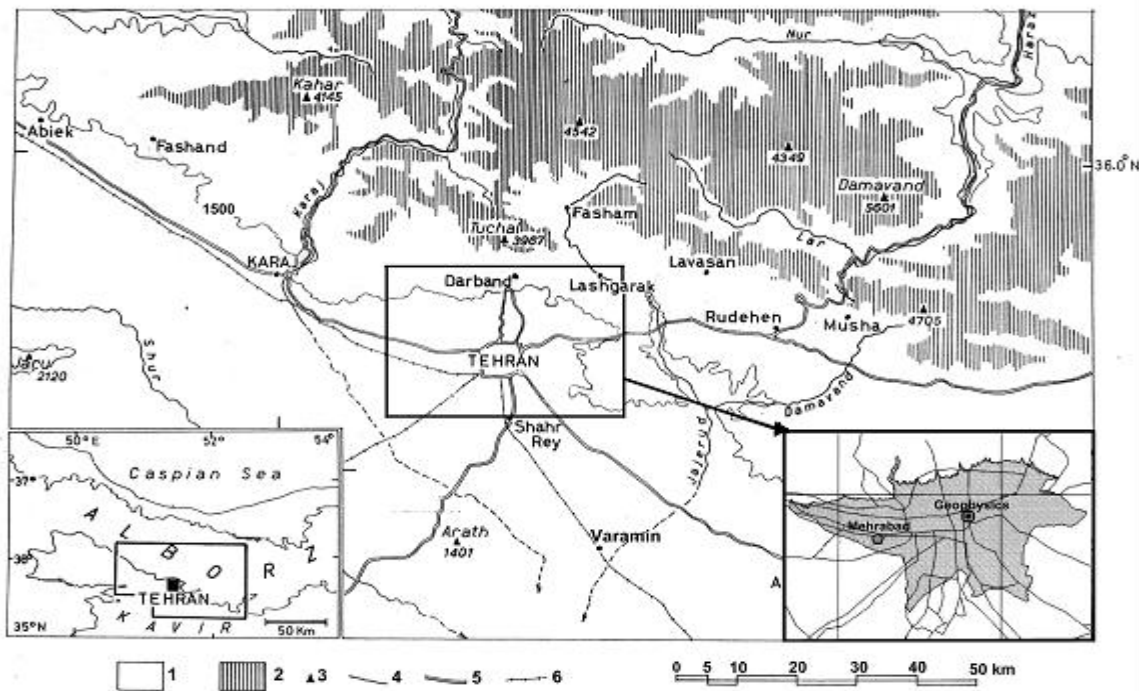
(b) میانگین فصلی تغییرات روزانه ازن سطحی در تامبا از آوریل

۱۹۹۷ تا مارس ۱۹۹۸ (Nair et al., 2002)

تحقیق دیگری در مورد همبستگی بین هوامیز دوده، مونوکسید کربن و ازن تروپوسفری در حیدرآباد هند انجام شده است (Madhavi Latha, and Badarinath, 2004). شکل شماره (۵) نمونه‌ای از الگوی روزانه ازن برای ماه ژانویه در این تحقیق نشان می‌دهد. بر اساس شکل شماره (۵) تغییرات ازن از ۱۴ ppbv تا ۶۳ ppbv بوده است و افزایش مقدار ازن بعد از طلوع آفتاب بتدریج صورت می‌گیرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار بیشینه ازن در بعد از ظهر روی داده و بعد از آن شروع به کاهش می‌یابد. در این تحقیق تأثیر فتمومه دود ناشی از وسایل نقلیه بر ازن بررسی شده است. بر اساس نتایج به

استفاده از تابش امواج فرابنفش (uv) صورت می‌گیرد. از داده‌های ساعتی ازن سطحی ابتدا میانگین ماهانه و سپس میانگین فصلی و سالانه تهیه شده است. تغییرات زمانی ماهانه، فصلی و سالانه ازن بررسی شده و پارامترهای هواشناسی و ازن به طور ماهانه مقایسه شده است. همچنین برای نمونه در چند ماه الگوی سرعت باد و ازن بررسی شده است. الگوی روزانه ازن سطحی (شکل شماره ۷) تغییرات روزانه، میانگین ازن سطحی را برای دوره یکساله از ژانویه ۲۰۰۲ تا نوامبر ۲۰۰۲ نشان می‌دهد. نمودار میله‌ای قائم بیان کننده انحراف

جو بالا از اندازه‌گیری دستگاه ازن سنج دایسون مؤسسه ژئوفیزیک به دست آمده است. در ضمن داده‌های هواشناسی نیز از ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران تهیه شده است. این بررسی برای دوره یکساله از ژانویه ۲۰۰۲ تا نوامبر ۲۰۰۲ انجام گرفته است. شکل شماره (۶) موقعیت جغرافیایی محدوده ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک را در تهران نشان می‌دهد. داده‌های ازن سطحی ساعتی بوده و از داده‌های میانگین ماهانه هواشناسی و ازن کلی استفاده شده است. داده‌های ازن سطحی توسط یک سنسور اندازه‌گیری شده است. در این روش، اندازه‌گیری ازن سطحی با



شکل شماره (۶): موقعیت جغرافیایی ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و دامنه کوه‌های البرز واقع در شمال تهران (شماره‌های ۱ تا ۶ به ترتیب معرف ۱: مناطق با ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا، ۲: مناطق با ارتفاع کمتر از ۳۰۰۰ متر، ۳: قله‌های کوه، ۴: رودخانه‌ها، ۵: بزرگراهها و ۶: خطوط راه آهن هستند).

می‌شود. افزایش روزانه ازن به علت اکسیداسیون در اثر نور<sup>۱۸</sup> گازهایی از قبیل CO، CH<sub>4</sub> و سایر هیدروکربن‌ها در حضور مقدار کافی NO و NO<sub>x</sub> است. همچنین فرایندهای لایهٔ مرزی از طریق آمیختگی همرفتی، اختلاط بین هوای با مقدار کم ازن لایهٔ سطحی و هوای غنی از ازن ارتفاعات بالاتر نقش مهمی در مقدار ازن سطحی دارد. آهنگ افزایش ازن طی صبح کمی تندتر از کاهش

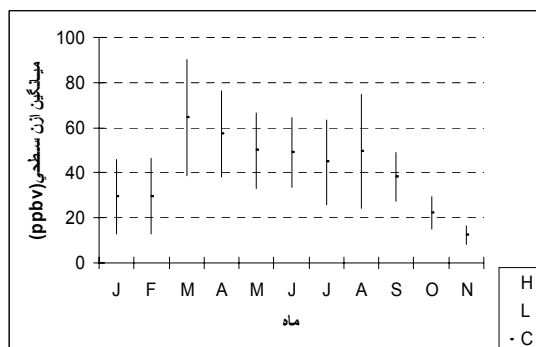
معیار است. مطابق شکل شماره (۷) انحراف معیار به هنگام روز بیشتر از شب است. الگوی مورد نظر نشان می‌دهد که مقادیر بالای ازن (حدود ۷۲ ppbv) طی روز و مقادیر پایین ازن (حدود ۲۶ ppbv) طی ساعات اولیه صبح و اواخر شب رخ داده است. مقدار ازن در حدود ساعت ۸ صبح افزایش می‌یابد و در حدود ساعت ۱۵ بعد از ظهر به مقدار بیشینه می‌رسد. تقریباً بعد از ساعت ۱۶ کاهش یافتن ازن آغاز

زمستان دارد. به بیانی دیگر به هنگام روز، بیشترین مقدار ازن مربوط به فصل بهار و کمترین آن مربوط به فصل پاییز است و به هنگام شب، کمترین مقدار مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان است. همچنین الگوی روزانه کلی بین فصل‌های مختلف مشابه است. پیک کوچک دوم در بعد از غروب تابستان‌ها به احتمال مربوط به تغییر رژیم باد محلی از باد دشت کوه به کوه دشت است که هوای ازن دار دامنه کوه را به طرف سطح شهر می‌آورد. در اینجا باید توجه داشت که در هنگامی که سیستم هواشناسی خاصی وجود نداشته باشد مانند اغلب ماههای تابستان، رژیم باد و تغییر آن شدید است (بیدختی، ۱۳۷۵).

### تغییرات ماهانه ازن سطحی و مقایسه آن با برخی از مشخصه‌های هواشناسی

شکل شماره (۹) تغییرات ماهانه میانگین ازن سطحی را نشان می‌دهد. مقادیر میانگین ماهانه ازن، مقدار بیشینه ازن را (حدود ۶۴ ppbv) طی ماه مارس و مقدار کمینه ازن را (حدود ۱۲ ppbv) در ماه نوامبر، مطابق جدول شماره (۱) نشان می‌دهد. در کل، منحنی دو پیک دارد که پیک اصلی آن در ماه مارس و پیک دوم در ماه اگوست رخ داده است.

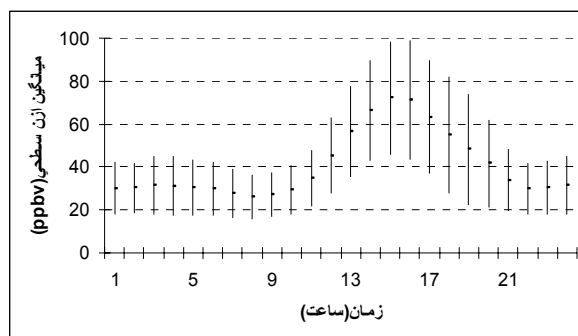
مقدار ازن در ۸۰٪ تعداد روزهای ماه مارس و در ۵۷٪ تعداد روزهای ماه اگوست به ۱۰۰ ppbv، یا بالاتر رسیده است که همان‌طور که قبلاً اشاره شد این مقدار بیشتر از مقدار حد مجاز است و همچنین اغلب در ساعات ۳ تا ۴ بعد از ظهر اتفاق می‌افتد.



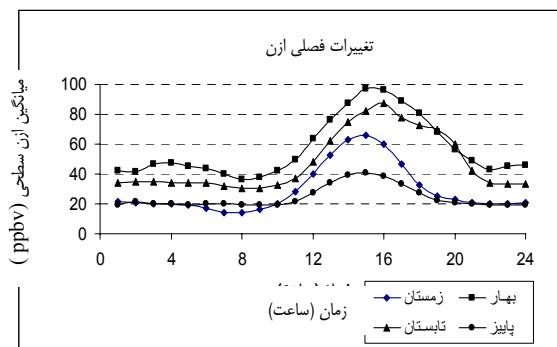
شکل شماره (۹): مقادیر میانگین و انحراف معیار ماهانه ازن سطحی

شکل‌های شماره (۱۰) و (۱۱) مقایسه مقدار ازن سطحی با مشخصه‌های هواشناسی را به طور ماهانه نشان می‌دهند. بر اساس

بعد از ظهر است. میانگین آهنگ افزایش روزانه ازن (از ساعت ۸ تا ۱۵) مشاهده شده، حدود ۷/۲ ppbv/h است، در حالی که آهنگ کاهش طی بعد از ظهر (ساعت ۱۵ تا ۲۲) مشاهده شده حدود ۶/۶ ppbv/h است. تغییرات روزانه ازن برای فصل‌های مختلف تهیه شده و نمودار آن در شکل شماره (۸) به نمایش گذاشته شده است.



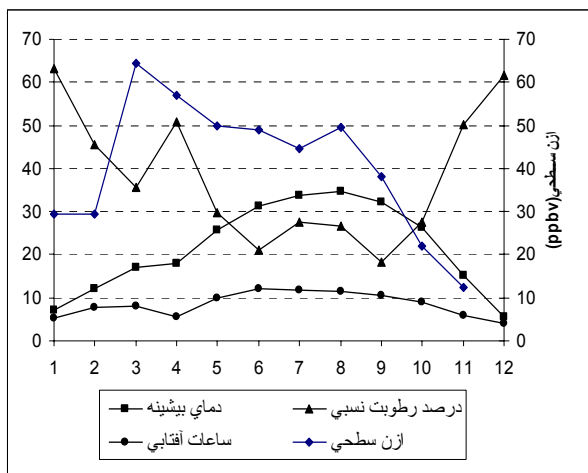
شکل شماره (۷): میانگین سالانه تغییرات روزانه ازن سطحی در محدوده ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک از ژانویه ۲۰۰۲ تا نوامبر ۲۰۰۲. نمودار میله‌ای قائم بیان کننده انحراف معیار است (زمان وقت محلی است)



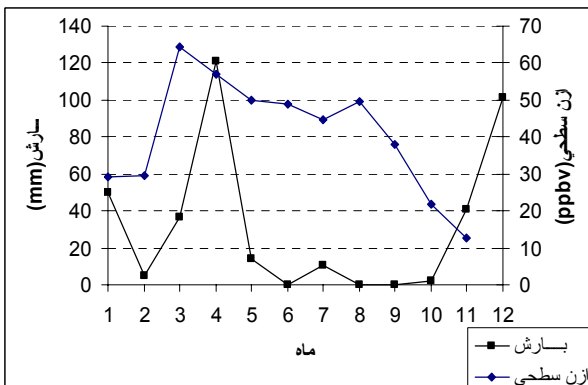
شکل شماره (۸): میانگین فصلی تغییرات روزانه ازن سطحی در محدوده ایستگاه سینوپتیک مؤسسه ژئوفیزیک از ژانویه ۲۰۰۲ تا نوامبر ۲۰۰۲

برای بهار؛ ماههای مارس، آوریل و می (MAM)، تابستان؛ ماههای ژوئن، جولای و اگوست (JJA)، پاییز؛ ماههای سپتامبر، اکتبر و نوامبر (SON) و زمستان؛ ماههای ژانویه و فوریه در نظر گرفته شده‌اند. همچنین داده‌های ماه دسامبر چون اندازه‌گیری وجود نداشته، بکار برده نشدند. ازن مشاهده شده بیشترین مقدار خود را (حدود ۹۷ ppbv) در بهار و کمترین مقدار را (حدود ۱۴ ppbv) در

کاهش می‌یابد و در نتیجه فرایندهای فتوشیمیایی هم کاهش یافته و ازن سطحی هم کاهش می‌یابد. همچنین در ماه‌های بارندگی، بعضی از آلاینده‌ها شسته<sup>۱۹</sup> و پاک می‌شوند، در نتیجه این می‌تواند عامل دومی برای کاهش ازن در این ماهها باشد (Nair et al., 2002). منحنی ساعات آفتابی نشان می‌دهد که با کاهش ساعات آفتابی، ازن سطحی کاهش می‌یابد.



شکل شماره (۱۰): مقایسه مقدار ازن سطحی با دمای ماکزیمم، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی



شکل شماره (۱۱): مقایسه مقدار ماهانه ازن سطحی با بارش

### تغییرات ماهانه ازن کلی

با توجه به اینکه بخشی از منبع ازن سطحی، ازن کلی جو است، بنابراین مقایسه مقادیر میانگین ماهانه این دو مقدار ضروری است. شکل شماره (۱۲) این مقایسه را برای سال ۲۰۰۲ نشان می‌دهد. بر اساس شکل شماره (۱۲) ازن کلی از ماه فوریه تا می افزایش یافته و

نتایج به دست آمده ماکزیمم اصلی در ماه مارس همراه با کاهش رطوبت نسبی بوده و دمای هوای سطح زمین که نشان دهنده آفتابگیری است، بالاترین مقدار را در ماه اگوست دارد که منجر به تولید فتوشیمیایی بالا شده و مقدار ازن سطحی هم افزایش می‌یابد. بنابراین احتمالاً پیک دوم را می‌توان به عامل واکنش فتوشیمیایی به وسیله آلاینده‌های صنعتی نسبت داد. در ماه آوریل که ماه بارندگی بهاری بوده و رطوبت نسبی هم افزایش یافته، مقدار ازن کاهش می‌یابد. همچنین در ماههای سپتامبر، اکتبر و نوامبر که رطوبت نسبی افزایش و دما کاهش یافته، مقدار ازن کاهش می‌یابد، یعنی در این ماهها رطوبت نسبی با دما و ازن سطحی همبستگی منفی دارد.

### جدول شماره (۱): مقدار میانگین ماهانه ازن سطحی و

#### انحراف معیار آن بر حسب ppbv

ماه	میانگین ازن سطحی (ppbv)	انحراف معیار (ppbv)
ژانویه	۲۹/۳	۱۶/۶
فوریه	۲۹/۵	۱۶/۶
مارس	۶۴/۴	۲۵/۶
آوریل	۵۷/۱	۱۹/۱
می	۴۹/۸	۱۶/۷
ژوئن	۴۹/۰	۱۵/۶
جولای	۴۴/۵	۱۸/۶
اگوست	۴۹/۵	۲۵/۱
سپتامبر	۳۸/۱	۱۰/۹
اکتبر	۲۱/۹	۷/۱۶
نوامبر	۱۲/۵	۴/۰۸

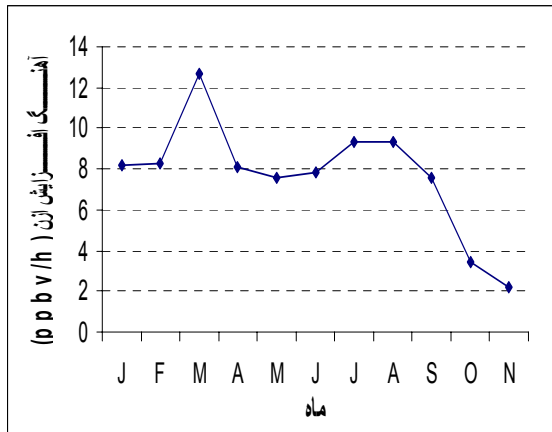
افزایش رطوبت نسبی باعث کاهش ازن سطحی می‌شود، چون بخار آب در اثر تابش خورشید منجر به تولید هیدروکسید (OH) می‌شود و هیدروکسید هم با مولکولهای ازن واکنش داده و مقدار آن را کاهش می‌دهد (Horvath, et al., 1985). مطابق واکنش زیر:



از سوی دیگر، مولکولهای بخار آب با جذب تابش خورشیدی سبب کاهش ازن می‌شوند.

همچنین با افزایش آفتابگیری و دما، واکنش فتوشیمیایی تشکیل ازن که به نور آفتاب نیازمند است بیشتر روی داده و مقدار ازن افزایش می‌یابد. به بیانی دیگر در ماههای بارش که هوا ابری است، آفتابگیری

بیشینه آن که در ماه مارس رخ داده مطابق با بیشینه آهنگ افزایش ازن بوده است.



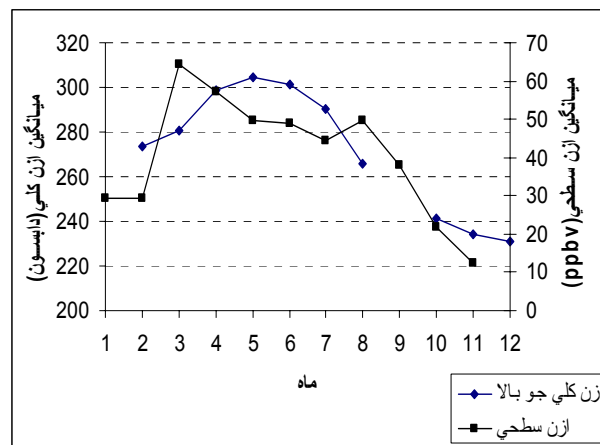
شکل شماره (۱۳): آهنگ ماهانه افزایش ازن سطحی

### اثر فرارفت آلودگی در اثر بادهای محلی

با توجه به اینکه رژیم‌های باد محلی در انتقال آلاینده‌ها دخالت دارند، سرعت باد برای نمونه در ماههای ژانویه، مارس، ژوئن، جولای، اگوست و نوامبر بررسی شده است. شکل‌های (۱۴) تا (۲۰) الگوی روزانه سرعت و جهت باد در این ماهها را نشان می‌دهد. فقط در ماه مارس داده‌های سرعت باد در شب موجود نبود. بر اساس نتایج به دست آمده سمت و سرعت باد (مطابق شکل شماره ۲۰) اغلب در ساعات روز جنوب غربی بوده و در شب شمالی، یا شمال شرقی است. مقدار ازن سطحی به هنگام روز با سرعت باد افزایش می‌یابد.

همبستگی مثبت بین سرعت باد و ازن سطحی نشان می‌دهد که هر چه شدت باد بیشتر باشد مقدار ازن افزایش می‌یابد. به بیانی دیگر باد می‌تواند هوایی را که دارای ازن و یا سایر آلاینده‌های بیشتری است از منابع تولید کننده آنها منتقل کند. الگوی ازن سطحی و سرعت باد در ماههای مختلف نشان می‌دهد که پیک اصلی بعد از ظهر مربوط به فرارفت هوای آلوده ازن‌دار دشت به کوه بوده و پیک دوم که در برخی ماههای تابستان در اواخر بعد از ظهر روی می‌دهد، به تغییر رژیم باد ارتباط دارد که در اثر آن هوای آلوده ازن‌دار از دامنه کوه به سطح شهر آورده می‌شود. مطابق شکل شماره (۱۶) پیک دوم ازن سطحی، بخصوص در ماه ژوئن با پیک دوم سرعت باد هماهنگی کامل دارد.

در ماه می به مقدار بیشینه می‌رسد و در ماه دسامبر کمینه مقدار خود را داراست. به‌طور کلی ازن جو بالا در فصل بهار افزایش و اوایل پاییز کاهش می‌یابد. به احتمال زیاد عامل اصلی پیک ازن سطحی در ماه مارس، افزایش ازن جو بالا و انتقال آن از استراتوسفر به تروپوسفر بوده ولی کاهش نسبی آن در ماههای آوریل و می بر اثر بارش‌های بهاری و افزایش ابرناکی آسمان است. همچنین کاهش ازن سطحی در ماههای می و ژوئن با وجود مقادیر بالای ازن کلی و افزایش دما می‌تواند بر اثر تضعیف وارونگی دمای شبانه باشد که از غلظت بالای آلاینده‌ها جلوگیری می‌کند.



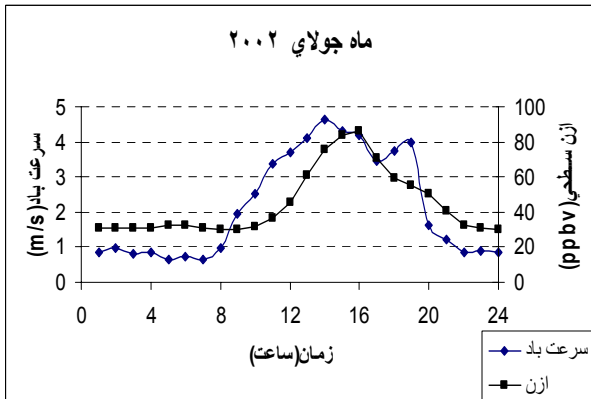
شکل شماره (۱۴): مقایسه میانگین ماهانه ازن سطحی

و ازن کلی

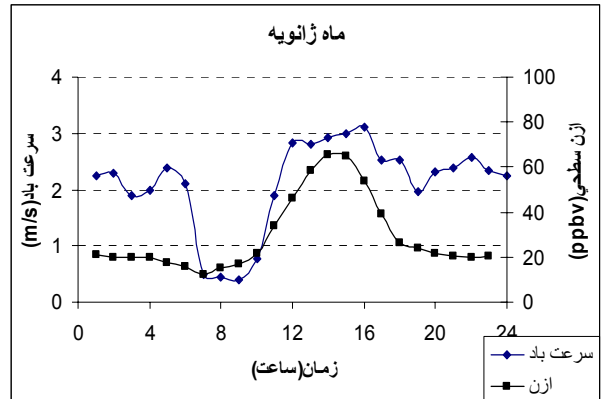
### آهنگ تغییر ازن

شکل شماره (۱۳) مقایسه تغییرات میانگین ماهانه آهنگ افزایش ازن را در طول ساعات تقریباً ۸ تا ۱۵ نشان می‌دهد. آهنگ افزایش ازن در ساعات روز کمترین مقدار خود را در ماه نوامبر و بیشترین مقدار خود را در ماه مارس دارد. منحنی مورد نظر نشان می‌دهد که ازن در ماه مارس آهنگ افزایشی دارد که در نتیجه تغییر ناگهانی آن در ماه مارس است. بیشترین آهنگ افزایش ازن در ماه مارس ۲۲/۲ ppbv/h و در ماه نوامبر ۲/۲ ppbv/h است. مقایسه این نمودار با مقدار میانگین ماهانه ازن تروپوسفری نشان می‌دهد که روند تغییرات مقدار میانگین ازن با آهنگ افزایش ازن یکسان بوده است. به بیانی دیگر

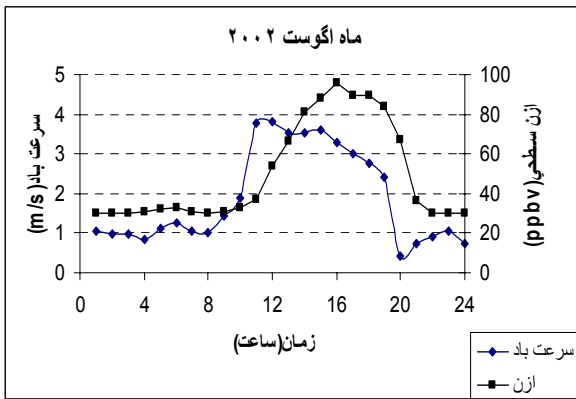




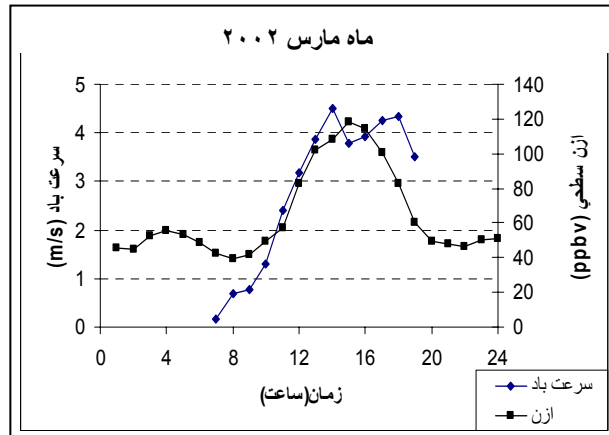
شکل شماره (۱۷): مقایسه مقدار میانگین ازن سطحی و سرعت باد برای ماه جولای سال ۲۰۰۲



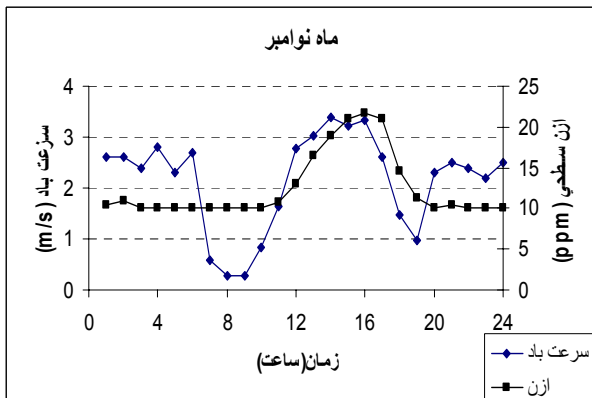
شکل شماره (۱۴): مقایسه مقدار میانگین ازن سطحی و سرعت باد برای ماه ژانویه سال ۲۰۰۲



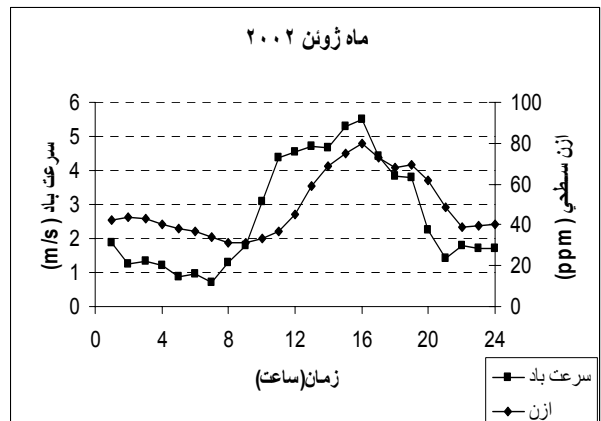
شکل شماره (۱۸): مقایسه مقدار میانگین ازن سطحی و سرعت باد برای ماه اگوست سال ۲۰۰۲



شکل شماره (۱۵): مقایسه مقدار میانگین ازن سطحی و سرعت باد برای ماه مارس سال ۲۰۰۲



شکل شماره (۱۹): مقایسه مقدار میانگین ازن سطحی و سرعت باد برای ماه نوامبر سال ۲۰۰۲



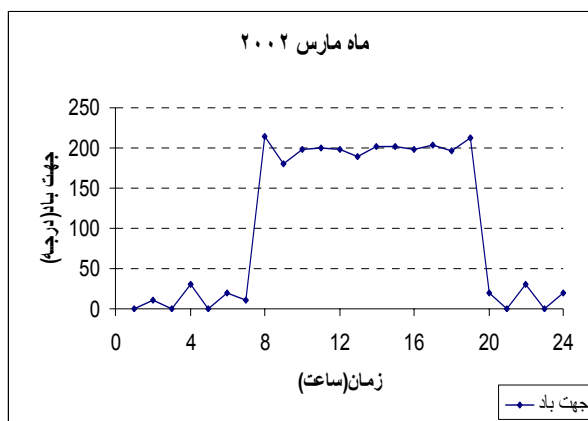
شکل شماره (۱۶): مقایسه مقدار میانگین ازن سطحی و سرعت باد برای ماه ژوئن سال ۲۰۰۲

هند صورت گرفته، زمان شروع افزایش ازن به طور مشابه در صبح بوده و مقدار بیشینه ازن هم در بعد از ظهر ظاهر می‌شود و پس از آن کاهش می‌یابد، ولی پیک دومی هم در حدود ساعت ۱۹ رخ می‌دهد که علت آن مربوط به تغییر رژیم نسیم دریا به خشکی است که مختص بادهای محلی ساحلی است، ولی تغییرات ازن نسبت به مقادیر مشابه در ایستگاه مؤسسه ژئوفیزیک کمتر بوده که می‌تواند مربوط به موقعیت جغرافیایی ایستگاه ساحلی تامبای هند باشد.

در تحقیق دیگری که در حیدرآباد هند توسط ( Madhavi Latha, and Badarinath, 2004) انجام شده مقادیر ازن، نزدیکی و مشابهت بیشتری با داده‌های آن در ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک دارد که علت آن می‌تواند تا حدودی مشابه بودن شرایط جغرافیایی دو ایستگاه باشد. انحراف معیار در تامبای هند به طور مشابه طی روز بیشتر از شب می‌باشد، ولی مقدار میانگین آن کمتر است که ناشی از موقعیت محلی آنجاست.

بررسی تغییرات فصلی ازن نشان می‌دهد که طی روز بیشترین مقدار آن در فصل بهار و کمترین آن در فصل پاییز رخ می‌دهد و طی شب کمترین مقدار مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان است. پیک کوچک دوم در بعد از غروب تابستان‌ها احتمالاً مربوط به تغییر رژیم باد محلی از باد دشت - کوه به کوه - دشت است که هوای ازن‌دار دامنه کوه را به سطح شهر می‌آورد.

بررسی تغییرات ماهانه ازن سطحی نشان می‌دهد که مقدار بیشینه آن در ماه مارس و مقدار کمینه آن در ماه نوامبر روی می‌دهد. در کل منحنی، دو پیک دارد که پیک اصلی در ماه مارس و پیک کوچک دوم در ماه اگوست رخ می‌دهد. با توجه به منابع اصلی تولید ازن سطحی و همچنین مقایسه تغییرات ماهانه ازن سطحی و ازن کلی و دما احتمالاً در پیک اصلی، عامل قوی‌تر، ریزش ازن از استراتوسفر به تروپوسفر و در پیک دوم عامل اصلی، واکنش‌های فتوشیمیایی است. به سخن دیگر، پیک دوم که در ماه اگوست رخ می‌دهد در اثر افزایش دما و ساعات آفتابی و در نتیجه عامل فتوشیمیایی است. کاهش ازن سطحی در ماه آوریل را می‌توان به عوامل افزایش بارش و رطوبت نسبی هوا و در پی آن افزایش ابرناکی آسمان و کاهش شدت تابش آفتاب و دما نسبت داد که بر عامل انتقال استراتوسفری ازن غلبه می‌کند. کاهش ازن سطحی در ماه می و ژوئن چون با مقادیر بالای ازن کلی استراتوسفری و همچنین کاهش بارش



شکل شماره (۲۰): میانگین ماهانه تغییر جهت باد برای ماه مارس سال ۲۰۰۲

## بحث نتایج و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت ازن به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم هوا، بررسی تغییرات روزانه و ماهانه آن در محدوده ایستگاه هواشناسی مؤسسه ژئوفیزیک تهران در نظر گرفته شده است. منبع اصلی ازن سطحی هوا، عامل واکنش‌های فتوشیمیایی و عامل انتقال آن از استراتوسفر به تروپوسفر است. ازن سطحی هوا در حضور گازهای  $\text{NO}_x$  و مواد آلی فرار که معمولاً حاصل فتومه دود اتومبیل‌ها می‌باشد، تشکیل می‌شود و مقدار آن دارای تغییرات بزرگ زمانی و فضایی است. همچنین شرایط هواشناسی بر انتقال و آمیختگی آن تأثیر می‌گذارد. انواع خطاهایی که معمولاً در این گونه تحقیقات می‌توانند تأثیرگذار باشند عبارتند از خطای ناشی از دستگاه اندازه‌گیری، خطا به هنگام وارد کردن داده‌ها و خطای محاسباتی که در تحقیق حاضر سعی شده که داده‌های ناصحیح مشخص شده و حذف شوند.

بررسی تغییرات روزانه ازن سطحی نشان می‌دهد که مقادیر بالای ازن (حدود ۷۲ ppbv) در طی روز و مقادیر پایین ازن (حدود ۲۶ ppbv) طی ساعات اولیه صبح و اواخر شب رخ داده است. مقدار اوزن در حدود ساعت ۸ صبح شروع به افزایش کرده و در حدود ساعت ۱۵ بعد از ظهر به مقدار بیشینه خود می‌رسد و از ساعت ۱۶ به بعد ازن کاهش می‌یابد. همچنین انحراف معیار در روز بیشتر از شب است. میانگین آهنگ افزایش روزانه ازن حدود ۷/۲ ppbv/h است، در صورتی که در تحقیقی که توسط Nair و همکاران (2002) در تامبای

### یادداشت‌ها

- 1- Troposphere
- 2- Oxides of Nitrogen
- 3- Photochemical
- 4- Stratosphere
- 5- Photolys
- 6- Hydroxide
- 7-Photochemical smog
- 8- Reactive Organic Gas
- 9- Alkyl peroxy radical
- 10- Alkoxy radical
- 11- Peroxyacetyl Nitrate Family
- 12-Deposition
- 13- Biomass
- 14- Volatile organic compounds
- 15- Thumba
- 16- Monsoon
- 17- Total ozone
- 18- Photoxidation
- 19-Wash out

### منابع مورد استفاده

- اسپدینگ، د. ج. ۱۳۷۱. آلودگی هوا، (ترجمه منصور کیان‌پور راد)، مرکز دانشگاهی تهران، ۱۰۹ ص.
- بیدختی، ع. ع. ۱۳۷۵. ایستگاه هواشناسی خودکار و آزمایشگاه دینامیک شاره‌های ژئوفیزیکی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. گزارش علمی شماره ۸۰.
- غیاث‌الدین، م. ۱۳۶۷. آلودگی هوا، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۰۹ ص.

و رطوبت نسبی و افزایش دما همراه است می‌تواند بر اثر تضعیف وارونگی دمای شبانه باشد که از غلظت بالای آلاینده‌ها جلوگیری می‌کند. آهنگ افزایش ازن طی روز کمترین مقدار خود را در ماه نوامبر و بیشترین مقدار را در ماه مارس دارد. در صورتی که در تامبای هند طی روز بیشترین مقدار ازن در فصل تابستان و کمترین آن در فصل مانسون بوده و طی شب کمترین مقدار مربوط به فصل زمستان است. به بیانی دیگر از نظر مقایسه مقادیر ازن ماهانه، در هر دو تحقیق مقدار بیشینه آن در ماه مارس رخ داده ولی مقدار کمینه آن در تامبا در ماه سپتامبر و در تحقیق حاضر در ماه نوامبر صورت گرفته که تفاوت‌های موجود را می‌توان به بارش مانسونی هند در فصل مانسون و موقعیت جغرافیایی و هواشناسی آنجا نسبت داد که همان‌طور که قبلاً بحث شده باعث کاهش مقدار ازن سطحی می‌شوند.

با توجه به اهمیت رژیم باد محلی در انتقال آلاینده‌ها، سرعت باد به عنوان نمونه در ماههای ژانویه، مارس، ژوئن، جولای، اگوست و نوامبر بررسی شد. نتایج بررسی‌ها مبین همبستگی مثبت بین ازن و سرعت باد می‌باشد. به بیانی دیگر، به هنگام روز، فرارفت هوای آلوده ازن دار دشت به کوه رخ داده و سبب تشکیل پیک اصلی بعد از ظهر می‌شود و در برخی ماههای تابستان، بخصوص ماه ژوئن، پیک دومی هم در اواخر بعد از ظهر روی می‌دهد که علت عمده آن تغییر رژیم باد و انتقال هوای آلوده ازن دار از دامنه کوه به سطح شهر است. به طور مشابه در تامبای هند نیز همبستگی مثبت بین ازن و سرعت باد وجود دارد، ولی در آنجا رژیم باد از نوع نسیم دریا به خشکی است.

مقدار ازن در ۸۰٪ تعداد روزهای ماه مارس و در ۵۷٪ تعداد روزهای ماه اگوست به ۱۰۰ ppbv، یا بالاتر رسیده است که این مقدار بیشتر از مقدار مجاز بوده و برای افراد حساس که مبتلا به بیماری دستگاه تنفسی اند زیان‌آور است و همچنین این مقادیر بالا اغلب در ساعات ۳ تا ۴ بعد از ظهر رخ می‌دهد.

### سیاسکزاری

از همکاری صمیمانه دفتر بررسی آلودگی هوای مرکز تحقیقات سازمان محیط زیست به واسطه در اختیار قرار دادن داده‌های آلودگی ازن قدردانی می‌شود. همچنین از آقای عامری برای فراهم کردن برخی از داده‌های هواشناسی و از آقای ثقفی برای ویرایش شکل‌ها قدردانی می‌شود.

Horvath, M., Bilitzky, L., and Huttner, J. 1985. Ozone. Elsevier Science Publishers. 350 pp.

Madhavi Latha, K., and Badarinath, K.V.S. 2004. Correlation between black carbon aerosols, carbon monoxide and tropospheric ozone over a tropical urban site. Atmospheric Research. 71. 265-274.

---

Nair, P. R., et al. 2002. Temporal variations in surface ozone at Thumba (8.6 N, 77 E) a tropical coastal site in India. *Atmospheric Environment*. 36. 603-610.

Stern, A. C. et al. 1984. *Fundamentals of Air Pollution*. AP.

Turco, R. P. 1997. *Earth Under Siege From Air Pollution to Global Change*. Oxford University Press. 527 pp.