جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال یازدهم، شماره ۳۷، تابستان ۱۳۹۲

تحلیل سیستماتیک چرخه ازون تروپوسفری در سیستم سیبرنتیک آب و هوا (مورد: کلانشهر تهران)

دکتر صادق کریمی،[۱] دکتر حسین نگارش،[۲]
دکتر تقی طاوسی[۳] و دکتر بهلول علیجانی[۴]

چکیده

ازون تروپوسفری یک ترکیب ثانویه و یکی از اجزای اصلی در سیستم سیبرنتیک آب و هواست. این ترکیب دارای آهنگ تغییرات منظم روزانه، ماهانه و سالانه است تا از این طریق میزان ورودی اشعه‌های فرابنفش خورشید را که به تروپوسفر می‌رسند، کنترل نموده و از ورود بیش از اندازه آنها جلوگیری نماید. در این میان آب و هوا هوشمندانه چرخه ازون تروپوسفری را از طریق بازخوردهای مثبت و منفی کنترل می‌نماید. متقابلاً چرخه ازون تروپوسفری نیز با نظم خود، به حفظ تداوم پویا در آب‌وهوا کمک می‌نماید. این پژوهش‌شناختی با اتکاء به تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بلندمدت ازون تروپوسفری در کلانشهر تهران انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد انسان با افزایش پیش عناصر ازون باعث گردید تا نظم چرخه طبیعی این ماده مفید به هم بخورد. بنابراین طی یک سینرژی مثبت غلظت‌های ازون تروپوسفری به شدت افزایش یافت. در چنین وضعیتی، ازون تروپوسفری نام آلاینده به خود گرفته است. افزایش میانگین ازون تروپوسفری در سال‌های اخیر، یک لایه محافظتی بر سطح شهر تهران بوحود آورده است. طی این فرآیند، شاخص اشعه فرابنفش کاهش یافت. کاهش دریافتی اشعه فرابنفش خورشید در مقابل افزایش ازون تروپوسفری، مکانیزم کنترلی آب و هوا بوده تا رفتار ازون را به حالت نرمال برگرداند. نتیجه این بازخورد منفی، آغاز روند نزولی در فراوانی وقوع ازون‌های بیشینه و نامطلوب و همچنین کاهش میانگین ازون سالانه شهر طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ بوده است.

کلیدواژگان: چرخه ازون تروپوسفری، سیستم سیبرنتیک آب و هوا، تداوم پویا، تابش، اشعه فرابنفش.

---

۱ . استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان (نویسنده مسئول karimi.s.climatologist@uk.ac.ir)
۲ . دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۳ . دانشیار دانشگاه سیستان و بلوچستان
۴ . استاد دانشگاه خوارزمی

www.SID.ir

مقدمه

آب و هوای کره زمین، یک سیستم بسته و سیبرنتیک با خرده‌سیستم‌های متنوع باز است. چرخه مواد و جریان انرژی که مهمترین مکانیزم‌های خودتنظمی را در این سیستم برعهده دارند، از طریق نظریه سیستم‌ها، توجیه می‌گردند. اما دامنه چرخه‌ها در آب و هواشناسی، محدود به چرخه آب، چرخه کربن، چرخه اکسیژن، چرخه ازت و موارد دیگر شناخته شده، نیست. به عبارتی چرخه‌های ریز و درشت دیگری در سیستم آب و هوایی وجود دارد که هنوز ناشناخته باقی مانده است. یکی از این چرخه‌ها، چرخه ازون تروپوسفری (سطحی) است.

با بررسی تحقیقات انجام شده درخصوص ازون تروپوسفری (O3)، مشخص گردید که در نه تنها در این تحقیقات، رفتار و چرخه ازون تروپوسفری به صورت سیستماتیک و در ارتباط با سیستم سیبرنتیک آب و هوا مورد مطالعه قرار نگرفته، بلکه شناخت ابعاد مختلف خود چرخه ازون تروپوسفری نیز به دلیل محدودیت داده‌های بلندمدت در ایران، به درستی شناخته شده نیست. در ادامه از نگاه مطالعات انجام شده، به معرفی مختصر این ترکیب که هم برای حیات مفید و هم مقادیر زیاد آن مضر است، پرداخته می‌شود.

مقدار بسیار ناچیزی مولکول ازون در لایه تروپوسفر وجود دارد که وظیفه محافظت از بیوسفر را در برابر ورود بیش از اندازه اشعه فرابنفش خورشید برعهده دارد. هنگامی که غلظت این مولکول به هر دلیلی از حد مجاز بالاتر رود، یک آلاینده محسوب می‌شود (پرکینز، ۱۳۶۷: ۱۲۱). افزایش غلظت این مولکول در تروپوسفر، به دلیل خاصیت اکسیدانی و سمّی که برای بافت‌های حیاتی و هر ماده بیولوژیکی دارد، مضرّ و بسیار خطرناک است (غیاث‌الدین، ۱۳۸۵، ۳۳۴).

ازون تروپوسفری، مولکول سه اتمی اکسیژن و یک ترکیب ثانویه است که به وسیله واکنش‌های فتوشیمایی دی‌اکسید نیتروژن و یا هیدروکربن‌های نسوخته (ترکیبات آلی فرّار) در مجاورت اشعه فرابنفش خورشید، در تروپوسفر شکل می‌گیرد (هِویت و همکاران، ۱۹۹۰، ۴۷۹).

در سطح زمین، تراکم معمولی آن ppb ۲۰–۵ است. ولی در محیط‌های شهری ممکن است به ۸۰ یا حتی بیش از ppb ۱۰۰ نیز برسد. مطالعات نشان داد که تغییرات روزانه تراکم ازون تروپوسفری شهرها با تغییرات دما هماهنگی دارد، به طوری که مقدار آن در روزهای آفتابی و آنتی‌سیکلونی، افزایش می‌یابد (کومری،۱۹۹۰، ۲۹۵). در این حالت غلظت اکسیدهای نیتروژن (NO و NO2) کاهش می‌یابد. به طوری که در هنگام وقوع بیشینه غلظت ازون تروپوسفری،

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار اکسیدهای نیتروژن به کمترین مقدار می‌رسد (شهرتاش و شهرتاش، ۱۹۹۲: ۸۷).
تغییرات تراکم ازون در لایه مرزی اتمسفر به شرایط اتمسفری و عمدتاً الگوهای گردشی بستگی دارد و بایستی برای تشخیص درست‌تر و جامع‌تر آلودگی هوای شهرها و تنظیم برنامه‌های اجتماعی، خدماتی و توسعه، فراوانی زمانی و مکانی الگوهای گردشی هوا مشخص گردد (کومری و یارنال، ۱۹۹۲، ۳۰۱).
الگوهای گردشی در چهار شهر مختلف ایالات متحد آمریکا شامل بیرمینگام، کلیولند، فیلادلفیا و سیاتل، هرکدام به طور خاص با مقادیر متفاوتی از غلظت ازون تروپوسفری در فصل تابستان هماهنگی داشته است. به این معنا که تنوع الگوهای گردشی در میزان و غلظت آلودگی‌ها تأثیر داشته و تفاوت معناداری بین بارِ آلودگی این شهرها با الگوهای گردشی مختلف وجود دارد (گرین و همکاران، ۱۹۹۹، ۱۶۳).
اندازه‌گیری آزمایشگاهی غلظت ازون تروپوسفری مرکز شهر تهران به روش اسپکتروفتومتری در ماههای شهریور، مهر، آبان، آذر و دی، نشان داد حداکثر غلظت این آلاینده در دی‌ماه و حداقل آن در آذرماه بوده است. دلیل آن وجود شرایط مناسب برای آغاز فرآیندهای فتوشیمیایی در شرایط وارونگی‌های دمایی زمستانه است (شهرتاش، ۱۳۸۲، ۵۷).
ازون تروپوسفری به عنوان یکی از آلاینده‌های کشاورزی نیز مطرح است. نتایج به‌کارگیری مدل-های رگرسیونی خطی چند متغیره و توابع متعامد تجربی بر اساس هجده متغیر هواشناختی در شهر اصفهان (مرداد ۱۳۸۶ تا آذر ۱۳۸۷) نشان داد که چرخه‌های شبانه‌روزی و سالانه آن از الگوهای سینوسی معناداری پیروی می‌کند. نتایج بدست آمده، نمایانگر تأثیر سهم عمده دما، رطوبت، تابش و NOx در تشکیل و افزایش غلظت ازون تروپوسفری است (اسعدی، ۱۳۸۸: ۱).
به طور کلی نتایج بررسی‌های انجام شده در مناطق و شهرهای مختلف دنیا، حاکی از وجود ارتباطات معنادار بین تغییرات غلظت و تداوم ازون تروپوسفری با عناصر آب و هوایی در مقیاس محلی و همدیدی است. اما بیشتر آنها به صورت سیستماتیک، ارتباط چرخه و رفتار ازون تروپوسفری را با سیستم سیبرنتیک آب و هوا مورد مطالعه قرار ندادهاند. لذا این پژوهش بدیع با یک رویکردشناختی، در نظر دارد با استفاده از داده‌های بلندمدت ازون تروپوسفری کلانشهر تهران، به تحلیل رفتار و چرخه آن در ارتباط با سیستم سیبرنتیک آب و هوا بپردازد. بنابراین به دنبال پاسخ به این سؤالات است که چرخه و روند تغییرات غلظت ازون تروپوسفری

Archive of SID

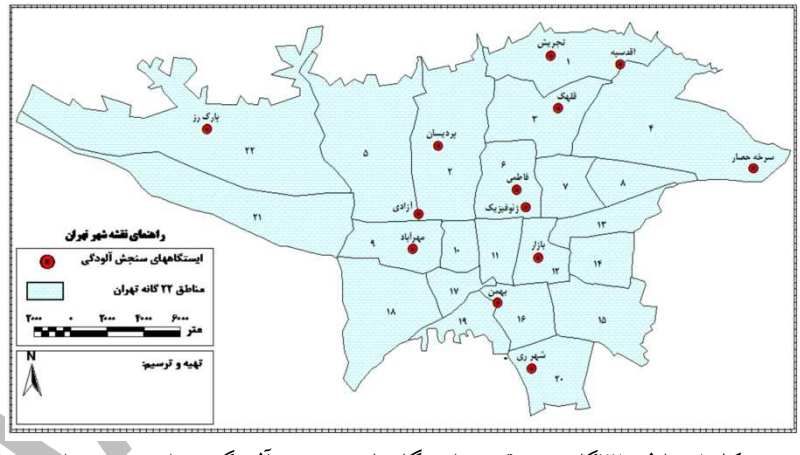
www.SID.ir

به صورت سیستماتیک از کدام عناصر و شرایط آب و هوایی تأثیر می‌پذیرد؟ نقش سیستماتیک این چرخه به عنوان یک خرده سیستم، در تداوم پویایی سیستم آب و هوا چیست؟

داده‌ها و روش‌شناسی

نحوه دریافت و پردازش داده

داده‌های ساعتی ازون تروپوسفری سیزده ایستگاه سنجش و پایش آلودگی هوای موجود در شهر تهران برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۱ از طریق شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران (ایستگاههای بازار، مهرآباد، اقدسیه، ژئوفیزیک، شهر ری و پارک رز) و اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران (ایستگاههای قلهک، تجریش، آزادی، پردیسان، بهمن و سرخه‌حصار) دریافت گردید. شکل(۱)، توزیع مکانی این ایستگاهها را در سطح شهر تهران، نشان می‌دهد.



شکل۱: مناطق ۲۲گانه و موقعیت ایستگاههای سنجش آلودگی هوای شهر تهران

با توجه به اینکه داده‌های دریافتی، نامنظم، غیرمدوّن و با واحدهای مختلف ثبت شده بود، لذا عملیات پردازش داده‌ها به منظور آماده‌سازی و به‌کارگیری آنها در تجزیه و تحلیل‌های آماری

Archive of SID

www.SID.ir

صورت گرفت.[1] به این معنا که مقادیر صفر و منفی بر طبق نظر کارشناسان سازمان‌های مذکور حذف شدند. چراکه مقادیر صفر و منفی در این ساعات، نشان‌دهنده کالیبره نبودن دستگاههای اندازه‌گیری است. همچنین واحدها بر حسب قسمت در بیلیون (ppb) یکسان‌سازی گردید.

در ادامه با استفاده از روش میانگین‌گیری متوسط ازون تروپوسفری ساعتی برای شهر تهران محاسبه و به صورت یک‌کاسه در یک ستون نرم‌افزار اِکسل با ۸۷۶۴۸ ردیف ذخیره گردید که مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت.

داده‌های ساعتی عناصر آب و هوای رطوبت نسبی (به درصد)، دمای متوسط (به درجه سلسیوس) و تابش (به کیلو وات در متر مربع) همین ایستگاهها باضافه دو ایستگاه رسالت و تهرانسر برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۱ نیز از طریق همین ادارات دریافت گردید. داده‌های عناصر اقلیمی این ایستگاهها نیز به روش میانگین‌گیری، یک‌کاسه شد و به صورت ساعتی در سه ستون مجزای نرم‌افزار اِکسل با ۸۷۶۴۸ ردیف ذخیره گردید که مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت.

داده‌های اشعه فرا بنفش خورشید در سطح زمین (بر مبنای شاخص UVI) برای مرکز شهر تهران، از طریق مکاتبه با مرکز جهانی محاسبه و اندازه‌گیری اشعه فرا بنفش[2]، به صورت روزانه دریافت و پس از پردازش، در تجزیه و تحلیل‌ها بکار گرفته شد.

روش‌شناسی

این پژوهش شناختی بر اساس هدف، از نوع بنیادی- تجربی و بر اساس ماهیت و روش از نوع همبستگی است. داده‌های بلندمدت مورد نیاز از طریق مراکز آماری و آزمایشگاههای معتبر که شرح آن گذشت، اخذ شد و پس از پردازش با استفاده از شیوه‌ها و تکنیک‌های آماری- کمّی، تجزیه و تحلیل گردید.

به منظور مقایسه بهتر تغییرات متغیرها در بازه زمانی شبانه‌روزی، ماهانه و سالانه، ابتدا داده‌های مذکور بر اساس رابطه به نمرات استاندارد (Z) تبدیل شدند. سپس از این نمرات، در تجزیه و

---

۱. لازم به توضیح است که مدون‌سازی داده‌های این پژوهش، حدود ۶ ماه به طول انجامید. حاصل این عمل، تهیه پایگاه و همچنین داده‌های عناصر اقلیمی به‌صورت ساعتی در سطح NO2 و NOداده‌ای مدوّن ازون تروپوسفری آلاینده‌های شهر تهران بوده که برای تحقیقات آتی، قابل استفاده خواهد بود.

2.http://www.uvawareness.com Polynomial Trend

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل‌های پژوهش استفاده گردید.

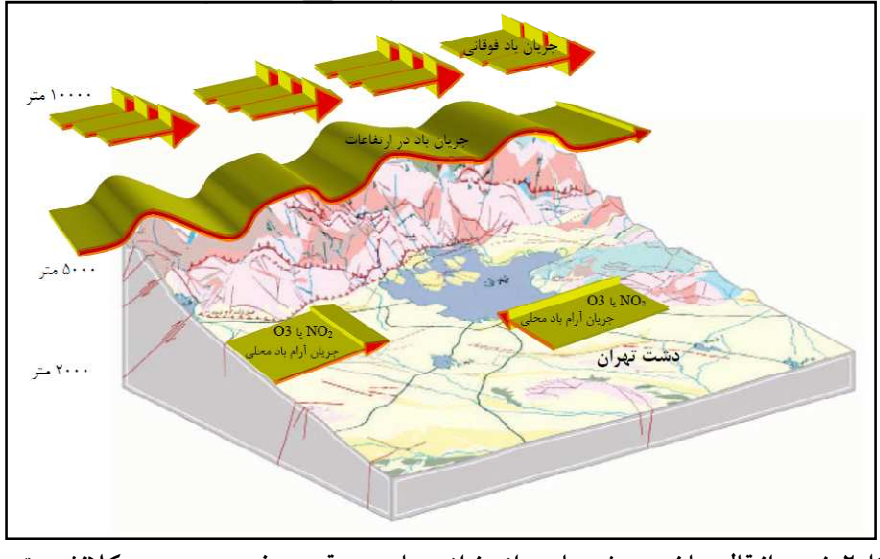
تکنیک‌ها و شیوه‌های تجزیه و تحلیل آماری که در این پژوهش از آنها استفاده شد، عبارتند از: تحلیل همبستگی پیرسون، تحلیل روند (رگرسیونی و پولی‌نومیال[۲])، تحلیل فراوانی و تحلیل میانگین. مبنای تحلیل‌های همبستگی،

اگرچه تحقیقات همبستگی الزاماً مبیّن روابط علت و معلولی نیست (حافظنیا، ۱۳۸۴: ۶۷)، اما در این تحقیق، بخشی از همبستگی‌ها، روابط علّی- معلولی و بخشی دیگر صرفاً رابطه هم‌تغییری دارند که ارتباط آنها از طریق متغیرهای رابط برقرار می‌گردد.

مباحث و یافته‌ها

تحلیل فرآیند تشکیل و تشدید غلظت ازون تروپوسفری در کلانشهر تهران

پیش‌عناصر ازون تروپوسفری شهر تهران شامل NO ، NO2 و هیدروکربورهای نسوخته از دو طریق وارد هوای شهر می‌شوند. یکی از طریق اگزوز اتومبیل‌ها و صنایع داخل شهر. دوم از طریق انتقال میان‌برد جریان آرام باد سطحی که در طول روز از نواحی دشتی جنوب (شهرری) و غرب (ناحیه صنعتی کرج) به سمت شهر و ارتفاعات آن می‌وزد (شکل۲).



شکل۲: نحوه انتقال میان‌برد پیش‌عناصر ازون از صنایع مستقر در غرب و جنوب کلانشهر تهران

www.SID.ir

بخشی از این پیش‌عناصر در مجاورت نور خورشید، تجزیه شده و اکسیژن تک‌اتمی (O) حاصل می‌شود. این فرآیند چرخه نورکافتی[1] $NO2$ نام دارد که از طریق واکنش فتودیسوسیاسیون صورت می‌گیرد. این واکنش که به صورت رابطه(۱) شکل می‌گیرد، قادر به جذب طیف الکترومغناطیس خورشید در محدوده فرابنفش تا نور مرئی است.

رابطه(۱): $NO_2 + hv \rightarrow NO + O$

برای شکستن اتصال بین NO و NO2، حدود ۷۲ کیلوکالری برای هر گرم- مُل در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، انرژی لازم است که طبق جدول (۱) برای تأمین این انرژی به نوری کمتر از ۰.۴ میکرون نیاز است. بنابراین اشعه‌های فرابنفش خورشیدی وارده به سطح زمین (UV-A و UV-B)، سهم عمده‌ای در تأمین این انرژی دارند.[2]

جدول۱: انرژی فوتون بر حسب تابعی از طول موج

محدوده طیف	طول موج به میکرون	انرژی بر حسب کیلوکالری بر گرم- مُل
فرابنفش	۰.۳	۹۵.۳
حد قابل رؤیت بنفش	۰.۳۸	۷۵.۱
-	۰.۴	۷۱.۴
نور مرئی	۰.۷	۴۰.۸

مأخذ: پرکینز، ۱۳۶۷، ص۱۰۲

با تشدید طول موج‌های کمتر از ۰.۴ میکرون، دیسوسیاسیون افزایش می‌یابد. بنابراین در شرایط جوی پایدار در صورت وجود هیدروکربن‌های واکنش‌پذیر، NO و NO2،واکنش‌های فتوشیمیایی نورکافتی آغاز می‌گردد:

1. Photolytic Cycle

۲. اشعه فرا بنفش خورشید دارای سه طول موج با نام‌های UV-C(۲۸۰-۱۰۰میکرون)، UV-B(۳۱۵-۲۸۰ میکرون) و UV-A(۴۰۰-۳۱۵ میکرون) است. ۱۰۰ درصد UV-C و ۹۰ درصد UV-B از طریق ازونوسفر جذب می‌شود. ۱۰ درصد UV-B و ۱۰۰ درصد UV-A از این لایه عبور کرده و به تروپوسفر می‌رسند. این دو طول موج در تأمین برخی مواد مورد نیاز بدن انسان نظیر ویتامین D مفید هستند. اما مقادیر بیش از اندازه آنها، خطرناک و عوارض جبران ناپذیری در بلندمدت ایجاد می‌نماید. ازون تروپوسفری، وظیفه تنظیم ورودی این دو طول موج را به بیوسفر، برعهده دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

$NO_2 + hv \rightarrow NO + O$ رابطه(۲):

سپس از واکنش سریع اکسیژن اتمی با مولکول دو اتمی اکسیژن، ازون تشکیل می‌شود:

$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ رابطه(۳):

در این واکنش شیمیایی، M عامل سومی است که برای جذب انرژی واکنش لازم است. مولکول‌های N2 و O2 که به وفور در اتمسفر موجود هستند، نقش عامل سوم را بازی می‌کنند. واکنش سوم عبارت است از:

$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$ رابطه(۴):

اگر تمام آنچه که اتفاق می‌افتد همین باشد، هر یک از ترکیبات سه‌گانه NO، NO2 و O3 را می‌توان در سطح ثابت و معینی انتظار داشت. به عبارتی غلظت ازون تروپوسفری در حالت پایدار، تابعی از غلظت اولیه NO2 است. اما گاهی مقادیر ازون تروپوسفری در برخی مناطق شهر تهران به ppb ۱۰۰۰ نیز می‌رسد. بنابراین بایستی مکانیزم‌های دیگری نیز وجود داشته باشد که در چرخه فتوشیمیایی اثرگذار باشند که در نتیجه آن، ازون انباشت می‌شود.

با حضور ترکیبات هیدروکربن در جو، بدون مصرف ازون، NO می‌تواند به NO2 اکسیده گردد و انباشت ازون صورت می‌گیرد. اتم‌های خیلی فعال اکسیژن می‌توانند به هیدروکربن‌هایی نظیر الفین‌های واکنش‌پذیر (هیدروکربن‌های با یک یا چند پیوند دوگانه کربن- کربن که به سهولت اکسیده می‌شوند) حمله کرده و آن را در نقطه پیوند دوگانه به دو قسمت تقسیم نمایند. ازون نیز می‌تواند چنین کاری را انجام دهد اما واکنش اتم‌های اکسیژن با آن خیلی سریعتر انجام می‌گیرد. نتیجه آن، تولید رادیکال آزادی (هیدروکربن ناقص) است که بسیار واکنش‌کننده بوده و در در واکنش‌های دیگر بکار می‌رود. واکنش اتم اکسیژن- الفین را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$O + olefin \rightarrow R + R'O$ رابطه(۵):

در این رابطه، R و R' رادیکال‌های آزاد آلی هستند. این رادیکال‌ها با اکسیژن ترکیب شده و رادیکال‌های پراکسی (یعنی اجزایی که به پیوند اکسیژن- اکسیژن ختم می‌شوند) را تشکیل می‌دهند:

$R + O_2 \rightarrow RO_2 (ROO)$ رابطه(۶):

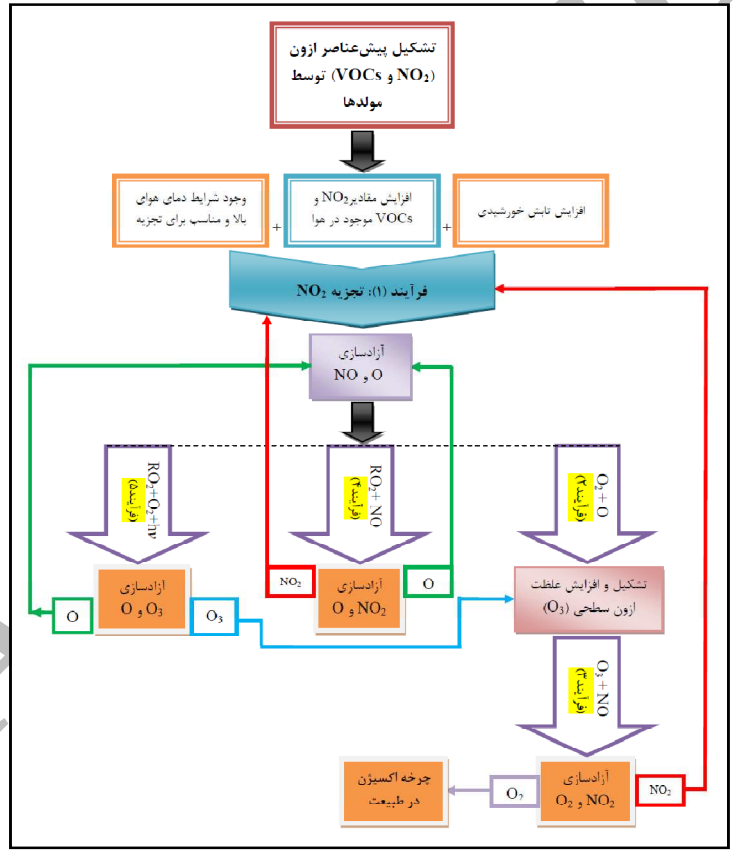
رادیکال‌های پراکسی قادرند یک اتم اکسیژن برای NO تولید نمایند و آن را به NO2 تبدیل کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

از آنجایی که هر مولکول هیدروکربن برای شروع اکسیداسیون، احتیاج به یک اتم اکسیژن دارد که می‌تواند وارد واکنش شده تا از طریق فرآیند ازون، یک مولکول NO را به NO2 تبدیل کند، به ازای هر مولکول شکسته شده هیدروکربن، بیش از یک مولکول NO می‌بایست به NO2 اکسید گردد تا به نوبه خود باعث افزایش ازون شود (کادل و آلن[1]، ۱۹۷۰، ۲۴۵).

اثر جمعی حضور رادیکال‌ها و اکسیداسیون NO و NO2 ، منجر به سینرژی مثبت و در نتیجه افزایش هرچه بیشتر غلظت ازون می‌گردد (شکل۳) که گاهی اوقات در برخی مناطق شهر تهران نظیر قلهک به ppb ۱۰۰۰ می‌رسد.



شکل۳: چرخه ازون تروپوسفری کلانشهر تهران در فعل و انفعالات فتوشیمیایی

1. Cadle, R.D & Allen E.R

www.SID.ir

وجود رابطه همبستگی معنادار بین چرخه شبانه‌روزی O3 ، NO ، NO2 و همچنین روابط بین این سه با عناصر آب و هوایی تابش، دمای هوا و رطوبت در طول شبانه‌روز و ماههای مختلف، مؤید وابستگی شدید ازون تروپوسفری به پیش‌عناصر و ارتباط معنادار بین آنهاست (جدول۲).

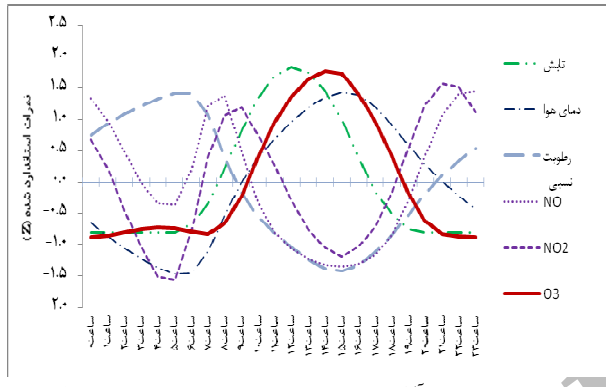
بر اساس نتایج به دست آمده از روابط همبستگی متغیرها در طول ساعات شبانه‌روز و ماههای مختلف که در جدول(۲) آمده، می‌توان نتیجه گرفت شرایط آب و هوایی لازم برای تشدید ازون تروپوسفری، تابش و دمای بالا و رطوبت نسبی پایین است. در حالی که برای تشدید NO، تابش و دمای پایین و رطوبت نسبی بالا، ضروری است. اشکال(۴ و ۵) این روابط را به صورت نموداری نمایش می‌دهند.

جدول۲: رابطه بین تغییرات آلاینده‌های جوی با عناصر اقلیمی کلانشهر تهران (دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۱)

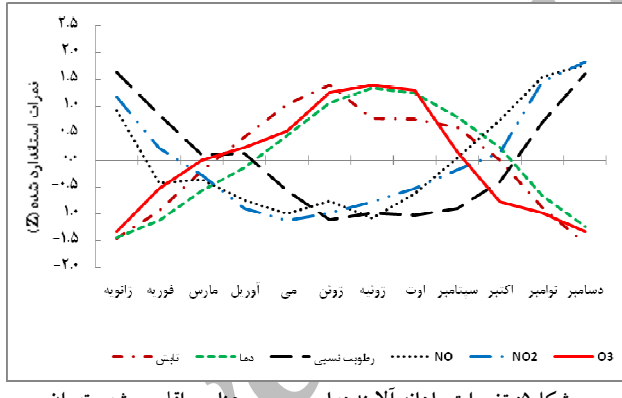
آلاینده‌های جوی		تغییرات شبانه‌روزی			تغییرات ماهانه		
		تابش (R)	دما (T)	رطوبت نسبی	تابش (R)	دما (T)	رطوبت نسبی
O3	ضریب همبستگی	۰.۸۲۹	۰.۸۷۹	-۰.۸۹۹	۰.۹۰۵	۰.۸۸۸	-۰.۸۷۷
	ضریب خطا	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	تعداد ساعات	۲۴	۲۴	۲۴	۱۲	۱۲	۱۲
	سطح اطمینان	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد
NO	ضریب همبستگی	-۰.۶۰۶	-۰.۶۶۷	۰.۶۸۶	-۰.۷۹۳	-۰.۶۳۹	۰.۷۰۴
	ضریب خطا	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۲	۰.۰۲۵	۰.۰۱۱
	تعداد ساعات	۲۴	۲۴	۲۴	۱۲	۱۲	۱۲
	سطح اطمینان	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد
NO2	ضریب همبستگی	-۰.۸۵۰	-۰.۸۰۳	۰.۷۹۶	-۰.۹۱۴	-۰.۷۵۰	۰.۸۲۶
	ضریب خطا	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۵	۰.۰۰۱
	تعداد ساعات	۲۴	۲۴	۲۴	۱۲	۱۲	۱۲
	سطح اطمینان	۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۵ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد	۹۹ درصد

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۴: تغییرات شبانهروزی آلایندههای جوی و عناصر اقلیمی شهر تهران(۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۵: تغییرات ماهانه آلایندههای جوی و عناصر اقلیمی شهر تهران

تحلیل چرخههای شبانهروزی، هفتگی، ماهانه و سالانه ازون تروپوسفری کلانشهر تهران

تحلیل آماری دادههای یکساله شده ازون تروپوسفری تهران در طول ساعات شبانهروز (۲۰۱۱-۲۰۰۱) نشان داد، چرخه شبانهروزی این ترکیب، ذاتی بوده و همبستگی معناداری با سیکل تابش شبانهروزی خورشید دارد که از نوع روابط علّی- معلولی است. به طوری که بیشینه آن، در طول روز و کمینه آن در طول ساعات شب اتفاق میافتد. افتاهنگ شبانه ازون از ساعت ۹ شب آغاز شده و تا ساعت ۶ صبح ادامه دارد. سیر افزایشی مقادیر این ترکیب، هماهنگ با طلوع خورشید و بالا رفتن میزان تابش خورشید است که کمی پس از ظهر به اوج خود میرسد. زمان آغاز و اوج این وضعیت، در روزها، ماهها و فصلهای مختلف سال بر حسب تغییر زاویه تابش خورشید، متفاوت است (شکل۶).

دلیل این چرخه منظم شبانهروزی، در وظیفه ازون تروپوسفری نهفته است. کنترل میزان ورودی

Archive of SID

www.SID.ir

اشعه‌های فرا بنفش خورشید به بیوسفر، وظیفه این ترکیب مفید است. لذا در اوج تابش خورشید در ساعات کمی پس از ظهر، بر غلظت این ماده افزوده شده و در حدمتعارف به شکل پوشش محافظتی در برابر ورودی بیش از اندازه اشعه‌های UV-A و UV-B خورشید به این لایه حیاتی عمل می‌کند.

بر حسب وظیفه، طی ماههایی که تابش خورشید به حداکثر می‌رسد نیز بر غلظت ازون تروپوسفری به طور متعارف افزوده می‌شود. به طوری که بیشینه آن مربوط به ماههای ژوئن، ژوئیه و اوت است. به سمت ماههای قبل و بعدتر، غلظت آن تمایل به کاهش دارد (شکل۸). ضریب پولی‌نومیال $R^2=0.92$، وجود روند در تغییرات آن را طی ماههای مختلف تأیید می‌نماید.

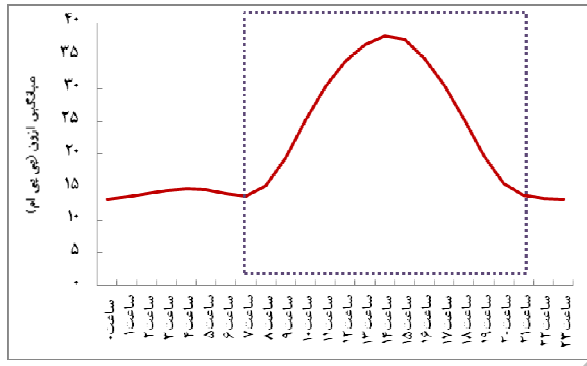
به دنبال بررسی دقیق‌تر تغییرات ازون، محقق متوجه وجود یک چرخه غیرطبیعی در ازون تروپوسفری کلانشهر تهران گردید و آن چرخه هفتگی است. در این چرخه، بیشینه ازون از بعد از ظهر روز پنج‌شنبه آغاز شده و در روز جمعه به اوج خود می‌رسد و دوباره از روز شنبه تا روز چهارشنبه به سمت کمینه خود میل دارد. در اکثر ایستگاههای مورد مطالعه، وجود این چرخه، تأیید شده است (شکل۷).

ضریب $R^2=0.92$ نیز وجود روند در تغییرات ازون تروپوسفری را طی ایام هفته تأیید می‌نماید. چنین چرخه‌ای نمی‌تواند از طبیعت تغییرات ازون تروپوسفری نشأت گرفته باشد، چراکه ایام هفته، بر اساس قراردادهای تقویمی بشر ایجاد شده است. همین امر، دلیل محکمی است برای اینکه انسان با فعالیت‌های غیرمجاز خود، آغازگر یک اختلال در نظم طبیعی ازون تروپوسفری است. قرار گرفتن ۹۱۴ ساعت ازون ناسالم (>120ppb) در روز جمعه و ۸۳۰ ساعت در روز شنبه طی دروه زمانی مورد مطالعه، شاهد دیگری بر این مدعاست (شکل ۱۱).

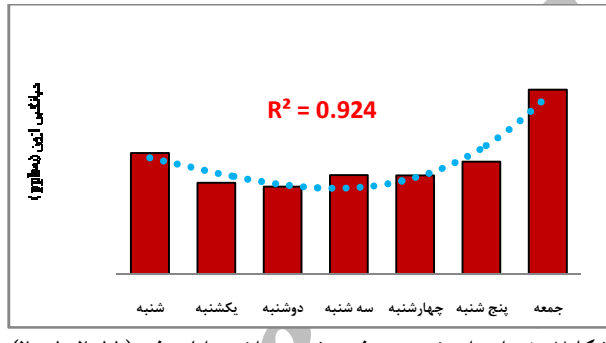
اثر جمعی افزایش فراوانی ازون‌های ناسالم، ازون‌های بیشینه و در نتیجه میانگین بالای ازون تروپوسفری خصوصا در روزهای پایانی و آغاز هفته، میانگین ازون را طی سال‌های اخیر (۲۰۱۰–۲۰۰۸) به طور محسوسی افزایش داده است. همانطور که شکل(۹) نشان می‌دهد، تغییرات ازون تروپوسفری شهر تهران، طی دوره ۲۰۱۰–۲۰۰۲، روند افزایشی داشته است. این روند در تمامی ایستگاههایی که آمار چند ساله آنها کامل بوده، مشهود بوده است. ضریب رگرسیون خطی ($R^2=0.7$)، وجود روند افزایشی مقادیر ازون تروپوسفری را در طول سال‌های مورد مطالعه، تأیید می‌نماید.

Archive of SID

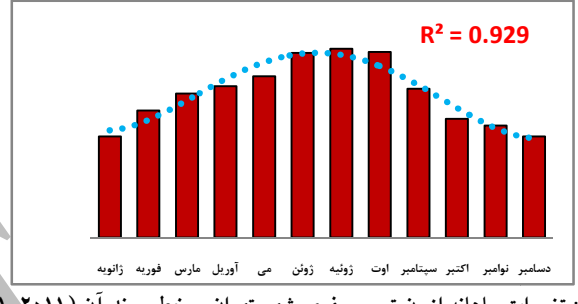
www.SID.ir



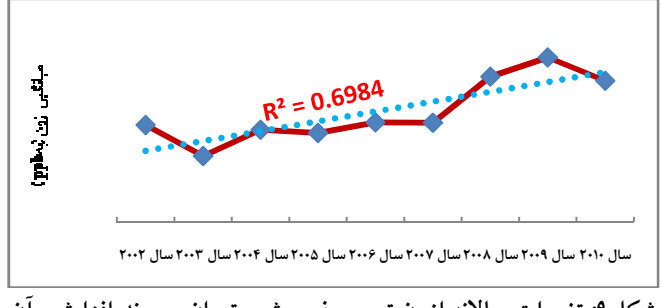
شکل۶: تغییرات شبانه‌روزی ازون تروپوسفری شهر تهران (۲۰۱۱- ۲۰۰۱)



شکل۷: تغییرات ازون تروپوسفری شهر تهران در ایام هفته (۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۸: تغییرات ماهانه ازون تروپوسفری شهر تهران و خط روند آن (۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۹: تغییرات سالانه ازون تروپوسفری شهر تهران و روند افزایشی آن

www.SID.ir

تحلیل ازون‌های نامطلوب (120ppb<) کلانشهر تهران

برخلاف تصور عامیانه و غلطی که در اذهان جا افتاده، ازون تروپوسفری ذاتاً آلاینده نیست. وجود مقدار متعارف ازون در لایه تروپوسفر، نه تنها مضر نبوده بلکه مفید نیز است. غلظت‌های تا ppb ۲۰ در هوای آزاد تروپوسفر، متعارف است. اما هر چه از این مقدار تجاوز نماید، این ماده مفید را در شمار آلاینده‌ها قرار می‌دهد. وضعیت آلاینده ازون تروپوسفری در شهرها به دلیل ویژگی‌های خاص آنها، محسوس‌تر است. بر اساس معیار طبقه‌بندی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US-EPA)، فراوانی وقوع ازون‌ها در ایستگاههای مختلف شهر تهران طی دوره مورد مطالعه، به شرح جدول (۳) طبقه‌بندی گردید.

در مجموع ۵۸۲۰ ساعت- ایستگاه در روزهای مختلف دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۰۱) وجود داشته که مقادیر ازون آنها بالاتر از ۱۲۰ppb یعنی در وضعیت نامطلوب بوده است. از مجموع ۵۸۲۰ ساعت-ایستگاه، ۴۵۳۶ ساعت آن در وضعیت ناسالم (۲۰۰ppb- ۱۲۰.۱)، ۱۰۹۹ساعت- ایستگاه در وضعیت بسیار ناسالم (۴۰۰ppb -۲۰۰.۱) و ۱۸۵ ساعت- ایستگاه نیز دارای وضعیت خطرناک (۴۰۰ ppb <) بوده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳: توزیع فراوانی ازون‌های طبقه‌بندی شده در ایستگاههای مورد مطالعه شهر تهران بر اساس معیار US-EPA (۲۰۱۱-۲۰۰۱)

نام ایستگاه	تعداد ساعات دارای داده	فراوانی ازون-های نامطلوب (ساعت)	وضعیت مطلوب		وضعیت نامطلوب		
			۰ -۶۰ ppb	۶۰.۰۱-۱۲۰ ppb	۱۲۰.۰۱-۲۰۰ ppb	۲۰۰.۰۱-۴۰۰ ppb	> ۴۰۰ ppb
			پاک	سالم	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
فاطمی	۳۷۱۲۵	۱۵	۳۶۵۳۷	۵۷۳	۱۵	–	–
بازار	۱۰۵۷۶	۱۸۴	۱۰۲۸۷	۱۰۵	۱۸۴	–	–
مهرآباد	۳۸۷۴۵	۲۰۵	۳۲۸۸۵	۵۶۵۵	۲۰۱	۴	–
اقدسیه	۵۴۳۷۳	۲۱۰۵	۴۶۷۹۴	۵۴۷۴	۱۷۶۱	۳۴۴	–
ژئوفیزیک	۲۷۲۹۱	۴۳۲	۲۳۷۶۱	۳۰۹۸	۳۰۷	۶۵	۶۰
شهر ری	۳۸۰۵۹	۹۱۳	۳۴۳۸۸	۲۷۵۸	۷۲۹	۱۶۷	۱۷
پارک رز	۲۶۴۴۶	۱۸۶	۲۲۵۵۶	۳۷۰۴	۱۱۵	۷۱	–
قلهک	۶۶۳۲۰	۱۴۳۸	۶۱۰۸۴	۳۷۹۸	۸۹۰	۴۴۰	۱۰۸
تجریش	۶۷۰۸	۱۲۳	۵۶۸۸	۸۹۷	۱۱۵	۸	–
آزادی	۵۸۸۰۷	۳۸	۵۷۷۷۷	۹۹۲	۳۸	–	–
پردیسان	۴۷۸۹۲	۱۲۲	۴۶۴۷۷	۱۲۹۳	۱۲۲	–	–
بهمن	۴۵۵۸	۴	۴۰۳۳	۵۲۱	۴	–	–
سرخه-حصار	۶۱۴۶۱	۵۵	۵۵۵۱۵	۵۸۹۱	۵۵	–	–
جمع کل	–	**۵۸۲۰**	–	–	**۴۵۳۶**	**۱۰۹۹**	**۱۸۵**

با مقایسه تطبیقی وضعیت ازون‌های نامطلوب ایستگاههای مورد مطالعه، مشخص شد ایستگاههای اقدسیه، قلهک، شهر ری و ژئوفیزیک، نامطلوب‌ترین ازون‌ها را دارا بودند. با در نظر داشتن فراوانی وقوع ساعتی ازون‌های خطرناک، ایستگاه قلهک نامطلوب‌ترین غلظت‌ها را در بین ایستگاهها تجربه نموده است. از نظر میانگین ازون‌های نامطلوب نیز ایستگاه قلهک با میانگین ppb ۲۳۶.۱ در ردیف اول و پس از آن، ایستگاههای اقدسیه و ژئوفیزیک قرار دارند. در ایستگاه قلهک، مقادیر نزدیک به ppb ۱۰۰۰، به وفور ثبت شده است.

اگرچه به نظر می‌رسد که سهم ازون‌های نامطلوب، بسیار کم می‌باشد اما بایستی در نظر داشت

Archive of SID

www.SID.ir

که درصد قابل توجهی از این ازون‌ها در سال‌های پایانی مورد مطالعه متمرکز شده‌اند و از این نظر قطعاً خسارات جانی و زیستی متنوعی را به دنبال داشته که به دلیل نبود آمار دقیق وقایع نظیر تعداد مراجعین به بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، مرگ و میر بیماران ریوی و ... ناشناخته مانده است.

تحلیل آماری ازون‌های نامطلوب کلانشهر تهران در طول شبانه‌روز نشان داد بالاترین فراوانی آنها بین ساعات ۱۴ تا ۱۶ رخ می‌دهد یعنی کمی پس از اوج تابش خورشید و مطابق با بیشینه دمای شبانه‌روزی (شکل۱۰).

در طول ایام هفته نیز کمترین فراوانی ازون‌های نامطلوب، مربوط روزهای سه‌شنبه و بالاترین فراوانی‌ها مربوط به روزهای جمعه و شنبه است. رویهم رفته بیش از ۳۳ درصد ازون‌های نامطلوب کلانشهر تهران در این دو روز اتفاق افتاده است. ۶۷ درصد باقیمانده در پنج روز دیگر هفته یعنی از یک‌شنبه تا چهارشنبه توزیع شده‌اند (شکل۱۱). توزیع فراوانی هفتگی ازون‌های نامطلوب (شکل۱۱) با متوسط ازون شهر در ایام هفته (شکل۷)، هماهنگی و انطباق خوبی را با هم نشان می‌دهد. به این معنا که هم بالاترین فراوانی ازون‌های نامطلوب و هم بالاترین میانگین ازون شهر، مربوط به روزهای جمعه و شنبه است.

بررسی‌های ماهانه نشان داد بالاترین فراوانی ازون‌های نامطلوب، مربوط به گرمترین ماههای سال بوده است (شکل۱۲). به ترتیب ماههای اوت، ژوئیه، نوامبر و ژوئن با ۷۵۶، ۶۹۵، ۶۵۹ و ۶۴۴ ساعت، بالاترین فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل آن، حاکمیت الگوهای کم-فشار گرم سطحی در این ماههاست که شرایط اقلیمی با درجه حرارت بالا و کم‌رطوبت به همراه تابش بالا را برای منطقه به همراه دارند. کمترین فراوانی نیز مربوط به ماه اکتبر و سپتامبر بوده است. آغاز حاکمیت بادهای غربی در این موقع از سال و ورود سامانه‌های جوی ناپایدار به کشور، مهمترین دلیل این وضعیت است. ماههای ژانویه و مارس نیز به دلیل حاکمیت سامانه‌های سیکلونی و کم‌فشار مهاجر، از فراوانی‌های نسبتاً پایینی برخوردار هستند.

بالا بودن فراوانی ازون‌های نامطلوب در ماههای نوامبر و دسامبر با وارونگی دمایی ناشی از حاکمیت سیستم‌های پرفشار در این ماههاست. به دلیل پایداری و صاف بودن هوا در این شرایط، نور خورشید به راحتی وارد تروپوسفر شده و در برخورد با مولکول‌های NO_2 متمرکز شده در نزدیکی سطح زمین (به واسطه شرایط پایداری و عدم صعود هوا)، به دام افتاده و چرخه

Archive of SID

www.SID.ir

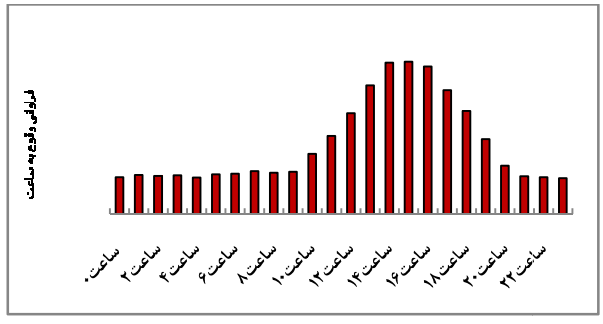
نورکافتی آغاز می‌شود که در نهایت موجب افزایش غلظت ازون در سطح زمین می‌شود.
از لحاظ شرایط دمایی، تابش و رطوبت نسبی، ساعاتی از ماههای نوامبر و دسامبر که ازون‌های نامطلوب را تجربه کرده‌اند، شرایط گرمتری نسبت به میانگین دوماهانه دارا بودند و از این نظر، اختلاف فاحشی با هم داشته‌اند. به طوری که میانگین دمای ساعات با ازون بیشینه در ماههای نوامبر و دسامبر برابر با ۲۱.۱ درجه سانتیگراد، میانگین رطوبت نسبی برابر با ۲۹.۳ درصد و تابش برابر با ۴۷۳.۹ کیلووات بر مترمربع بوده است. در حالی‌که میانگین دوماهانه این سه عنصر به ترتیب برابر با ۸.۹ درجه سانتیگراد، ۵۳.۶ درصد و ۱۴۶.۱ وات بر متر مربع بوده است. این وضعیت نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی و جوی مناسب برای افزایش غلظت‌های ازون تروپوسفری در هر فصلی از سال، شامل رطوبت نسبی پایین، دما و تابش نسبتاً بالاست. منتها شدت غلظت‌های ازون تروپوسفری، بسته به تأثیر جمعی همه عوامل مرتبط با آن، متفاوت است. نکته دیگر آنکه بیشتر فراوانی ازون‌های نامطلوب این دو ماه در ساعات ۱۴ تا ۱۶ متمرکز شده است.

ازون‌های تامطلوب، بیشترین تمرکز و فراوانی را در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ داشته‌اند (شکل۱۳). سال‌های میانی مورد مطالعه، کمترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. این توزیع، نشان‌دهنده وجود یک روند پولی‌نومیال در تغییرات فروانی ازون‌های نامطلوب کلانشهر تهران است.

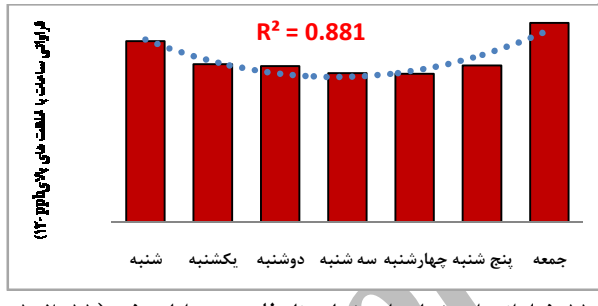
اگرچه فراوانی ازون‌های نامطلوب سال‌های پایانی دوره نسبت به پنج سال ماقبل آن، تفاوت معناداری دارد به طوری که با چشم نیز قابل درک است، اما واقعیت دیگری نیز در این روند وجود دارد. واقعیت آن است که طی از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰، فراوانی ازون‌های نامطلوب، روند کاهشی به خود گرفته است که در تحلیل‌های پایانی این پژوهش، نکته کلیدی و حائز اهمیت به شمار می‌آید. توزیع سالانه فراوانی ازون‌های نامطلوب (شکل۱۳) با متوسط سالانه ازون شهر (شکل۹) هماهنگی و انطباق خوبی را نشان می‌دهد. وجود همبستگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد با ضریب ۰.۰۲ این رابطه را تأیید می‌نماید.

Archive of SID

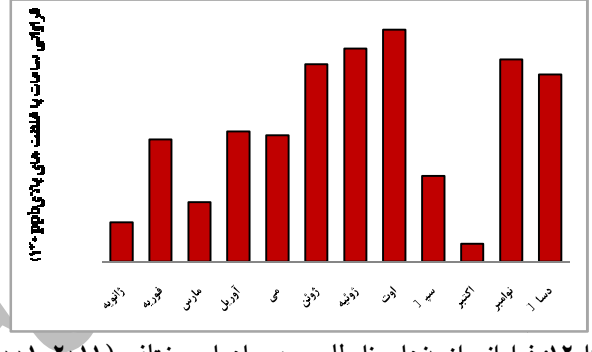
www.SID.ir



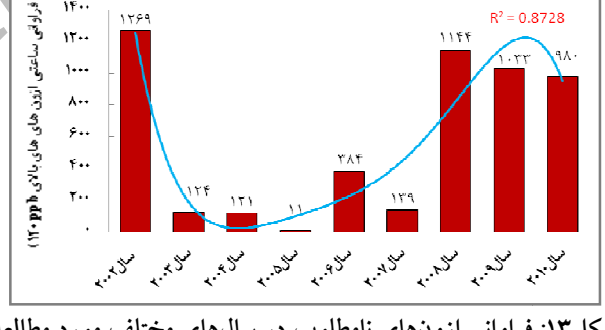
شکل۱۰: فراوانی ازون‌های نامطلوب در طول شبانه‌روز (۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۱۱: فراوانی ازون‌های نامطلوب در ایام هفته (۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۱۲: فراوانی ازون‌های نامطلوب در ماههای مختلف (۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۱۳: فراوانی ازون‌های نامطلوب در سال‌های مختلف مورد مطالعه

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل ازون‌های بیشینه کلانشهر تهران (>70.6ppb)

پس از یک‌کاسه شدن ازون ایستگاههای مختلف، انحراف معیار داده‌های ازون متوسط شهر تهران، محاسبه گردید که رقم آن ۱۷.۶۵ بوده است. تمامی ساعاتی که مقدار ازون آنها بالاتر از چهار برابر انحراف معیار داده‌ها (یعنی بالاتر از ppb ۷۰.۶) بوده، به عنوان نماینده ازون‌های بیشینه شهر، انتخاب شدند.[۱] جمعاً ۱۷۱۵ ساعت در بین سال‌های مورد مطالعه، مقدار ازون آنها 70.6ppb < بوده است. این ساعات در ۴۳۳ روز دوره مورد مطالعه، توزیع شده‌اند.

تحلیل فراوانی ازون‌های بیشینه شهر تهران در طول شبانه‌روز نشان داد ساعات ۱۹ تا ۱۱ صبح، کمترین فراوانی را داراست (شکل۱۴). از ساعت ۱۱ صبح فراوانی‌ها شروع به افزایش داشته و در ساعات ۱۳ تا ۱۷ به بالاترین حد می‌رسند، به طوری که بالاترین فراوانی متعلق به ساعات ۱۴ و ۱۵ (درست اوج شدت تابش خورشید) به ترتیب با ۳۰۵ و ۲۹۲ ساعت بوده است. در این ساعات هم مقدار رطوبت هوا به حداقل رسیده و هم تأثیر تابش با یک تأخیر زمانی دو ساعته به اوج خود رسیده است (شکل۴).

از نظر توزیع هفتگی نیز بالاترین فراوانی ازون‌های بیشینه شهر تهران، مربوط به روزهای جمعه با فراوانی ۳۵۷ ساعت از مجموع ۱۷۱۵ ساعت بوده است (شکل۱۵). به این معنا که با عبور از روزهای اول هفته به سمت روزهای پایانی هفته، بر فراوانی ازون‌های بیشینه افزوده شده تا اینکه در روز جمعه به حداکثر خود می‌رسد. اواسط هفته، کمترین فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. توزیع هفتگی فراوانی ازون‌های بیشینه (70.6ppb <) با توزیع هفتگی ازون‌های نامطلوب (120ppb<) و همچنین با تغییرات میانگین ازون متوسط شهر تهران در طول ایام هفته، هماهنگی و انطباق خوبی را نشان می‌دهد. مقایسه شکل‌های(۷، ۱۱ و ۱۵) این واقعیت را تأیید می‌نماید.

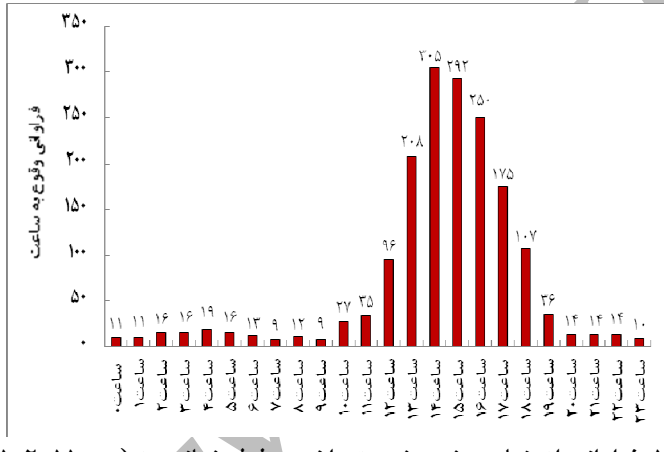
در سه سال پایانی دوره مورد مطالعه، افزایش شدیدی در فروانی ازون‌های بیشینه شهر تهران مشاهده می‌شود (شکل۱۷). با توجه به اینکه سهم قابل توجهی از این فراوانی در روزهای پایانی هفته مشاهده شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که انسان از طریق فعالیت‌های صنعتی بدون مرز

۱. اگرچه معیار SD برای تعیین ازون‌های بیشینه در مقالات مختلف خارجی مشاهده می‌شود، اما میزان آن اختیاری و با توجه به حد بالا و پایین و همچنین مقدار انحراف معیار داده‌هاست. به عنوان مثال (کومری، ۱۹۹۰ : ۲۹۵)، معیار دو برابر انحراف معیار داده‌های یک‌کاسه شده شهر لوس‌آنجلس را برای استخراج بیشینه‌های ازون تروپوسفری در نظر گرفت.

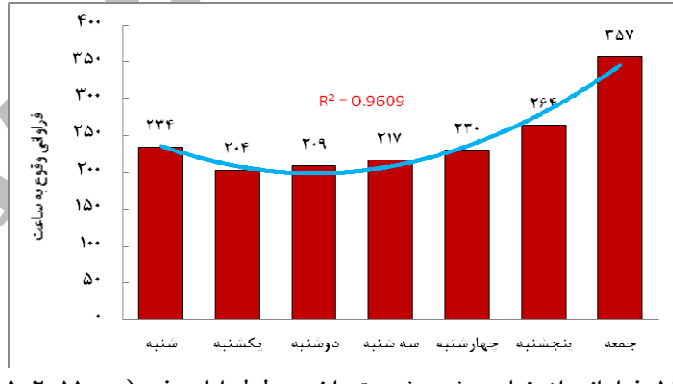
Archive of SID

www.SID.ir

خود، تغییرات چشمگیری در چرخه ازون ایجاد نمود که در روزهای پایانی هفته خود را نشان می‌دهد. این افزایش، به نوبه خود فراوانی ازون‌های بیشینه را طی سال‌های ۲۰۱۰–۲۰۰۸ افزایش داده است. وقوع بالاترین فراوانی ازون‌های نامطلوب در این سه سال نیز مؤید این مطلب است (شکل۱۳). اثر جمعی این وقایع، موجب وقوع سینرژی مثبت و بالا رفتن میانگین ازون متوسط سالانه کلانشهر تهران در سال‌های پایانی دوره مورد مطالعه نسبت به چند سال قبل‌تر از آن شده است (شکل۹).



شکل۱۴: فراوانی ازونهای بیشینه شهر تهران در طول شبانهروز (دوره۲۰۱۱–۲۰۰۱)

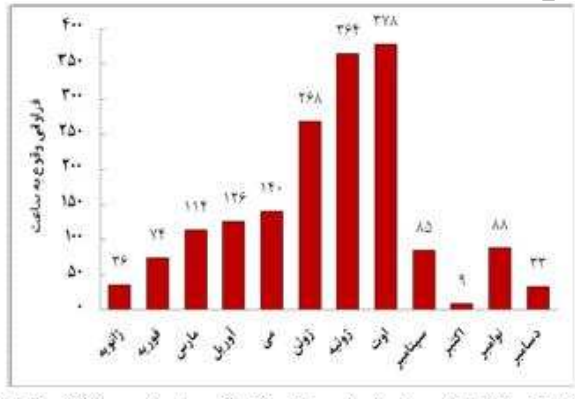


شکل۱۵: فراوانی ازونهای بیشینه شهر تهران در طول ایام هفته (دوره۲۰۱۱–۲۰۰۱)

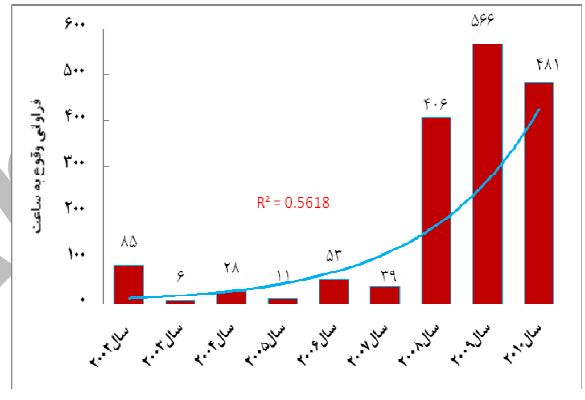
Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به شکل(۱۶) از نظر توزیع ماهانه نیز، بالاترین فراوانی ازون‌های بیشینه شهر تهران مربوط به ماههای دوره گرم سال است. به ترتیب ماههای اوت، ژوئیه و ژوئن با ۳۷۸، ۳۶۴ و ۲۶۸ ساعت، بالاترین فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل آن همانند وضعیت مشابه توزیع ماهانه فراوانی وقوع ازون‌های نامطلوب، حاکمیت الگوهای کم‌فشار گرم سطحی در این ماههاست[1] که درجه حرارت بالا و کم‌رطوبت به همراه تابش بالا را برای منطقه به همراه دارند (شکل۱۷).



شکل۱۶: فراوانی ازونهای بیشینه شهر تهران طی ماههای مختلف (۲۰۱۱-۲۰۰۱)



شکل۱۷: فراوانی ازونهای بیشینه شهر تهران طی سالهای مختلف

۱. الگوهای گردشی که در مقیاس همدید، آب و هوا تهران را کنترل می‌نمایند، چرخه منظمی را در تغییرات ازون تروپوسفری نیز رقم زده‌اند که به علت محدویت، نمی‌توان در این مقاله آن را باز نمود. نویسنده در مقاله جداگانه‌ای به این مهم پرداخته است.

www.SID.ir

تحلیل بازخوردهای سیستم سیبرنتیک آب و هوا در برابر انحرافات چرخه ازون تروپوسفری

سیستم سیبرنتیک آب و هوا در برابر هرگونه انحرافات خارج از حد بردباری و ایجاد اختلال در چرخه ازون تروپوسفری، هوشمندانه واکنش نشان داده و از طریق بازخوردهای مختلف، چرخه ازون تروپوسفری را کنترل نموده و آن را وادار به حفظ نظم می‌نماید. چرخه ازون نیز متقابلاً به عنوان یک خرده‌سیستم تلاش دارد تا از طریق بازگشت به وضعیت تعادل، به حفظ نظم و تداوم پویا در سیستم سیبرنتیک آب‌وهوا کمک نماید. چنین روابطی هم در مورد چرخه شبانه‌روزی ازون تروپوسفری، هم در مورد چرخه ماهانه و چه بسا بیشتر و واضح‌تر در مورد چرخه بلندمدت آن طی سال‌های مختلف، همواره برقرار است.

وظیفه اصلی ازون تروپوسفری، حفاظت از بیوسفر در برابر ورود بیش از اندازه اشعه‌های UV-A و UV-B خورشید است که خود را به تروپوسفر می‌رسانند. مکانیزم این ماده برای نیل به این هدف، جذب امواج این دو اشعه در هنگام اوج تابش خورشید است. که طی این فرآیند تروپوسفر کمی بیشتر از حالت عادی گرم می‌شود. بعد از ظهرها و ماههای گرم سال که شرایط لازم برای ورود بیش از اندازه اشعه‌های مذکور را به داخل تروپوسفر دارند، عرصه اوج فعالیت ازون تروپوسفری است. لذا در این مواقع، غلظت‌های ازون به طور ذاتی افزایش می‌یابد. با صنعتی شدن شهرها و توسعه صنایع آلاینده، بشر به طور غیرمستقیم با افزایش مقدار این ترکیب مفید در تروپوسفر، آن را به یک آلاینده خطرناک برای بیوسفر تبدیل نموده است.

با نگاه سیستماتیک به این روند، می‌توان گفت: افزایش فراوانی ازون‌های بیشینه و نامطلوب خصوصاً در پایان هفته‌ها، میانگین ازون را طی سال‌های۲۰۱۰–۲۰۰۸ افزایش داده است (شکل۹). [۱] در شرایطی که پیش‌عناصر برای تولید ازون در جو شهر همواره مهیا گردید، گردش نورکافتی NO2 و فرآیندهای فتوشیمیایی با حجم بیشتری اتفاق افتاد که نتیجه آن وقوع سینرژی مثبت و انباشت ازون در لایه تروپوسفر بوده است (شکل۲۰).

با افزایش میانگین ازون در این سال‌ها، یک پوشش محافظتی از مولکول‌های ازون تروپوسفری

۱. افزایش حجم خودروهای گازسوز به این امر دامن زده است احتراق گاز طبیعی، تولید مقادیر جزئی اکسیدهای سولفور، منوکسید کربن و هیدروکربن می‌کند و بالعکس مقادیر بسیار زیادی اکسیدهای نیتروژن تولید می‌نماید که در جو آزاد می‌گردد (پرکینز، ۱۳۶۷، ص۶۱).

Archive of SID

www.SID.ir

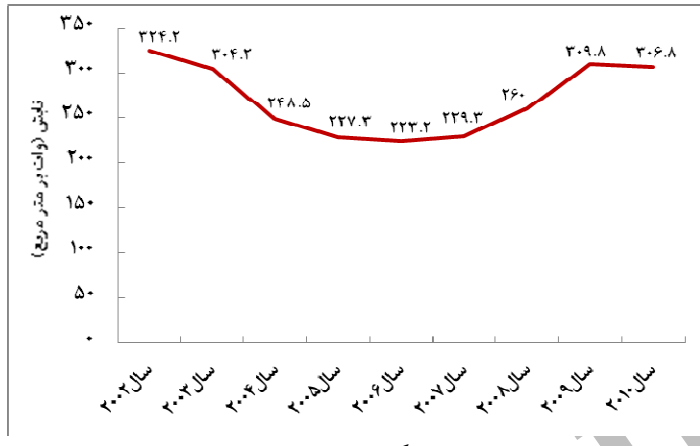
بر روی سطح کلانشهر تهران، تشکیل گردید که هرچه بیشتر، تابش‌های کوتاه خورشید (خصوصاً UVA وUVB) را به دام انداخته و آنها را جذب نمود. افزایش جذب فرابنفش خورشید توسط لایه محافظتی تشکیل شده بر سطح شهر، دمای هوای لایه را به صورت موقتی افزایش داد. با افزایش دمای لایه محافظتی، در زیر آن لایه وارونگی تشکیل گردید و فرآیندهای نورکافتی و فتوشیمیایی همچنان با شدت بیشتری به وقوع پیوست. نتیجه آن بازخورد مثبت و تولید و انباشت هرچه بیشتر ازون تروپوسفری بوده است (شکل۲۰). با تقویت پوشش محافظتی ازون، شاخص UVI به شدت افت می‌نماید (شکل۱۹). افت این شاخص به معنای کاهش دریافتی موج کوتاه پر انرژی خورشیدی توسط سطح زمین است. به این ترتیب بیلان انرژی در شهر (به عنوان بخشی از فراسیستم زمین)، دستخوش تحول می‌گردد.

آب‌وهوا به عنوان یکی از کلیت‌های سیستم کره‌زمین، وظیفه بازگرداندن چرخه ازون را به حالت تعادل، برعهده دارد. لذا افت UVI، علامتی است که سیستم سیبرنتیک آب و هوا را از وقوع یک واقعه نامتعارف در چرخه ازون تروپوسفری، آگاه می‌سازد. دمای هوا در لایه محافظتی تشکیل شده، از حد بردباری سیستم اقلیم خارج شده و در نتیجه طی بازخورد منفی، فرآیند ازون‌سازی به آرامی کاهش یافته و لایه تشکیل شده تضعیف می‌شود (شکل۲۰). این تضعیف، افزایش تدریجی تابش کلی را در این سال‌ها به دنبال داشته است (شکل۱۸). وقوع بازخورد منفی، مکانیزم بازدارنده از طرف سیستم سیبرنتیک آب و هوا بوده تا چرخه ازون تروپوسفری را به حالت نرمال خود برگرداند.

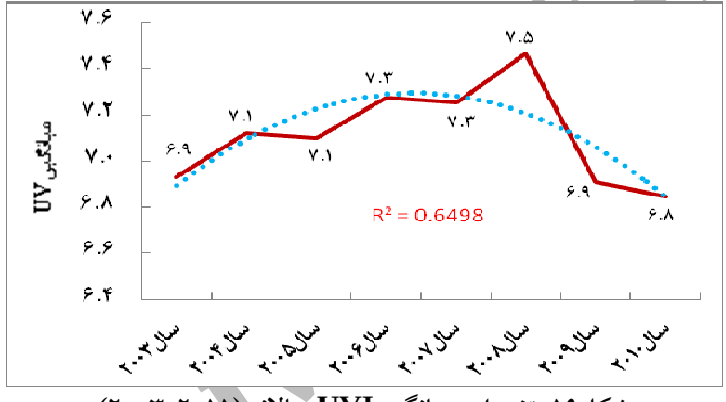
روند کاهشی در فراوانی ازون‌های بیشینه و نامطلوب و همچنین در متوسط ازون کلانشهر تهران طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰، این واقعیت را تأیید می‌نماید که انتظار می‌رود همانند شرایط مشابه سال ۲۰۰۲ این روند نزولی تا حداقل پنج سال آینده، حفظ شود. سال ۲۰۰۲ نیز که طبق شکل(۱۳) یکی از سال‌های دارای بالاترین فراوانی ازون‌های نامطلوب شهر تهران بوده، احتمالاً پایان موقتی یک چنین واقعیتی بوده است، به طوری که به دنبال آن طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ هم فراوانی ازون‌های نامطلوب، هم فراوانی ازون‌های بیشینه و هم متوسط ازون کلانشهر تهران پایین آمده است (اشکال۹، ۱۳ و ۱۷).

Archive of SID

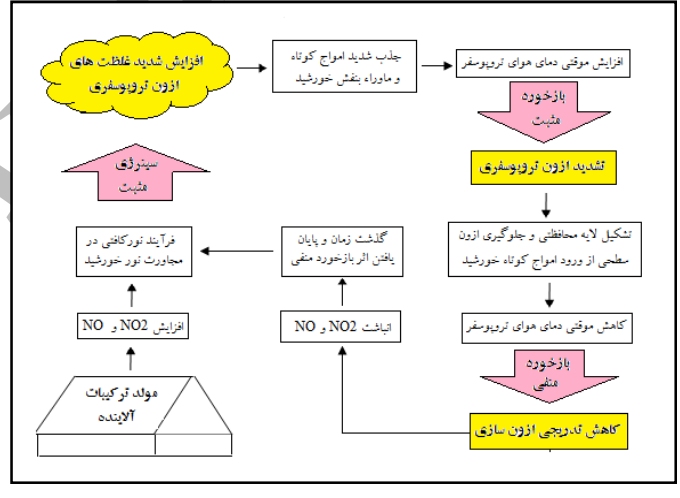
www.SID.ir



شکل۱۸: تغییرات میانگین تابش سالیانه (۲۰۱۰-۲۰۰۲)



شکل۱۹: تغییرات میانگین UVI سالانه (۲۰۱۱-۲۰۰۳)



شکل۲۰: چرخه ازون تروپوسفری و تغییرات سیستماتیک آن در شهر تهران

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که متکی بر داده‌های بلندت مدت ازون تروپوسفری، پیش‌عناصر آن و داده‌های آب و هوایی است، نشان می‌دهد عناصر تابش، دما و رطوبت، همبستگی معناداری با تغییرات ازون تروپوسفری دارند. به طوری در چرخه ذاتی ازون تروپوسفری، حداکثر مقادیر آن در شرایط اقلیمیِ تابش و دمای بالا و رطوبت پایین اتفاق می‌افتد. علیرغم مقدار ناچیز آن در تروپوسفر، وظیفه این ترکیب مفید، محافظت از بیوسفر در برابر ورود بیش از اندازه UV-A و UV-B است. اما به واسطه افزایش NO و NO2 به عنوان پیش عناصر آن بر اثر فعالیت‌های صنعتی و مولدهای آلاینده در داخل و اطراف شهر تهران، این ترکیب سه اتمی اکسیژن، به عنوان یکی از آلاینده‌های هوایی خطرناک مطرح است.

با توجه به همبستگی معنادار داده‌های ازون تروپوسفری با داده‌های عناصر اقلیمی در کلانشهر تهران و همچنین با تجزیه و تحلیل چرخه و رفتار این ترکیب در دوره بلندمدت، می‌توان نتیجه گرفت: سیستم سیبرنتیک آب و هوا، کنترل‌کننده اصلی چرخه و تمامی رفتارهای ازون تروپوسفری است. به طوری که این سیستم در برابر هر گونه انحرافات رفتاری در چرخه، هوشمندانه واکنش نشان داده و از طریق بازخوردهای منفی، چرخه را وادار به حفظ نظم می‌نماید. چرخه ازون تروپوسفری نیز متقابلاً به عنوان یک خرده‌سیستم تلاش دارد، خود را به سمت وضعیت تعادل سوق داده و به حفظ نظم و تداوم پویا در سیستم سیبرنتیک آب و هوا کمک نماید. شکل(۲۰) توجیه‌کننده چرخه ازون تروپوسفری در کلانشهر تهران و تغییرات سیستماتیک آن در ارتباط نزدیک با سیستم سیبرنتیک آب و هواست.

Archive of SID

www.SID.ir

کتاب‌شناسی

۱. اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران (۱۳۹۰)، مرکز آمار کنترل و پایش هوا؛

۲. اسعدی اسکویی، ابراهیم (۱۳۸۸)، ارائه مدل برای برآورد غیر مستقیم غلظت ازون سطحی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری وآبادانی به راهنمایی دکتر پرویز ایران‌نژاد و دکتر محمود رهبر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه تهران؛

۳. پرکینز، هنری (۱۳۶۷)، آلودگی هوا، ترجمه منصور غیاث‌الدین، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران؛

۴. تریولا، ماریو.اف (۱۳۸۰)، آمار کاربردی، ترجمه محمدصادق تهرانیان و ابوالقاسم بزرگ-نیا، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ سوم؛

۵. حافظ‌نیا، محمدرضا (۱۳۸۴)، مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی، انتشارات سمت، چاپ یازدهم، تهران؛

۶. سلرز، ای‌هندرسون و کی‌مک گوفی (۲۰۰۵)، نخستین گام در مدل‌سازی آب و هوای، ترجمه ابوالفضل مسعودیان و حسنعلی غیور، انتشارات دانشگاه اصفهان؛

۷. شهرتاش، فاطمه ماه‌منیر (۱۳۸۲)، فرآیند فتوشیمیایی ازون سطحی، مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۲۹، صص ۵۸-۵۵؛

۸. شهرداری تهران (۱۳۹۰)، مرکز آمار و انفورماتیک شرکت کنترل کیفیت هوا؛

۹. غیاث‌الدین، منصور (۱۳۸۵)، کتاب جامع بهداشت عمومی- فصل چهارم، گفتار پنجم: طبقه‌بندی آلاینده‌های هوا، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی، تهران؛

۱۰. قائمی، هوشنگ (۱۳۷۵)، هواشناسی عمومی، انتشارات سمت، تهران؛

۱۱. کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی (۱۳۸۳)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ دهم، تهران؛

۱۲. میلر، جی.تی (۱۳۸۲)، زیستن در محیط زیست، ترجمه مجید مخدوم، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران؛

13. Boulding, Kenneth (1968), "General Systems Theory: The Skeleton of Science'' in Water Buckleled. Modern Systems Reserch for the Behavioral Scientist Aldine Publishing Co. Chicago, pp 3-10;

14. Cadle, R.D and E.R. Allen (1970), Atmospheric Chemistry, Science, Vol.167, pp 243-249;

Archive of SID

www.SID.ir

15. **Comrie, A. C, (1990), The Climatology of Surface Ozone in rural Areas: A Conceptual Model, Progress in Phys. Geogr.; Vol. 14, pp. 295-316;**
16. **Comrie, A. C. and B. Yarnal, (1992), Relationship between Synoptic-Scale Atmospheric Circulation and Ozone Concentrations in Metropolitan Pittsburgh, Pennsylvania, Atms. Envi.; Vol. 26b, pp. 301-312;**
17. **Greene J S, Kalkstein L S, Ye H, Smoyer K, (1999), Relationships between Synoptic Climatology and Atmospheric Pollution at 4 US Cities, Theoretical and Applied Climatology, Volume: 62, Issue: 3-4, Publisher: Springer Wien, Pages 163-174;**
18. **Hewitt, C., P. Lucas, A. Wellburn, and R. Fall, (1990), Chemistry of ozone damage to plants, Chem. Ind., 15, 478– 481;**
19. **http://www.uvawareness.com;**
20. **Keith C. Heidorn, David Yap, (1986), A Synoptic Climatology for Surface Ozone Concentrations in Southern Ontario, 1976–1981, Atmospheric Environment (1967), Volume 20, Issue 4, Pages 695-703**
21. **Shahrtash F.M, S.M.Shahrtash (1992), Radiation reduction via water Vapour, Dust and Aerosol in the urban area of Tehran, J.The earth and Space Physics, 20, No.1,81-87.**

Archive of SID

www.SID.ir