عباسعلی اسپانی[1]

ازون و نقش آن در حیات کره‌ی زمین

چکیده :

ازون گازی است با فرمول شیمیایی O_3 و بوی تندی دارد. این گاز به دو طریق زندگی موجودات زنده را بر روی کره‌ی زمین تحت تأثیر قرار می‌دهد: ۱- ازون موجود در تروپوسفر که به ازون سطحی مشهور بوده، بر اثر واکنش‌های شیمیایی و فتوشیمیایی تولید می‌شود. ازون موجود در تروپوسفر فوق‌العاده سمی و کشنده است و در دراز مدت اثرات جانبی بر اعضای بدن دارد. از طرف دیگر ازون موجود در تروپوسفر به عنوان یک گاز گلخانه‌ای همراه با سایر گازهای گلخانه‌ای گرمایش جهانی را در پی دارد. ۲- ازون موجود در استراتوسفر که نقش مثبت و حیاتی بر زندگی روی کره زمین دارد. زیرا این گاز با عنوان لایه‌ی ازون، کره زمین را از ورود پرتوهای مرگبار ماوراء بنفش نوع (UV-B)-B حفظ کرده، مانع رسیدن این‌گونه تشعشعات به سطح کره‌ی زمین می‌شود. با توجه به نقش ازون تروپوسفری و استراتوسفری بر زندگی موجودات، مکانیزم عملکرد مثبت و منفی آن از لحاظ

۱ - دانشجوی دوره دکتری جغرافیای طبیعی (با گرایش اقلیم شناسی)، دانشگاه اصفهان.

زیست محیطی از طرف مجامع بین‌المللی در جهت کنترل و جلوگیری از تخریب لایه‌ی ازون به عنوان سپر حفاظتی کره‌ی زمین، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلید واژه‌ها: *لایه‌ی ازون، استراتوسفر، تروپوسفر، پرتوهای مرگ‌بار خورشیدی، گازهای CFC، هیدروکلروفلوروکربن، پروتکل مونترال.*

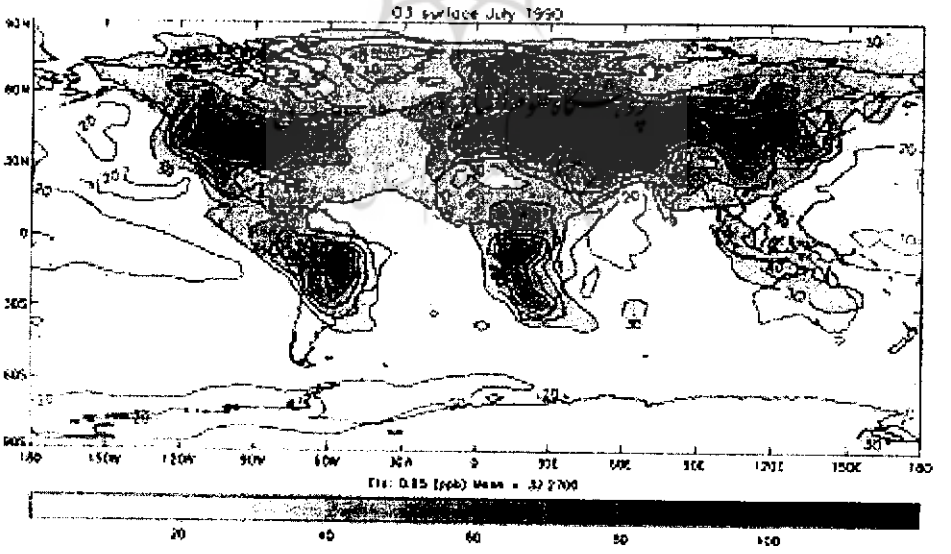
مقدمه

ازون کلمه‌ی یونانی به معنای بو و بالاخص بوی تند است. مولکول ازون گازی است با فرمول شیمیایی O_3 به مقدار خیلی کم در اتمسفر وجود دارد. این گاز به همراه نئون، هیدروژن، هلیوم، کریپتون، گزنون، آمونیاک، ید و رادون تنها ۰/۰۱ درصد حجم اتمسفر را تشکیل می‌دهد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۹، ص۳۳).

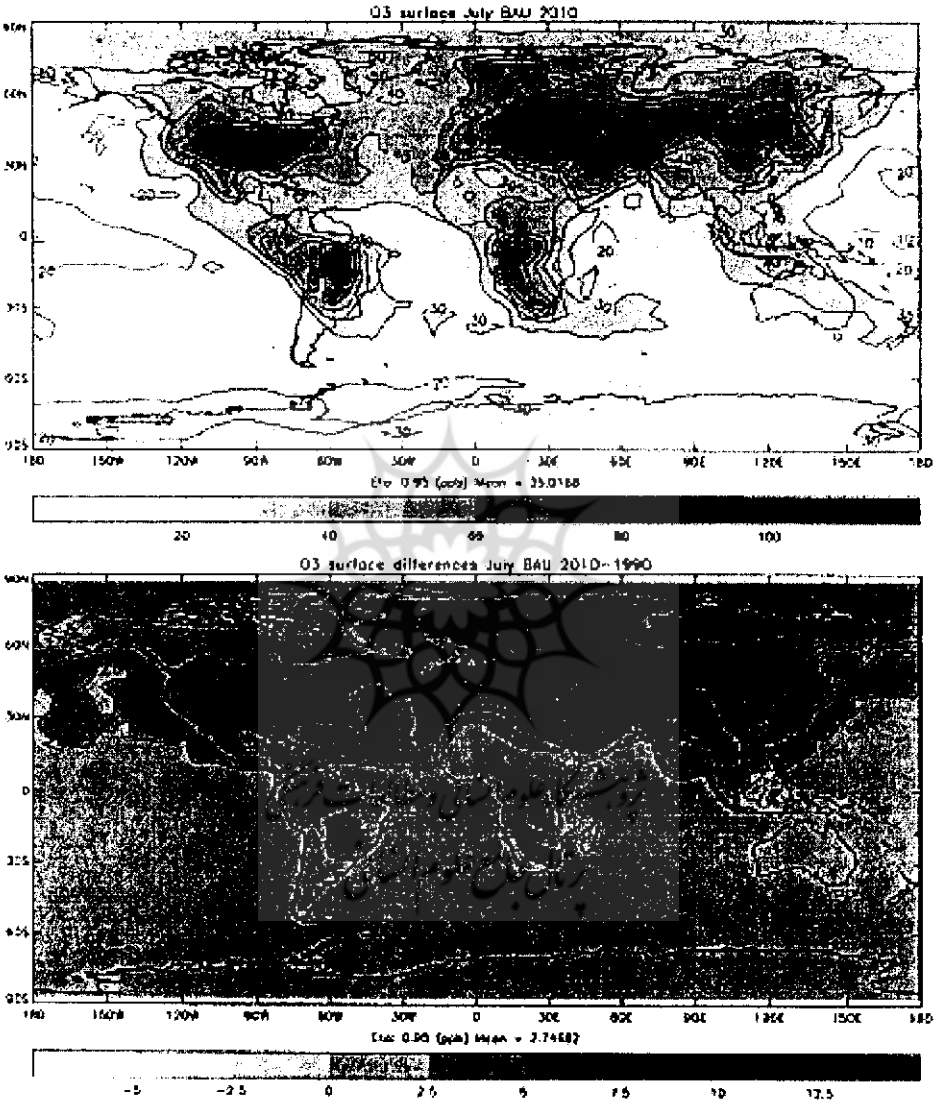
متناسب با اثر ازون بر زندگی موجودات زنده، ازون موجود در جو به دو بخش ازون تروپوسفری و ازون استراسفری تقسیم می‌شود. وقتی ازون در سطح زمین تشکیل می‌گردد که ترکیب هیدروژن و اکسید ازت در مقابل بخار آب و نور قرار گیرد. ازون موجود در تروپوسفر به ازون سطحی مشهور بوده، در گروه آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای تقسیم‌بندی می‌شود. همچنین ازون سطحی در اثر تخلیه‌ی بار الکتریکی شدید از جمله رعد و برق و واکنش‌های فتوشیمیایی در سطح زمین تولید می‌شود. ازون سطحی فوق‌العاده سمی و کشنده است و در اثر تنفس وارد ریه شده، در درازمدت می‌تواند بافت سطحی ریه را تخریب کند. از سوی دیگر این گاز بر روی گیاهان اثر گذاشته، موجب آسیب دیدن گیاهان و درختان جنگل و اکسیده شدن و تخریب فلزات و بناهای تاریخی می‌شود. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که متوسط غلظت ازون تروپوسفری در نیمکره‌ی شمالی افزایش یافته است. از مقایسه‌ی مشاهدات اخیر با آنچه در آزمایشگاه مونتسوری پاریس در سال‌های ۱۸۷۶ تا ۱۹۱۰ اندازه‌گیری شده است، چنین بر می‌آید که غلظت ازون در مدارهای جغرافیایی بالا طی صد سال گذشته بیش از دو برابر افزایش یافته است (محامد، ۱۳۷۷، ص۲۵). متوسط ازون موجود در جو زمین ۳۲/۷ppb است که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۵ به ۳۵/۶۷ppb افزایش یابد.

چشم‌انداز افزایش میزان ازون تروپوسفری به ۳/٦ تا ۷/۸ppb (متوسط ۵/۸ppb) است که در این شرایط وضع خطرناکی به لحاظ زیست محیطی به وجود می‌آید. با این همه پیش‌بینی می‌شود در صورت کاهش۵۳ درصدی اکسیدها در جو میزان ازون جو فقط ۱ppb افزایش یابد. (کولینز، ۲۰۰۰، ص ۲٦۵). میانگین ماهانه‌ی توزیع تراکم ازون در ماه جولای برای زمان کنونی و سال ۲۰۱۵ و اختلاف آن‌ها را در شکل ۱ (a,b,c) نشان داده شده است.

ازون موجود در استراتوسفر نقش حیاتی را برای موجودات کره‌ی زمین دارد و عده‌ای از دانشمندان بر این باورند که حیات بر روی کره‌ی زمین از زمانی آغاز شد که علاوه بر آب و اکسیژن لایه‌ی ازون در استراتوسفر شکل گرفت. ازون موجود در استراتوسفر در ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری سطح زمین با عنوان لایه‌ی ازون قرار گرفته است. با این همه در بالای مرز تروپوپاز که در عرض‌های مختلف جغرافیایی متفاوت است، جایی که تغییر روند دما و رطوبت با ارتفاع تغییر می‌کند، ازون استراتوسفری تشکیل شده و تا مرز ۵۰ کیلومتری پخش می‌گردد. اگر از فضای بین سیاره‌ای به زمین نگاه کنیم، لایه‌ی ازون مانند نوار نازک آبی رنگ دور زمین را فرا گرفته است.



شکل ۱- میانگین ماهانه‌ی توزیع تراکم ازون در ماه جولای برای (الف) انتشار در زمان کنونی (ب) میزان انتشار در سال ۲۰۱۵ و (ت) اختلاف بین آنها (۲۰۰۰).



بقیه شکل ۱- میانگین ماهانه‌ی توزیع تراکم ازون در ماه جولای برای (الف) انتشار در زمان کنونی (ب) میزان انتشار در سال ۲۰۱۵ و (ت) اختلاف بین آنها (۲۰۰۰).

نقش ازون در جلوگیری از ورود پرتوهای مرگ‌بار خورشیدی

ازون استراتوسفری نقش مهمی بر روی حیات جانداران از طریق جلوگیری از ورود پرتوهای مرگ‌بار ماوراء بنفش خورشیدی ایفا می‌کند. اشعه‌ی ماوراء بنفش خورشیدی طول موج‌های کوتاه بین ۲۰۰ تا ٤۰۰ نانومتر دارد که بسته به درهم‌کنش آن با ازون به سه دسته اصلی تقسیم می‌شود:

الف) اشعه‌ی ماوراء بنفش نوع C(UV-C) (با طول موج‌های بین ۲۰۰ تا ۲۸۵ نانومتر)، این اشعه بسیار خطرناک بوده، تماماً توسط اکسیژن و ازون موجود در سقف استراتوسفر در ارتفاع ۵۰ کیلومتر جذب می‌گردد،

ب) اشعه‌ی ماوراء بنفش نوع B(UV-B) (با طول موج‌های بین ۲۸۵ تا ۳۲۰ نانومتر).

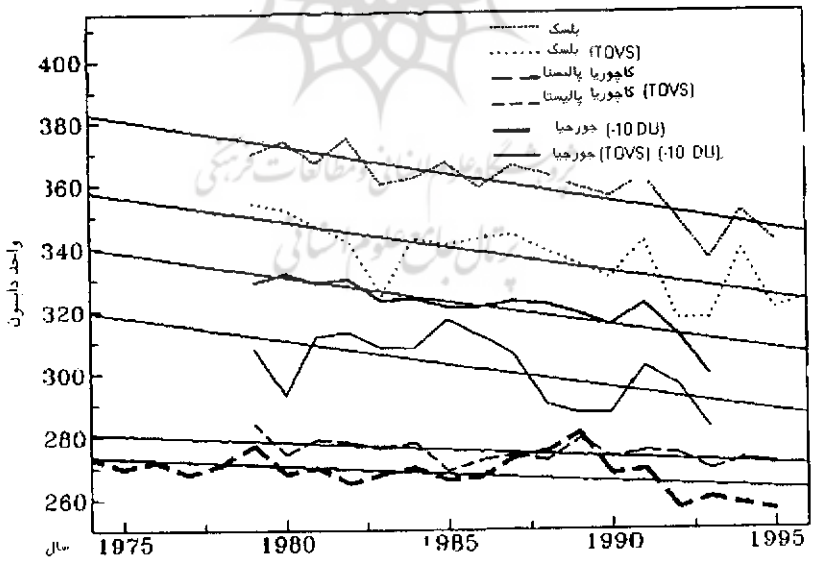
مقدار زیادی از این اشعه توسط ازون موجود در استراتوسفر زیرین جذب می‌شود و فقط مقدار کمی از آن به سطح زمین می‌رسد و اگر این مقدار رسیده به سطح زمین شدت بالایی داشته باشد، موجب افزایش سرطان پوست و آب مروارید چشم در انسان و کاهش محصولات کشاورزی و کاهش تولید محصولات عظیم دریایی و اقیانوسی می‌شود. رابطه‌ی بین اشعه ماوراء بنفش نوع B و لایه ازون رابطه‌ای معکوس است، یعنی با افزایش غلظت لایه ازون اشعه‌ی B رسیده به زمین کاهش می‌یابد.

ج) اشعه‌ی ماوراء بنفش نوع A(UV-A) (با طول موج ۳۲۰ تا ٤۰۰ نانومتر).

این اشعه نه تنها برای حیات بر روی کره زمین مضر نیست، بلکه عامل اصلی ساخت ویتامین D در بدن انسان و نیز فتوسنتز گیاهان است. این اشعه بدون این که توسط مولکول‌های اتمسفر جذب شود، به سطح زمین می‌رسد (سایت اطلاع رسانی مرکز ازون‌سنجی اصفهان).

زمان آغاز اندازه‌گیری ازون و روند آن

اندازه‌گیری ازون از سال ۱۹۲۰ توسط دابسون دانشمند انگلیسی در دانشگاه آکسفورد با استفاده از دستگاه طیف سنج UV شروع شد. ازون به دو صورت کلی و عمودی اندازه‌گیری می‌شود. ازون کلی را دستگاه‌های دابسون بروئر و فیلتر ازون اندازه‌گیری می‌کنند که این دستگاه‌ها طیف سنجند و با استفاده از میزان جذب نور خورشید در دامنه‌ی جذب ازون (۲۹٪ میکرون) پی به مقدار ازون می‌برند. سنجش فضایی ازون با استفاده از طیف سنج نقشه‌بردار مجموع ازون[1] (TOMS) که بر روی ماهواره نیمبوس ۷ قرار داشت، از سال ۱۹۷۹ شروع شد. همچنین سنجنده‌ی مادون قرمز حساس به طول موج ۹/۷ میکرون (باند جذبی ازون) برای تعیین تغییرات ازون در ماهواره‌ی[2] (TIROS-N) (TOVS) مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری بر روی دستگاه‌های طیف‌سنج زمین بر حسب واحد دابسون ممکن است شکل شماره‌ی ۲ مقایسه‌ی ازون از دستگاه زمینی و ماهواره TOVS را نشان دهد. (مارتین و همکاران، ۱۹۹۹، ص ٦٦٧).



شکل ۲- مقایسه‌ی بین اندازه‌گیری‌های ازون کلی بر روی سطح زمین و توسط ماهواره (TOVS).

1 - Total Ozon Mapping Specteromeetter

2 - TIROS Operational Vertical Sounder

ازون عمودی را با ازون سوند یا ECC که یک دستگاه شیمیایی است اندازه‌گیری می‌کنند. در این دستگاه ازون موجود در هوا با محلول الکترولیت واکنش داده، برق تولید می‌کند. هر چه مقدار ازون موجود در هوا بیشتر باشد، واکنش شدیدتر است و الکترون بیشتری تولید می‌شود. در اندازه‌گیری عمودی، نیمرخ ازون نسبت به ارتفاع اندازه‌گیری می‌شود و تغییرات ازون نسبت به ارتفاع به همراه سایر پارامترها مانند دما، فشار، رطوبت و سمت و سرعت باد به دست می‌آید.

تغییر در میزان ازون استراتوسفری

اولین بار در سال ۱۹۷۰ انسان به اثرگذاری خود بر روی لایه‌ی ازون توجه کرد و این امر مربوط به انتشار اکسید نیتروژن حاصل از عبور هواپیماهای مافوق صوت در استراتوسفر پایینی بود. گر چه میزان ازون استراتوسفر طی تاریخ طولانی خود بارها تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله پرتوافکنی خورشیدی، فعالیت آتشفشان‌ها، شهاب سنگ‌ها و غبارهای کیهانی قرار داشته، ولی همواره مقدار آن در جو ثابت باقی مانده است. در اواسط سال ۱۹۸۰ اولین بار حفره‌ی ازون کشف شد و چند سال بعد، نتایج تحقیقات، پیدایش حفره موجود در قطب را به انتشار گازهای (CFCs) رها شده توسط انسان نسبت داد.

شکل شماره‌ی ۳ میانگین مداری و ماهانه‌ی مجموع ازون استنتاج شده از آمار نیمبوس ۷- (TOMS نوع ۷) را برای دوره‌ی زمانی ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ نشان می‌دهد. بزرگ‌ترین کاهش‌های ازون در عرض‌های متوسط نیمکره‌ی شمالی از ۱/۹- تا ۸/۳- درصد، در دهه در ماه فوریه بین ٤٠ تا ٥٠ درجه شمالی از دست رفته است که در اواخر فصل‌های بهار و تابستان کم می‌شود. (رنات دووینتر، سورکینا، ۲۰۰۱، ص ۱٦۱۱). [1]

همچنین در نیمکره‌ی جنوبی، روند کاهش حداکثر میزان ازون در فصل ihd بهار و تابستان بوده که برای مثال در ماه اکتبر از ٥- تا ١٦/٦- درصد در هر دهه بین ٦٠ تا ٧٠ درصد جنوبی بوده است. (همان).

1 - Renate De Winer-Sorkina

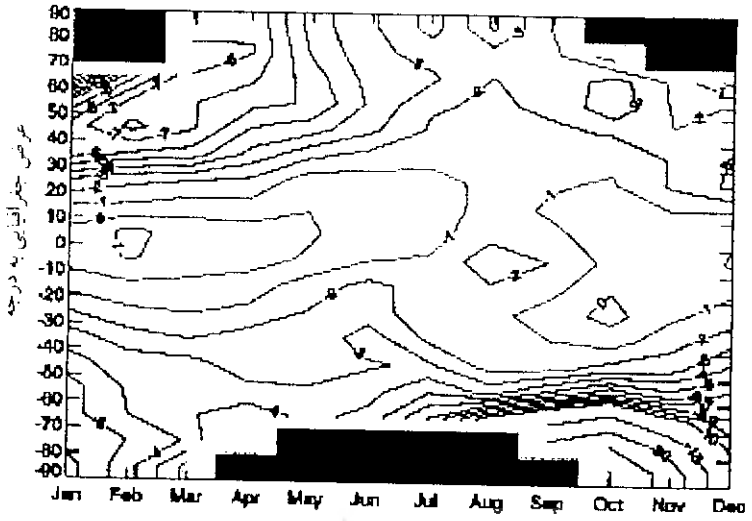
شکل شماره‌ی ٤ کاهش ازون را در امتداد طول جغرافیایی نشان می‌دهد که توسط TOMS سنجیده شده است. دو حداکثر کاهش مقدار ازون از سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱ یکی در استراتوسفر میانی تا بالایی (۷/۵ درصد در هر دهه در ٤۰ کیلومتری) و دیگری در استراتوسفر پایینی (۷٪ در هر دهه در استراتوسفرپایینی در ۱۷ کیلومتری) مشاهده شده است (جونز و همکاران، ۲۰۰۲، ص ٤٦٤).[1]

شکل ۵ فشار جزئی ازون را بر فراز ایستگاه سایوا (٦۹ درجه و ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی) نشان می‌دهد. مقادیر ازون کلی در این ایستگاه تغییر و دگرگونی زیادی را نشان می‌دهد زیرا ایستگاه سایوا از ماه اوت تا ماه نوامبر از نظر موقعیت در حاشیه‌ی منطقه‌ی حفره‌ی ازونی واقع شده بود. در زمانی از سال که این ایستگاه در داخل حفره‌ی ازونی قرار داشت، ازون به طور کلی و تماماً در ارتفاع ۱۵-۲۰ کیلومتری بالای ایستگاه نابوده شده و از بین رفته بود. داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی نشان می‌دهند که منطقه‌ی حفره‌ی ازونی در سال ۲۰۰۰ نسبت به حد معمول اولیه خود رشد و گسترش داشته و در نیمه‌ی اول ماه سپتامبر مقادیر کاهش یافته‌ی ازون و منطقه‌ی زیر نفوذ حفره‌ی ازونی هر دو بیشترین مقدار ثبت شده را نشان داده است و این در حالی است که حفره‌ی ازونی بعد از سپری کردن این حداکثر در اواسط ماه نوامبر، ضعیف و در نهایت ناپدید گردیده است. (شکل شماره‌ی ۵)

روند فصلی ازون به درصد از ماهواره TOVS برای ۰٤/۱۹۹۳-۱۱/۱۹۷۸

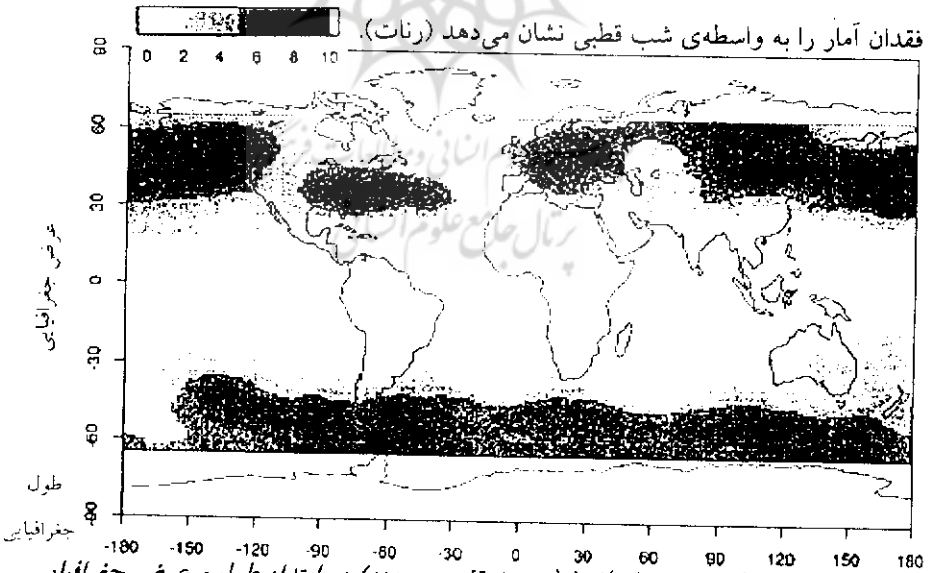
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1 - Johnnes

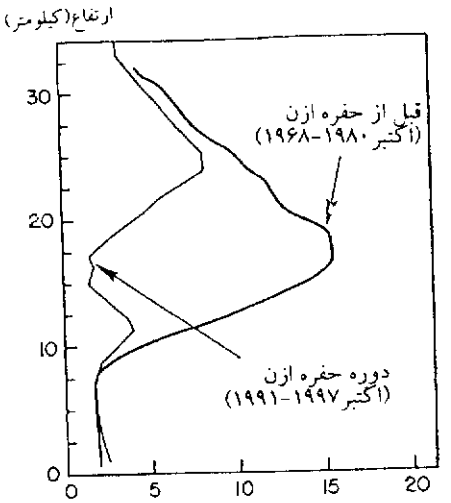


*شکل ۳- توزیع ماهانه و عرض جغرافیایی کاهش ازون استخراج شده از ماهواره **TOMS** نوع ۷ در خلال ۱۹۷۸ - ۱۹۹۳.*

نواحی خاکستری کاهش قابل توجه را در سطح ۲ درصد نشان می‌دهد. نواحی سیاه فقدان آمار را به واسطه‌ی شب قطبی نشان می‌دهد (رنات).



*شکل شماره‌ی ٤- تغییر روند ازون (درصد تغییر در دهه) در امتداد طول و عرض جغرافیایی استخراج شده از اندازه‌گیری‌های ماهواره **TOMS** برای ماه دسامبر تا ماه مارس ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۱ را نشان می‌دهد. (از جونز، ۲۰۰۲، ص ٤٦٤).*



شکل شماره‌ی ۵- نمودار عمودی فشار جزئی ازون بر فراز ایستگاه سایوا که کاهش قابل توجه آن را در اکتبر ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ نشان می‌دهد. (سایت اطلاع رسانی مرکز ازون سنجی اصفهان)

عوامل کاهش دهنده‌ی ازون

فرایندهایی که لایه‌ی ازون را تحت تأثیر قرار داده، موجب تخریب آن می‌شوند، به دو دسته عوامل یا فرایندهای شیمیایی و عوامل یا فرایندهای دینامیکی تقسیم می‌شوند.

فرایندهای شیمیایی کاهش دهنده‌ی ازون عبارتند از:

۱- کاهش حالت گازی ازون در عرض‌های متوسط در استراتوسفر بالایی در ۴۰ کیلومتری سطح زمین،

۲- تغییر در اجزای مولکولی از طریق انتشار هواویزهای ناشی از انفجار بزرگ آتشفشان.

فرایندهای دینامیکی کاهش میزان ازون عبارتند از:

۱- تغییر بلندمدت در ارتفاع تروپوپاز به کاهش حجم استراتوسفر و کاهش میزان ازون منتهی می‌شود. در بعضی از ایستگاه‌ها افزایش ارتفاع تروپوپاز تقریباً به کاهش ۲۵ درصد در مقدار ازون منجر شده است؛

۲- تغییر بلندمدت در موقعیت الگوهای ثابت اقلیم مانند نوسان اطلس شمالی (NAO) و نوسان قطب شمال (AO). مثلاً وقتی NAO مثبت است، کاهش ازون تا ۲۵ درصد در حجم آن مشاهده شده است. بنابراین حفره‌های کوچک ازون بر روی بخش اروپایی اطلس در خلال حالت حداکثر (مثبت) NAO فراوان‌تر است.

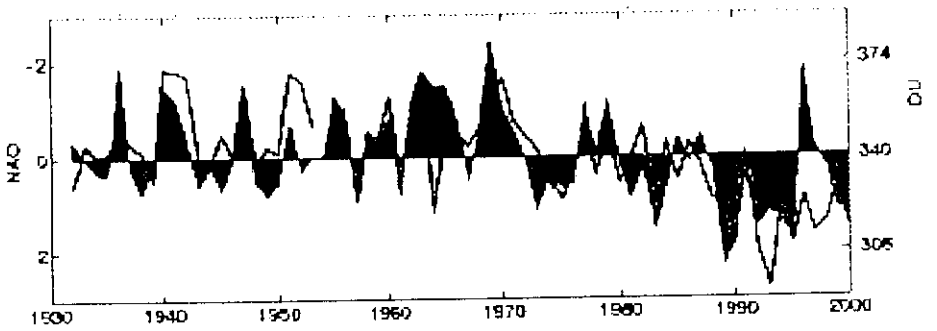
حالت مثبت AO با تغییر به طرف بالای تروپوپاز برون مداری و یک تغییر به طرف پایین (کاهش ارتفاع) تروپوپاز مداری همراه است. این امر منجر به کاهش مقدار ازون در برون مداری و افزایش آن در نواحی مداری می‌شود. بدین ترتیب یک ارتباط خطی بین شاخص AO و مقدار ازون از سال ۱۹۶۰ پیدا شده است.

۳- تغییر بلندمدت در قدرت بالایی نیمکره شمالی امواج فعالی را تولید می‌کند که ممکن است در گردش آدیاباتیکی بزرگ ۲۰٪ کاهش ازون را از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۰ باعث شده باشد. (با افزایش تبادل هوا بین استراتوسفر و تروپوسفر تراکم گازهای CFC در استراتوسفر افزایش یافته، به تخریب ازون منجر می‌گردد)؛

٤- تغییر در فراوانی لایه‌ی مثبت در برابر لایه‌ی منفی که به طور متوالی سبب انتقال ایزوتروپیک در عرض‌های میانی می‌شود. روندهای منفی قوی در رخداد متورق شدن، موجب کاهش لایه‌ی ازون می‌شود. بیشترین اثر متورق شدن بر روی لایه‌ی ازون در فصل‌های زمستان و و اوایل بهار است. در دهه‌های اخیر حالت متورق شدن تا ۱۵ درصد تنزل کرده و میزان ازون نیز کاهش یافته است. اثر دمای ارتفاع ۱۰۰ هکتوپاسکال و حوادث ال نینو نوسان جنوبی و آتشفشان‌ها در کاهش لایه‌ی متورق مشهود است. هنگامی که گردش مداری نسبت به نصف‌النهار شدید است، حالت تورق کاهش می‌یابد. (لایه‌ی متورق بر روی مرز تروپوسفر تا استراتوسفر اتفاق می‌افتد)؛

۵- انتقال ازون در حال کاهش در قطب شمال توسط ورتکس قطبی به عرض‌های میانه در اواخر ماه‌های فوریه و مارس) (جونز).

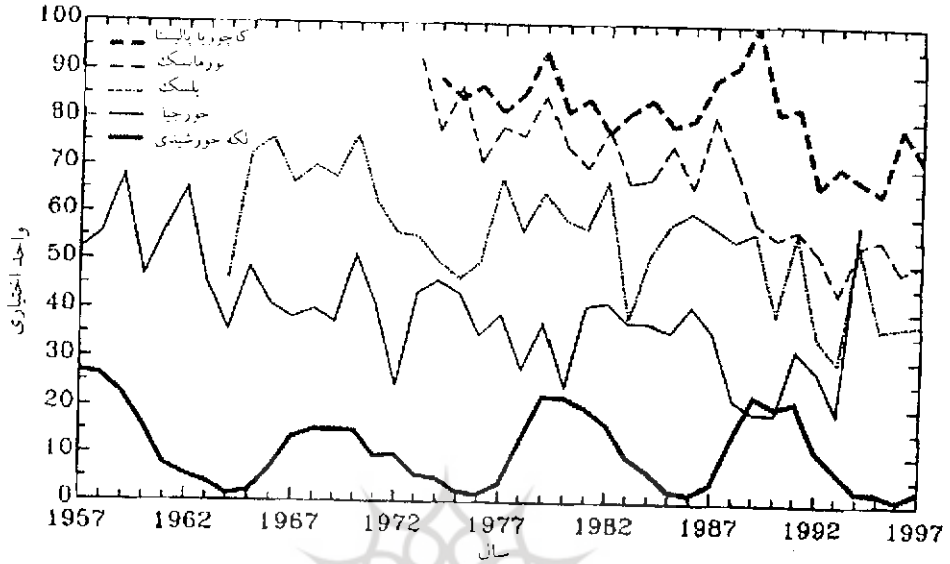
مجموع ازون اندازه‌گیری شده در فصل زمستان در منطقه‌ی آروسا و شاخص آتلانتیک شمالی در شکل ٦ ارایه شده است.



شکل شماره‌ی ٦- مجموع ازون اندازه‌گیری شده در فصل زمستان (دسامبر-مارس) در آروسا (سویس) و شاخص اطلس شمالی (NAO) (از جونز)

یکی دیگر از علل کاهش میزان ازون لکه‌های خورشیدی ذکر شده است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، ضریب همبستگی بین تعداد لکه‌ها و تغییرپذیری، نزدیک ۷٪ بوده است که در استوا و عرض‌های متوسط این میزان کمتر است. با استفاده از مقادیر میانگین بلندمدت سالانه تراکم ازون استراتوسفری در استوا، عرض‌های متوسط و قطب و به کارگیری رگرسیون خطی، قانون کاهش عمومی ۱۰ درصد برای هر عرض جغرافیایی در سه سیکل اخیر لکه‌های خورشید از سال ۱۹۵۷ تا سال ۱۹۹۷ کشف شده است. (مارتین و همکاران، ۱۹۹۹).[1]

1 - M. Martin et al.



شکل ۷- رابطه‌ی بین فعالیت لکه‌های خورشیدی و تغییرپذیری ازون استراتوسفر برای سه سیکل خورشیدی اخیر را نشان می‌دهد. (از مارتین و همکاران).

در مجموع مهم‌ترین علت تخریب لایه‌ی ازون در دهه‌های اخیر که در مقایسه با روند معمول آن غیر عادی به نظر می‌رسد، افزایش گازهای CFC مخرب لایه ازون ناشی از فعالیت انسان است که توسط توربولانس هوا بویژه در فصل سرد که دینامیک جو فعال است، صورت می‌گیرد. از این رو گسترش حفره‌های بزرگ در لایه‌ی ازون ناشی از افزایش شدید در مقادیر CFC رها شده در جو را ناشی از فعالیت انسان می‌دانند.

گاز کلروفلوروکربن و مکانیزم تخریب آن‌ها

گازهای CFC یا کلروفلورکربن‌ها گازهای بسیار پایداری هستند و تولید آن‌ها بسیار ارزان و آسان است. این گازها به عنوان سرماساز یخچال‌ها و کولرهای گازی، در صنایع ساخت ابر و اسفنج، اسپری‌های پاک کننده قطعات الکترونیکی و نیز کپسول‌های آتش‌نشانی در صنعت کاربرد دارند.

پس از اینکه گازهای CFC در جو رها شدند، علی‌رغم این که از هوا سنگین‌تر هستند، تحت تأثیر تلاطم‌های جوی قرار گرفته، در جو صعود می‌کنند و به استراتوسفر وارد می‌شوند. گازهای CFC نفوذ کرده به استراتوسفر تحت تأثیر فوتون‌های پرانرژی نور خورشید تجزیه شده و یک اتم کلر رادیکالی بسیار فعال تولید می‌کنند. اتم کلر با ازون واکنش داده، آن را تخریب می‌کند و یک اتم کلر به واسطه‌ی عمر زیاد خود می‌تواند هزاران مولکول ازون را تخریب کند.

مثلاً مکانیزم تخریب CFC-12 و CFC-11 و تبدیل آن به اتم کلر و سپس ازون به صورت زیر است:

تجزیه‌ی CFC-12 بر اثر فوتون‌های خورشیدی

clclf2 + hv cf2cl + cl

تجزیه‌ی CFC-11 بر اثر فوتون‌های خورشیدی

cfcl3 + hv cfcl2 + cl

رادیکال تولید شده در تمام ضخامت لایه‌ی استراتوسفر پخش شده موجب تخریب ازون می‌شود که واکنش تخریب آن به ترتیب زیر است:

cl + o3 clo + o2

فعال شدن مجدد کلر

clo + o cl + o2

همان طور که در واکنش نشان دادیم، بعد از این که کلر رادیکالی[1] و فعال تولید شد، می‌تواند بر ازون که مولکول سه اتمی اکسیژن است، حمله کرده، با یک اتم اکسیژن پیوند برقرار نماید. از آن جا که پیوند بین کلر و اکسیژن (هیپوکلر) سست و ناپایدار است، این مولکول به اتم کلر و اتم اکسیژن تقسیم می‌شود و به این ترتیب مجدداً اتم کلر تولید می‌شود که این اتم کلر به یک اتم ازون دیگر حمله کرده، آن را تخریب می‌نماید.

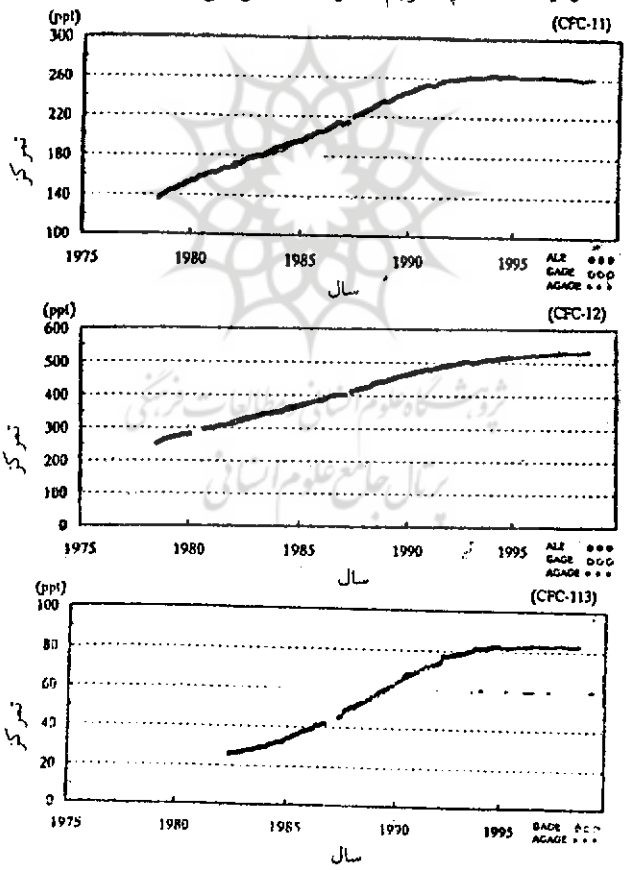
به طور کلی می‌توان چنین عنوان کرد که کلر رادیکالی پس از شکستن ازون دوباره به شکل فعال درآمده، قادر است مولکول دیگر ازون را تخریب نماید. با توجه به این که طول

---

۱ - اتم رادیکالی اتمی است که دارای الکترون منفرد و ناپایدار می‌باشد و برای رسیدن به پایداری میل فراوان دارد که با سایر اتم‌ها ترکیب شود.

عمر این مواد به حدود نیم قرن یا بیشتر می‌رسد، می‌توان تصور کرد که یک مولکول CFC هزاران مولکول ازون را تخریب و تجزیه می‌کند.

روند رشد غلظت گازهای CFC در استراتوسفر سیر صعودی داشته است. به صورتی که غلظت این گازها در استراتوسفر در قرن نوزدهم ۰/٦ قسمت در میلیارد بوده، در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ به دو قسمت در میلیارد رسیده و هم اکنون کل غلظت کلر موجود در استراتوسفر به سه قسمت در میلیارد (ppb) می‌رسد. در حال حاضر کل جهان ۷ ایستگاه اندازه‌گیری غلظت گازهای CFC-11، CFC-12 و CFC-13 در کشورهای ایرلند، استرالیا و آمریکا وجود دارد. شکل شماره‌ی ۸ مقادیر اندازه‌گیری شده و روند افزایشی CFCs را از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ در ایستگاه کاپ گریم استرالیا نمایش می‌دهد.



شکل ۸- تغییرات تراکم گازهای CFC-11، CFC-12 و CFC-13 از سال ۱۹۷۸ تا سال ۲۰۰۰ در ایستگاه کاپ گریم استرالی. (سایت اطلاع رسانی مرکز ازون سنجی اصفهان)

اثر زیست محیطی ازون

چنان که ذکر شد، ازون به دو صورت زندگی موجودات زنده را بر روی کره‌ی زمین تحت تأثیر قرار می‌دهد.

الف) اثرات زیست محیطی ناشی از افزایش غلظت ازون تروپوسفری:

ازون موجود در تروپوسفر به ازون سطحی معروف بوده، از طریق فرایندهای فتوشیمیایی بر روی اکسیدهای نیتروژن و هیدرو کربن‌های حاصل از بایومس و سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که غلظت ازون در نواحی آلوده شهری و در روزهای صاف و آفتابی فصول بهار و تابستان به حداکثر میزان خود می‌رسد. ازون موجود در جو سطح زمین از طریق روزنه‌ها و فرایند معمولی ورود گازها، به برگ گیاهان وارد شده، خود ازون به کمک ترکیبات ثانویه آن که در نتیجه اکسیداسیون توسط ازون به وجود می‌آیند، باعث بروز علایمی چون کلروزشدن[1] و نکروز شدن[2] در گیاهان می‌گردد.

علایم دیگر ناشی از اثر نامطلوب ازون بر روی گیاهان عبارتند از: رگه رگه شدن (یعنی به صورت لکه‌های نامنظم قهوه‌ای تیره و روشن به قطر کمتر از ۱ میلی‌متر درآمدن)، و برنزه شدن (یعنی قرمز شدن).

نشانه‌های تأثیر ازون بر روی گیاهان در بین رگبرگ‌ها مخصوصاً سطح رویی برگ‌ها دیده می‌شود که به صورت برگ‌های پیرتر و میان‌سال دیده می‌شود.

نوع و شدت آسیب‌دیدگی به مقدار و مدت دوام ازون، شرایط آب و هوایی و ژنتیک گیاه بستگی دارد. تمام نشانه‌های فوق یا حتی یکی از آن‌ها می‌تواند بر روی بعضی گونه‌ها در شرایطی خاص تأثیر گذاشته و هر نشانه خاص بر روی یک گونه گیاهی نشان دهنده‌ی تأثیرپذیری متفاوت آن نسبت به سایر گونه‌ها است.

---

۱ - کلروز شدن عبارت است از زرد شدن بافت‌های گیاه سبز در اثر از بین رفتن کلروفیل یا تشکیل نشدن آن.

۲ - نکروز شدن عبارت است از مرگ سلولها و بافت‌های گیاهی که معمولاً به رنگ تیره در می‌آید.

افزایش غلظت ازون موجب کاهش محصول می‌شود. نتایج تحقیقی که از سال ۱۹۸۰ تا سال ۱۹۸۷ در پنج نقطه‌ی ایالات متحده انجام گرفته، نشان می‌دهد که گونه‌های دولپه‌ای مثل لوبیا، کتان و بادام نسبت به گونه‌های تک‌لپه‌ای همچون خوشه‌ای، غلات، ذرت و گندم زمستانی در برابر خسارت‌های ناشی از افزایش غلظت ازون حساسیت بیشتری دارند.

ب) اثرات زیست محیطی ناشی از کاهش غلظت ازون استراتوسفری:

کاهش غلظت ازون استراتوسفری موجب افزایش ورود پرتوهای مرگبار نوع B خورشیدی به سطح زمین می‌شود که بیش از پیش مرگ ارگانیزم‌های زنده و گسترش بیماری‌ها را در پی دارد. همان طور که اظهار شد مهم‌ترین پیامد افزایش تشعشعات ماوراء بنفش ورودی، افزایش سرطان پوست و آب مروارید چشم در انسان و کاهش محصولات کشاورزی و تولیدات دریایی و اقیانوسی است.

فعالیت‌های بین‌المللی در زمینه‌ی ترمیم و کنترل کلروفلوروکربن‌ها

کاهش غلظت لایه ازون برای اولین بار در قطب جنوب در ایستگاه «هالی بای» در سال ۱۹۷۰ مشاهده شد. روند افزاینده‌ی کاهش غلظت ازون به خصوص در قطب جنوب و نیز اعلام خطر دانشمندان در سال ۱۹۷٤ مبنی بر اثر نامطلوب گازهای CFC بر روی ازون و نیز روند فزاینده‌ی ورود این گازها به جو، این نکته را ثابت کرد که مهم‌ترین عامل غیر معمول در تغییرات حجم ازون استراتوسفری فعالیت‌های انسان می‌باشد. با توجه به خطرات فراوان ناشی از کاهش لایه‌ی ازون بر روی حیات موجودات زنده و زندگی بشر، چندین نشست بین‌المللی و پروتکل بین کشورهای جهان به سرپرستی برنامه زیست محیطی ملل متحد (UNEP) و سازمان هواشناسی جهانی (WMO) برگزار گردیده است.

در سال ۱۹۸۵ نخستین موافقت نامه‌ی بین‌المللی به دعوت سازمان ملل متحد UNEP ابتدا با حضور نمایندگان ۲۱ کشور جهان و ۲۸ کشور عضو جامعه‌ی اقتصادی اروپا در ۲۱ ماده و دو الحاقی برای ایجاد زمینه‌های همکاری علمی و فنی در جهت حفاظت از لایه ازون موسوم به کنوانسیون وین به تصویب رسید.

به دنبال آن در سال ۱۹۸۷ نخستین اقدام کنترل بین‌المللی در مورد مواردی که از بین برنده‌ی لایه‌ی ازون هستند، به عنوان مکمل کنوانسیون وین به نام پروتکل مونترال تدوین گردید و ٤٦ کشور موافقت خود را با آن اعلام کردند.

پروتکل مونترال پس از کنوانسیون وین چندین بار اصلاح و تعدیل گردید و تغییرات اساسی در آن داده شد. در سال ۱۹۹۰ الحاقی لندن، در سال ۱۹۹۲ الحاقی کپنهاک، در سال ۱۹۹۵ تطبیقات وین و آخرین بار در سال ۱۹۹۷ الحاقی مونترال به آن اضافه شد. تا ماه ژوئن ۱۹۹۸ کنوانسیون وین توسط ١٦٦ کشور، پروتکل مونترال توسط ١٦٥ کشور، الحاقی لندن توسط ۱۲۱ کشور و الحاقی‌های کپنهاک توسط ۷۹ کشور تصویب شده است.

هر چند اجرای اهداف پروتکل مونترال روند تخریب ازون را متوقف نخواهد کرد، اما از پیشرفت تخریب لایه ازون جلوگیری خواهد کرد.

پروتکل مونترال در حمایت از برنامه‌ی محیط زیست سازمان ملل متحد به طور عمده تعهدات زیر را برای کشورهای امضا کننده تعیین کرده است:

۱) میزان تولید و مصرف CFC-115، CFC-114، CFC-113، CFC-11 و CFC-12 مربوط به سال ۱۹۹۸ نباید بیشتر شود؛

۲) سقف تولید سال ۱۹۸٦ CFCsها باید از اول ژوئیه‌ی ۱۹۹۳، ۲۰٪ کاهش یافته و تا ژوئیه‌ی ۱۹۹۸ ۳۰ درصد دیگر نیز کاهش یابد تا به کاهش کل ۵۰ درصد برسد؛

۳) تا سال ۱۹۹٤ باید مصرف هالون‌ها در سطح مصرف سال ۱۹۸٦ ثابت بماند؛

به صورت جزئی‌تر تعهدات زیر باید توسط تمام کشورها اجرا شود:

۱) باید مصرف HCFC هیدروکلروفلوروکربن‌ها در کشورهای توسعه یافته ثابت نگاه داشته شده، تا سال ۲۰۳۰ حذف گردد؛

۲) مصرف متیل برومید در کشورهای توسعه یافته ثابت نگاه داشته شود؛

۳) کشورهای درحال توسعه تا سال ۲۰۱۰ ملزم به حذف CFCsها، هالون‌ها و تتراکلرید کربن هستند؛

٤) کشورهای درحال توسعه تا سال ۲۰۱۵ ملزم به حذف متیل کلروفرم هستند؛

٥) کشورهای درحال توسعه تا سال ۲۰٤۰ ملزم به حذف HCFC هستند؛

٦) کشورهای درحال توسعه تا سال ۲۰۰۲ ملزم به تثبیت متیل برومید و تا سال ۲۰۱۵ ملزم به حذف آن می‌باشند.

در زمینه‌ی اقدامات کنترلی پروتکل مونترال و الحاقی و تعدیل‌های آن بین کشورهای توسعه یافته و کشورهای درحال توسعه وجه تمایزی قایل شده‌اند و به کشوری که در حال توسعه بوده و مصرف سرانه گازهای CFCs و هالون‌ها در آن سالانه کمتر از ۰/۳kg باشد، یک فرصت ده ساله یا بیشتر برای اجرای مواد موافقت نامه داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه‌گیری

همان طور که مشخص شد، گاز ازون به دو طریق کاملاً متفاوت زندگی موجودات زنده را بر روی کره زمین تحت تاثیر قرار می‌دهد: ازون موجود در تروپوسفر که یک گاز فوق‌العاده سمی و خطرناک است و در درازمدت اثرات جانبی منفی بر روی بدن موجودات زنده دارد. ازون موجود در استراتوسفر که به لایه‌ی ازون مشهور بوده، به دلیل ممانعت از ورود پرتوهای مرگ‌بار خورشیدی نقش حیاتی بر روی موجودات کره زمین دارد. بررسی‌ها نشان داده که ازون تروپوسفری به عنوان یک گاز مخرب محیط زیست در حال افزایش بوده، ازون موجود در استراتوسفر به عنوان لایه‌ی محافظ زمین در حال کاهش است. بنابراین زندگی موجوات هر روز به معرض خطر نزدیک می‌شود. این در حالی است که افزایش مقدار ازون تروپوسفری و کاهش مقدار ازون استراتوسفری، هر دو را به فعالیت انسان نسبت می‌دهند. بنابراین انسان بر روی کره‌ی زمین، خود کمر به نابودی خویش بسته است. کره‌ی زمین در مجموع به صورت یک ابراکوسیستم مطرح است که اجزای آن در سراسر کره به هم‌دیگر مربوط می‌شوند. بر این اساس که فعالیت در یک نقطه با توجه به تئوری اثر بال پروانه دارای آثار جانبی بر روی سایر نقاط نیز هست. لذا انسان به فکر کنترل فعالیت‌های خود از طریق مجامع بین‌المللی افتاده، تاکنون چندین نشست بین‌المللی در جهت کنترل فعالیت‌های انسان برای جلوگیری از ورود ازون سمی به محیط زیست و جلوگیری از تخریب لایه ازون تحت عنوان برنامه زیست محیطی ملل متحد (UNEP) و سازمان هواشناسی جهانی (WMO) برگزار شده است. نتایج این نشست‌ها به ارائه‌ی پروتکل مونترال برای جلوگیری از تخریب لایه‌ی ازون منجر شده است. بدین ترتیب جای آن دارد که همه کشورهای جهان از جمله ایران هم‌گام با مجامع بین‌المللی در جهت جلوگیری از ورود گاز ازون سمی به محیط زیست و انجام اقدامات کنترلی در جهت جلوگیری از تخریب لایه‌ی ازون همکاری لازم را به عمل آورند.

منابع

۱- کاویانی، م. و علیجانی ب. (۱۳۷۹)، ***مبانی آب و هواشناسی***، چاپ هفتم، انتشارات سمت.

۲- محامد، ا. ا. (۱۳۷۷)، ***لایه‌ی ازون (سپر حفاظتی حیات)***، گروه پژوهشگران ایران، تهران.

۳- مرکز ازون سنجی و سایت اطلاع رسانی سازمان هواشناسی استان اصفهان.

4. Asmund Rabbe. Soren H.H. Larsen. 1999. Ozone distribution in winter at high latiude in the northern hemisphere. Journal of Atmospheric and Solar- Terrestrial Physics. Vol4, 531-537.

5. Johannes Staehelin, Jorg Moder, Andera K. Weiss Christof Appenzeller. 2002. Long- term ozone trends in Northern mid- latitudes with special emphasis on the contribution of changes in dynamics. Physices and Chemistry of the earth. Vol. 27. 461-468.

6. M. Martin, T.Toroshelidze, W.E Alves, M.G.S Mello, A.A. Guser, G.I.Pugacheva. 1999. Adv. Space Res. Solar cycle and global long team variations of stratospheric ozone. Vol. 24, 665-669.

7. Renata De winter- Sorkina. 2001. Impact of ozone layer depletion I:ozone depletion climotology. Atmosphric Environment. Vol.35, 1609-1614.

8. K. Labitzke and H.Van Loon. 1997. Total ozone and the 11-yr sunspot cycle. Jurnal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. Vol.59, No.1,9-19.

9. Renata De Winter-Sorkina. 2000. Impact of ozone layer depletion II: changes in photodissociation rates and tropospheric composition. Atmospheric Environment, Vol.36, 1615-1625.

10. T.latrou. 1999. On the Ozone Content of the Free Troposhere over Athens Greece as Deduced from Ozonesoundings. Phys. Chem©. Earth. Vol.24, No.5,499-501.

11. W.J.Collins, D.S.Stevenson, C.E.Johmson, R.G.Dewent. 200. The european regional ozone dstribution and its links with the global scale for the years 1992 and 2015. Atmospheric Envirment, Vol.34, 225-267.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی