«نابودی لایهٔ ازن و بحران حاصله از آن در اقلیم کره زمین»

ارشد قاسمی بگتاش
کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی

«اگر ما کودکان خود را دوست داریم، باید کرهٔ زمینمان را دلسوزانه دوست بداریم و آن را متنوع و زیبا به آیندگان وا نهیم تا در یک روز گرم بهاری در هزار سال دیگر آنها بتوانند در دریایی از علفها صلح را حس کنند، بتوانند ببینند که زنبوری به ملاقات گلی می‌رود. بتوانند آوای یک پرنده را در آسمان بشنوند و بتوانند خوشی را در زنده بودن دریابند.»

هیو. ایلتیس Huyh,H.Itis

پیشگفتار:

از ابتدای دههٔ ۷۰ مسئله کاهش غلظت لایه ازن در اتمسفر و زیانهای ناشی از آن به یک موضوع جهانی بدل شده است. ازن یا O3 در تمام طول سال در استراتسفر[۱] و در بالای کمربند استوا تولید شده و از طریق جریانهای هوا به سوی عرض‌های جغرافیایی قطبی رانده می‌شود. حد تحتانی ازن استراتسفری با ارتفاع تروپوز[۲] تعیین می‌گردد. مقدار ازن در منطقهٔ قطبی کانادا و سیبری با کمک جریانهای نیرومند هوا به حداکثر خود می‌رسد. در زمستان در نیمکرهٔ جنوبی، حلقهٔ قطبی نسبتاً متقارنی از هوای سرد از حرکت جریانهای دارای

غلظتهای بالای ازن O3 به سمت عرضهای پائین‌تر جلوگیری می‌کند هر چند شدت تخریب ازن در قطب شمال به اندازهٔ شدت تخریب در قطب جنوب نیست اما یک زمستان طولانی و سرد در قطب جنوب می‌تواند پیامدهای مخربی را به دنبال داشته باشد و چنانچه مصرف مواد کاهندهٔ ازن همچنان ادامه یابد سالانه ۶ تا ۱۰ درصد از ازن در عرض‌های جغرافیایی متوسط تخریب خواهد شد و این امر پیامدهای زیانباری را در محیط زیست و سلامت انسانها بجای خواهد گذاشت.

زمانیکه دربارهٔ تخریب لایه ازن و تاثیرات سوء این پدیده بر سلامتی انسان سخن گفته می‌شود بلافاصله از خود می‌پرسیم آیا لایهٔ ازن در فراز سرما در حال نابودی است؟ آیا ما در معرض خطر جدی هستیم؟ آیا نتایج حاصل از تخریب لایهٔ ازن بر زندگی، سلامتی و فعالیتهای اقتصادی، اجتماعی ما اثر خواهد گذاشت.

ازن یا O3 چیست و چگونه تشکیل می‌گردد؟

ازن به طور عمده در طبقات بالای ناحیهٔ استراتسفر در ارتفاع ۵۰ - ۱۲ کیلومتری از سطح زمین تشکیل می‌شود و به طبقات پائین‌تر یعنی تروپوسفر وارد می‌شود. ازن در استراتسفر عنصری طبیعی و عاملی برای حفظ حیات است اما در سطح زمین آلوده‌کننده‌یی خطرناک و گازی فوق‌العاده سمی بوده که تماس با آن باعث سوزش و التهاب دستگاه تنفسی می‌شود. ازن در بالای تروپوسفر و ابتدای استراتسفر همانند گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کند و هرگونه تغییر در غلظت آن در این منطقه میزان گرمای ناشی از اثر گلخانه‌ای را تغییر می‌دهد. واکنش تشکیل ازن در اتمسفر با چندین واکنش دیگر شیمیایی دیگر در حال تعادل است برخی از این واکنشها بطور طبیعی انجام می‌شود. و برخی دیگر به دلیل دخالت بشر در اکوزیست رخ می‌دهند. ازنی که در استراتسفر تشکیل می‌شود از تصادم مولکول دو اتمی اکسیژن با اکسیژن نوزاد در حضور جسم سوم و تحت تاثیر تابش فرابنفش (۲۸۰ تا ۲۰۰ نانومتر) در یک واکنش شیمیایی بدست می‌آید. نور خورشید اکسیژن مولکولی را به دو اتم اکسیژن می‌شکند که هر یک می‌توانند با یک مولکول دیگر اکسیژن در مجاورت یک جسم فعال (M) ترکیب شوند و ازن یا O3 را به وجود آورند.

$$O2 \xrightarrow[200\text{-}280\text{نانومتر}]{\text{نور خورشید}} O + O$$

$$2(O2 + O + M)\ \ 2(O + 3M)$$

این واکنش صرفاً در استراتسفر انجام می‌شود. برآوردها نشان می‌دهد که در حدود ۳/۵ میلیون تن ازن در این ناحیه وجود دارد اما واکنش نور شیمیایی دسیگر نیز در محدودهٔ فرابنفش (315-280 نانومتر) رخ می‌دهد:

ازن با جذب تابش فرابنفش B یک اتم اکسیژن از دست می‌دهد و مجداً به مولکول O2 و اکسیژن تبدیل می‌شود.

$$O \xrightarrow[280\text{-}315]{3\text{نور خورشید}} O + O2$$

در نتیجه واکنشهای بالا بطور طبیعی تنها مقدار کمی از تابش‌های فرابنفش به زمین می‌رسد که میزان آن در زمین به زاویهٔ تابش خورشید با زمین و مقدار ابرها بستگی دار. (پوررجبی، مهناز، ۱۳۷۵، ص ۴۲، ۴۶)

مقدار طبیعی ازن در اتمسفر:

ازن به مقدار طبیعی در استراتسفر تولید می‌شود و به مقدار ناچیزی به سمت پائین یعنی سطح زمین و به ارتفاع بالاتر از ۵۰ کیلومتری زمین وارد می‌شود. اما ازنی که در واکنشهای گفته شده در ناحیهٔ گرمسیری استراتسفر (نزدیک خط استوا) به وجود می‌آید با حرکت به سمت دو قطب و ارتفاع پائین پراکنده می‌شود و در عین حال قطر این لایه در نواحی دورتر از استوا و در نزدیکی قطب افزایش می‌یابد. این پراکندگی باعث بروز تغییر غلظت روزانهٔ ازن به میزان ۳۰٪ در عرض‌های جغرافیایی دورتر از خط استوا می‌شود و این رقم در حدود عرض ۶۰ جغرافیایی به حداکثر خود می‌رسد. غلظت ازن نه تنها با عرض جغرافیایی تغییر می‌کند بلکه نسبت به ارتفاع و نیز ماههای مختلف سال و تغییرات دما متغیر است.

مقدار ازن معمولاً روند مشخص فصلی دارد بطوریکه حداکثر آن در بهار و حداقل آن در فصل پائیز مشاهده می‌شود. توزیع جغرافیایی آن نیز حاکی از حداقل آن در نواحی استوایی و غلظت بیشتر آن در حوالی عرض جغرافیایی ۶۰ درجه است. همچنین ازن مقدارش در حوالی حوزه‌های پرفشار (فرابارها)

کمتر و در حوزه‌های کم‌فشار (فروبارها) زیادتر است.

مقایسهٔ ازن اندازه‌گیری شده در دو نیمکره نشان دهندهٔ این است که دو طرف خط استوا (حدود ۵۵ درجه) تغییرات فصلی و عرضی در دو نیمکرهٔ کاملاً مشابه است و در عرض جغرافیایی متوسط ۴۰ تا ۵۰ درجه در اواخر تابستان، پائیز و زمستان احتمالاً مقدار ازن در نیمکرهٔ جنوبی بیشتر از نیمکرهٔ شمالی است. در حالیکه بیشترین ازن در تمامی فصول سال بر روی شرق آمریکای شمالی و آسیای شمالی و اروپای مرکزی دیده می‌شود. (علیجانی - ۱۳۷۱ ص ۴۴-۴۰)

نابودی ازن و علل تخریب آن:

حدود سال ۱۹۷۹ دانشمندان زنگ خطر را به صدا در آوردند. در این سال دانشمندان متوجه شدند که در فراز قارهٔ جنوبی (قطب جنوب) در طول هر بهار جنوبی (به مدت چند ماه از پایان اوت) میزان ازن کم می‌شود در پایان سال ۱۹۹۰ این کاهش به ۶۰٪ رسید! خیلی سریع، تقریباً تمامی جامعهٔ علمی کالاهای شیمیایی کلردار یعنی CFCها (کلروفلوئورو کربن) را مسئول این پدیده دانستند. به غیر از CFCها هالون‌هایی[۳] که در فرایندهای صنعتی تولید می‌شوند علت تخریب ازن می‌باشند. این مواد به علت پایداری زیاد تا رسیدن به استراتسفر سالم می‌مانند و یک مولکول آنها می‌تواند دهها تا صد هزار مولکول ازن را نابود سازد.

1) $CFCL^3$ نور خورشید $CFCL^2 + CL$

2) $CIH + O$å نور خورشید $O2 + CIH$

3) CB^rCFF^2 نور خورشید $CCIF^2 + B^r$

4) $BrH + O3 \quad O2 + B^r$

«شکل تخریب لایه ازن در اتمسفر زمین این سوراخ ۷٪ نیم کره جنوبی را می‌پوشاند اکسید کلر و منوکسید برم ناپایدارند و به راحتی به رادیکالهای برم و کلر فعال تبدیل و در واکنش‌های تخریبی شرکت می‌کنند. سرعت تخریب لایهٔ ازن بر اثر وجود کلر و برم بسیار بیشتر است اما شدت این تخریب در همهٔ نقاط کرهٔ زمین یکسان نبوده و در نزدیکی خط استوا بیشتر از مناطق دارای عرض جغرافیایی بالاتر است.

CFC چیست؟ Chloro-Fluoro-Carboomes (CFC)

گازهایی هستند که از تمام خصوصیات مطلوب از قبیل عدم سرعت اشتعال، غیر سمی بودن برای انسان، بسیار ثابت و کم‌هزینه و ....برخوردار می‌باشند، ولی متاسفانه از عوامل مسئول در پدیدآمدن حفرهٔ ازن هستند و همچنین در اثر گلخانه‌ای موثرند این کالاهای شیمیایی در چهار بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند: ۱) در بمبهای هوا به زمین (۲۵٪). ۲) به عنوان سیال تولید برودت (۳۰٪) به عنوان مثال در یخچالها و سردخانه‌ها. ۳) در اسفنجهای پلاستیکی (۲۵٪). ۴) به عنوان حلال (۲۰٪) به عنوان مثال تتراکلرور کربن و کلرروفوم متیل که در آتش‌نشانی‌ها خیلی کاربرد دارد بخصوص در کپسول‌های آتش‌نشانی بکار می‌روند. اما خوشبختانه پس از امضای پروتکل مونترال کانادا در سال ۱۹۸۷ و به دنبال آن قرارداد ۱۹۹۰ لندن و ۱۹۹۲ کپنهاک دانمارک، جامعهٔ علمی، جامعهٔ سیاسی را واردار به تسلیم نمود. بر طبق این قرارداد تولید هالون‌ها (ترکیبات برم داری که در آتش نشانی به کار می‌رود) در سال ۱۹۹۴، CFCها تتراکلروکربن و کلروفرم متیل در سال ۱۹۹۶ ممنوع اعلام گردید. اما مشکل اصلی یافتن جانشین این کالاها بود که بی‌خطر باشند. نخستین جانشینها HCFCها بود که سریعاً نابود شده و به استراتوسفر نمی‌رسیدند بعد از آن HFC (بدون کلر) تولید شدند اما اینها دوای این مشکلات نبودند. اثرات سمی آنها چندان شناخته شده نیستند. HFC ها که به دلیل نداشتن کلر، لایهٔ ازن را کاملاً حفاظت می‌کنند اثر گلخانه‌ای‌شان مشخص‌تر از HCFCهاست. به هر حال، حذف HCFCها هم اکنون در برنامه قرار دارد. بنابراین راه حلها را باید در جای دیگری جستجو کرد. (ژاک ورنیه، ۱۳۷۶، ص ۴۱-۴۰)

نابودی ازن در قطب جنوب:

اندازه‌گیری ماهواره‌ای از قطب جنوب نشان می‌دهد که سوراخ ازن گاهی بزرگتر از مساحت کشور آمریکا است. آخرین آزمایشها نشان می‌دهد که در فاصلهٔ ۵۰ - ۱۲ کیلومتری تقریباً نیمی از ازن موجود در بالای قطب جنوب در هر بهار نابود می‌شود. ازن در عرضهای متوسط و بالای جغرافیایی بسیار سریعتر از پیش‌بینی‌ها در حال کاهش است. در بهار مقدار

ترکیبات حاوی کلروبرم در استراتسفر قطب جنوب ۵۰ تا ۱۰۰ مرتبه بیشتر از سایر فصول سال است و در این هنگام نیز حفرهٔ ازن بیشترین ابعاد را دارد. دلیل نابودی ازن در بالای قطب جنوب وجود حلقه‌ای از هوای سرد (۸۵ - درجه سانتی‌گراد) به همراه کریستالهای یخ و برف در زمستان است. در شب قطبی نه نوری به این حلقه می‌رسد و نه جریان هوای گرم عرضهای پائین‌تر به آن انتقال می‌یابد. بدین ترتیب ابری از کریستالهای یخ مواد و ترکیبات حاوی کلوبروم و همچنین اسید سولفوریک و اسید نیتریک در سطح پائین‌تر استراتوسفر تشکیل می‌شود. واکنش بین ذرات موجود در این ابر استراتسفری و ترکیبات حاوی کلروبرم نقش اصلی را در کاهش ازن در بالای قطب جنوب دارد.

نابودی ازن در عرضهای جغرافیایی متوسط:

ازن فقط در قطب جنوب نابود نشده است از سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱ که بدترین سالها در این زمینه بوده است ۱۰ درصد کاهش ازن بر فراز استرالیا و جنوب آن و نیز نیوزلند رخ داده است و هر بار این کاهش ماهها دوام داشته است. در هر دو نیمکره میزان کاهش ازن در عرضهای جغرافیایی نزدیک استوا اندازه‌گیری شده و این کاهش به وجود کلروبرم در اتمسفر نسبت داده شده است. در نیمکرهٔ شمالی کاهش ازن در زمستان از سال ۱۹۷۰ ثبت شده است اما شواهد جدیدی برای کاهش مقدار ازن در هر بهار و تابستان در هر دو نیمکره در عرضهای جغرافیایی بالا (۴۵ درجه) به میزان ۳/۵ درصد بیشتر از سالهای ۱۹۹۱ - ۱۹۷۹ وجود دارد و نسبت تخریب دههٔ ۸۰ نسبت به دههٔ ۷۰ تقریباً ۲ (دو) درصد برآورد شده است. پیش‌بینی می‌شد که در سال ۱۹۹۰ این میزان به همان اندازه دههٔ ۸۰ باشد اما در سال ۲۰۰۰ این کاهش ازن در زمستان به ۶ درصد برسد که همینطور هم شد. در مناطق آلوده درصد تخریب خیلی بیشتر از پیش‌بینی‌ها بوده است.

نابودی لایهٔ ازن در قطب شمال:

کاهش مقدار ازن در نیمکرهٔ شمالی نیز دیده شده است در عرضهای متوسط شمالی لایهٔ ازن در ارتفاع ۴۳ - ۳۸ کیلومتری زمین در سالهای ۸۶ - ۱۹۷۹ بین ۱۳ - ۵ درصد نازک شده است. در تابستان در ارتفاع ۲۵ کیلومتری وبالاتر، این کاهش باز هم شدیدتر می‌شود با این وجود ابعاد حفرهٔ ازن و زمان آن به اندازهٔ سوراخ موجود در قطب جنوب نیست. ابرهای استراتسفری در قطب شمال نیز دیده می‌شوند اما میزان این ابرها در قطب جنوب ۱۰ تا ۱۰۰ مرتبه بیشتر است. حلقهٔ قطبی نیز در زمستان در قطب شمال به وجود می‌آید که می‌تواند با کاهش دما شرایط لازم را برای نابودی مولکول‌های ازن فراهم آورد اما این حلقه با حلقهٔ بالای قطب جنوب تفاوت دارد. در بالای قطب شمال حلقهٔ قطبی در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تری در حرکتند و به این ترتیب هوای گرم باعث افزایش دمای حلقه می‌شوند. عامل مهم دیگر نور خورشید است. تنها در حضور نور خورشید است که کلر فعال می‌تواند باعث نابودی ازن شود و هر چه به حلقهٔ قطبی به سمت عرض‌های جغرافیایی پائین‌تر حرکت کند بیشتر در معرض تابش اشعهٔ خورشید قرار می‌یگرد و اگر هوای درون حلقه مواد و ترکیبات لازم را برای تخریب ازن داشته باشد نور خورشید به میزان وسیعی بر شدت این تخریب می‌افزاید.

یک زمستان و بهار بسیار سرد در نیمکرهٔ شمالی می‌تواند باعث کاهش شدید ازن در آن مناطق بشود. تخریب ازن در قطب جنوب بر فراز مناطق غیرمسکونی رخ می‌دهد اما در قطب شمال کاهش ازن تاثیرات جدی بر ساکنان اروپای شمالی کانادا و گرینلند خواهد دانست و هر بار می‌توان انتظار فاجعه‌ای اسفناک را داشت.

اثرات حاصله از تخریب لایه ازن، در اقلیم کرهٔ زمین

۱ - کاهش ازن باعث عبور گازهای خطرناک از جو و رسیدن آنها به سطح زمین خواهد بود که بیماریهایی چون سرطان پوست و آب مروارید را ایجاد خواهد کرد. ۲ - نابودی اکوسیستم‌های دریایی ۳ - تغییرات آب و هوایی و خشکسالی ۴ - منابع آب آشامیدنی به شدت تحت تاثیر تغییر وضعیت اقلیمی قرار خواهند گرفت. ۵ - کاهش و کمبود برف زمستانی در مناطق معتدل میزان آب را در اوایل بهار و زمستان کاهش

خواهد داد. ۶ - درجه حرارتهای بالاتر تبخیر شدید را به دنبال خواهد داشت گفته می‌شود که با طولانی شدن دوره‌های خشکی رودخانه‌های بزرگی چون سن، تایمز، راین و دانوب با پائین‌آمدن سطح آب و کاهش دبی مواجه می‌شوند بطوریکه در دوره‌ای طولانی برداشت آب از آنها مقدور نخواهد بود.

در مناطق ساحلی نیز تهیه آب آشامیدنی دشوار خواهد شد زیرا بالاآمدن آب دریاها، سبب پیشروی آب شور در خشکی و نفوذ آن به داخل آب زیرزمینی خواهد شد در نتیجه شهرهایی که آب خود را از منابع نزدیک ساحل تامین می‌کنند مجبور می‌شوند آب مورد نیاز خود را از منابع جدیدی تأمین کنند.

نتیجه گیری:

تخریب لایهٔ ازن ناشی از برخی فعالیتهای بشری است و شدت این نابودی بسیار بالاتر از پیش‌بینی‌های قبلی است. گفته می‌شود که برای پایان بخشیدن به این تخریب غلظت ترکیبات کلردار در اتمسفر باید به کمتر از Ppbv ۲ تقلیل یابد اما به دلیل پایداری این ترکیبات و واکنش‌های زنجیره‌ای آنها چنانچه از هم اکنون مصرف این نوع مواد به کلی ممنوع شود پس از گذشت ۳۰ سال شاهد کاهش شدت نابودی ازن خواهیم بود.

برای مقابله با اثرات مستقیم و غیرمستقیم تخریب ازن در سال ۱۹۸۷ کشورهای جهان در مونترال کانادا سندی را امضاء کردند و متعهد شدند که به تولید و مصرف مواد مخرب لایه ازن بر اساس مفاد این پروتکل خاتمه دهند بر اساس پروتکل مونترال که کشور جمهوری اسلامی ایران نیز از اعضاء آن است مصرف و تولید هالونها و تولید و مصرف CFCها بطور کلی ممنوع اعلام گردید. این پروتکل برای کمک به کشورهای در حال توسعه مقرر داشت که کشورهایی که مصرف سرانه آنها از ۳۰۰ گرم به ازاء هر نفر کمتر است ۱۰ سال پس از تاریخ‌های اعلام شده فرصت خواهند داشت تا نسبت به حذف تدریجی این مواد در صنایع کشور خود اقدام کنند در عین حال صندوق کمکهای چند جانبهٔ پروتکل مونترال با سرمایه ۵۵۰ میلیون دلار کمکهای بلاعوض مالی و تکنیکی را در اختیار کشورهای در حال توسعه قرار خواهند داد بر طبق آمارهای برآوردشده کشور جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۷۱ در حدود ۵۰۰۰ تن از مواد مخرب لایهٔ ازن را در صنایع مختلف به مصرف رسانده است بزرگترین سهم را در این میان صنایع یخچال‌سازی و اسفنج‌سازی به خود اختصاص داده‌اند.

فهرست منابع و مأخذ

۱ - علیجانی، بهلول. کاویانی، محمدرضا. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. ۱۳۷۱.

۲ - ژاک ورنیه، ترجمه گیلدا ایرانلو، محیط زیست. انتشارات علمی و فرهنگی. ۱۳۷۶.

۳ - پوررجب، مهناز. نشریه «آب و محیط زیست»، شماره ۱۷ مرداد ۱۳۷۷.

۴ - روزنامه اطلاعات، دوشنبه ۳ بهمن ۱۳۷۹، شماره ۲۲۱۱۴صفحه ۵.

۵ - دبیری، مینو. آلودگی محیط زیست. سال ۱۳۷۵. نشر اتحاد، چاپ اول.

۶ - کنفرانس بین‌المللی محیط زیست در ریوروژانیرو، احمد. وزارت امور خارجه.

۷ - مخدوم، مجید. زیستن در محیط زیست. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۱.

۸ - ودیعی، کاظم. مقدمه‌ای بر محیط‌شناسی. سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۵۴.

۹ - امیدپناه، پیروز. اکولوژی علم محیط زیست. دانشگاه تهران. ۱۳۶۴.

مفاهیم

۱- Stratosphere دومین لایهٔ اتمسفر که در آن دما با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد و ازن در آن لایه قرار دارد.

۲- تروپوز لایه جداکننده تروپوسفر از استراتسفر که در آن دما ثابت است.

۳- هالونها عبارتند از ترکیباتی که دارای برم بوده و در کپسولهای آتشنشانی بخاطر خاصیت حلال و خاموش‌کنندگی بکار می‌روند.