

# لایه‌ی ازن؛ علل تخریب چاره‌جویی

مل کرمان



## اشاره

فتوشیمیایی استراتوسفر، تغییر جریان‌های فصلی، زاویه‌ی تابش فوق‌العاده مایل خورشید در منطقه‌ی قطبی، واکنش‌های شیمیایی ناهمگن و سرمای شدید قطبی، عواملی هستند که در کاهش شدید و ناگهانی لایه‌ی ازن بر فراز قطب جنوب نقش دارند. در مقاله‌ی حاضر، ضمن بیان تاریخچه‌ی این بررسی‌ها، چگونگی تشکیل ازن، یکای دابسون (Du)، دو چهره‌ی متفاوت ازن مولکولی، علل تخریب لایه‌ی ازن در قطب جنوب، و تأثیر هیدروفلوئوروکربن (HFC)- ماده‌ای که جانشین مناسبی برای مواد تهی‌کننده‌ی لایه‌ی ازن است- شرح داده می‌شود.

از دهه‌ی ۱۹۲۰ میلادی که چند تن از اتمسفر شناسان، از جمله دابسون، وجود لایه‌ای از ازن را درون استراتوسفر تشخیص دادند، تحقیقات فراوانی در مورد این لایه انجام گرفته است. در نتیجه معلوم شده است، چگونگی و روند تخریب این لایه‌ی بسیار حیاتی برای بقای موجودات زنده‌ی روی زمین، تابعی از ویژگی‌های شیمیایی، وضعیت هواشناسی و جغرافیایی و تغییر فصل‌ها، و میزان رها شدن گازهای مصنوعی از قبیل گازهای کلروفلوئوروکربن و اکسید نیتروژن در هوا بر اثر فعالیت‌های صنعتی خاص است. فعل و انفعالات

اُزن یعنی همان ماده‌ی شیمیایی که در سطح زمین حالت سمی دارد، ولی وجود آن در استراتوسفر، برای ادامه‌ی زندگی بشر حیاتی به شمار می‌رود. اتمسفر زمین را برحسب چگونگی روند دما، به چهار لایه‌ی اصلی به ترتیب از پایین به بالا به تروپوسفر<sup>۵</sup>، استراتوسفر، مزوسفر<sup>۶</sup> و ترموسفر<sup>۷</sup> تقسیم کرده‌اند [قائمی، ۱۳۶۷؛ کاویانی، ۱۳۷۱؛ گودار، ۱۳۶۶].

ضخامت لایه‌ی تروپوسفر نسبت به عرض جغرافیایی متفاوت، و بین ۸ تا ۱۸ کیلومتر در قطب و استوا متغیر است. در این لایه، موجودات زنده به راحتی می‌توانند زندگی کنند. لایه‌ی تروپوسفر عامل تعیین‌کننده‌ی در وضعیت هوا و منبع حرارتی آن، انرژی تابش سطح زمین است [کاویانی، ۱۳۷۱: ۳۶].

لایه‌ی استراتوسفر بیش از ۶۰ کیلومتر ضخامت، و هوای روشن، خشک و بدون ابری دارد. [گودار، ۱۳۶۶: ۹۶]. از ارتفاع ۱۱ تا حدود ۲۵ کیلومتری استراتوسفر، دما ثابت است و مقدار آن در حدود ۵۶ درجه‌ی سانتی‌گراد باقی می‌ماند. در بالاتر از این ارتفاع، به علت جذب بخشی از تابش فرابنفش خورشید که به وسیله‌ی اُزن صورت می‌گیرد، دما تا ارتفاع حدود ۵۰ کیلومتری، تا به صفر درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این لایه از اتمسفر را «ازونسفر» نیز می‌نامند [کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۲].

اُزت و اکسیژن ترکیبات اصلی و مهم اتمسفر هستند که روی هم، حدود ۹۹ درصد کل حجم آن را تشکیل می‌دهند. مقدار اُزن در لایه‌ی تروپوسفر فوق‌العاده ناچیز است. تراکم اُزن در سطح زمین از نظر سلامت موجودات زنده بسیار خطرناک است. این عنصر جزو ترکیبات اصلی فتوشیمیایی دود و غبار کارخانجات است.

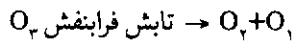
اُزن در سطوح بالاتر هوا کره، بین ارتفاع تقریباً ۲۵ تا ۴۰ کیلومتر از سطح زمین، افزایش می‌یابد و به صورت لایه‌ای در قسمت پائین‌تر از استراتوسفر متراکم می‌شود. تمرکز اُزن در این قسمت، باعث جذب اشعه‌ی فرابنفش می‌شود که امکان ادامه‌ی حیات در سطح زمین را فراهم می‌آورد.

### چگونگی تشکیل اُزن

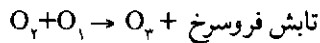
مولکول اُزن ( $O_3$ ) اکسیژن سه ظرفیتی است که از یک مولکول اکسیژن ( $O_2$ ) و یک اتم اکسیژن ( $O$ ) که ناپایدار و واکنش‌پذیر است، تشکیل یافته [کاویانی، ۱۳۷۱؛ لایه‌ی اُزن و انرژی‌های خورشیدی]. اُزن در هر ارتفاعی به مقدار ناچیزی یافت می‌شود، با این حال بیش از ۹۰ درصد آن، در لایه‌ی استراتوسفر جمع شده است. غلظت اُزن آن‌قدر ناچیز است که اگر در فشار یک اتمسفر، همه‌ی مولکول‌های اُزن را روی سطح زمین جمع کنیم، لایه‌ای به ضخامت سه میلی‌متر تشکیل می‌دهد. همین غلظت

کم حدود ۹۹ درصد از تابش فرابنفش خورشید را در استراتوسفر جذب می‌کند.

هر مولکول اُزن در اثر برخورد با تابش فرابنفش می‌شکند و به یک مولکول اکسیژن و یک اکسیژن تبدیل می‌شود.



اتم‌های آزاد شده می‌توانند با دیگر مولکول‌های اکسیژن ترکیب شوند و دوباره مولکول اُزن را به وجود آورند.



این فرایند بارها تکرار می‌شود. چون پیوند میان مولکول اکسیژن و اتم اکسیژن در مولکول اُزن بسیار ضعیف است و امکان دارد، با کوچک‌ترین برخورد از هم جدا شوند و یا با دریافت کوچک‌ترین انرژی به حالت اولیه‌ی خود برگردند، در نتیجه جلوی رسیدن اشعه‌ی فرابنفش را به سطح زمین می‌گیرند. از طرف دیگر، هنگام تجزیه‌ی اُزن، مقداری انرژی به صورت انرژی حرارتی آزاد و جذب اتمسفر می‌شود که این امر به افزایش دما در استراتوسفر می‌انجامد (ارتفاع ۲۵ تا ۴۰ کیلومتر).

مقدار اُزن در بهار حداکثر است. حداقل غلظت آن در نواحی استوایی و حداکثر غلظت آن در ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. مقدار اُزن در حوالی حوزه‌های پرفشار کم‌تر و در حوزه‌های کم‌فشار زیادتر است [کاویانی، ۱۳۷۱: ۴۴].

اندازه‌گیری منظم لایه‌ی اُزن طی سال‌های متمادی از ایستگاه «هالی بی»<sup>۸</sup> نشان می‌دهد که تخریب اُزن در بهار قطب جنوب، در حوالی ماه اکتبر، بسیار زیاد است. شب‌ها، به دلیل نبود انرژی تابش خورشید، ضخامت لایه‌ی اُزن کم‌تر از ضخامت آن در روزهاست [Carver, 1998: 1] [لایه‌ی اُزن و انرژی‌های خورشید]

### یکای دابسون (Du)

میزان اُزن در سطح زمین با واحد دابسون اندازه‌گیری می‌شود. دابسون یکی از نخستین دانشمندانی است که درباره‌ی اُزن جو تحقیق کرده‌اند. او طیف‌سنج دابسون را اختراع کرد که به دستگاه استاندارد برای اندازه‌گیری اُزن از زمین تبدیل شد [مهرشاهی، ۱۳۸۳: ۴۱].

یکای دابسون، ضخامت لایه‌ای فرضی از گاز اُزن برحسب ۱ سانتی‌متر است که بر اثر متراکم کردن گاز اُزن موجود در لایه‌ی استراتوسفر، فشار و دمای اتاق به دست می‌آید. از آن‌جا که میانگین فراوانی اُزن استراتوسفری در حالت طبیعی حدود ۳۰۰ Du است، این لایه‌ی فرضی باید حدود ۳/۰ سانتی‌متر ضخامت داشته باشد [شورای تألیف، ۱۳۸۱: ۷۶].

### اُزن مولکولی با دو چهره‌ی متفاوت

وجود اُزن در لایه‌ی استراتوسفر، سطح زمین را از تابش

دارند [اردکانی، ۱۳۸۰: ۳۱۲].

### چرا در قطب جنوب لایه ی ازن سوراخ شده است؟

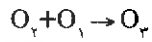
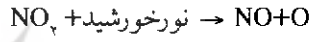
می دانیم که بیش ترین کشورهای صنعتی در نیم کره ی شمالی قرار دارند، در حالی که، برعکس، در قطب جنوب لایه ی ازن سوراخ شده است. چرا؟ در پاسخ باید گفت که: به طور کلی، ناحیه ی قطبی نسبت به نقاط دیگر سطح زمین، نوسانات بیش تری از نور خورشید را شاهد است. در منطقه ی قطبی، زاویه ی تابش خورشید فوق العاده مایل است و مرتباً به حالت مماس از جو عبور می کند. درجه ی حرارت در ارتفاع ۸۰ کیلومتری به ۸۰- درجه ی سانتی گراد می رسد. در نتیجه ی تغییرات دما، جهت باد نیز تغییر می کند و جریانات غربی با سرعت ۱۳۰ کیلومتر در ساعت در ارتفاع ۳۵ کیلومتری به صورت نواری دور تا دور منطقه ی قطبی را احاطه می کنند که به «جریانات قطبی»<sup>۹</sup> مشهورند [قائمی، ۱۳۶۷: ۱۶].

جریان قطبی که جریانی گردباد مانند است، هوای بالای قطب را درون خود ایزوله می کند و چون در قطب نور خورشید وجود ندارد، هوای داخل گردباد قطبی به شدت سرد می شود. به این ترتیب، ابرهایی با دمای ۸- درجه شکل می گیرند که به «ابره های استراتوسفر قطبی»<sup>۱۰</sup> موسومند. وجود ابر استراتوسفری قطبی نقشی بسیار ضروری و اساسی در پیدایش حفره ی ازن دارد. این ابرها از «نیتریک اسیدتری هیدرات»<sup>۱۱</sup> تشکیل شده اند و با ابرهایی که ما در آسمان می بینیم، کاملاً متفاوت هستند.

در سطح ابرهای استراتوسفری، واکنش های ناهمگن مخرب ازون، یعنی کلروبرم، به صورت مولکولی ساخته می شوند. زمانی که در بهار نیم کره ی جنوبی، مصادف با پاییز در نیم کره ی شمالی، نور خورشید به نواحی قطبی باز می گردد، کلر مولکولی به سرعت به اتم های یک ظرفیتی کلر تجزیه، و باعث فقدان ناگهانی ازن می شود [مهرشاهی، ۱۳۸۳: ۴۴]. با انجام این واکنش، حدود ۱۰۰ هزار مولکول ازن در برابر یک اتم کلر، حذف می شوند.

حال، محور زمین به گونه ای است که نور خورشید به قطب شمال بیش تر از قطب جنوب می تابد. به همین دلیل، ضخامت لایه ی ازن در قطب شمال بیش تر از قطب جنوب است (پیوند میان مولکول های اکسیژن و اتم اکسیژن در مولکول ازن بسیار ضعیف است و امکان دارد، با کوچک ترین انرژی خورشید به حالت اولیه بازگردند). از طرف دیگر، هوای قطب جنوب سردتر از هوای قطب شمال است. بنابراین هوای گرم، هنگامی که بر اثر جریان هایی به قطب جنوب می رود، چون سبک است، به سمت بالا می رود و موجب نابودی لایه ی ازن بر فراز قطب جنوب می شود [لایه ی ازن و انرژی های خورشیدی].

خطرناک فرابنفش در امان نگه می دارد. اما وجود آن در تروپوسفر، بسیار زیان آور است. مقدار کم آن در مجاورت سطح زمین، باعث سوزش چشمان می شود، ولی مقدار زیاد آن می تواند، تورم ریوی، خونریزی و حتی مرگ را در پی داشته باشد. ازن سبب خسارت اقتصادی، مثل سخت شدن و ترک برداشتن تایر خودروها و قطعات لاستیکی دیگر، و همچنین کاهش میزان فراورده های کشاورزی به ویژه گوجه فرنگی، در تروپوسفر می شود. وقتی سوخت های مانند گاز، نفت و ذغال سنگ توسط کارخانه ها، هواپیماها و به خصوص خودروها مصرف می شوند، گرمای حاصل از سوخت، مقدار اکسیدهای نیتروژن را زیاد می کند و هوای شهر به رنگ قهوه ای روشن دیده می شود. در این هنگام، بر اثر تابش نور خورشید بر اکسیدهای نیتروژن، نوعی آلودگی ایجاد می شود که به آن مه دود فتوشیمیایی گفته می شود. ازن تروپوسفر بر اثر تابش پرتوهای خورشیدی بر مولکول های NO<sub>۲</sub> به وجود می آید.



همان طوری که دیده می شود، در این فرایند مولکول های سدومند اکسیژن (O<sub>۲</sub>) به مولکول های زیان آور ازن تبدیل می شوند که خوشبختانه در این حالت فرایندهای اکسیدکننده، آن را به سرعت تجزیه می کنند.

### کلروفلوئورو کربن ها (CFC)

CFCها گازها یا مایع هایی با دمای جوش پائین هستند که از دیدگاه شیمیایی بی اثر، غیر سمی، غیر آتشگیر و انحلال ناپذیر در آب هستند [قلندری، ۱۳۸۰]. CFCها در شرایط ملایمی از دما و فشار، بخار می شوند، اما از سوی دیگر، این ترکیب ها به دلیل مؤثر نبودن روش های گوناگون حذف بر آن ها، از جمله باران یا اکسایش، در جو زمین انباشته می شوند [تقوایی، ۱۳۷۶: ۲۸].

با توجه به این خصوصیات، CFCها مواد خوبی برای استفاده در سیستم های سرد کننده، تهویه ی هوا، آئروسل ها، حلال ها، تولید مصنوعات بسته بندی، استفاده در افشانه های مو، بوزداها، و داروهای تنفسی هستند. چون از نظر شیمیایی بی اثرند، می توانند برای مدت طولانی در محیط باقی بمانند و در صورت آزاد شدن، تا ۱۵۰ سال در جو باقی می مانند.

هالوژن ها که موادی برای اطفای حریق هستند، بُرم دارند که نسبت به کلر، اثر تخریبی بیش تری در از بین بردن ازن نشان می دهد. آفت کش ها، مانند متیل پروماید که هم به عنوان ماده ی سمی برای از بین بردن آفات گیاهی، و هم به عنوان ماده ی ضد عفونی کننده به کار می روند، در از بین بردن لایه ی ازن نقش

## نقش ماده‌ای که جانشین مناسبی برای تهی کننده‌ی لایه‌ی ازن است

گروهی از ترکیب‌ها که انتظار می‌رود به عنوان جایگزین CFCها مورد استفاده قرار گیرند، هیدروفلئوروکربن‌ها یا HFCها هستند. این ترکیب‌ها از این رو جایگزین‌های مناسبی به شمار می‌روند که کلر ندارند و نمی‌توانند لایه‌ی ازن را کاتالیز کنند. اما سیستم تهی‌ای که برای خنک کننده‌های CFC طراحی شده است، با خنک کننده‌های HFC کار نمی‌کند. بیش‌تر خودروها و کامیون‌هایی که در ایالات متحده به بازار عرضه می‌شوند، اکنون به سیستم‌های خنک کننده‌ی HFC مجهز شده‌اند [قلندری، ۱۳۸۰].

در سال ۱۹۹۷، مؤسسه‌ی حفاظت از محیط زیست در آمریکا، «P- پرومتیل برمید» را به عنوان جانشین مناسب برای مواد تهی کننده‌ی لایه‌ی ازن مانند CFCها، شناسایی کرد، در حالی که اکنون همین ماده، به عنوان یکی از مواد شیمیایی خورنده‌ی لایه‌ی ازن معرفی می‌شود. دانشمندان، از آن جا که این ماده به مدت کم‌تر از ۱/۴ شبانه‌روز در محیط باقی می‌ماند، گمان می‌کردند که نمی‌تواند به لایه‌ی ازن آسیب برساند. دونالد ویبلس<sup>۱۲</sup>، از دانشگاه «ایلی نویز»<sup>۱۳</sup> هشدار می‌دهد: «حتی اگر ماده‌ی شیمیایی در بخش‌های پائین هوا کره تجزیه شود، باز هم می‌تواند فراورده‌های فرعی تولید کند. آن‌گاه این فراورده‌ها با برم که دشمن اصلی ازن است، واکنش می‌دهند و به راه یافتن آن به استراتوسفر، کمک می‌کنند.» [عابدی کرجی بان، ۱۳۸۱: ۵۵].

## نتیجه

تخریب لایه‌ی ازن یکی از پدیده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در زمینه‌ی صنعت است. استفاده از گازهای CFC، باعث افزایش کلر در استراتوسفر شده است. این امر به تخریب لایه و پیدایش حفره‌ی ازن بر فراز قطب جنوب انجامیده است. سرمای شدید، وجود بادهای قوی (ورتکس قطبی)، ایجاد ابرهای استراتوسفری قطبی، شرایط مناسب را برای واکنش شیمیایی تولیدکننده‌ی کلر مهیا کرده‌اند. اتم کلر در اثر چرخه، موجب تبدیل اکسیژن سه ظرفیتی به دو ظرفیتی شده که نتیجه‌ی آن، همان ایجاد حفره‌ی ازن است.

چون تخریب لایه‌ی ازن مسأله‌ای جهانی است، باید برای جلوگیری از ادامه‌ی آن به راه‌حلی جهانی نیز دست یافت. به این منظور باید همه‌ی جهانیان دست به دست هم دهند و با هم فکری، درصدد پاسداری از این محافظ طبیعی برآیند. به این منظور در سال ۱۹۹۵، سازمان ملل متحد روز ۱۶ سپتامبر (۲۵ شهریور) را که در آن توافق‌نامه‌ی مونترآل به امضای شماری از کشورها رسید، روز جهانی «حفاظت از لایه‌ی ازن» نام نهاد.

رعایت این توافق‌نامه تا سال ۲۰۰۰، میزان تولید جهانی CFCها را تا ۵۰ درصد کاهش داد.

در سال ۱۹۸۷، در کنفرانس مونترآل کانادا قرار شد که مصرف گاز CFC به تدریج کاهش یابد. با تحقق این عمل، بشر توانسته است برای یکی از خطرناک‌ترین معضلات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های سودجویانه‌ی خود، راه‌چاره‌ای بیابد.

\* کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی دبیر جغرافیا و زمین‌شناسی فریدون کنار-مازندران زیرنویس

1. Atmosphere
2. Dibson
3. Ozone
4. Stratosphere
5. Troposphere
6. Mesosphere
7. Thermosphere
8. Hally Bay
9. Polar vortex
10. Polar stratospheric clouds
11. Nitric acid trihydrate
12. Wuebbles.d.
13. Illinois

۱. اردکانی، م. ر. خ. اولوزی. دانشگاه تهران. ۱۳۸۰.

۲. تقوایی، سعید. تخریب لایه‌ی ازن. رشد آموزش شیمی. سال دوازدهم. شماره‌ی

۱. پاییز ۱۳۷۶.

۳. رخنه‌ای در لایه‌ی ازن آسمان قطب جنوب. ترجمه‌ی ع. غروی. رشد آموزش زمین‌شناسی. شماره‌ی ۱۱. زمستان ۱۳۶۶ (از: Scientific American, January 1988).

۴. عابدی کرجی بان، ر. مواد شیمیایی سبز به لایه‌ی ازن آسیب وارد می‌کنند. رشد آموزش شیمی. شماره‌ی ۲. ۱۳۸۱.

۵. قائمی، هوشنگ. مبانی هواشناسی. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. ۱۳۶۷.

۶. قلندری، م. کلروفلئوروکربن‌ها و لایه‌ی ازن. رشد آموزش شیمی. شماره‌ی مسلسل ۱۳۶۴. پاییز ۱۳۸۰.

۷. کازیانی، م. و علیجانی. مبانی آب و هواشناسی. سمت. ۱۳۷۱.

۸. گودار، آواستیه‌ین، پ. آب و هواشناسی. ترجمه‌ی ع. رجایی. انتشارات پیمان. تبریز. ۱۳۶۶.

۹. مهرشاهی، د. لایه‌ی ازن، ویژگی‌ها، چگونگی و علل تخریب. رشد آموزش جغرافیا. شماره‌ی ۶۷. ۱۳۸۳.

۱۰. شورای تألیف گروه شیمی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی. شیمی برای زندگی. سال اول دبیرستان. ۱۳۸۱.

11. Carver, G (1998). The Ozone Hole, Tour Centre For Atmospheric Science. Cambridge University. u.k. www.atm.ch.Cam.Ac.Uk/tour/atmosphere.Html.

12. Jump to chem and ozone holes of the atmosphere. htm.