



اداره کل هواشناسی استان اصفهان

اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی

پایش لایه ازن در سال ۲۰۲۱



تهیه و تنظیم: اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره کل هواشناسی اصفهان

نگارنده: سیمین باقری

دی ماه ۱۴۰۰

روز جهانی حفاظت از لایه ازن در سال ۲۰۲۱:

در لوگوی روز جهانی ازن که مصادف با ۱۶ سپتامبر ۲۰۲۱ بوده به دنبال برجسته‌تر کردن پروتکل مونترال است که توسط ۱۹۷ کشور عضو سازمان ملل پذیرفته شده و به تصویب رسیده است. یکی از بزرگترین اهداف این پروتکل از بین بردن مقدار قابل توجهی از حفره ازن تا سال ۲۰۶۰ اعلام گردیده است. شعار روز جهانی حفاظت از لایه ازن در سال ۲۰۲۱ عبارت است از:

پروتکل مونترال، خنک نگه داشتن خودمان، غذاها و واکسن‌هایمان



شکل ۱. لوگوی گرامیداشت روز جهانی حفاظت از لایه ازن در سال ۲۰۲۱

پروتکل مونترال و حفاظت از لایه ازن:

عامل مخرب ازن کلرین‌ها هستند که بخش عمده آن منشاء انسانی داشته و محصول تکنولوژی مدرن بوده و اتمسفر ظریف کره زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ترکیبات مصنوعی کلروفلوئوروکربن‌ها (CFCs) بطور وسیعی در زندگی روزانه برای مقاصد مختلف از جمله گازهای سردکننده در یخچال‌ها و دستگاه‌های تهویه مطبوع، مواد موجود در افشانه اسپری‌ها، حلال‌های پاک‌کننده و ابرهای پلاستیکی در محصولات متنوع استفاده می‌شود. موج وسیعی از این مواد از این طریق وارد جو شده و برای مدت طولانی در جو باقی می‌ماند. به همین دلیل در گستره جهانی، در سازمان ملل متحد، در معاهده‌ای بنام معاهده مونترال کشورها متعهد شدند که از تولید و فروش گازهای CFC خودداری کنند و همچنین به کشورهای فقیر این امکان را بدهند که بجای استفاده از گازهای CFC از گازهای خنک‌کننده دیگری استفاده کنند.

پروتکل مونترال به‌عنوان یک توافق جهانی برای محافظت از لایه اُزن، تلاشی است یکپارچه برای حذف تدریجی مواد تخریب‌کننده اُزن که تاکنون این وظیفه را به خوبی انجام داده و آن را به یکی از موفق‌ترین توافقی‌نامه‌های زیست‌محیطی تا به امروز تبدیل کرده است. بدین معنا که امروزه سوراخ لایه اُزن در حال بهبود است و به نوبه خود از سلامت انسان، اقتصاد و اکوسیستم‌ها محافظت می‌کند. پروتکل مونترال در سال ۲۰۲۱ پررنگ‌تر شد و با گسترش دامنه فعالیت‌ها، فواید بیشتری به دنبال خواهد داشت، از جمله کند شدن تغییرات آب‌وهوایی و کمک به افزایش بهره‌وری انرژی در بخش سرمایه‌گذاری که به امنیت غذایی کمک می‌کند. موضوع امسال پروتکل مونترال خنک نگه داشتن خودمان، غذاها و واکسن‌هایمان است چرا که زنجیره سرد برودتی برای همه کشورها بسیار ضروری است و ارتباط مستقیمی با کاهش تلفات و ضایعات مواد غذایی، حفاظت از سلامت عمومی و حمایت از اقتصاد دارد.

اجرای پروتکل مونترال:

پروتکل مونترال در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه با پیشرفت خوبی مواجه بوده و تمامی برنامه‌های حذف در بیشتر موارد رعایت شده است. در ابتدا برنامه‌های پروتکل مونترال بر مواد شیمیایی دارای پتانسیل بیشتر برای تخریب لایه اُزن از جمله CFC و هالون‌ها متمرکز بود و برنامه حذف گازهای سردکننده HCFC به دلیل پایین‌تر بودن پتانسیل آن‌ها برای تخریب لایه اُزن و اینکه جایگزین موقتی مناسبی برای CFC ها بودند کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت.

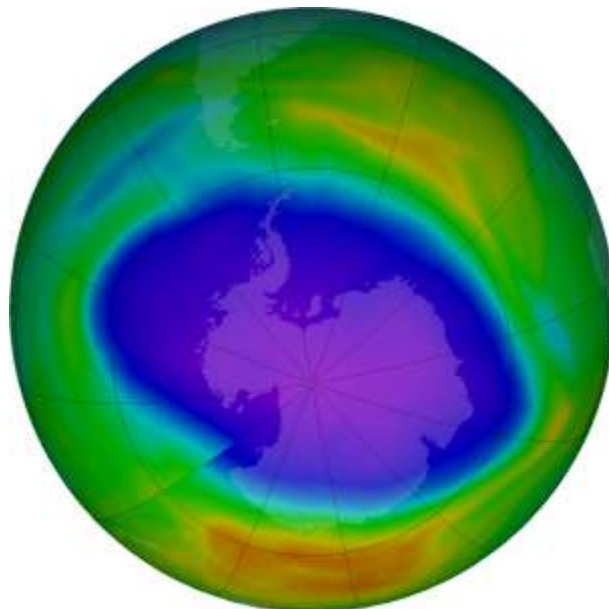
برنامه حذف HCFC در سال ۱۹۹۲ برای کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه ارائه شد، با جایگزینی یخ‌زدگی در ۲۰۱۵ ادامه یافت و برای حذف کامل آن‌ها تا ۲۰۳۰ در کشورهای توسعه‌یافته و ۲۰۴۰ در کشورهای در حال توسعه برنامه‌ریزی‌هایی انجام گرفت. با این وجود در سال ۲۰۰۷ اعضای پروتکل مونترال تصمیم گرفتند تا برنامه حذف HCFC را برای هر دو گروه کشورها تسریع کنند. پروتکل مونترال علی‌رغم چالش‌ها و شرایط ناگوار، دشوار و پیچیده ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹ و تمامی جان‌باختن‌ها، مشکلات اقتصادی و اختلالات اجتماعی به وجود آمده، تاب‌آوری و قدرت قابل توجهی از خود نشان داده و کشورهای عضو آن به تعهدات خود پایبند بوده و به محافظت از لایه اُزن و سیستم‌های آب‌وهوایی ادامه داده‌اند. این "تداوم در مواجهه با سختی‌ها"، پروتکل مونترال را به یک مثال درخشان تبدیل می‌کند که به دولت‌ها و افراد متعهد نشان می‌دهد که حتی می‌توان در طول یک بیماری همه‌گیر به حفاظت از محیط زیست جهانی ادامه داد.

بررسی وضعیت خزه ازن در سال ۲۰۲۱

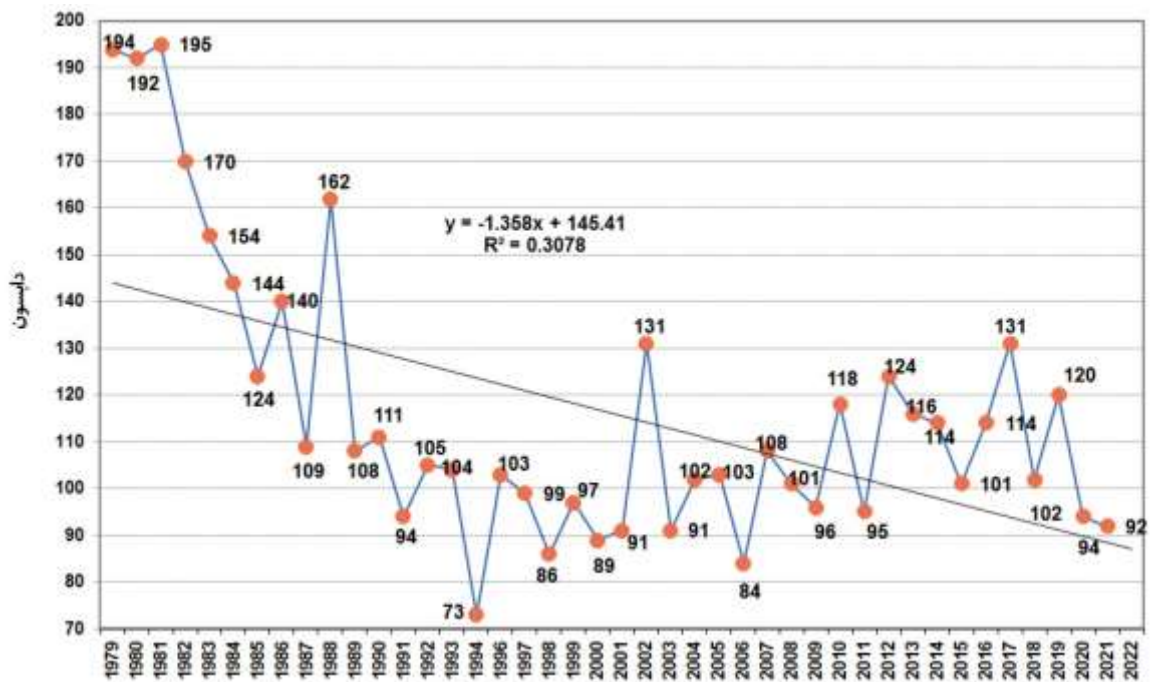
تشکیل سوراخ ازن در اثر کاهش غلظت ازن در استراتوسفر هر ساله در اثر فرآیندهای پیچیده هواشناسی و شیمیایی ایجاد می‌شود. حفره و سوراخ لایه ازن تنها اصطلاحی بیش نیست و از آنجا که بیشترین تمرکز و غلظت ازن در ارتفاعی بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر قرار دارد اصطلاحاً این محدوده به لایه ازن معروف شده است و منظور از حفره و سوراخ لایه ازن آن است که غلظت گاز ازن در این محدوده نسبت به زمان‌های قبل با کاهش همراه بوده است. این حفره بر فراز قطب جنوب و در فصل بهار ظاهر می‌گردد.

در نیمکره شمالی با نزدیک شدن به فصل پاییز؛ مقدار ازن رو به کاهش می‌باشد که این روند کاهشی تا اواسط پاییز ادامه داشته و پس از آن مجدداً روند افزایشی خواهد داشت.

در طول فصل بهار نیمکره جنوبی (آگوست تا اکتبر) اندازه سوراخ ازن بر روی قطب جنوب افزایش می‌یابد و از اواسط سپتامبر تا اواسط اکتبر به حداکثر می‌رسد. هنگامی که درجه حرارت در جو (استراتوسفر) شروع به افزایش می‌کند، کاهش ازن کند می‌شود و در پایان دسامبر سطح ازن به حالت عادی خود باز می‌گردد. از زمان ممنوعیت هالوکربن‌ها، لایه ازن به آرامی در حال بازیابی است. در سال ۲۰۲۱ حداقل غلظت ازن در تاریخ ۷ و ۸ اکتبر ۲۰۲۱ (۱۵ و ۱۶ مهر ۱۴۰۰) اتفاق افتاد که به ۹۲ دابسون رسید که در مقایسه با سال ۲۰۲۰ (۹۴ دابسون) متأسفانه مقداری کاهش داشته است.

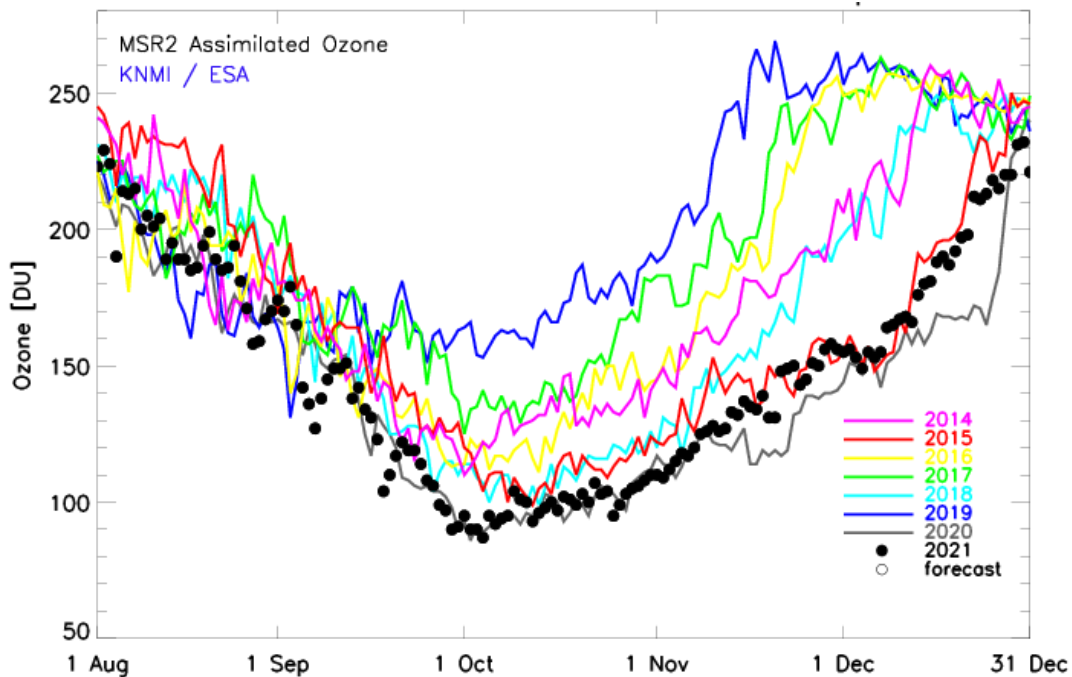


شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای حداقل غلظت ازن و بیشینه وسعت آن بر فراز منطقه جنوبگان در ۱۷ اکتبر ۲۰۲۱



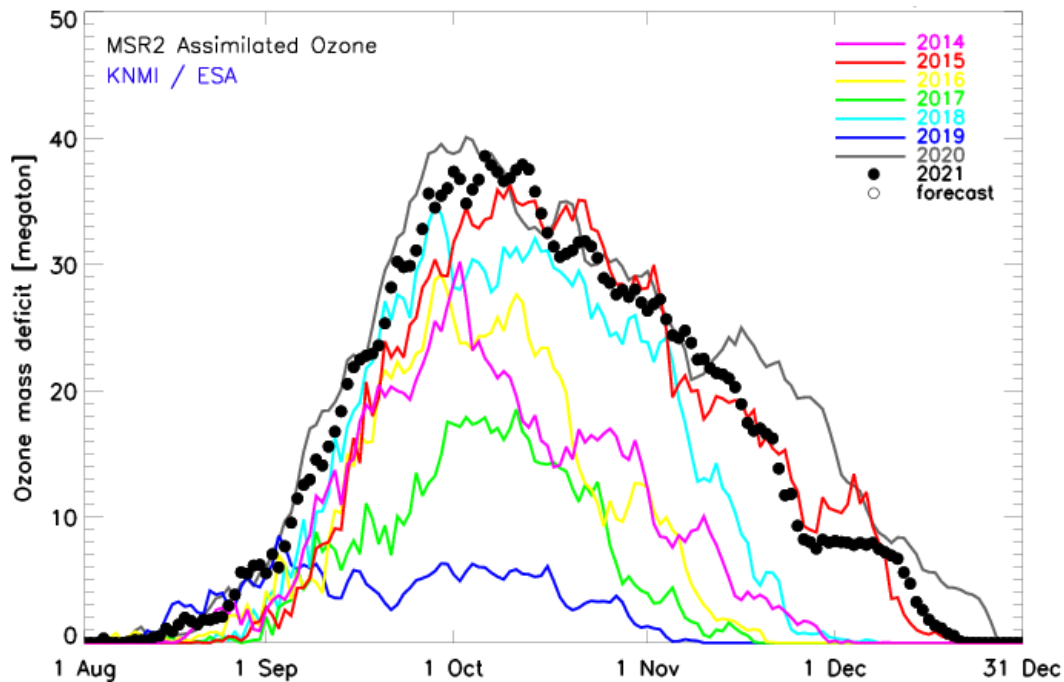
شکل ۳. مقایسه مقادیر حداقل غلظت ازن موجود در حفره ازن در منطقه جنوبگان از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۱

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید روند ازن کاهش یافته یعنی در هر دهه مقدار غلظت ازن ۱۴/۵ دابسون کاهش داشته است. پایین‌ترین میزان ازن در روزهای ۲۰ سپتامبر تا ۲۰ اکتبر (۲۹ شهریور تا ۲۸ مهر) در قطب جنوب ثبت می‌شود. حفره ازن از زمانی که مقدار غلظت ازن به زیر ۲۲۰ دابسون کاهش پیدا می‌کند، پدیدار می‌گردد. میزان کاهش کلی غلظت ازن در این منطقه بیش از ۴۰٪ بوده و از سال‌های ۱۹۷۰ تاکنون مشاهده گردیده است. مقدار ازن موجود در این ناحیه بین ۷۳ دابسون (در سال ۱۹۹۴ میلادی) و ۱۹۵ دابسون (در سال ۱۹۸۱ میلادی) در نوسان بوده است.



شکل ۴. مقایسه مقادیر حداقل ازن موجود در حفره ازن در نیمکره جنوبی در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۱

شکل بالا مقدار اُزن موجود در حفره اُزن را در نیمکره جنوبی (برای عرض جغرافیایی پایین تر از ۳۰ درجه جنوبی) از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ میلادی یعنی از زمان تشکیل و پدیدار شدن حفره اُزن تا زمان از بین رفتن آن را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۱ کمینه مقدار اُزن موجود در حفره به ۹۲ دابسون رسید در صورتیکه در سال ۲۰۲۰ به ۹۴ دابسون و در سال ۲۰۱۹ به ۱۲۰ دابسون و در سال ۲۰۱۸ به ۱۰۲ دابسون و ... رسیده بود.

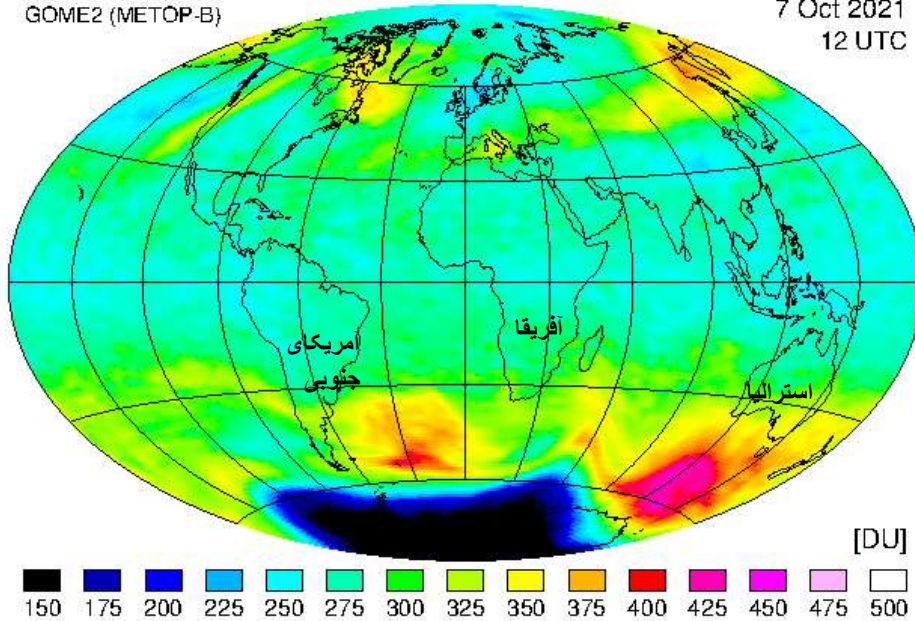


شکل ۵. مقایسه کسری مقادیر اُزن در داخل حفره در نیمکره جنوبی در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۱

شکل ۵ نشان‌دهنده مقدار اُزن مورد نیاز جهت پر کردن حفره می‌باشد که بر حسب واحد مگاتن بیان می‌شود. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌کنید در سال ۲۰۲۱ مقدار اُزن مورد نیاز، ۴۰ مگاتن می‌باشد تا بتوانیم کمبود اُزن موجود در حفره را جبران نماییم که این مقدار نسبت به سال ۲۰۱۹ حدوداً ۴ برابر افزایش پیدا کرده است.

KNMI / DLR / EUMETSAT
GOME2 (METOP-B)

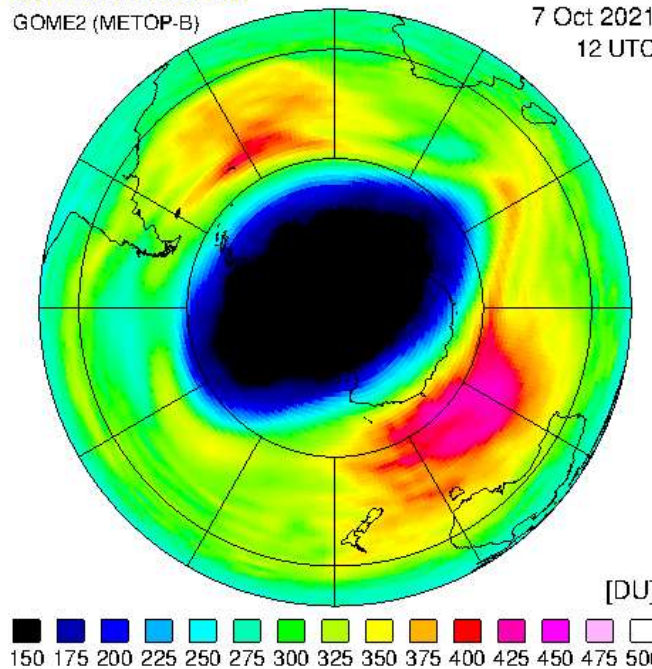
Assimilated total ozone
7 Oct 2021
12 UTC



شکل ۶. بیشینه وسعت حفره اُزن در نیمکره جنوبی در ۱۷ اکتبر ۲۰۲۱

KNMI / DLR / EUMETSAT
GOME2 (METOP-B)

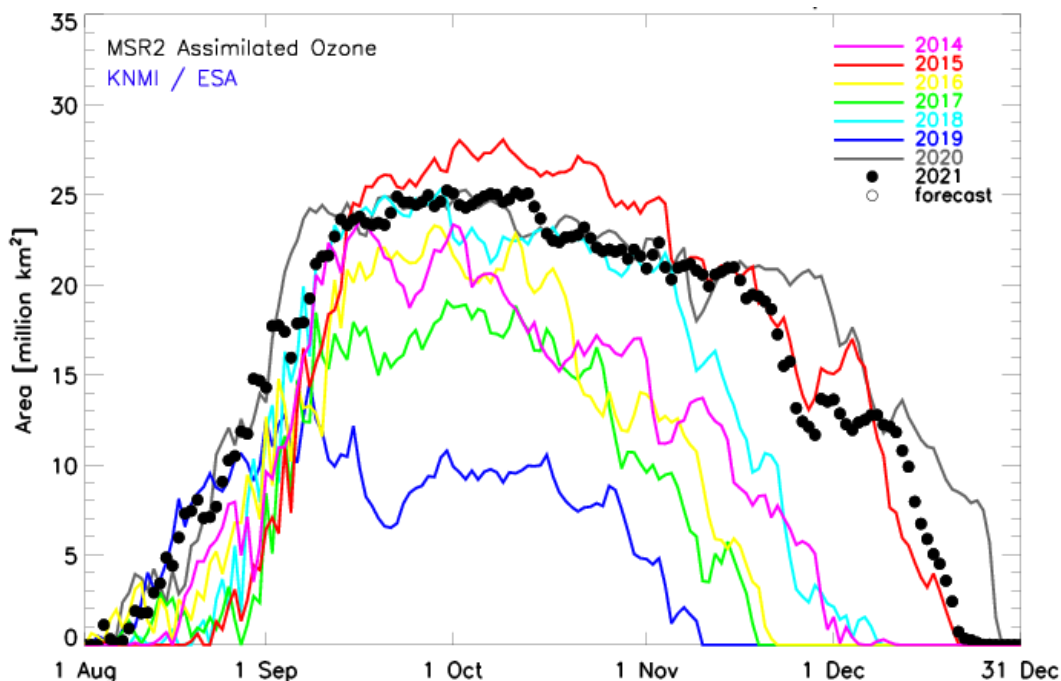
Assimilated total ozone
7 Oct 2021
12 UTC



شکل ۷. نمایی دیگر از بیشینه وسعت حفره اُزن بر فراز قطب جنوب در ۱۷ اکتبر ۲۰۲۱

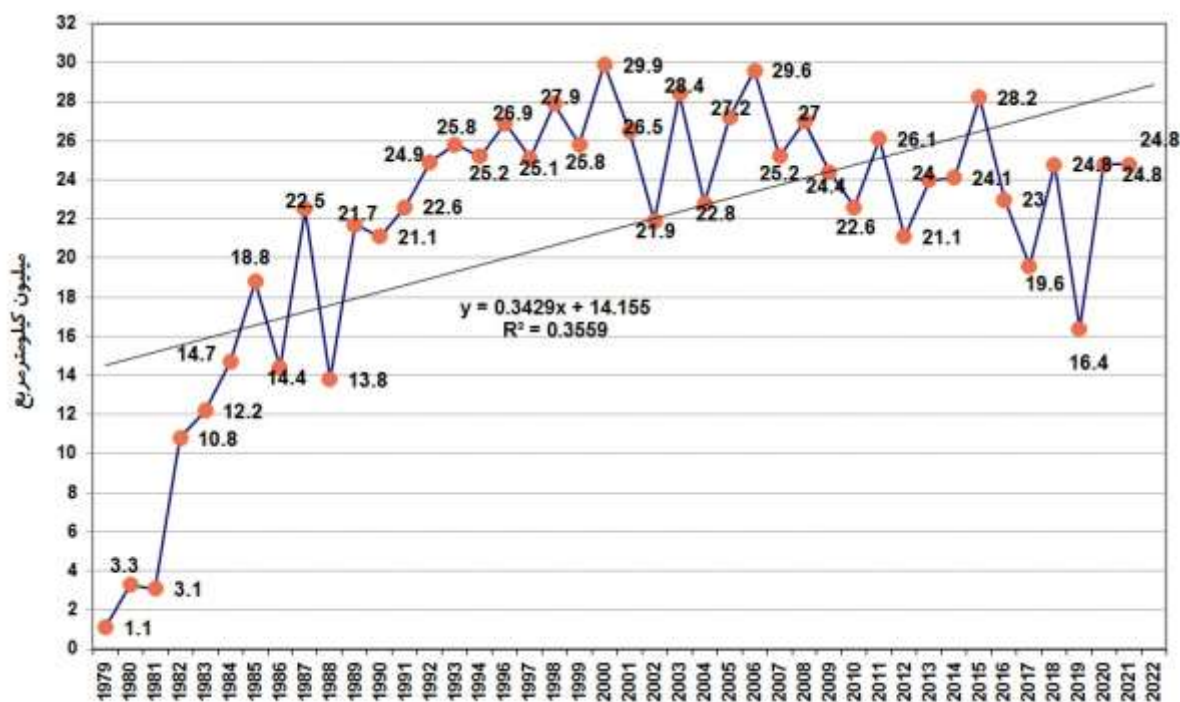
حفره عظیم لایه اُزن هر سال بر فراز قطب جنوب ظاهر می‌شود که یک رخداد فصلی بوده و در فصل بهار نیمکره جنوبی به اوج خود رسیده و موجب می‌گردد از میزان ضخامت لایه اُزن کاسته شود. تاکنون حفره ایجاد شده در لایه اُزن در سال ۲۰۰۰ بزرگترین آن بوده که مساحتی حدود ۳۰ میلیون کیلومتر مربع را در بر گرفته که کمی بیش از ۲ برابر مساحت قاره قطب جنوب است. این مقایسه گستردگی حفره را بر فراز

منطقه جنوبگان و همچنین کشورهای واقع در نیمکره جنوبی نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۱ بیشترین وسعت و گستردگی حفره اُزن به ۲۴/۸ میلیون کیلومتر مربع در تاریخ ۷ اکتبر (۱۵ مهر) رسید که نشان‌دهنده این است که وسعت حفره اُزن نسبت به سال ۲۰۲۰ هیچ تغییری نکرده ولی زمان آن از ۳۰ شهریور (در سال ۱۳۹۹) به ۱۵ مهر (در سال ۱۴۰۰) رسیده است.



شکل ۸. مقایسه وسعت حفره اُزن در نیمکره جنوبی در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۱

شکل ۸ وسعت حفره اُزن را در نیمکره جنوبی (برای عرض جغرافیایی پایین‌تر از ۳۰ درجه جنوبی) از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ میلادی از زمان تشکیل تا پایان فعالیت حفره اُزن را نشان می‌دهد. حفره اُزن امسال از اواسط آگوست بر فراز منطقه جنوبگان پدیدار شد و در اواسط دسامبر از بین رفت. از تولد تا مرگ حفره اُزن حدود ۴ ماه طول کشید که نسبت به سال قبل (۲۰۲۰) تنها چند رور عمر کوتاهتری داشته است. گستردگی حفره اُزن امسال همانند سال قبل (۲۴/۸ میلیون کیلومتر مربع) بوده است. در حالیکه در سال ۲۰۱۹ به ۱۶/۴، در سال ۲۰۱۸ به ۲۴/۸، در سال ۲۰۱۷ به ۱۹/۶، در سال ۲۰۱۶ به ۲۳، در سال ۲۰۱۵ به ۲۸/۲ و در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۳ به ۲۴ میلیون کیلومتر مربع و در سال ۲۰۱۲ به ۲۱/۱ میلیون کیلومتر مربع، در سال ۲۰۱۱ به ۲۶/۱ و در سال ۲۰۱۰ به ۲۲/۶ میلیون کیلومتر مربع رسید. همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌کنید اندازه حفره با شیب ۰/۳۴ روند افزایشی داشته یعنی در هر دهه وسعت حفره اُزن ۳/۴ میلیون کیلومتر مربع بزرگتر شده است.

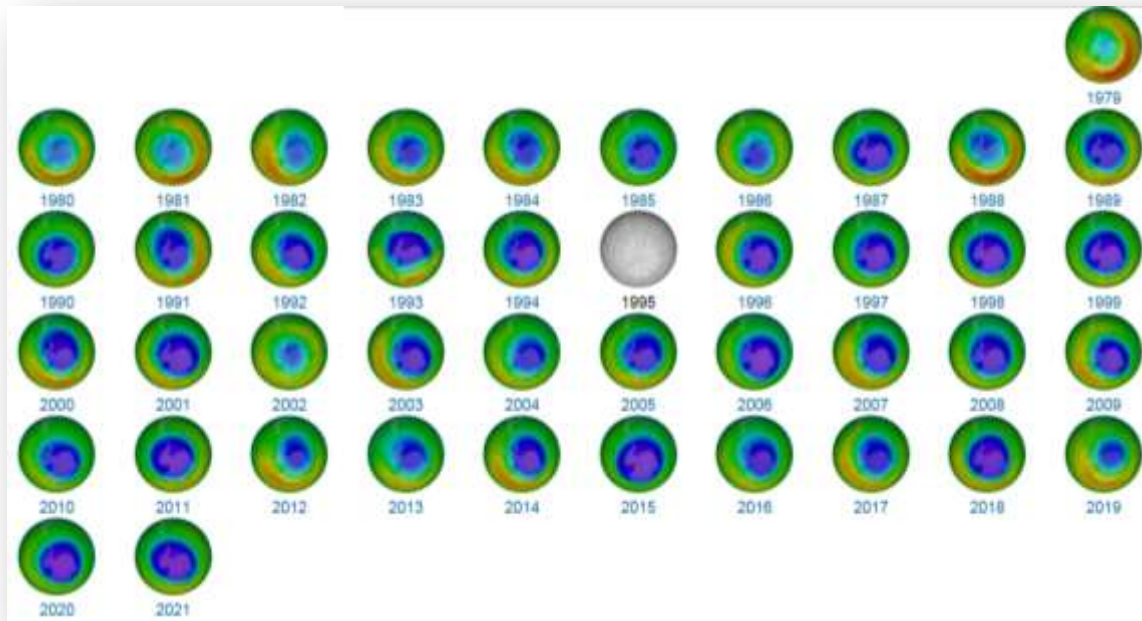


شکل ۹. مقایسه وسعت حفره اُزن در نیمکره جنوبی در طی سالهای ۱۹۷۹-۲۰۲۱

کاهش اُزن ارتباط مستقیمی با درجه حرارت در استراتوسفر دارد. زیرا ابرهای استراتوسفر قطبی که نقش مهمی در تخریب شیمیایی اُزن دارند، فقط در دمای زیر ۷۸- درجه سانتی گراد تشکیل می شوند. این ابرهای استراتوسفری قطبی حاوی بلورهای یخی هستند که می توانند ترکیبات غیر واکنشی را به واکنش پذیر تبدیل کنند، سپس می توانند به محض دسترسی به نور خورشید برای شروع واکنش های شیمیایی، اُزن را به سرعت از بین ببرند. این وابستگی به ابرهای استراتوسفر قطبی و تابش خورشید دلیل اصلی مشاهده سوراخ اُزن تنها در اواخر زمستان و اوایل بهار است.



شکل ۱۰: ابرهای استراتوسفر قطبی



شکل ۱۱. متوسط مقادیر غلظت ازن در ماه اکتبر در سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۲۱



حفره ازن ۲۰۲۱ به حداکثر مساحت خود در ۷ اکتبر رسیده و با ۲۴/۸ میلیون کیلومتر مربع وسعت، تقریباً به اندازه آمریکای شمالی شده و آن را در رتبه سیزدهم از سال ۱۹۷۹ قرار داده است. متأسفانه وضعیت حفره ازن در سال ۲۰۲۱ دارای غلظت کمتری نسبت به سال ۲۰۲۰ بوده ولی از نظر وسعت تغییری نکرده و همچنین از تولد تا مرگ حفره ۴ ماه طول کشیده که اندکی کمتر از سال‌های قبل بوده است.

منابع:

<http://www.temis.nl>

<https://www.esrl.noaa.gov>

<http://www.wmo.int>

<http://www.woudc.org>

<http://www.theozonhole.com>

<https://atmosphere.copernicus.eu>

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>