

# ارزیابی سیاست‌ها و اثرات بین‌المللی آب و هوایی بر آلودگی هوای منطقه‌ای

سعید زنگنه<sup>۱</sup> \* آزاده رنجبر حیدری<sup>۲</sup>

## چکیده

مطالعات نشان می‌دهد که جهان دارای یک جو است و اثرات سو آلاینده‌های منتشره نمی‌تواند محدود به یک منطقه و یا حتی یک قاره باشد. هدف از این مطالعه، بررسی سیاست‌ها و اثرات بین‌المللی بر آلودگی هوای محلی و منطقه‌ای است. نتایج نشان می‌دهد که هر نوع آلاینده هوا با طول عمر جوی کمتر از ۳ تا ۴ روز می‌تواند یک قاره را بپیماید، و اگر عمر آلاینده به یک یا دو هفته افزایش یابد، از یک اقیانوس عبور و در طول یک تا دو ماه در یک نیم‌کره پراکنده شود. با یک تا دو سال عمر، این ذرات را در هر جای از زمین می‌توان مشاهده کرد. اثرات نامطلوب آلاینده‌های هوا بر روی بازدهی محصولات کشاورزی، زیست‌پذیری جنگل‌ها، مراتع و دیگر اکوسیستم‌های طبیعی در جهان است. همه اینها باعث افزایش تلاش‌ها و سیاست‌های بین‌المللی با به رسمیت شناخته شدن فعالیت آنها و اندازه‌گیری جابه‌جایی آلاینده‌ها در مقیاس‌های بزرگ شده است. بنابراین دولت‌ها در تلاش‌اند تا تغییرات جمعیت را که بر مواد غذایی، انرژی و کالا و جابه‌جایی آلاینده‌های آب و هوایی تأثیر گذارند پیش‌بینی کنند.

**واژگان کلیدی:** سیاست، محیط زیست، اثرات بین‌المللی، آب و هوای جهانی، آلودگی هوای محلی.

فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی، سال ششم، شماره بیست‌ونجم، زمستان ۹۶، صص ۲۴۵-۲۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۵/۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، نویسنده مسئول (zangenehsaeed64@gmail.com)  
۲. کارشناسی ارشد زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران (Az-Ranjbar@yahoo.com)

## مقدمه

فعالیت‌های انسان منجر به تولید یا افزایش انتشار ذرات معلق در هوا شده و کیفیت هوا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. انتشار آلاینده‌ها از سال ۱۹۵۰ به طور کامل به رسمیت شناخته شدند، و آلاینده‌ها می‌تواند حاصل از احتراق سوخت‌های ماشین‌ها، استعمال دخانیات، تولید گازهای گلخانه‌ای بدبو (و گاهی اوقات سمی) در کارخانه‌ها، عملیات کشاورزی، گرد و خاک به حرکت درآمده از جاده‌های خاکی، مکان‌های ساخت‌وساز و زمین‌های تخریب شده کشاورزی باشند و به طور مستقیم باعث کاهش کیفیت هوا شوند. از سال ۱۹۶۰ گازهای ثانویه و ذرات آلاینده‌ای مه دود، که به وسیله واکنش‌های اتمسفری و فرآیندهای فتوشیمیایی به طور مستقیم از آلاینده‌ها منتشر می‌شوند، به‌عنوان جز مهمی از آلودگی‌های محلی مورد تأیید قرار گرفتند. در ربع آخر قرن بیستم، انتشار و ارتباط آلاینده‌های ثانویه که می‌تواند اثرات جدی و فراتر از جامعه محلی در مقیاس بیش از صدها تا هزاران کیلومتر در مسیر باد داشته باشند، به طور فزاینده‌ای مشخص شد، از جمله آنها کیفیت هوا، بهداشت عمومی، و زیست‌پذیری اکوسیستم هستند. مطالعات اخیر نشان دادند که آلاینده‌های سطح زمین می‌توانند به ارتفاعات بالا کشیده شده و آلاینده‌های غلیظ‌تر توسط بادهای قوی که در سطوح بالا وجود دارد، از روی اقیانوس‌ها به سایر قاره‌ها انتقال داده شوند.

آلاینده‌های اتمسفری اغلب تأثیرات دوربرد در مقیاس منطقه‌ای و قاره‌ای (اسید و رسوب مواد مغذی، کدر شدن جو، اقلیم متأثر از مواد ریز، آلودگی‌های آلی مواد سمی پایدار) و همچنین نیم کره‌ای و جهانی دارند (گرم شدن ناشی از گازهای گلخانه‌ای، آلودگی‌های حیوانی و تخریب لایه اوزون). همان‌گونه که در شروع قرن ۲۱ ارتباط قوی میان تغییرات اقلیمی و کیفیت جهانی هوا برای ما آشکار شد، احتمال جابه‌جایی بین‌قاره‌ای آلودگی هوا و تأثیرات قابل توجه منطقه‌ای و محلی آن نیز برای ما کاملاً شناخته شده است.

اکنون آلودگی هوا از یک مسئله صرفاً محلی به یک مشکل پیچیده منطقه‌ای، نیم کره‌ای و حتی جهانی تبدیل شده است، اگرچه آلاینده‌های داخلی از علل اصلی بسیاری از مشکلات هوا در کشورهاست. آلاینده‌ها نه تنها در مرزهای آمریکا با کانادا و مکزیک در جریان هستند بلکه بین آمریکای شمالی، آسیا، آفریقا و اروپا در حرکت‌اند. این آلاینده‌ها به تهدید بهداشت عمومی، کاهش میدان دید، آسیب به پوشش گیاهی بومی و کشاورزی، کاهش زیست‌پذیری حیوانات اهلی و وحشی، آسیب به مصالح و زیرساخت‌ها، کاهش کیفیت آب، تخریب اکوسیستم‌های آبی و تغییر اقلیم کمک می‌کنند.

نگرانی‌های دیگری در مورد جابه‌جایی بین‌المللی آلودگی‌ها وجود دارد که تولید آنها در ایالات متحده و دیگر کشورها ممنوع شده است (به عنوان مثال، برخی آلاینده‌های آلی پایدار). دولت آمریکا توسط کشورهای اروپایی برای کاهش جابه‌جایی آلاینده‌ها از روی اقیانوس اطلس و شناخت محیط قطب شمال زیر فشار فزاینده‌ای است. اگرچه شواهد کیفی جابه‌جایی دوربرد آلاینده‌ها وجود دارد، با این حال ما نیاز به درک بیشتر اهمیت و پویایی جریان‌های واقعی به‌منظور بررسی تأثیر آنها بر سلامت انسان، زیست‌پذیری اکوسیستم و دیگر نگرانی‌ها و طراحی استراتژی‌های اثربخش و همکاری‌های کنترل بین‌المللی داریم.

سیگنور<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۴) یک مدل جابه‌جایی مواد شیمیایی جهانی (CTM) و CTM قاره‌ای آسیانه‌ای اعمال کردند و متوجه شدند که در سراسر آمریکای شمالی، بسته به محل، ۱۰ تا ۸۰ درصد از رسوب با توجه به انتشار انسانی داخلی با میانگین مساحت ۲۵ تا ۳۵ درصد بود و به انتشار انسانی در آسیا حدود ۲۰ درصد کمک کرده است. تنوع فضایی برای دومی قابل توجه بود که در غرب بالاتر و در سراسر این قاره روبه افول بود. تراونیکو<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) از یک مدل نیمکره‌ای (MSCE-Hg-HEM) برای ارزیابی جابه‌جایی دوربرد و رسوب جیوه در شمال آمریکا استفاده کرد. نتایج نشان داد که آسیا ۲۴ درصد، آمریکای شمالی ۳۳ درصد و اروپا ۱۴ درصد سهم داشته است (درصدها شامل هر دو سهم طبیعی و انسانی است). در این بررسی، آمریکای شمالی با سهم ۵ درصدی رسوب‌گذاری در اروپا و ۴ درصدی رسوب‌گذاری در آسیا ارزیابی شد. اخیراً استراد<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۸) مدل GEOS-CHEM را به کار برده و کشف کردند که منابع آسیایی و آمریکای شمالی هر کدام سهم ۲۵ درصدی رسوب‌گذاری در ایالات متحده (از جمله همه منابع) و یا ۱۴ و ۱۶ درصدی به ترتیب دارند، اگر تنها منابع انسانی فعلی در نظر گرفته شود.

سلین<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۸) مدل GEOS-CHEM را با جزئیات بیشتری به کار بردند و نشان دادند که ۲۰ درصد از رسوب در آمریکای شمالی از منابع انسانی داخلی ایجاد شده بود، در حالی که ۳۰ درصد از منابع انسانی خارجی گرفته شده بود، مابقی ۳۰ درصد از منابع طبیعی و ۲۰ درصد از جیوه میرا بود. مدل شبیه‌سازی شده ۵۰ تا ۶۵ درصد از واریانس MDN داده رسوب مرطوب را در سراسر ایالات متحده توصیف می‌کند (Selin et al, 2008). عتابی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی بررسی تعهدات و مقررات کنوانسیون تغییرات آب و هوا و ارزیابی نحوه اجرای آن در جمهوری اسلامی ایران را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق، نحوه شکل‌گیری کنوانسیون تغییر آب و هوا و اهداف و تعهدات کشورهای مختلف در قبال آن و نیز وضعیت این کنوانسیون در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده نشان داد که ایران به بسیاری از تعهدات خود نسبت به کنوانسیون عمل کرده است و مهم‌ترین ضعف مربوط به تغییرات آب و هوا در ایران، فقدان عناصر تحقیق و تشویق در قانون و نیز ضعف مدیریت در مورد فعالیت‌های اجرایی است. عدم هماهنگی لازم بین بخش‌های مختلف کشور و همچنین عدم تناسب بین جرایم زیست محیطی و پاسخ تعیین شده از جمله چالش‌های اجرای کنوانسیون تغییر آب و هوا در ایران است.

فرتل<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی سیاست‌های انرژی و آب و هوا در کانادا پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در استراتژی‌های انرژی و آب و هوای کانادا فراتر از استفاده از اصول بازار، سازگاری وجود دارد. علاوه بر این، در برخی از بخش‌ها، در رویکرد کانادایی، تصمیم‌گیری‌های انجام شده در سطح ایالتی بدون همکاری با سایر استان‌ها یا دولت فدرال است. یک راه برای بهبود یکپارچگی سیاست، افزایش همکاری بین حوزه‌های مختلف با استفاده از ترکیبی از ابزارهای سیاست‌گذاری و با تکیه بر آژانس‌های بین دولتی موجود است.

## ۱. تأثیر بر سلامت انسان

کاهش تأثیر آلودگی‌ها بر سلامت انسان، محرک اصلی برنامه‌های مدیریت کیفیت هوا در سراسر جهان است. برخی از

- 
3. Seigneur
  4. chemical transport model
  5. Travnikov
  6. Strode
  7. Selin
  8. fertel

آلاینده‌های هوا می‌تواند سلامتی انسان را به صورت مستقیم از طریق استنشاق تحت تأثیر قرار دهد، ورود آلاینده‌ها به صورت مستقیم به گلو و ریه‌ها آسیب می‌زند و بعد از ورود به جریان خون ریه‌ها به دیگر اندام داخلی می‌رسد. آلاینده‌های هوا می‌تواند در اکوسیستمی که غذا و آب آشامیدنی انسان را تأمین می‌کند، ذخیره شوند، از جمله خاک کشاورزی، سطوح تازه و زمین‌های آبی، آب دریاها و جاهایی که وارد زنجیره غذایی و منابع آب آشامیدنی می‌شوند و منجر به در معرض آلودگی‌ها قرار گرفتن انسان می‌شوند. از چهار نمونه آلاینده که در این گزارش در نظر گرفته شده است، انسان از طریق استنشاق در معرض ازون و ذرات معلق قرار می‌گیرد، در حالی که جیوه و آلاینده‌های آلی پایدار عمدتاً با مصرف مواد غذایی، انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. غلظت بالای ازون و ذرات معلق، خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی، همچنین دیگر عوارض جانبی سلامتی را افزایش می‌دهد (Cohen et al, 2004; EPA, 2004, 2006a; WHO, 2006; NRC, 2008). بار مسئولیت کلی این آلاینده‌ها قابل توجه است؛ سازمان بهداشت جهانی تخمین می‌زند که سالانه بیش از ۴۱۲۰۰ آمریکایی پیش از موعد مقرر به علت قرار گرفتن در معرض غلظت بالای ذرات معلق، که قطر آنها کمتر از ۱۰ میکرون هست، جان خود را از دست می‌دهند (WHO, 2006). تلاش برای کاهش ذرات معلق در هوا می‌تواند منجر به نتایج چشم‌گیری شود همبستگی اخیر از داده‌های مناطق ۵۱ کلان‌شهر نشان داد که کاهش ذرات معلق از اواخر ۱۹۷۰ تا اوایل ۱۹۸۰ و از اواخر ۱۹۹۰ تا اوایل ۲۰۰۰ تخمین زده می‌شود که با کاهش میانگین غلظت محیطی ذرات معلق به اندازه ۱۰ میکرون در مترمکعب منجر به افزایش میانگین طول عمر  $0/61 \pm 0/20$  می‌شود (Pope III et al., 2009). تعدادی از سری‌های زمانی و مطالعات گروهی نشان دادند که ارتباط مابین قرار گرفتن غلظت ذرات معلق و مرگ‌ومیر به خطی نزدیک می‌شود که مدارکی دال بر اثرات سوبهداشتی مشاهده نمی‌شود (Pope and Dockery, 2006). اثرات ازون موجود در هوا بر مرگ‌ومیر بیشتر از ذرات معلق ریز نیست، با این حال بررسی اخیر شورای ملی تحقیقات تأکید کرد که قرار گرفتن در محیطی که میزان بالای ازون وجود دارد، هر چند کوتاه مدت، میزان مرگ‌ومیر زودرس را بالا می‌برد، و این خطر مرگ و میر محدود به افرادی که قبلاً در خطر مرگ‌ومیر بالا بودند نمی‌شود (NRC, 2008).

جیوه سمی است که بر روی اعصاب اثر گذاشته و منجر به لرزش دست، اختلال در حافظه و دیگر اثرات سوبهداشتی می‌شود (EPA, 1997). شواهدی از اثرات منفی آلاینده‌های آلی پایدار بر سلامتی انسان و همچنین نگرانی در مورد افزایش این مواد شیمیایی در طیف وسیعی از بافت‌ها شامل وریدی (سیاهرگ‌ها)، خون، بافت چربی و... وجود دارد (Li et al; 2006a).

## ۲. اثرات زیست‌محیطی

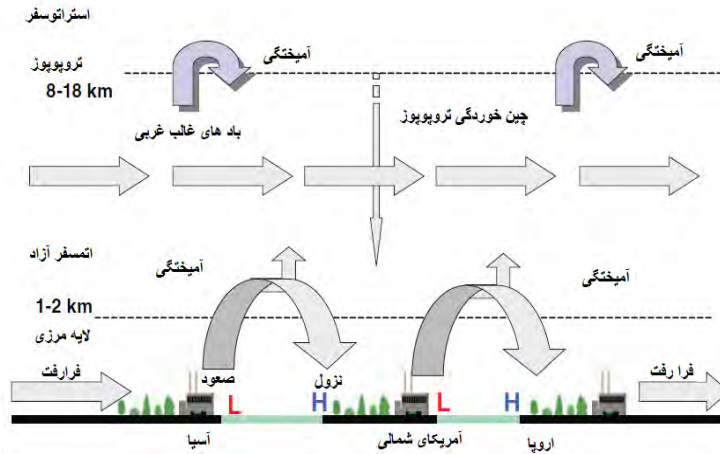
اگر چه تأثیر بر سلامت انسان از دلایل عمده نگرانی‌ها در مورد آلودگی‌هاست (از منابع محلی و غیرمحلی)، انواع دیگر اثرات سو وجود دارد که شامل تأثیر بر سلامت زیست‌محیطی است، از جمله آنها تأثیر بر بهره‌وری بخش کشاورزی و جمعیت ماهیان وحشی است (که به نوبه خود پیامدهایی بر تندرستی انسان دارد)؛ کاهش دید ناشی از مه آلودگی و کاهش بازدید از مکان‌های خوش‌منظر جهان؛ تخریب مصالح ساختمان‌ها، بناهای تاریخی، وسایل نقلیه و دیگر زیر ساخت‌ها. انواع آلاینده‌های کوتاه مدت در آب‌وهوای منطقه‌ای و جهانی به طور مستقیم از طریق بر هم کنش با تابش جوی و به صورت غیرمستقیم با تغییرات در خواص ابرها تأثیر می‌گذارد که باعث افزایش نگرانی‌ها می‌شود.

### ۳. جابه‌جایی دوربرد آلاینده‌ها

#### ۳-۱. دینامیک جابه‌جایی دوربرد اتمسفر

آلاینده‌های منتشرشده در نزدیکی سطح یک قاره می‌تواند بهداشت و سلامتی انسان و همچنین بازدهی محصولات را در قاره‌ای دیگر با هزاران مایل فاصله که برای بسیاری از مردم ناخوشایند است، متأثر کند. بیشتر پدیده‌های هواشناسی که در جابه‌جایی دوربرد آلاینده‌ها مؤثر هستند، در تروپوسفر رخ می‌دهند، پایین‌ترین بخش تروپوسفر در مناطق حاره‌ای تقریباً از سطح زمین تا ۱۸ کیلومتری و در مناطق قطبی تقریباً تا ۸ کیلومتری گسترده شده است. تروپوپوز مرز بین تروپوسفر و استراتوسفر، لایه بالاتر جوی است. تروپوسفر را می‌توان به دو بخش لایه مرزی سیاره‌ای و تروپوسفر آزاد تقسیم کرد. لایه مرزی سیاره‌ای به طور معمول به کمتر از ۱ تا ۲ کیلومتر از تروپوسفر محدود می‌شود. اگرچه بیشتر آلاینده‌ها در این لایه منتشر می‌شوند، اما جابه‌جایی افقی آنها به دلیل بادهای نسبتاً ضعیف در نزدیکی سطح زمین آهسته است. در مقابل، آلاینده‌هایی که در لایه مرزی سیاره‌ای در تروپوسفر آزاد جابه‌جا می‌شوند، مسافت‌های طولانی‌تری را به دلیل وجود بادهای قوی در سطح بالا مثل جت استریم می‌پیمایند، جریانات قوی در جو وجود دارد که به دور زمین می‌چرخد. مکانیسم صعود در اتمسفر آزاد (طوفان‌های تندی و مراکز کم‌فشار عرض‌های میانه) نقش مهمی در رخداد جابه‌جایی آلاینده‌ها بازی می‌کند. پدیده‌های هواشناسی که انتقال آلاینده‌های دوربرد را در محدوده کوچک مقیاس، تلاطم‌های آشفته در سیستم‌هایی که به گسترده‌گی یک قاره است می‌تواند در یک هفته یا یک ماه گذشته تحت تأثیر قرار دهد. طوفان‌های تندی، نسیم دریا و همه سیستم‌های پرفشار و کم‌فشار در جابه‌جایی آلاینده‌ها به صورت افقی و عمودی نقش دارند.

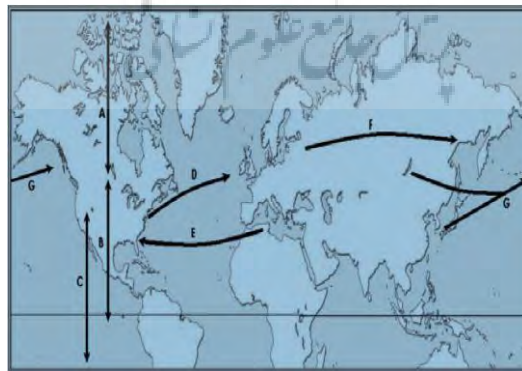
به طور کلی به علت وجود بادهای غربی، جابه‌جایی آلاینده‌ها در اتمسفر آزاد، در عرض‌های میانه از غرب به شرق اتفاق می‌افتد (نگاره ۱). این جابه‌جایی شرقی به شدت تحت تأثیر سیستم‌های کم‌فشار گذراست. سواحل شرق آسیا منطقه‌ای است که به توسعه سیستم‌های کم‌فشار کمک می‌کند؛ جایی که سیستم‌ها هر چند روز شکل می‌گیرند و سو به سمت آمریکای شمالی حرکت می‌کنند. این ناوه ناپایداری که شامل چندین کانال جابه‌جایی است، با کمربند جابه‌جاکننده گرم بهتر مشخص شده است. این کمربند جابه‌جاکننده از نزدیکی جلو جبهه سرد آغاز می‌شود و می‌تواند آلودگی‌های مبتنی بر سطح را از مناطق عمده صنعتی از شرق آسیا به سمت شمال و سپس شرق جابجا کند.



شکل ۱. شماتیکی از فرایندهای دینامیکی غالب جابه‌جایی دوربرد آلاینده‌ها. H و L در سطح زمین مراکز پرفشار و کم‌فشار را نشان می‌دهد.

هوا به آرامی از لایه مرزی صعود می‌کند و اغلب به تروپوسفر بالایی می‌رسد؛ جایی که آلاینده‌ها با مسیری شرق سو توسط بادهای قوی به سمت آمریکای شمالی جابجا می‌شود. کم‌فشار از غرب و جنوب غرب در هوای سرد پیش‌روی می‌کند، هوای خشک از تروپوسفر بالا و استراتوسفر پایین به سطح پایین فرونشست می‌کند. این مناطق اغلب مناطقی نسبتاً کوچکی از تروپوسفر که پایین آمده (تا شده) هستند و دیگر مکانیسم‌ها هوای استراتوسفر را با تروپوسفر مخلوط می‌کند.

منطقه بزرگ دومی که کم‌فشار در این منطقه گسترش می‌یابد سواحل شرقی آمریکای شمالی است. ساختار این سیستم شبیه سیستم ایجادشده در نزدیکی شرق آسیا است. به هر حال حرکت شرق سوی این طوفان، آلودگی‌های سطح زمین را از سواحل صنعتی شرق آمریکای شمالی به ارتفاعات بالا سپس به سوی اروپا جابجا می‌کند. به طور کلی، اروپا منطقه‌ای برای طوفان‌های توسعه‌یافته نیست. بادها در لایه مرزی و تروپوسفر آزاد دارای اقلیمی از غرب هستند، در نتیجه چرخه جابه‌جایی جهانی را تکمیل می‌کنند. در عرض‌های جغرافیایی پایین باد غالب معمولاً از شرق به غرب جریان دارند، در حالی که در عرض‌های جغرافیایی میانه، باد غالب از غرب به شرق در جریان است. باد شمال آفریقا می‌تواند گردوغبار صحرا را به جزایر کارائیب، فلوریدا، و دیگر کشورهای حاشیه خلیج فارس انتقال دهد. نقشه (۱) تعدادی از مسیرهای جابه‌جایی دوربرد مربوطه و مقیاس‌های زمانی معروف را نشان می‌دهد.



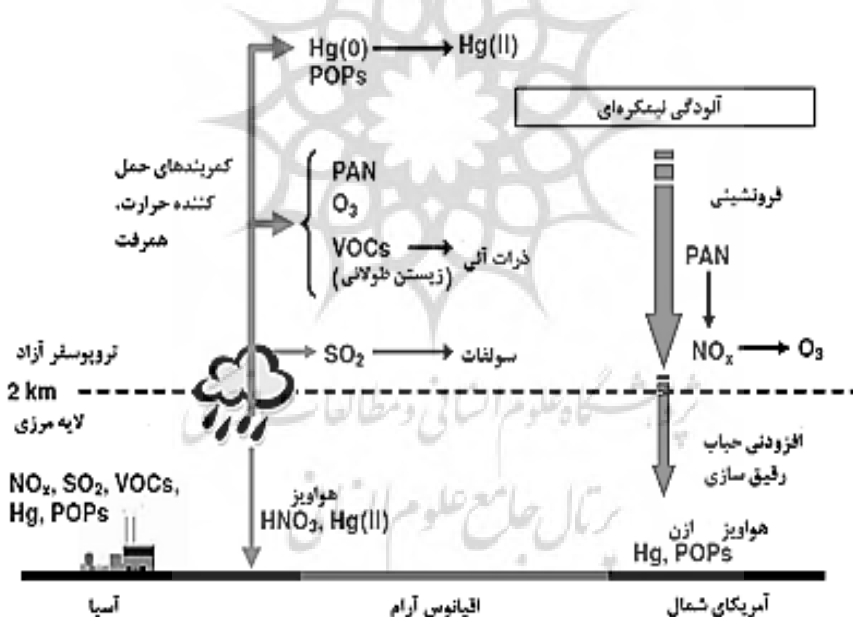
در نقشه شماره ۱. مسیرهای اصلی جابه‌جایی جوی، آمریکای شمالی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور کلی، بازه‌های زمانی از جابه‌جایی که توسط مطالعات و دیگر منابع برآورد شدند عبارت‌اند از: (A) از عرض‌های میانه به قطب شمال ۱ تا ۴ هفته.

(B) از عرض‌های میانه به مناطق استوایی ۱ الی ۲ ماه. (C) از نیم کره شمالی به نیم کره جنوبی تقریباً ۱ سال. (D) از شمال آمریکا به اروپای غربی ۳ تا ۱۳ روز. (E) از آفریقای شمالی به آمریکای شمالی ۱ تا ۲ هفته. (F) از اروپای شرقی به آسیا ۱ الی ۲ هفته. (G) از آسیای شرقی به آمریکای شمالی ۴ تا ۱۷ روز. برای A، B و C جابه‌جایی در هر دو جهت، بسته به ارتفاع رخ می‌دهد.

لیو<sup>۹</sup> و مایوزرال<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۵) تخمین می‌زنند که زمان جابه‌جایی بین قاره‌ای به طور متوسط یک الی دو هفته طولانی‌تر از زمان انتقال سریع در توده‌هاست.

## ۳-۲. تغییر شکل شیمیایی و میکروفیزیکی در جریان جابه‌جایی

انواع آلاینده‌ها قبل از تحول شیمیایی یا ته‌نشست در سطح زمین، زمان محدودی را در جو باقی می‌مانند. در لایه مرزی و تروپوسفر آزاد واکنش‌های فتوشیمیایی می‌تواند بسیاری از آلاینده‌ها را به گونه‌های شیمیایی تبدیل کند. فرایند میکروفیزیکی بین فاز گازی و ذرات تلغیظ شده جابه‌جا می‌شوند. تمام این تحول و حذف فرآیندها (که برخی از آنها در نگاره ۲ نشان داده شده است) می‌تواند در طول جابه‌جایی دوربرد توده هوا عمل کنند. تحولات شیمیایی بسیاری از گونه‌های واکنش‌پذیر مواد شیمیایی در اتمسفر کمتر از یک هفته است (Finlayson-Pitts and Pitts, 2006). به طور کلی، جابه‌جایی دور برد می‌تواند قابل توجه باشد زمانی که میزان انتقال آلاینده نسبت به زمان جابه‌جایی از راه دور کند است.



شکل ۲. تغییر شکل شیمیایی و میکروفیزیکی در جریان جابه‌جایی

شکل شماره ۲. برخی از مواد شیمیایی و میکروفیزیکی مکانیسم‌های اساسی درگیر در (آنسوی اقیانوس آرام) جابه‌جایی دور برد آلودگی است. انتقال مواد شیمیایی از جیوه (0) به جیوه (II) اجازه می‌دهد تا واکنش جیوه با ذرات آئروسول و قطرات ابر جذب شود، نیترات استیل اکسید شده (PAN) می‌تواند واکنش اکسیدهای نیتروژن (NO<sub>x</sub>) در تروپوسفر آزاد سرد

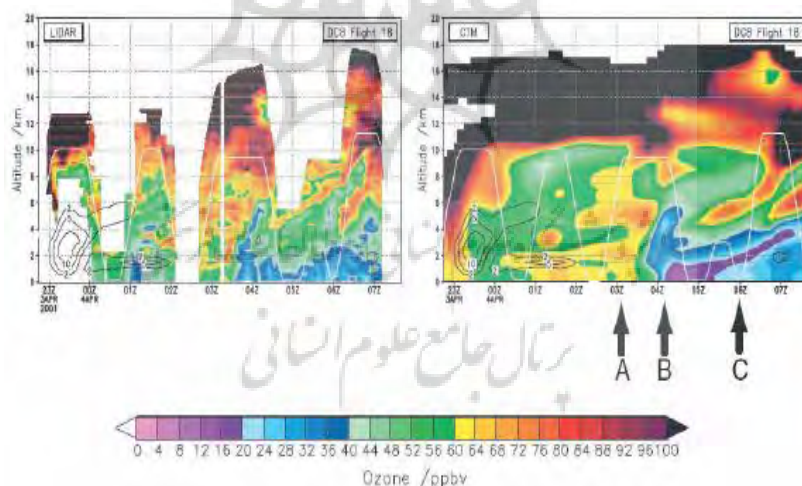
9. Liu

10. Mauzerall

را جدا کند، اما انتشار آن به شکل ازون زمانی است که توده هوا فروکش کرده و گرم است. گاز SO<sub>2</sub> اکسید شده با سولفات است، و ترکیبات آلی فرار (VOCs) اکسید شده با گونه آلی کمتر فرار توسط هر دو فاز گاز و واکنش‌های قطرات ابر، تشکیل ذرات اضافی می‌دهد. رسوب مرطوب تنظیف‌کننده هواویز، اسید نیتریک تشکیل شده توسط اکسیدکننده‌ها و جیوه (II) است، در حالی که رسوب خشک حذف‌کننده طیف گسترده‌ای از گونه‌های گازی و همچنین گونه‌های محدود ذرات است. نمودار فرایندهای رخ داده در طی جابه‌جایی در آن سوی اقیانوس آرام را به تصویر می‌کشد. این فرآیندهای مشابه در طول جابه‌جایی در اقیانوس اطلس رخ می‌دهد.

### ۳-۳. مشاهدات مستقیم جابه‌جایی دوربرد ازون و پیش‌سازهای آن

انواع ابزار مشاهده‌ای برای شناسایی جابه‌جایی دوربرد O<sub>3</sub> و پیش‌سازهای آن استفاده می‌شود. مجموعه داده‌های ماهواره‌ای نمایش مداومی در مقیاس بزرگ را ارائه می‌کنند و گاهی اوقات می‌توانند توده‌های بزرگ نشئت گرفته از حوادث شدید آلودگی در حال عبور از نیم کره را ردیابی کنند (Zhang et al, 2008a). این مشاهدات خیلی محدودند، با این حال، توده‌های آلودگی خیلی شدید و چندگانه هستند. لیدار<sup>۱۱</sup> (سنجنده حساس) هوابرد اخیرا اطلاعات مفیدی در ساختار عمودی با اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا ارائه کرده است. همانطور که در بالا اشاره شد، وسایل اندازه‌گیری ازون، داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا ارائه کرده است. همانطور که در بالا اشاره شد، وسایل اندازه‌گیری ازون، داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا ارائه کرده است. همانطور که در بالا اشاره شد، وسایل اندازه‌گیری ازون، داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا ارائه کرده است. همانطور که در بالا اشاره شد، وسایل اندازه‌گیری ازون، داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا ارائه کرده است. همانطور که در بالا اشاره شد، وسایل اندازه‌گیری ازون، داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا ارائه کرده است.



نقشه ۲. ستون ازون تروپوسفری (TCO) جریان‌های آلودگی صنعتی نیم‌کره شمالی و جنوبی

نقشه شماره ۲. پروفایل عمودی از جابه‌جایی O<sub>3</sub> تروپوسفری (PPB) در اقیانوس آرام (۳ آوریل ۲۰۰۳) از توکیو به هاوایی در طول ردیابی آلودگی. مشاهدات لیدار DC-8 در سمت چپ (A) یک توده آلودگی از آسیا (02Z-04Z, 1-6 km)، (B) یک

11. LIDAR

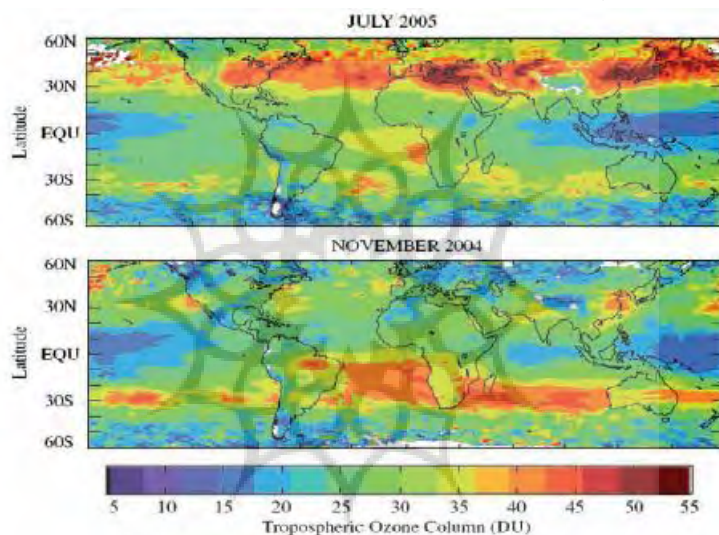
12. TRACE-P



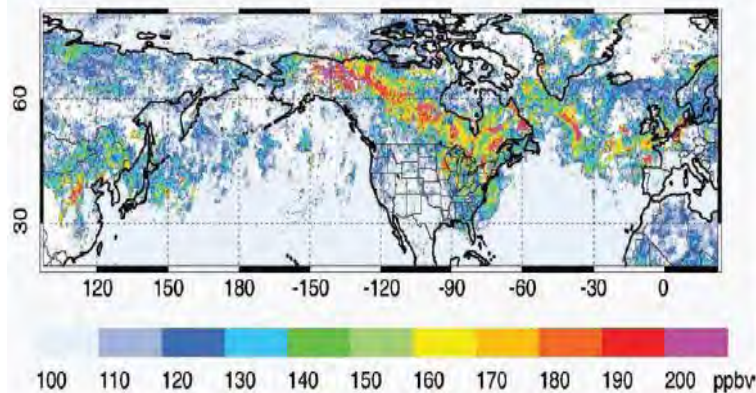
عبور جبهه‌ای قوی (04Z, 0-4 km)، و (C) نفوذ استراتوسفری (05Z-07Z, 4-9 km) که به خوبی با نتایج مدل شبیه‌سازی شده، در سمت راست نشان داده شده است (Wild et al, 2004b).

نقشه (۳) به طور فصلی، ستون ازون تروپوسفری (TCO) جریان‌های آلودگی صنعتی نیم کره شمالی در ماه ژوئیه و منابع ازون ناشی از سوختن زیست توده در نیم کره جنوبی در ماه نوامبر است.

اکسید کربن تنها پیش‌ساز ازون با عمر طولانی است که از ماهواره اندازه‌گیری شده است و می‌تواند شرایط خوب جابه‌جایی دوربرد را فراهم کند. منابع آلودگی شدید می‌تواند گازهای با افزایش کمتر از ۱۰۰ درصد بیش از ارزش‌های پیشینه تولید کند. نقشه (۴) یک نمونه از گازهای آلوده مشاهده شده با ابزار ماهواره ترا/مپیت<sup>۱۳</sup> را ببینید. افزایش ارتباط O<sub>3</sub> و CO با گازهای آلوده اندازه‌گیری شده به وسیله اورا/تیس<sup>۱۴</sup> نشان‌دهنده انتقال اولیه O<sub>3</sub> به شکل گازهایی از آسیا با ادامه تولید ازون در طول جابه‌جایی در آنسوی اقیانوس آرام است (Zhang et al, 2008a). این همبستگی همچنین با استفاده از تجزیه و تحلیل در اندازه‌گیری‌های محلی برای منابع مشخص گازها و تلاش برای ردیابی آنها در طول جابه‌جایی دور برد است (Parrish et al, 1993; Stohl et al, 2002).



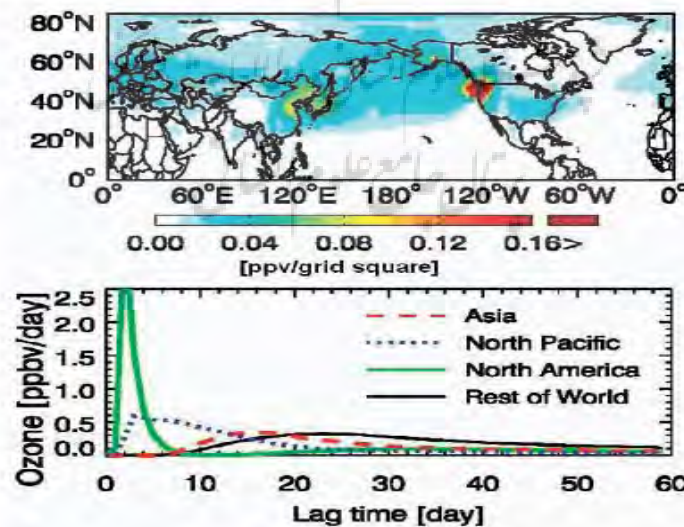
نقشه شماره ۳. میانگین ماهانه ستون ازون تروپوسفر OMI/MLS (در واحد دابسون) برای جولای ۲۰۰۵ و نوامبر ۲۰۰۴ (Ziemke et al, 2006).



نقشه شماره ۴. میانگین فراوانی اکسید کربن (PPB) در تروپوسفر آزاد، توسط ماهواره ترا برای دوره ۸ روزه ۲۳-۱۵ ژوئیه، ۲۰۰۴. گازهای آلوده اکسید کربن انسانی در حال ترک آسیا و عبور از اقیانوس آرام دیده می‌شود، و آن‌هایی که از آتش‌سوزی جنگل آلاسکا و کانادا پدید آمده در حال عبور از شمال آمریکا و اقیانوس اطلس به سمت اروپا دیده می‌شود. منبع: ارائه شده توسط دی. ادواردز، مرکز ملی تحقیقات جوی. این نوع همبستگی برای استنتاج میزان تولید و از دست دادن فتوشیمیایی برای CO و O<sub>3</sub> در طول جابجایی استفاده می‌شود، اما عوامل دیگر مانند شیب در مقیاس بزرگ در امتداد ستون و در فراوانی پیشینه این تجزیه و تحلیل‌ها پیچیده است (Chin et al, 1994; Pfister et al, 2006; Real et al, 2008).

#### ۴. مدل‌سازی و نسبت O<sub>3</sub> از منابع جهانی

توزیع مقدار O<sub>3</sub> تولید شده از گازهای گلخانه‌ای در مناطق متفاوت یا منابعی که می‌تواند به وسیله نگهداشت ازون تشکیل شده و بر روی یا در مسیر باد از مناطق خاص (Sudo and Akimoto, 2007) با کاهش یا افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای خاص در منطقه مورد نظر به دست آید (Auvray and Bey, 2005). این نتایج نشان‌دهنده پیچیدگی منابع طبیعی و انسانی مؤثر بر توزیع ازون در سراسر ایالات متحده است.



نقشه شماره ۵. حساسیت سطوح فراوانی O<sub>3</sub> در ابتدای ترینیداد، کالیفرنیا با تولید ازون در مناطق مختلف جهان، به عنوان مدل الحاقی GEOSCHEM برای دوره ۱۷ آوریل تا ۱۵ می ۲۰۰۶ قابل استنباط است (Zhang et al, 2009a). چپ: حساسیت در

زمان یکپارچه شده بر روی عمق ستون وردسپهر. راست: وابسته به زمان حساسیت (رفتن به عقب در زمان) به تولد ازون بر روی آسیا، اقیانوس آرام شمالی، شمال آمریکا و دیگر نقاط جهان. این نتایج نشان می‌دهد که کمک به تولید بر روی هر منطقه (به عنوان مثال شمال آمریکا) می‌تواند شامل جابه‌جایی دوربرد از منابع دور از پیش‌سازهای ازون و نیز تولید گازهای گلخانه‌ای محلی باشد (Kotchenruther et al, 2001).

تولید گازهای گلخانه‌ای از پیش‌سازهای O<sub>3</sub> در آسیا به سرعت در حال افزایش است (Richter et al, 2005; Ohara et al, 2007) و این منجر به افزایش تولید و خروج O<sub>3</sub>، به‌خصوص در فصل بهار می‌شود (Zhang and Tao, 2009). در نتیجه برخی محققان اظهار کرده‌اند که افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای آسیایی مسئول افزایش روندهای O<sub>3</sub> بهاری در امتداد سواحل غرب ایالات متحده هستند (Parrish et al, 2004).

## ۵. آینده تغییر آب و هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای

مشاهدات کنونی و طرح‌های مدل‌سازی آب و هوای گرم را نشان می‌دهد. این تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش بخار آب جوی که باعث کاهش قابل توجهی O<sub>3</sub> به‌خصوص در تروپوسفر پایینتر مناطق گرمسیری و آن نیز منجر به افزایش تبادل استراتوسفر - تروپوسفر، که باعث افزایش جریان O<sub>3</sub> استراتوسفر به تروپوسفر می‌شود (Zeng et al, 2008). علاوه بر این ما انتظار داریم که بهبود تخلیه ازون تروپوسفری توسط هالوکربن‌های انسانی همچنین به افزایش شار O<sub>3</sub> استراتوسفر منجر شود (Fusco and Logan, 2003). این تغییرات عمده آب و هوایی خط‌مبنای O<sub>3</sub> در جهات متفاوت بسته به عرض جغرافیایی و فصل سال تحریک می‌شود. به‌عنوان مثال کاهش فتوشیمیایی در O<sub>3</sub> در عرض‌های جغرافیایی پایین بیشتر است، در حالی که افزایش تحریک استراتوسفر در عرض‌های جغرافیایی بالا تسلط خواهد یافت. NO<sub>x</sub> تولید شده توسط رعد و برق، احتمالاً بزرگترین منبع طبیعی ازون در مناطق استوایی است، اگر عمق حرارتی در آب و هوای گرم افزایش یابد (Toumi et al, 1996). طرح‌های فعلی مدل‌ها رضایت علمی کافی با توجه به اثر اساسی تغییر آب و هوای قرن ۲۱ ارائه نمی‌دهد. مکان‌های آلوده آمریکا یک ارتباط قوی از حوادث ضمنی ازون مرتفع با درجه حرارت بالا را نشان می‌دهد (Lin et al, 2001).

## ۶. ارتباط بین رسوب جیوه و اثراتش بر اکوسیستم

برای هر دو اکوسیستم‌های دریایی و آب شیرین رابطه بین رسوب جیوه و غلظت جیوه در ماهی ساده نیست، زیرا خواص اکوسیستم‌های منحصر به فرد اثر کارایی دارد که جیوه را به متیل جیوه تبدیل می‌کند، اعتقاد بر این است که افزایش رسوب جیوه در اکوسیستم‌های آبی منجر به افزایش متیل جیوه در ماهی می‌شود، اما داده‌های کمی برای آزمایش این فرضیه محدود شده است (Munthe et al, 2007). یک مطالعه بالقوه برای جذب جیوه رسوبگذاری شده جوی در ماهی (Harris et al, 2007) مورد تحقیق قرار گرفته و نشان داد که افزایش غلظت جیوه در موجودات آبی به‌وضوح با بارگذاری مستقیم از یک ایزوتوپ خاص پایدار جیوه با بارش به سطح دریاچه در ارتباط بود. با این حال بیشتر از ۱ درصد ایزوتوپ پایدار اضافه شده در زمین و پوشش گیاهی اطراف دریاچه در اکوسیستم دریاچه پس از سه سال پیدا شد. مطالعات دیگر یک ارتباط مستقیم بین ورودی جوی و غلظت جیوه موجودات زنده ارائه کرده‌اند. به‌عنوان مثال حمیر اسپچمید و فیتزجرالد (۲۰۰۶)<sup>۱۵</sup> دریافتند که غلظت جیوه در ماهی با غلظت جیوه در رسوب مرطوب در سراسر ۲۵ ایالت در ارتباط بود. اتکسون<sup>۱۶</sup> و همکاران (۲۰۰۵)

15. Hammerschmidt and Fitz Gerald

16. Atkeson

نشان دادند که کاهش غلظت جیوه در ماهی خاردار دهان بزرگ و جوجه مرغ ماهی‌خوار سفید در منطقه زمین‌های باتلاقی فلوریدا با کاهش انتشار منبع نقطه‌ای RGM در ارتباط بود. در سوئد افت منطقه‌ای رسوب جو در موجودات زنده با افت غلظت در ارتباط بودند (Munthe et al, 2004). مطالعات دیگر با این حال، هرگونه رابطه روشنی را پیدا نکرده است (Evers and Clair, 2005). کاری که اخیراً توسط ساندرلند<sup>۱۷</sup> و همکاران (۲۰۰۹) در شرق اقیانوس آرام شمالی ارائه شده است، غلظت جیوه کل بالاتر از زمان گذشته اندازه‌گیری شده بود و پیشنهاد کردند که گردش اقیانوسی و افزایش رسوب اتمسفر با توجه به منابع در آسیا، با این افزایش در ارتباط است. آنها همچنین پیشنهاد کردند این افزایش غلظت جیوه در ماهی‌های دریایی تأثیر می‌گذارد.

## ۷. مفاد رویکرد جابه‌جایی دور برد

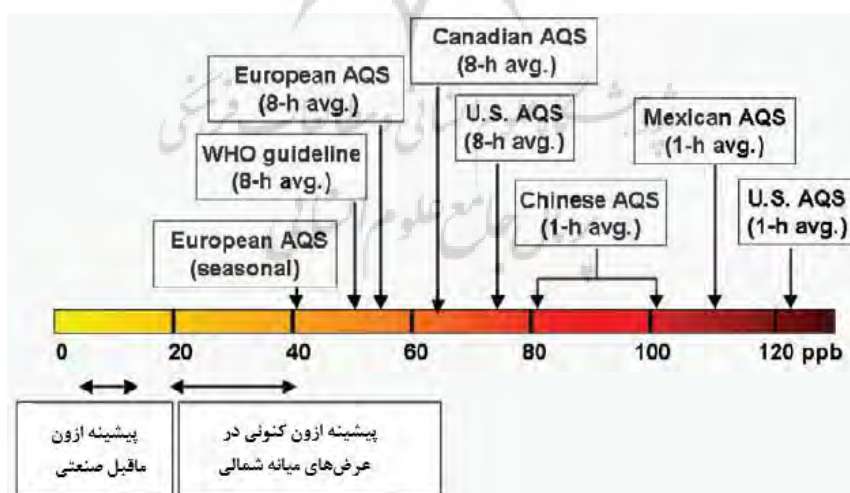
### ۷-۱. مفاد رویکرد بین‌المللی و داخلی

فعالیت‌های بین‌المللی در مورد جابه‌جایی دور برد آلاینده‌ها تا حد زیادی در اختیار سازمان ملل متحد است. کنوانسیون جابه‌جایی دوربرد آلودگی هوا در سال ۱۹۷۹ توسط ۳۰ کشور اروپایی، ایالات متحده و کانادا امضاء شد. کنوانسیون به خودی خود خواستار آن است که احزاب امضاکننده برای کاهش آلودگی هوای فرامرزی تلاش کنند. توسط هشت پروتکل پشت سر هم (نگاره شماره ۳) با اهداف کاهش ترکیبات خاص تکمیل شده است، و یک مکانیسم برای حمایت از جمع‌آوری داده‌های علمی برای نظارت بر مطلوبیت و پیشرفت تعیین شده است. روند جابه‌جایی دوربرد آلودگی هوا برای موفقیت در دستیابی به اهداف کاهش آلاینده‌های خاص هدف قرار گرفته، و توانایی تنظیم اهداف به‌عنوان استنتاج درک علمی را دارد. معاهده پاریس که با موضوع تغییرات جوی و تدابیر لازم برای جلوگیری از عواقب فاجعه‌آمیز آن، در پی مذاکرات طولانی به ابتکار سازمان ملل متحد در دوازدهم دسامبر سال ۲۰۱۵ به امضاء ۱۹۵ کشور جهان رسید و در سال ۲۰۱۶ به مرحله اجرا درآمد. دونالد ترامپ رییس‌جمهور آمریکا ضمن انکار همه تهدیدهای ناشی از تغییرات جوی و اثرات فاجعه بار آن، با اعلام خروج این کشور از توافق‌نامه مذکور گفت، این توافق‌نامه هیچ سودی برای آمریکا نداشته است. در ایران نیز عده‌ای از کارشناسان معتقدند پیوستن ایران به این پیمان بین‌المللی مانع از تحقق سیاست‌های کلان کشور خواهد شد، در عین حال، موافقان این موافقت‌نامه و مسئولان سازمان محیط زیست بر این باورند که با پیوستن به این موافقت‌نامه می‌توان سیاست‌های کلان نظام در حوزه اصلاح الگوی مصرف را اجرایی کرد. در ایران سند ملی و راهبردی تغییر اقلیم، سند داوطلبانه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سند اقتصاد کم‌کربن جزو سندهایی است که به امضا رسیده است. که این نشان می‌دهد ایران در راستای تغییر اقلیم و هماهنگی با سایر کشورها به مشارکت می‌پردازد.

جدول ۱. پروتکل‌های جابه‌جایی دوربرد آلودگی هوا

گرفتن در	پروتکل ۱۹۹۹ برای کاهش اسیدی شدن، انباشتگی و آزون سطح زمین در ۲۴ بخش در ۱۷ می‌سال ۲۰۰۵ به اجرا درآمد.	راه اصلی قرار
و بعضی از	پروتکل ۱۹۹۸ برای آلاینده‌های آلی پایدار، در ۲۹ بخش در ۲۳ اکتبر سال ۲۰۰۳ به اجرا درآمد.	معرض جیوه
آلی پایدار، از	پروتکل ۱۹۹۸ بر روی فلزات سنگین در ۲۹ بخش در ۲۹ دسامبر سال ۲۰۰۳ به اجرا درآمد.	آلاینده‌های
	پروتکل ۱۹۹۴ برای کاهش بیشتر میزان انتشار گوگرد، در ۲۸ بخش، در ۵ اوت سال ۱۹۹۸ به اجرا درآمد.	طریق
	پروتکل ۱۹۹۱ در مورد کنترل گازهای خروجی ترکیبات آلی فرار یا جریان فرامزنی آنها، در ۲۳ بخش، در ۲۹ سپتامبر سال ۱۹۹۷ به اجرا درآمد.	
	پروتکل ۱۹۸۸ با توجه به کنترل اکسیدهای نیتروژن یا جریان فرامزنی آنها، در ۳۲ بخش، در ۱۴ فوریه ۱۹۹۱ به اجرا درآمد.	
	پروتکل ۱۹۸۵ برای کاهش انتشار گوگرد و یا جریان فرامزنی آنها با حداقل ۳۰ درصد، در ۲۳ بخش، در ۲ سپتامبر ۱۹۸۷ به اجرا درآمد.	
	پروتکل ۱۹۸۴ برای تامین مالی بلند مدت برنامه تعاونی برای نظارت و ارزیابی انتقال آلاینده‌های دوربرد در اروپا، در ۲۴ بخش، در ۲۸ ژانویه ۱۹۸۸ به اجرا درآمد.	

اکوسیستم‌های آبی است (به عنوان مثال، مصرف ماهی نسبت به استنشاق مستقیم اتمسفر). کنترل این گونه از طریق تعدادی دیگر قوانین ملی و در سطح دولتی، از جمله قانون آب پاک، استانداردهای کیفیت آب در سطح ایالت، و حداکثر استانداردهای روزانه (TMDL)<sup>۱۸</sup>؛ قانون کنترل داروی حشره کش فدرال، قارچ کش، و جونده کش، و مواد سمی است. علاوه بر این، سازمان حفاظت محیط زیست و غذا و دارو موضوع مصارف مربوط به آلودگی جیوه را بررسی می‌کند. استفاده از فشارهای بحرانی به ارزیابی و محدود کردن رسوب از ترکیبات اسید و مواد مغذی نیز ممکن است مرتبط باشد. مفهوم ظرفیت‌های بحرانی در حال حاضر در اروپا در زمینه ایجاد استانداردهای کنترل انتشار جابه‌جایی دوربرد آلودگی هوا برای SOX و NOx استفاده می‌شود. هر چند آن هنوز مفهوم نوپایی در رویکردهای زیست‌محیطی ایالات متحده است، بسیاری از تلاش‌های ایالتی و استانی برای اعمال استراتژی فشارهای بحرانی برای مناطق مختلف شمال آمریکا وجود دارد.



جدول شماره ۲. استانداردهای کیفیت هوای ازون (AQS) در PPB (ناهنجاری ازون در هر مول هوای خشک). می‌توان به استانداردهای مختلف ملی و بین‌المللی و هم‌چنین تخمین برای عرض‌های میانه شمالی از پیشینه‌های ماقبل صنعتی (به عنوان

مثال، فراوانی ازون با تمام تولید گازهای گلخانه‌ای انسانی  $\text{NO}_x$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{VOC}$ ، و  $\text{CH}_4$ ، قطع شده قبل از اقلیم موجود و تغییر ازون استراتوسفر) و فراوانی کنونی پایه اشاره کرد. قبل از سال ۲۰۰۸ استانداردهای کیفیت هوا ۰.۸ بود، که از طریق دور عددی بدان معنی است که نقض استانداردهای کیفیت هوا ۸۵ PPB یا بیشتر بود (D. J. Jacob, personal communication, 2009).

ازون تروپوسفری گاهی اوقات در طول قرن ۲۰ به علت افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای پیش‌سازها شامل متان افزایش یافته است. بررسی جامع روندهای ازون نیمکره شمالی توسط وینگارزان<sup>۱۹</sup> (۲۰۰۴)، کیپ<sup>۲۰</sup> (۲۰۰۸) و انجمن رویال<sup>۲۱</sup> (۲۰۰۸) ارائه شده است. روندهای ازون قابل ملاحظه از مکانی به مکان دیگر متفاوت است.

## ۲-۷. سیاست و مفاد تنظیم مقررات

مقررات ایالات متحده در حال حاضر برای جیوه به عنوان مخاطرات آلاینده هوا در اصلاحات قانون هوای پاک سال ۱۹۹۰ محدود شده است. در ماه مارس سال ۲۰۰۵، EPA برای حذف صنعت برق از لیست تلاش کرد، به جای آن برای توسعه برنامه سقف انتشار و تجارت اجازه داد که به نام قانون هوای پاک جیوه نامیده می‌شود.<sup>۲۲</sup> این قانون توسط دادگاه استیناف DC در فوریه ۲۰۰۸ تعطیل شده و آینده این قانون نامشخص است (Milford and Pienciak, 2009). بحث برنامه محیط زیست ملل متحد، اتحادیه اروپا، آمریکا، مکزیک و کانادا درباره چگونگی مقدار این آلاینده فرامرزی در حال ارزیابی است. از آنجا که جیوه یک آلاینده جهانی است، کاهش رسوب جیوه در اکوسیستم آبی و خشکی در نهایت نیاز به یک پروتکل بین‌المللی دارد. در فوریه ۲۰۰۸ شورای حکومتی UNEP به این نتیجه رسیدند که تلاش برای کاهش خطرات ناشی از جیوه، برای رسیدگی به چالش‌های جهانی جیوه کافی نبوده و اقدامات بیشتر بین‌المللی در دراز مدت نیاز است.<sup>۲۳</sup>

جیوه طبیعی موجود در جو به عنوان مخزن جهانی است که ترکیبی از جیوه منتشر شده از تمام منابع توصیف شده است (Lindberg et al, 2007). غلظت بیشتر جیوه اتمسفر برای مناطقی که به طور مستقیم توسط منابع انسانی و طبیعی تحت تأثیر قرار گرفته گزارش شده است. کاهش غلظت جیوه هوا در مقیاس منطقه‌ای برای مناطقی که تولید گازهای گلخانه‌ای انسانی کاهش یافته نیز گزارش شده است (Wangberg et al, 2007). با این حال مجموعه داده‌های غلظت هوای دوربرد محدود است و شکاف قابل توجهی در پوشش مکانی و زمانی وجود دارد (Keeler et al, 2009).

غلظت RGM و Hgp در هوا به طور معمول ده‌ها Pg بر متر مکعب است. در مناطق قاره‌ای دور دست اغلب اوج غلظت RGM در طول روز و کاهش آن به صفر در شب صورت می‌گیرد (see references listed in Ebinghaus, 2008). RGM و HGP به طور مستقیم توسط منابع نقطه‌ای خاص منتشر می‌شود. در حالی که ماهیت دقیق این اکسیداسیون شناخته نشده است، شواهدی وجود دارد که این روند در لایه مرزی قطب شمال (Dommergue et al, 2008) لایه مرزی دریایی (Laurier et al, 2008) سطح لایه مرزی (Peterson and Gustin, 2008) تروپوسفر آزاد (Sillman et al., 2007) و احتمالاً در استراتوسفر رخ می‌دهد. تعداد کمی از مطالعات RGM مرتفع در ارتفاعات بالا با استفاده از قله کوه و سکوهای نمونه‌گیری هوایی گزارش کرده‌اند (Sillman et al, 2007). فرونشینی هوا از تروپوسفر و همرفت آزاد در حال اختلاط ممکن است در جیوه و به طور خاص RGM از مخزن جهانی به سطح حاصل شود. عرصه و کار مدل‌سازی اخیر نشان می‌دهد که این در نوادا

19. Vingarzan

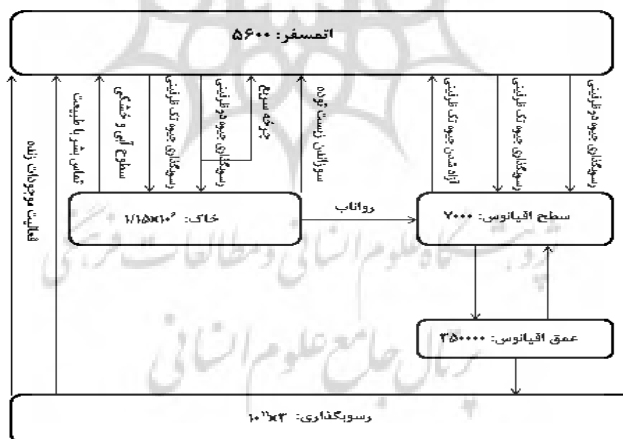
20. Cape

21. Royal Society

22. Clean Air Mercury Rule (CAMR)

23. <http://www.chem.unep.ch/>

(Weiss-Penzias et al, 2009) و در جنوب شرقی ایالات متحده مهم است و عمل اکسیداسیون جیوه در تروپوسفر آزاد و جابه‌جایی بعدی به سطح می‌تواند یک روش مهم باشد که توسط آن جیوه در مخزن جهانی نگهداری شده است. اخیراً UNEP انتشار گازهای گلخانه‌ای سالانه فعلی جیوه وارد شده به جو را در حدود ۸۰۰۰ میلی‌گرم در سال برآورد می‌کند، در حدود یک سوم به‌طور مستقیم از منابع انسانی اخذ شده است. منابع طبیعی هر سال به میزان یک سوم از اضافات جریان کل سطحی به هوا نقش داشته است. باقی‌مانده ورودی جیوه سالانه به جو هنوز بین مخازن سطحی و اتمسفر در حال چرخش است، زیرا جیوه تخریب نمی‌شود، یکبار از یک منبع ساطع شده ممکن است تبدیل به یک جزء از مخزن میرا شود تا برخی از فرآیندها (ژئوفیزیکی، ژئوشیمی، بیولوژیکی) در بلندمدت جداسازی و حذف شود. منابع اصلی انسانی جیوه جو، احتراق زغال سنگ، سوزاندن ضایعات، گیاهان کلر قلیایی و فرآیندهای فلزی هستند. با این حال موجودی انتشار آلاینده‌ها در حال تحول با منابع جدید در حال شناسایی و برآورد برای منابع خاص و کشورهای در حال توسعه درجه بالایی از عدم اطمینان دارد. بر اساس گزارش UNEP، برآورد می‌شود چین و هند به ترتیب مشارکت ۴۲ و ۲۰ درصدی از انتشار انسانی فعلی جهانی داشته باشند، در حالی که شمال آمریکا ۹ درصد مشارکت دارند. به‌عنوان مثال، رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه با افزایش احتراق سوخت‌های فسیلی پیش‌بینی شده است. وو و همکاران<sup>۲۴</sup> (۲۰۰۶)، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای جیوه در چین را ۳ درصد در سال ۱۹۹۵-۲۰۰۳ در درجه اول به دلیل افزایش احتراق زغال سنگ برآورد می‌کنند. استریس و همکاران<sup>۲۵</sup> (۲۰۰۹) معقدند تغییر انتشار جیوه انسانی ممکن است در هر نقطه محدوده‌ای از ۴- تا ۹۶+ درصد تا سال ۲۰۵۰ پیدا کند، که به آینده ابزار انتشار سوخت زغال سنگ بستگی دارد. تخمین منابع منحصر به فرد نیز عدم قطعیت قابل توجهی در حدود  $\pm 25$  درصد احتراق سوخت‌های فسیلی،  $\pm 30$  درصد برای تولید فلزات غیر آهنی و منابع صنعتی و  $\pm 50$  درصد برای تولید طلا برآورد می‌شود (Lindberg et al, 2007).



جدول شماره ۳. مخازن عمده و جریان در چرخه بیوژئوشیمیایی جیوه جهانی برگرفته از سلین<sup>۲۶</sup> و همکاران (۲۰۰۸) و پیرون و میسون<sup>۲۷</sup> (۲۰۰۹). مخازن جیوه در کادرهای بسته به واحد میلی‌گرم نشان داده شده است. انتشار جیوه از فعالیت موجودات زنده به جو از مناطق با فعالیت‌های آتش‌فشانی و زمین‌گرمایی در حال انجام و از

24. Wuet al  
25. Streets et al  
26. Selin  
27. Pirrone and Mason



بسترهای با غلظت جیوه بالا غنی شده توسط فعالیت‌های زمین‌شناسی گذشته با پیشینه طبیعی بیشتر از ۱۰۰ PPB برآورد می‌شود (Wedepohl, 1995). انتشار جیوه از بسترهای طبیعی غنی‌سازی شده در محدوده‌ای از ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در سال برآورد می‌شود (Gustin et al, 2008). محدوده انتشار از سیستم‌های آتشفشانی بزرگ برآورد می‌شود (Gustin and Lindberg, 2005). تنها برآورد جهانی برای انتشار زمین‌گرمایی، یک منبع ۶۰ میلی‌گرم در سال را نشان می‌دهد (Varekamp and Buseck, 1984). هر دو انتشار گازهای گلخانه‌ای آتشفشانی و زمین‌گرمایی به‌طور موقت بسته به نوع فعالیت متغیر خواهد بود.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



جدول شماره ۴. انتشار گازهای گلخانه‌ای انسانی جهانی توسط مناطق و کشورها

شماره	سال ارجاع	مجموع	موارد دیگر	دفع زیاله	تولید طلا	تولید جیوه	تولید نوشابه گازدار	تولید سیمان	تولید چدن و فولاد	تولید فلزات غیر آهنی	احتراق ثابت
۱	۲۰۰۷	۲۱/۸	۰/۹	۱/۴	۲/۳	۰	۰	۳/۸	۱/۳	۰/۴	۱۱/۸
۲	۲۰۰۳	۶۹۷/۸	۱۱/۳	۱۰/۴	۱۳۳/۴	۲۷/۸	۰	۳۵	۸/۹	۲۰۳/۳	۲۶۸/۰
۳	۲۰۰۴	۳۲۷/۸	۸	۷۷/۴	۰/۵	۰	۱۰۶	۰	۲/۹	۱۲/۱	۱۲۰/۹
۴	۲۰۰۵	۱۶	۰/۶	۰/۲	۰/۳	۰	۰/۳	۰/۸	۰/۸	۱۱/۶	۲/۲
۵	۲۰۰۰	۲۳۹/۳	۱۵/۳	۱۱/۶	۰	۰	۴۰/۴	۳۰/۲	۱۲/۵	۱۵/۴	۱۱۳/۹
۶	۲۰۰۱	۳۸/۵	۰/۳	۳/۶	۳/۳	۰	۱/۲	۱/۶	۲/۶	۷/۲	۱۸/۷
۷	۲۰۰۳	۱۴۴/۷	۱/۷	۱۳/۰	۰	۰	۱۰/۳	۷	۱۲/۸	۳۴/۷	۶۵/۲
۸	۲۰۰۰	۱۵۹/۷	۰	۰	۶۷/۶	۲۲/۸	۵	۶/۵	۱/۴	۲۵/۴	۳۱
مجموع		۱۶۴۵/۶	۳۸/۱	۱۱۷/۶	۲۰۷/۴	۵۰/۳	۱۶۲/۹	۸۴/۴	۴۳/۲	۳۱۰/۱	۶۳۱/۷

References: (1) Leaner et al, 2008; (2) Streets et al, 2008; (3) Mukherjee et al, 2008; (4) Nelson, 2007; (5) Pacyna et al, 2006b; (6) ACAP, 2005a, b; (7) Pirrone, 2008; (8) Pacyna et al, 2006a.

آتش سوزی (سوزاندن بیوماس) به انتشار جیوه به درون هوا کمک می‌کند، که با انتشار ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم در سال برآورد می‌شود (Weiss-Penzias et al, 2007). در حالی که اغلب مواد انتشاری از آتش سوزی در قالب جیوه تک ظرفیتی است، ذرات محدود جیوه ممکن است بخشی از جیوه منشر شده باشد (Finley et al, 2009). جیوه به دست آمده از این منبع تا حد زیادی جیوه میرا است. برخی از اجزای جیوه در دوران آتش سوزی ممکن است از خاک گرفته شده و منتشر شود. اهمیت جیوه نامشخص و به احتمال زیاد در ارتباط با شدت آتش است (Gustin et al, 2008). جیوه از سطوح خشکی و آبی (غنی سازی نشده توسط فرآیندهای زمین شناسی) و اقیانوس های طبیعی و انسانی منتشر شده است. اغلب جیوه منتشر شده از قبل را می‌توان برای ورودی‌های از جو به حساب آورد (Gustin et al, 2008; Hartman et al, 2009). مطالعات اخیر نشان داده که اکوسیستم های زمینی، یک چاهک ویژه برای جیوه جو هستند. نقش کلی اقیانوس ها به عنوان یک چاهک و یا منبع برای جیوه جو و نقش نسبی جیوه میرا و طبیعی مورد بحث است. ورودی های اتمسفر به اقیانوس تقریباً با انتشار گازهای گلخانه ای اقیانوس برابر بودند (Mason et al, 1994). اما تعادل توده جهانی به تازگی نشان داده که اقیانوس ها نیز یک چاهک ویژه ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی گرمی در سال هستند (Sunderland and Mason, 2007). همچنین یک مطالعه مبتنی بر مدل نشان داده که اکثر انتشار گازهای گلخانه ای اقیانوسی، جیوه میرا هست (Strode et al, 2007). رسوبات اقیانوس، شاخ و برگ گیاهان و مناطق قطبی چاهک هایی برای جیوه اتمسفر هستند. در حالت دوم، یک چاهک کوچک که در آن جیوه تک ظرفیتی به RGM توسط ترکیبات برم جوی (بیشتر از ۱۰۰ میلی گرم در سال) اکسیده شده در نظر گرفته می‌شود (Dastoor et al, 2008). پس از تشکیل، RGM در برف ته نشین شده، با یک بخش در اکوسیستم باقی مانده و بقیه بخار می‌شود و به اتمسفر بر می‌گردد (Kirk

(et al, 2006). شاخ و برگ گیاه، چاهک قابل توجهی برای جیوه تک ظرفیتی اتمسفر است (Gustin and Lindberg, 2005) و لاشبرگ گیاه مخزن قابل توجهی است (Lindberg, 2005) Gustin and Strode et al, 2007; ) حذف نهایی جیوه از سیستم و جو اقیانوس زمین از طریق ته نشینی ذرات جیوه به اعماق اقیانوس رخ می دهد که در آن رسوبات گنجانیده شده است (Sunderland and Mason, 2007). مطالعات مدل سازی نشان می دهد که مقیاس زمانی برای حذف اینها هزاران سال است (Selin et al, 2008).

## جمع بندی و نتیجه گیری


مطالعات مشاهده ای و مدل سازی ها نشان داده اند که مقادیر قابل توجهی از آلاینده ها از مسافت های دور به سوی مناطق منتقل می شوند. شرایط آب و هوایی منجر به انباشته شدن هوای آلوده بر روی سواحل شرقی آسیا و آمریکا در عرض های میانی در تروپسفر آزاد می شوند. مشاهدات ماهواره ای و همچنین اندازه گیری ها در ارتفاع بالا، تروپوسفر آزاد، عبور توده هوای های آلوده را از اقیانوس آرام و اطلس نشان می دهند. آمیختن مکان دقیق آلودگی در سطح زمین به خوبی مشخص نیست و در نتیجه این سؤال مطرح می شود که در چه حد و در کجا، آلودگی های دوربرد از گازهای گلخانه ای می تواند کیفیت هوای محلی را تحت تأثیر قرار دهد. سایر مکانیسم ها که هوای آلوده را در مقیاس های بزرگ جابه جا می کنند، در ارتفاعات پایین تر و در عرض های پایین تر به خوبی مشخص نیستند. با این حال مدل های جابه جایی مواد شیمیایی در اتمسفر، وقوع آلودگی ها را در سطح زمین به خوبی پیش بینی می کند که دلیل این پیش بینی، جابه جایی آلودگی ها در مقیاس بزرگ و ارتفاع کم و همچنین اندازه گیری هایی که در سطح زمین در طی زمان به وضوح قابل تشخیص است. بدین ترتیب، جابه جایی آلاینده ها در مقیاس بزرگ، از منابع خارجی تحت شرایطی، تأثیر قابل توجهی بر روی غلظت محیطی کشورها می گذارد و اهداف محیط زیستی به درجات مختلف از منابع غیر داخلی تأثیر می پذیرند. به طور مشابه، جابه جایی بزرگ مقیاس آلاینده ها با منشأ ایالات متحده، می تواند به طور قابل توجهی کیفیت هوا و دیگر نگرانی های زیست محیطی را در مناطقی دیگر (به عنوان مثال، شمال و مرکز اروپا، قطب شمال) تحت تأثیر قرار دهد. مؤثرترین روش برای بهبود توانایی های ما برای تشخیص و توصیف اثرات فعلی آلاینده های بزرگ مقیاس و پیش بینی روند آنها در آینده نیاز به توسعه و اجرای یک سیستم مدل سازی و مشاهده ای یکپارچه از اسناد و منابع آلاینده است.

مؤلفه های کلیدی شامل:

- سناریوهای انتشار آلاینده های چندگانه، مناطق کلیدی منشأ آلاینده ها را که فعالیت قابل توجهی دارند بسیار دقیق تر، مطمئن تر و به موقع شناسایی می کنند (از جمله منابع مرتبط با محیط زیست طبیعی).
- مشاهدات ماهواره ای با تصویربرداری متوالی در طیف های وسیع از آلاینده های مهم اولیه و ثانویه با وضوح افقی و عمودی مناسب جهت شناسایی رویدادهای بزرگ مقیاس و بررسی و برآورد انتشار گازهای گلخانه ای با مدل سازی معکوس.
- طراحی محل های نظارت بر آلاینده های چندگانه در سطح زمین و سنجش غلظت نیمرخ عمودی در محل گیرنده های هوشمند با قابلیت های اندازه گیری به منظور ردیابی آلاینده ها با منشأ خارجی و تعیین نسبت های اصلی آلاینده ها و سایر اطلاعات ضروری.
- مدل های جابه جایی مواد شیمیایی توان استفاده از تکنیک های معکوس را برای برآورد گازهای گلخانه ای، امکان برآورد بهتر منابع آلاینده، و روند پیش بینی را براساس اطلاعات سناریوها و انتشار گازهای گلخانه ای در آینده و شرایط تغییر اقلیم بهبود می بخشد.

سناریوهای اقتصادی و اجتماعی در حال حاضر در سطح جهانی اثرات کیفیت هوای نامطلوب از منابع دور از آلودگی را پیش‌بینی می‌کنند که به احتمال زیاد موجب افزایش نگرانی در ایالات متحده و سایر کشورهای شده که مصمم به فراهم کردن هوای پاک برای شهروندان خود و اکوسیستم آنها هستند. افزایش مشاهدات جو، مدل‌های جابه‌جایی مواد شیمیایی، تجزیه و تحلیل روند، شناخت درست از مواد شیمیایی آلوده و تحولات فیزیکی، موجودی انتشار و اهمیت حیاتی برای کمیت بهتر چنین اثراتی را پیش‌بینی خواهد کرد.

جو مناطق به طور کامل به هم متصل‌اند، و انتشار آلودگی در هر کشوری می‌تواند جمعیت، اکوسیستم، خواص آب و هوایی را به خوبی فراتر از مرزهای ملی تحت تأثیر قرار دهد. به همین ترتیب، اقدامات انجام‌شده برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در هر منطقه می‌تواند مزایایی داشته باشد که در سراسر نیم کره شمالی پراکنده هستند. روشن است آلودگی‌های محلی می‌تواند منابع جهانی را تحت تأثیر قرار دهد؛ هر چند در بسیاری از موارد کیفیت هوا با تولید گازهای گلخانه‌ای محلی نقض می‌گردد. صرف نظر از جایی که سرچشمه آلودگی است، حفاظت از سیستم‌های انسانی و زیست‌محیطی از سطوح خطرناک آلودگی باید هدف اصلی برنامه‌ریزان باشد. هدف از این مطالعه، تقویت تلاش‌های داخلی کنترل آلودگی در هر سطح مورد نیاز برای اطمینان از اینکه قرار گرفتن جمعیتی در معرض آلودگی (از منابع محلی، منطقه‌ای، و از راه دور) از سطوح مشخصی تجاوز نکند. کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای دوردست در کیفیت هوای محلی نمی‌تواند تنها با تلاش‌های داخلی به دست آید. اقدام مشترک و بین‌المللی دولت‌ها نیاز است تا بررسی‌ها را از جابه‌جایی‌های دوربرد از آلودگی و اثرات آن دنبال کنند، و با استفاده از آن شناخت به کنترل مؤثر تولید گازهای گلخانه‌ای از منابع داخلی و خارجی پردازند.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



پښتو ښکته علمون انساني و مطالعات فرېښتې  
پرتال جامع علمون انساني