

نشریه زمین بان

نشریه علمی، اجتماعی، فرهنگی | گاهنامه شماره ۳ / تابستان ۱۴۰۴

«هوا، نامرئی ترین بحران قرن»



دانشگاه علوم پزشکی گیلان

فهرست

۳	سخن سردبیر و سخن مدیر مسئول
۴	گفت و گو با اساتید
۵	کاربرد نانوفناوری در حذف ترکیبات BTEX
۷	جزایر حرارتی شهری : پدیده ای مدرن با پیامدهای جهانی
۱۰	هوای پاک تر : نجات بخش یا شتاب دهنده بحران ؟ پارادوکس کاهش آلودگی هوا و تشدید گرمایش جهانی
۱۲	رد پای کربن: مفهومی کلیدی در مقابله با تغییرات اقلیمی

۱۵	نقش تغییرات اقلیمی در تشدید آلودگی هوای شهری و اثرات آن بر سلامت
۱۷	اقتصاد سبز و تاثیر آن در کاهش آلودگی هوای شهری
۱۹	جوهر هوا: وقتی آلودگی به هنر و نوآوری تبدیل می شود
۲۳	تجربه های موفق کشورهای مختلف در مقابله با آلودگی هوا
۲۶	آلودگی هوا و عدالت محیط زیستی
۲۹	نقش فناوری های نانو در کاهش آلودگی هوا
۳۲	نقش پهنپایها در پایش سه بعدی آلودگی های جوی و ردیابی خاستگاه های انتشار
منابع	
۳۷	

صاحب امتیاز : جناب آقای دکتر مجید هاشمی
 موسس و مدیر مسئول : سرکار خانم فاطمه رحیمی
 سردبیر: سرکار خانم دکتر مریم دولت آبادی
 دبیر علمی : سرکار خانم فاطمه رحیمی
 دبیر اجرایی : سرکار خانم فاطمه شیروانی
 ویراستار : سرکار خانم دکتر مریم دولت آبادی
 طراح : راضیه ارم روشن

هیئت تحریریه :

خانم فاطمه شیروانی

خانم فاطمه رحیمی

خانم زهرا سبک خیز

آقای سبحان قنبری

آقای رضا جمشیدی

آقای احمد زارعی

خانم زهرا بهجتی

خانم فاطمه حسن زاده

خانم ندا ادهمی

خانم حنانه ترک زاده

خانم انیس حاج غنی

خانم محدثه السادات حسینی مقدم

جهان امروز بیش از هر زمان دیگری نیازمند آگاهی و اقدام در برابر تهدیدهای زیست‌محیطی است. در چنین شرایطی، هر ایده و هر تجربه می‌تواند چراغ راهی برای آینده‌ای سالم‌تر باشد. امروزه پیچیدگی فزاینده مسائل زیست‌محیطی نظیر آلودگی منابع آب‌وهوا، مدیریت ناکارآمد پسماند، تغییرات اقلیمی و گسترش آلاینده‌های نوظهور، توجه به این حوزه را، دوجندان کرده است. در چنین بستری، نقش تحقیقات علمی در شناسایی ریشه‌های بحران، ارائه راهکارهای کارآمد و هدایت سیاست‌گذاری‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. نشریه «زمین بان» باهدف توسعه دانش تخصصی، ارتقاء سطح علمی جامعه دانشگاهی و تقویت پیوند میان پژوهش و عمل در حوزه‌های مرتبط با سلامت و بهداشت محیط منتشر می‌شود. این نشریه می‌کوشد با انتشار مطالب علمی فضای مناسبی برای تبادل اندیشه‌ها، اشتراک‌گذاری نتایج پژوهش‌ها و گسترش ادبیات علمی فراهم آورد. امید است این نشریه، سهمی هرچند کوچک در ارتقاء سلامت عمومی، حفاظت از محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار ایفا نماید. ما باور داریم که تغییر از آگاهی آغاز می‌شود. به همین دلیل تلاش کرده‌ایم تا نشریه‌ای پویا، علمی و کاربردی فراهم کنیم که در خدمت جامعه علمی و تصمیم‌سازان باشد. از شما دعوت می‌کنیم با ارسال مقالات و نظراتان، در ساختن آینده‌ای سبزتر و سالم‌تر با ما همراه شوید.

سخن مدیر مسئول

نویسنده: خانم فاطمه رحیمی (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط)

ایمیل: Rahiimii.fateme.h.r@gmail.com

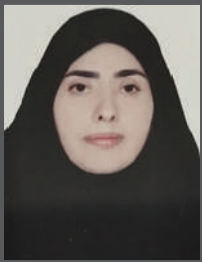


به نام آن که زمین را امانتی در دست انسان قرار داد

با عرض سلام و احترام خدمت شما خوانندگان گرامی، اعضای محترم هیئت علمی و دانشجویان پر تلاش هر شماره از نشریه زمین بان برای ما شبیه نهالی تازه است که با همت جمعی، در خاک علم کاشته و با آب همدلی سیراب می‌شود. این شماره نیز ثمره تلاش و همیاری خانواده بزرگ بهداشت محیط است؛ خانواده‌ای که ریشه‌هایش در دانشگاه علوم پزشکی کرمان گسترده شده و شاخه‌هایش به دانشگاه‌های دیگر کشور می‌رسد. افتخار داریم که در این شماره، علاوه بر همراهی پرشور اعضای هیئت علمی و تیم دانشجویی پرتلاش دانشگاه، حضور ارزشمند چند تن از دانشجویان و فارغ‌التحصیلان رشته بهداشت محیط از دیگر دانشگاه‌ها را نیز تجربه می‌کنیم. این هم‌نشینی علمی و فکری، نشان می‌دهد که مرزهای جغرافیایی، هرچند دانشگاه‌ها را جدا می‌کند، اما رسالت مشترک، ما را در یک مسیر واحد قرار می‌دهد؛ مسیری که مقصدش، سلامت انسان و پاسداری از زمین است.

بهداشت محیط تنها یک رشته دانشگاهی نیست؛ عهدی است میان ما و آیندگان. عهدی برای محافظت از آبی که می‌نوشیم، هوایی که نفس می‌کشیم و زمینی که بر آن زندگی می‌کنیم. در روزگاری که محیط زیست با تهدیدهای بی‌سابقه روبه‌روست، هر گام علمی و هر تبادل تجربه، چراغی است که مسیر آینده را روشن‌تر می‌کند. امیدوارم آنچه در این شماره می‌خوانید، نه فقط اطلاعاتی تازه، بلکه انگیزه‌ای باشد برای نگاه دوباره به مسئولیت‌های فردی و جمعی‌مان. از شما، خوانندگان گرامی، دعوت می‌کنم با مطالعه، نقد و همراهی، ما را در بالیدن این نهال یاری دهید؛ چرا که این مسیر، با هم آغاز شده و با هم ادامه خواهد یافت.

با احترام و آرزوی فردایی سبزتر



گفت و گو با اساتید

گفت‌وگو با سرکار خانم دکتر حکیمه مهدیزاده عضو هیات علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان.

پرواز از همین خاک، با بال‌های ایمان و تلاش:

در مسیر پرفراز و نشیب دانشگاه، گاهی وجود اساتیدی که فراتر از انتقال علم، با رفتار و نگاهشان الهام‌بخش دانشجویان می‌شوند، نعمتی بزرگ است. در این شماره از نشریه، فرصتی دست داد تا پای صحبت‌های صمیمانه یکی از این اساتید بنشینیم: سرکار خانم دکتر حکیمه مهدیزاده، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، ایشان مسیر علمی خود را از همین دانشگاه آغاز کرده، امروز به الگویی برای دانشجویان رشته بهداشت محیط تبدیل شده است.

انگیزه؛ پیوند درونی و الهی

اولین سوال ما درباره انگیزه بود، همان نیرویی که چراغ راه تلاش در مسیر سخت دانشگاه است. خانم دکتر مهدیزاده با لحنی آرام و سرشار از ایمان پاسخ می‌دهد: "برای من، بزرگ‌ترین انگیزه این است که کاری انجام دهم که مورد رضایت خداوند باشد. او معتقد است که خداوند هر انسانی را برای هدفی خاص آفریده و وظیفه ماست که برای رسیدن به آن هدف، تمام توانمان را به کار بگیریم. این نگاه، معنایی عمیق به کار می‌بخشد و مسیرهای سخت را قابل پیمودن می‌کند. از نظرایشان، انگیزه واقعی باید هم درونی و هم الهی باشد؛ چیزی که هم انسان را خوشحال کند و هم باعث آرامش وجدانش شود.

موانع؛ نه ایستگاه توقف، پیچ‌های تغییر مسیر

وقتی صحبت از موانع شد، خانم دکتر مهدیزاده انعطاف‌پذیری را کلید حل مشکل دانست. در زندگی همیشه موانعی وجود دارند؛ برخی قابل حل‌اند و برخی نه. ایشان ابتدا برای هر مانعی راه‌حل پیدا می‌کند، اما اگر راه‌حلی وجود نداشته باشد، با انعطاف، مسیرش را تغییر می‌دهد. این دیدگاه نشان می‌دهد که نباید در برابر مشکلات متوقف شد، بلکه باید با ذهنی باز به دنبال راه‌های جدید گشت. ایشان در ادامه به بزرگ‌ترین چالش دوران دانشجویی خود اشاره می‌کند: "کمبود امکانات و نبود استادان متخصص که بتوانند همراه و راهنمای من باشند؛ در آن دوران احساس تنهایی علمی می‌کردم، اما با تکیه بر انگیزه شخصی و جست‌وجوی منابع مختلف، این خلأ را جبران کردم.

یک استاد و هزاران خواهر و برادر

نگاه خانم دکتر مهدیزاده به دانشجویان، سرشار از مهر و دلسوزی است، ایشان بیان کردند: "همه دانشجویان قابل احترام‌اند و هرگز دانشجویی نداشته که بخواهد از او فرار کند و همه آن‌ها را مثل خواهر و برادر خود می‌داند" همچنین گفتند در ذهن من، دانشجویانی ماندگار می‌شوند که با چالش‌های جدی روبه‌رو شده‌اند، اما تسلیم نشده‌اند. همیشه از آن دسته از دانشجویانی یاد می‌کنم که در ابتدا ضعیف‌تر از بقیه به نظر می‌رسیدند، اما با برقراری ارتباط با اساتید و پیدا کردن انگیزه، توانستند مسیرشان را ادامه دهند و موفق شوند.

از نقاشی تا سفر؛ دنیای یک استاد در اوقات فراغت

در بخش دیگری از گفت‌وگو، خانم دکتر مهدیزاده از علایق شخصی‌یشان صحبت کرد. ایشان اظهار نمودند در اوقات فراغت به مطالعه کتاب و ورزش علاقه دارند. نقاشی نیز از علاقه‌های قلبی اوست، هرچند به دلیل مشغله کاری، زمان کافی برای آن ندارد. همچنین اهل سفر و طبیعت‌گردی است و سفر را فرصتی برای تجدید قوا می‌داند.

سخن پایانی: اراده کن و حرکت را متوقف نکن

در پایان این گفت‌وگوی صمیمانه، خانم دکتر مهدیزاده توصیه بسیار مهمی به دانشجویان رشته بهداشت محیط داشت: "برای علاقه‌تان بجنگید". ایشان از دانشجویان خواستند اگر این رشته را دوست دارند، با تمام وجود ادامه دهند و اجازه ندهند هیچ مانعی آن‌ها را متوقف کند. همچنین تأکید کردند که اگر شرایط بر وفق مراد نبود، باید خودشان شرایط را تغییر دهند یا برای خود انگیزه و علاقه بسازند. با نگاهی به گذشته برای درس گرفتن و امید به آینده، می‌توان آینده را ساخت، "فقط باید اراده کرد و حرکت را متوقف نکرد".



نویسنده: خانم فاطمه شیروانی

کارشناس مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: Yalda.shirvani82@gmail.com

کاربرد نانوفناوری در حذف ترکیبات BTEX

ترکیبات BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن‌ها) به دلیل فراریت، سمیت و گستردگی منابع آن‌ها (صنایع پتروشیمی، سوخت ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی) از آلاینده‌های مهم زیست محیطی به شمار می‌آیند. در دهه‌های اخیر، نانومواد و سامانه‌های مبتنی بر نانوفناوری، از جمله نانوذرات فلزی و اکسیدی، نانولوله‌ها، گرافن، چارچوب‌های فلزی-آلی و نانوذرات مغناطیسی؛ به عنوان راهکارهای مؤثر برای جذب، جداسازی و تجزیه فوتوکاتالیستی BTEXs توسعه یافته‌اند. در این بخش با تکیه بر پیشرفت‌های علمی-پژوهشی در سال های ۲۰۲۳-۲۰۲۵ در این زمینه، مزایا و محدودیت‌های هر گروه از نانومواد را بازمی‌شمارد و چشم‌انداز کاربردی‌سازی آن‌ها را بررسی می‌نماید.

BTEXs به دلیل حلالیت محدود در آب و تمایل به نشر در فاز گازی، چالشی دوگانه برای سیستم‌های تصفیه‌ی آب و هوا ایجاد می‌کند. روش‌های متداول مانند جذب با کربن فعال، ته‌نشینی و برخی فرآیندهای شیمیایی یا بیولوژیکی به‌تنهایی اغلب ناکافی نبوده و یا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیستند. نانومواد به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، قابلیت عملکرد سطحی قابل طراحی و خواص کاتالیزوری منحصربه‌فرد، فرصت‌های جدیدی برای حذف موثرتر BTEXs فراهم کرده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که فرایند جذب سطحی با واکنش‌های اکسیداسیون پیشرفته یا فوتوکاتالیز می‌تواند کارایی حذف را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.

۱- جذب با نانومواد

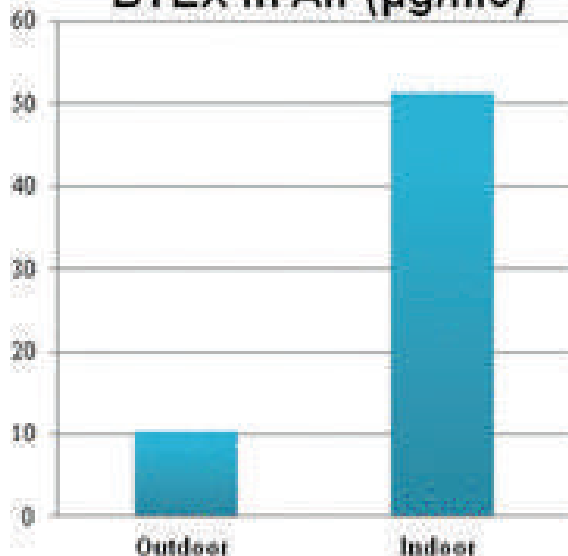
نانومواد کربنی (از جمله نانولوله‌های کربنی و گرافن/گرافن اکساید) به دلیل سطح ویژه‌ی بالا و قابلیت عملکرد سطحی برای جذب ترکیبات BTEX مناسب‌اند. اصلاح سطحی (اکسیداسیون، پیونددهی گروه‌های هیدروفوب/آروماتیک) به‌طور قابل‌توجهی ظرفیت و گزینش پذیری جذب را افزایش می‌دهد. علاوه بر کربن، مواد متخلخل نوظهوری مانند نانو ساختارهای تیتانیوم یا سیلیکا که منافذ قابل تنظیم دارند، ظرفیت جذب بالایی، برای مولکول‌های BTEX نشان داده‌اند.

۲- فوتوکاتالیست و اکسیداسیون پیشرفته

فرایند فوتوکاتالیستی با استفاده از نانوذرات نیم‌رسانا (ZnO، TiO_2) و ... یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌ها برای تجزیه‌ی کامل BTEXs شده تا نهایتاً این ترکیبات به CO_2 و H_2O که بی‌خطر هستند تبدیل شود.

asthma
preterm birth
oxidative stress
metabolic dysfunction
cardiovascular disease
sperm malformations
immune responses
low birth weight

BTEX in Air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



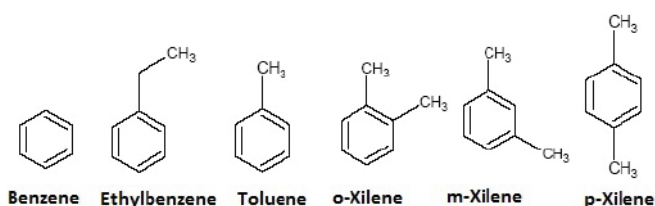
پیشرفت‌های اخیر شامل دوپینگ، ساخت هتروترکیب‌ها و استفاده از مواد پاسخگو به نور مرئی (visible-light active) است که امکان عملکرد در شرایط محیطی با نور خورشید یا نور مرئی را فراهم می‌کند. همچنین فناوری‌های «فتوکاتالیز خشک» برای حذف BTEXs از جریان‌های گازی صنعتی توسعه یافته‌اند که عملکرد بالا و امکان بازیافت کاتالیست را نشان می‌دهند. نکته‌ی کلیدی، جلوگیری از غیرفعال‌سازی کاتالیست و طراحی سامانه‌های قابل احیا می‌باشد.

۳- نانوذرات مغناطیسی و جداسازی ترکیبی

نانومواد مغناطیسی مانند Fe_3O_4 قادرند پس از جذب یا پیونددهی آلاینده‌ها با اعمال میدان مغناطیسی به راحتی از سیال جدا شوند؛ این ویژگی به‌ویژه در مجموعه‌های صنعتی و پایش میدانی اهمیت دارد. ترکیب نانوذرات مغناطیسی با پلیمرها یا لایه‌های عملکردی باعث افزایش پایداری، ظرفیت و قابلیت بازیافت می‌شود. مطالعات سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۲۴ نشان داده‌اند که نانوذرات مغناطیسی بیوسنتز شده یا پوشش دار شده می‌توانند هم برای جذب اولیه و هم برای حذف پس مانده‌ها در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته به کار روند.

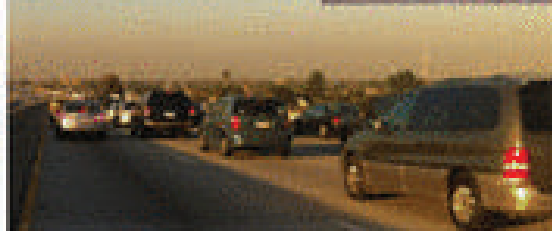
۴- غشاهای نانوکامپوزیتی و فیلترهای درون خطی

افزودن نانوذرات به ماتریس‌های غشایی (مثلاً PVDF با Fe_3O_4 یا نانوذرات کربنی) منجر به غشاهای با نفوذپذیری و انتخاب پذیری بهتر برای جداسازی BTEXs از آب و حتی جریان‌های گازی می‌شود. این روش‌ها برای به کارگیری در واحدهای تصفیه‌ی مقیاس کوچک و متوسط مناسب و دارای قابلیت ترکیب با فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته یا جذب سطحی‌اند. بازیافت نانوفیلترها و جلوگیری از ریزپراکندگی نانوذرات به محیط، از چالش‌های کلیدی در توسعه‌ی عملی این فناوری‌هاست. افزایش ظرفیت حذف، کاهش زمان تماس، قابلیت عملکرد تحت نور مرئی، جداسازی آسان با میدان مغناطیسی و امکان طراحی انتخاب‌پذیر برای گونه‌های BTEXs از دیگر مزایای آن‌هاست.



با این وجود چالش‌هایی نظیر هزینه‌ی تولید برخی نانومواد با ساختار کنترل‌شده، پایداری و غیرفعال‌سازی کاتالیست، مسائل زیست محیطی و سلامت نانومواد آزاد شده، و دشواری در مقیاس برداری تا سطح صنعتی نیز وجود دارند. همچنین، هنوز استانداردهای واضحی برای ارزیابی خطر نانوذرات در محیط و انسان، تکامل نیافته و نیاز به مطالعات طولانی مدت وجود دارد. نانوفناوری راهکارهایی قدرتمند برای حذف ترکیبات BTEXs عرضه کرده است؛ اما تبدیل این فناوری‌ها به راه‌حل‌های پایدار و اقتصادی نیازمند تحقیقات میان‌رشته‌ای، ارزیابی‌های زیستی و توسعه‌ی استانداردهای ایمنی است. ادغام فرایندهای جذب‌های سطحی مبتنی بر نانومواد با فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته و طراحی موادی که هم عملکرد بالا و هم بازیافت آسان داشته باشند، مسیر منطقی برای تجاری‌سازی و حفاظت از محیط زیست است.

Combustion and Evaporation





نویسنده: خانم زهرا سبک خیز

کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: zahrasabokkhiz.76@gmail.com



جزایر حرارتی شهری: پدیده‌ای مدرن با پیامدهای جهانی

گرمایی فراتر از حدانتظار

در دنیای امروز که بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند، پدیده‌ای به نام "جزایر حرارتی شهری" به یکی از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی و شهری تبدیل شده است. این پدیده به وضعیتی اشاره دارد که در آن دمای هوا در مناطق شهری به طور قابل توجهی بالاتر از مناطق روستایی اطراف است. این تفاوت دما می‌تواند تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر برسد، به ویژه در شب‌ها و یا در طی موج‌های گرمایی.

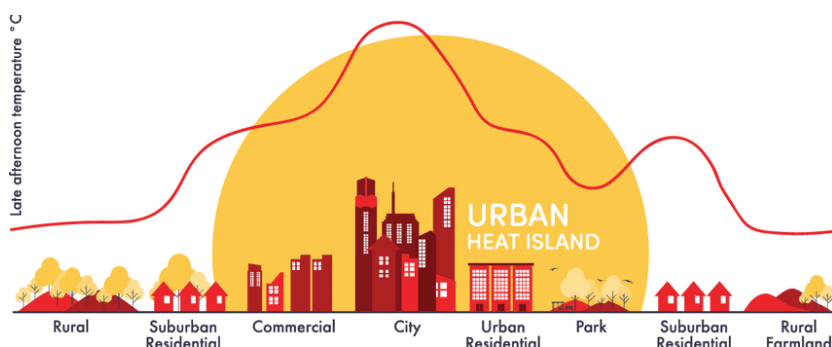
تاریخچه مطالعه این پدیده به اوایل قرن نوزدهم بازمی‌گردد. لوک هاوارد، دانشمند انگلیسی، در دهه ۱۸۱۰ برای اولین بار متوجه شد که مرکز لندن در شب‌ها گرم‌تر از حومه آن است. از آن زمان، تحقیقات گسترده‌ای انجام شده و اصطلاح "جزیره حرارتی شهری" در سال ۱۹۲۹ توسط آلبرت پیپلر آلمانی معرفی شد. با پیشرفت فناوری و افزایش شهرنشینی، تعداد مطالعات سالانه در مورد جزیره حرارتی شهری از حدود ۳۰ مورد در دهه ۱۹۹۰ به بیش از ۳۰۰ مورد در سال ۲۰۱۵ رسیده است. اکنون، به بررسی علل ایجاد جزایر حرارتی، اثرات آن بر سلامت، محیط زیست و مصرف انرژی، و راه‌حل‌های ممکن برای کاهش آن می‌پردازیم. با توجه به تغییرات آب و هوایی جهانی، درک و مقابله با این پدیده ضروری است تا شهرهای پایدارتر و قابل سکونت تری داشته باشیم.

علل ایجاد جزایر حرارتی شهری

جزایر حرارتی شهری نتیجه مستقیم فعالیت‌های انسانی و تغییرات در چشم‌انداز شهری است. از اصلی‌ترین علل آن می‌توان به جایگزینی سطوح طبیعی مانند خاک و پوشش گیاهی با مواد مصنوعی مانند آسفالت، بتن و ساختمان‌های تاریک اشاره کرد. این مواد نور خورشید را بیشتر جذب می‌کنند و گرما را ذخیره می‌کنند، که این امر منجر به افزایش دمای سطحی می‌شود. عامل دیگر، "اثر کانون شهری" است که در آن ساختمان‌های بلند، حرکت باد را مسدود کرده و جریان هوا را کاهش می‌دهند، که این امر خنک سازی طبیعی را مختل می‌کند. گرمای حاصل از منابع انسانی مانند خودروها، سیستم‌های تهویه مطبوع و صنایع نیز نقش مهمی دارد.

اثرات جزایر حرارتی شهری

جزایر حرارتی نه تنها دما را افزایش می‌دهند، بلکه اثرات گسترده‌ای بر سلامت انسان، محیط زیست و مصرف انرژی دارند.



اثرات بر سلامت:

افزایش دما، به ویژه در شب‌ها، فرصت خنک شدن بدن را کاهش می‌دهد و منجر به بیماری‌های گرمایی مانند سکته گرمایی و خستگی گرمایی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که در موج‌های گرما، مرگ و میر در شهرها تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد، به ویژه در میان افراد مسن، کودکان و افراد با بیماری‌های زمینه‌ای. علاوه بر این، گرما با افزایش آلاینده‌هایی مانند اوزون، دی‌اکسید کربن و ذرات معلق، کیفیت هوا را بدتر می‌کند، که این امر بیماری‌های تنفسی را تشدید می‌کند. از سوی دیگر، اثرات روانی نیز قابل توجه است. گرمای شدید با افزایش خشونت خانگی، سوءمصرف مواد و حتی کاهش عملکرد تحصیلی دانش آموزان مرتبط است.

اثرات بر محیط زیست:

جزایر حرارتی شهری تأثیرات گسترده‌ای بر محیط زیست دارند و اکوسیستم‌های محلی و منطقه‌ای را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. گرمای اضافی در شهرها الگوهای آب و هوایی را تغییر می‌دهند و باعث افزایش بارندگی، مه و رطوبت در مناطق اطراف، به ویژه در پایین‌دست شهرها می‌شود. این تغییرات می‌توانند فصل رشد گیاهان را طولانی‌تر کنند و چرخه‌های طبیعی مانند زمان گل‌دهی یا مهاجرت پرندگان را با مشکل مواجه کنند. علاوه بر این، سطوح گرم شهری مانند آسفالت و بتن، دمای آب باران را بالا می‌برند و هنگام ورود به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، اکوسیستم‌های آبی را به دلیل کاهش سطح اکسیژن محلول تهدید می‌کنند؛ همچنین، آب باران به جای نفوذ به زمین و تغذیه آب‌های زیرزمینی، روی سطوح غیرقابل نفوذ جاری شده که اغلب حاوی آلاینده‌هایی مانند روغن و مواد شیمیایی هستند که کیفیت آب را کاهش می‌دهند. از سوی دیگر، جزایر حرارتی شهری بر حیات وحش تأثیرات متفاوتی دارد؛ گونه‌هایی مانند خفاش‌های خاکستری در ملبورن به شهرهای گرم‌تر جذب می‌شوند، اما گونه‌های حساس به گرما ممکن است مهاجرت کنند یا کاهش جمعیت داشته باشند. حشرات مانند فلس‌های بلوط نیز در این محیط‌ها رشد بیشتری دارند و به پوشش گیاهی آسیب می‌رسانند. این اختلالات زنجیره‌های غذایی را به هم می‌زنند و تنوع زیستی را کاهش می‌دهند. برای کاهش این اثرات، افزایش فضاهای سبز و استفاده از مواد بازتابنده در شهرسازی ضروری است تا تعادل اکوسیستم‌ها حفظ شود.

افزایش مصرف انرژی:

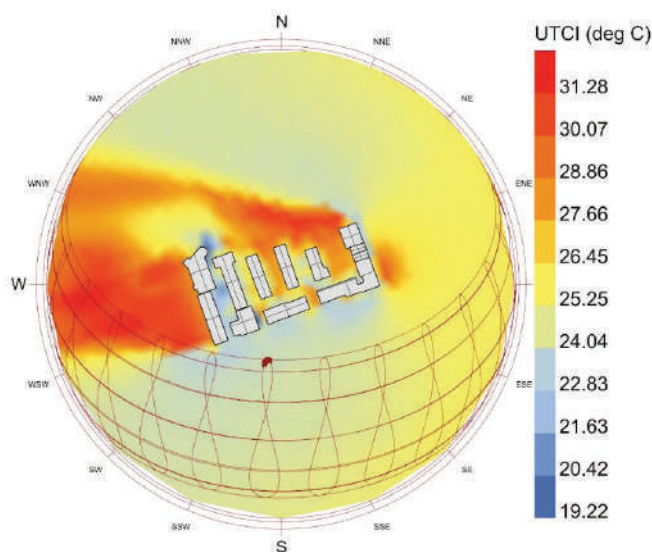
با افزایش دما، تقاضا برای استفاده از سیستم‌های خنک کننده به طور تصاعدی افزایش می‌یابد. این امر نه تنها فشار زیادی به شبکه برق وارد می‌کند، بلکه باعث مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها و در نتیجه، تولید بیشتر گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها می‌شود. یک چرخه معیوب که خود به تشدید مشکل دامن می‌زند.

راهکارهای کاهش جزایر حرارتی شهری:

برای مقابله با جزایر حرارتی شهری، راه‌حل‌های متنوعی وجود دارد که مزایای چندگانه‌ای مانند بهبود کیفیت هوا، کاهش هزینه‌های انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به همراه دارند.

افزایش پوشش گیاهی منطقه:

افزایش پوشش گیاهی و ایجاد بام‌ها و دیوارهای سبز یکی از مؤثرترین روش‌ها است. کاشت درختان می‌تواند دمای هوا را تا حدود ۵ تا ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد. درختان سایه ایجاد می‌کنند، دی‌اکسید کربن را جذب و تبخیر را افزایش می‌دهند. پیشنهاد می‌شود از درختان برگ ریز استفاده شود تا در زمستان، از نفوذ نور خورشید جلوگیری نکنند. سقف‌های سبز، که با گیاهان پوشیده می‌شوند، نه تنها گرما را کاهش می‌دهند، بلکه آب باران را مدیریت می‌کنند.



استفاده از سطوح انعکاسی:

سقف‌های با رنگ سفید یا بازتابنده نیز مؤثر هستند و حداقل ۷۵ درصد نور خورشید را بازتاب می‌دهند. بتن‌های با رنگ روشن و آسفالت‌های نفوذپذیر نیز سطوح را خنک نگه می‌دارند و آب را جذب می‌کنند.

مدیریت هوشمندانه انرژی و حمل‌ونقل:

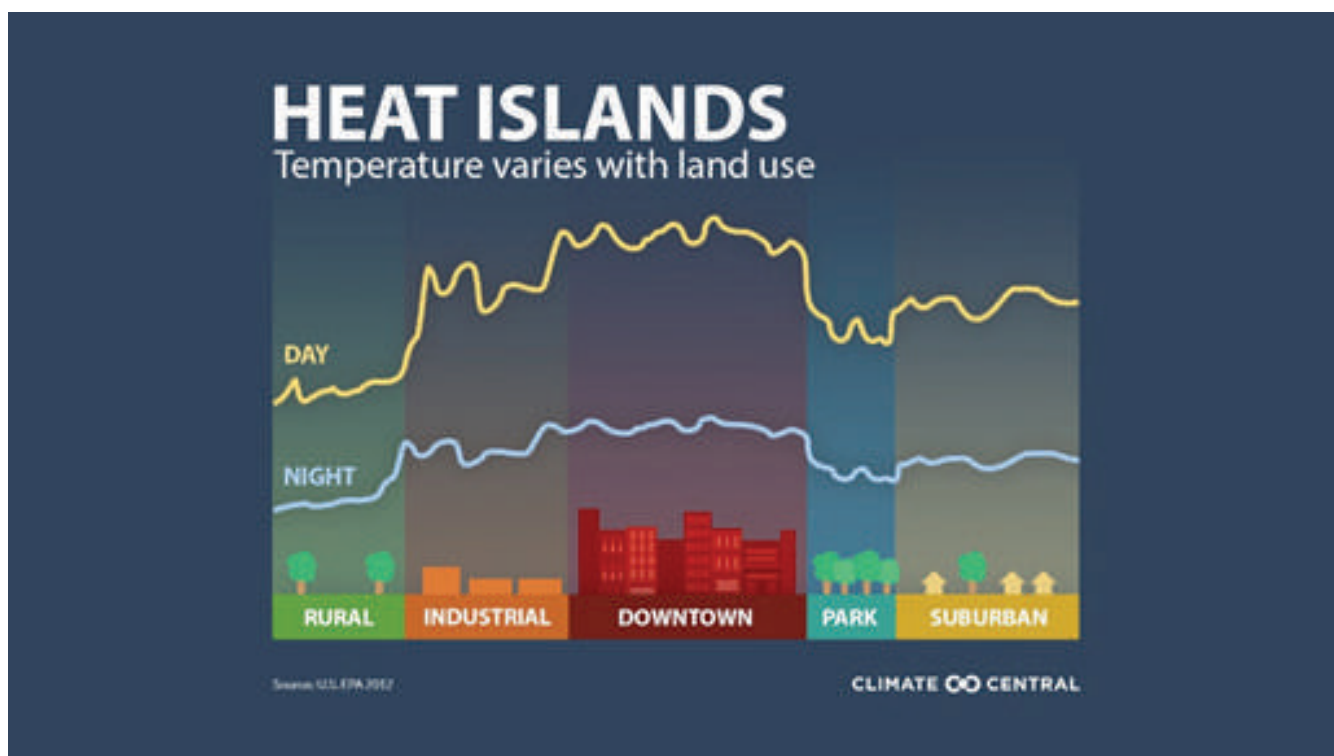
سرمایه‌گذاری بر روی حمل‌ونقل عمومی پاک، توسعه مسیرهای دوچرخه‌سواری و تشویق به استفاده از خودروهای الکتریکی می‌تواند انتشار گرمای ناشی از احتراق و ترافیک را کاهش دهد. همچنین، ارتقای استانداردهای بهره‌وری انرژی برای ساختمان‌ها و لوازم خانگی، بار اضافی روی شبکه برق را کم می‌کند.

برنامه‌ریزی شهری هوشمند:

کاهش تراکم ساختمان‌ها و افزایش فضاهای سبز، برای مقابله با ایجاد جزایر حرارتی ضروری است. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش پوشش سبز، می‌تواند جزایر حرارتی شهری را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. هزینه اولیه این راه‌حل‌ها بالا است، اما صرفه‌جویی بلندمدت در انرژی و افزایش سلامت عمومی، هزینه‌های آن‌ها را توجیه‌پذیر می‌کند.

نتیجه‌گیری: ساختن شهرهایی برای زندگی، نه برای تحمل

جزایر حرارتی شهری نه تنها یک مشکل محلی، بلکه بخشی از بحران جهانی تغییرات آب و هوایی است. با افزایش شهرنشینی، این پدیده می‌تواند زندگی میلیون‌ها نفر را تهدید کند، اما با راهکارهای عملی مانند درخت‌کاری، استفاده از مواد بازتابنده و برنامه‌ریزی پایدار، می‌توان آن را مدیریت کرد. سیاست‌گذاران، معماران و شهروندان باید همکاری کنند تا شهرها را خنک‌تر و سبزتر سازند. آینده شهرهای ما بستگی به اقدامات فوری دارد تا از تبدیل شدن آن‌ها به "جزایر غیرقابل زیست" جلوگیری کنیم.





نویسنده: آقای سبحان قنبری
دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت
محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
ایمیل: Sobhanghanbari1376@gmail.com

هوای پاک‌تر: نجات‌بخش یا شتاب‌دهنده بحران؟ پارادوکس

کاهش آلودگی هوا و تشدید گرمایش جهانی

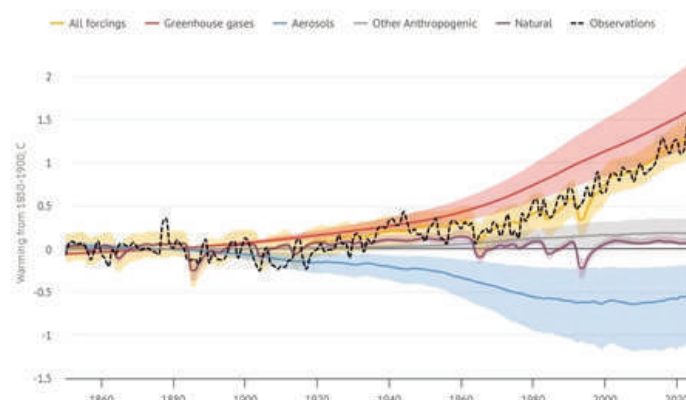
تناقضی در قلب پیشرفت زیست‌محیطی

در تابستان ۲۰۲۵، هنگامی که شهرهای بزرگ جهان، از تهران تا پکن و لس‌آنجلس، با موج‌های گرمایی بی‌سابقه مواجه بودند، یک تناقض علمی در سراسر جهان برجسته شد؛ تلاش‌های جهانی برای کاهش آلاینده‌های هوا، که سال‌ها جان میلیون‌ها انسان را نجات داده است، اکنون به عنوان یکی از عوامل اصلی شتاب‌گیری گرمایش جهانی شناسایی می‌شود. این پدیده، که توسط جیمز هانسن، دانشمند برجسته ناسا، به عنوان "معامله فاجعه" توصیف شده، جایی است که بشر با کاهش آلودگی هوا، نقاب از شدت واقعی گرمایش ناشی از گازهای گلخانه‌ای برمی‌دارد. این پارادوکس نه تنها یک چالش علمی است، بلکه پیچیدگی تعامل بین مداخلات انسانی و سیستم‌های طبیعی را آشکار می‌کند و می‌تواند برای نسل جوان به‌ویژه دانشجویان و فعالان زیست‌محیطی، انگیزه‌ای برای توسعه راهکارهای عملی و نوآورانه در مدیریت آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی فراهم کند.

آئروسول‌ها: شمشیری دو لبه

آلودگی هوا عمدتاً از آئروسول‌ها - ذرات معلق ریز مانند سولفات‌ها، نیترات‌ها، کربن سیاه و گردوغبار - تشکیل شده‌اند. این ذرات، که اغلب از احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع، کشتی‌ها و آتش‌سوزی‌های طبیعی ناشی می‌شوند، نقشی دوگانه دارند. از یک سو، آن‌ها برای سلامت انسان بسیار خطرناک هستند و طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت سالانه منجر به مرگ زودرس هفت میلیون نفر در سراسر جهان می‌شوند. از سوی دیگر، برخی آئروسول‌ها (به‌ویژه سولفات‌ها) به عنوان "سپر خنک‌کننده" عمل می‌کنند. آن‌ها پرتوهای خورشیدی را بازتاب داده و تراکم ابرها را افزایش می‌دهند که منجر به کاهش دما در کره زمین می‌شود. این پدیده، موسوم به "اثر کم‌نوری جهانی"، گرمایش ناشی از گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن را تا حدی پنهان کرده است.

Attributing changes in global surface temperatures from 1850



فروپاشی سپر خنک‌کننده: پیامد سیاست‌های کاهش آلودگی هوا

با پیشرفت سیاست‌های زیست‌محیطی در سراسر جهان، سپر خنک‌کننده در حال فروپاشی است. گزارش‌های علمی نشان می‌دهد که کاهش انتشار آژروسل‌ها، به‌ویژه در شرق آسیا، مسئول تقریباً نیمی از شتاب اخیر گرمایش جهانی است. برای مثال، چین با اجرای کمپین "جنگ علیه آلودگی"، انتشار سولفات را بیش از ۷۵ درصد کاهش داده است. این اقدام، که کیفیت هوا را در پکن بهبود بخشید، همزمان به افزایش ۰/۰۵ درجه سانتیگراد دمای جهانی در هر دهه، تشدید گرمایش اقیانوس آرام و دگرگونی الگوهای آب و هوایی را منجر شد.



مقررات کشتی‌رانی: نمونه‌ای از پیامدهای ناخواسته و شواهد علمی

یکی از مصادیق برجسته، مقررات IMO ۲۰۲۰ سازمان ملل برای کشتی‌رانی است. این قانون گوگرد سوخت کشتی‌ها را ۸۵ درصد کاهش داد تا آلودگی هوا را مهار کند، اما نتیجه آن کاهش آژروسل‌ها و گرم شدن موقت اقیانوس‌ها بود، که موج‌های گرمایی در اقیانوس آرام را تشدید کرد. مطالعات نشان می‌دهد که این تغییرات، امواج گرمایی را در مناطق پرجمعیت تا ۲/۵ برابر افزایش می‌دهد، جایی که آژروسل‌ها تأثیر بیشتری دارند. مدل‌های اقلیمی بکار رفته در پروژه Community Earth System Model، نشان می‌دهند که کاهش آژروسل‌ها تا ۲۰۱۹، نیروی تابشی مؤثر را افزایش داده و گرمایش را در دهه جاری شتاب بخشیده است.

پیامدهای چندوجهی: سلامت، نابرابری و آتش‌سوزی‌ها

تأثیرات این پارادوکس فراتر از افزایش دمای کره زمین است. از منظر سلامتی، کاهش آلودگی، جان موجودات را نجات می‌دهد اما گرمایش بیشتر به افزایش آتش‌سوزی‌های جنگلی منجر می‌شود که آلودگی جدیدی تولید می‌کنند. از دیدگاه اجتماعی، این تغییرات نابرابری را تشدید می‌کند؛ جوامع محروم، که اغلب در مجاورت صنایع قرار دارند، از کاهش آلودگی سود می‌برند، اما از گرمایش بیشتر (مانند سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها) آسیب می‌بینند. گزارش IPCC در ۲۰۲۵ هشدار می‌دهد که برای محدود کردن گرمایش به ۱/۵ درجه سانتیگراد، باید انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۲۰۳۰ به نصف برسانیم، اما کاهش آژروسل‌ها این هدف را دشوارتر می‌سازد.



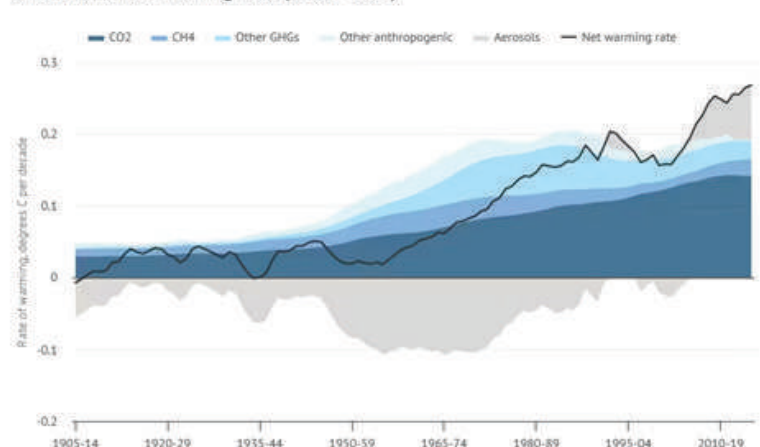
چشم‌انداز آینده: راهکارهای عملیاتی برای تعادل

با توجه به مطالب عنوان شده، آینده نیازمند رویکردی متعادل است که کاهش آلودگی هوا را با مهار گازهای گلخانه‌ای هم‌راستا کند. یکی از راهکارهای پیشنهادی، توسعه فناوری‌های نظارتی پیشرفته، مانند استفاده از هوش مصنوعی و داده‌های ماهواره‌ای برای پیش‌بینی دقیق‌تر الگوهای آلودگی در شهرها، به‌ویژه در مناطقی مانند تهران که با چالش‌های آلودگی و اقلیمی مواجه‌اند می‌باشد. علاوه بر این، گسترش برنامه‌های محلی نظارت بر کیفیت هوا با استفاده از اپلیکیشن‌های موبایل می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی و مشارکت شهروندان کمک کند. در ایران، بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای برای رصد تغییرات آلودگی و الگوهای اقلیمی می‌تواند به سیاست‌گذاری دقیق‌تر منجر شود. این اقدامات همراه با تلاش برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و متان می‌تواند روند گرمایش جهانی را کاهش دهد، بدون آنکه دستاوردهای بهبود کیفیت هوا را قربانی کند.

نتیجه‌گیری :

پارادوکس کاهش آلودگی هوا و تشدید گرمایش جهانی نشان‌دهنده پیچیدگی‌های تعاملات زیست‌محیطی است. کاهش آلودگی هوا، هرچند برای سلامت عمومی حیاتی است، بدون مدیریت همزمان گازهای گلخانه‌ای می‌تواند به تشدید گرمایش جهانی منجر شود. این چالش فرصتی است برای نسل جوان تا در راهکارهای محلی و جهانی، نوآوری و مشارکت داشته باشند. با تمرکز بر فناوری‌های نوین، آگاهی عمومی و سیاست‌گذاری هماهنگ می‌توان به تعادلی دست یافت که هم سلامت انسان‌ها را حفظ کند و هم کره زمین را از گرمایش فزاینده نجات دهد.

Drivers of decadal warming rates (1905 - 2024)





نویسنده: آقای رضا جمشیدی

دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

ایمیل: Jamshidi75reza@gmail.com

رد پای کربن: مفهومی کلیدی در مقابله با تغییرات اقلیمی

رد پای کربن (Carbon Footprint) یکی از مهم‌ترین مفاهیم در بحث تغییرات اقلیمی است. این اصطلاح به مجموع گازهای گلخانه‌ای (عمدتاً دی‌اکسید کربن) اشاره دارد که به طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط فعالیت‌های انسانی، سازمان‌ها، محصولات یا رویدادها تولید می‌شوند. رد پای کربن نه تنها نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های ما بر محیط زیست است، بلکه ابزاری برای اندازه‌گیری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌رود. این مفهوم به ما می‌گوید هر فعالیت، محصول یا سبک زندگی چقدر در گرم‌تر شدن زمین سهم دارد؛ از روشن کردن چراغ اتاق خوابگاه تا تولید یک گوشی هوشمند یا برگزاری یک جشنواره دانشجویی. اگر بخواهیم بحران اقلیمی را بفهمیم، اندازه‌گیری دقیق رد پای کربن یکی از سراسرترین ابزارهاست.

طبق گزارش‌های اخیر، انتشار جهانی CO₂ از سوخت‌های فسیلی به رکورد جدیدی رسیده و هیچ نشانه‌ای از رسیدن به نقطه اوج وجود ندارد. انتشار جهانی CO₂ در سال ۲۰۲۴ به ۳۷/۸ گیگا تن رسید، (با افزایش ۰/۸ درصدی نسبت به سال قبل). پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۵ نشان‌دهنده ادامه این روند است، مگر اینکه سیاست‌های سخت‌گیرانه اعمال شود. این مسئله، ضرورت اقدامات فوری برای کاهش انتشار را تأکید می‌کند. با توجه به افزایش دمای جهانی و اثرات مخرب آن مانند ذوب یخچال‌های طبیعی، افزایش سطح دریاها و رویدادهای آب و هوایی شدید، درک و مدیریت رد پای کربن بیش از پیش ضروری شده است.

تعریف و اهمیت رد پای کربن

رد پای کربن به عنوان مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای تعریف می‌شود که معادل CO₂ محاسبه می‌گردد. این شامل انتشار مستقیم (مانند سوزاندن سوخت در خودروها) و غیرمستقیم (مانند تولید برق برای مصرف خانگی) است. اهمیت آن در این است که بیش از ۶۰ درصد رد پای اکولوژیکی بشریت را تشکیل می‌دهد و سریع‌ترین رشد را در میان اجزای آن دارد. از سال ۱۹۶۱، رد پای کربن انسان ۱۱ برابر افزایش یافته است.

در سطح جهانی، انتشار CO₂ عامل اصلی گرم شدن زمین است. دمای متوسط جهانی از سال ۱۸۶۱ تا ۱۸۹۰ حدود ۱/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و در سال ۲۰۲۴، رکورد جدیدی با میانگین ۴۲۲/۵ قسمت در میلیون یا ppm در اتمسفر ثبت شده است. این افزایش، منجر به اختلال در چرخه کربن زمین شده و تهدیدی برای تنوع زیستی، امنیت غذایی و سلامت انسان است. برای مثال، آتش سوزی‌های جنگلی در سال ۲۰۲۴، انتشار کربن را ۷-۹ درصد بیش از میانگین افزایش داد. اهمیت رد پای کربن در این است که بیش از ۶۰ درصد رد پای اکولوژیکی بشریت را تشکیل می‌دهد و سریع‌ترین رشد را در میان اجزای آن دارد.



رد پای کربنی در صنایع مختلف

آمار جهانی و انتشار فردی

طبق بودجه کربن جهانی ۲۰۲۴، انتشار CO_2 ناشی از سوخت‌های فسیلی در ۲۰۲۴ به بالاترین رکورد تاریخی رسید؛ وقتی تغییر کاربری اراضی (جنگل‌زدایی و...) را هم اضافه کنیم، مجموع انتشار سالانه حوالی ۴۱-۴۲ گیگاتن CO_2 گزارش شده است. گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) هم نشان می‌دهد انتشار انرژی محور در ۲۰۲۴ به رکورد جدیدی رسیده است؛ افزایش تقاضا برای انرژی و مصرف زغال‌سنگ و گاز علت‌های کلیدی‌اند، هرچند رشد انرژی‌های تجدیدپذیر بخشی از افزایش را خنثی کرده است. چین با ۴۵۰ درصد افزایش انتشار از ۱۹۹۰، بزرگ‌ترین منتشرکننده است، در حالی که ایالات متحده ۶۱ درصد کاهش داشته اما همچنان در جایگاه دوم است.

انتشار فردی متفاوت است. میانگین جهانی حدود ۴/۷ تن CO_2 در سال است، اما در کشورهای توسعه‌یافته مانند ایالات متحده، استرالیا و کانادا، بیش از ۱۵ تن است (سه برابر میانگین جهانی). در کشورهای فقیر مانند چاد یا نیجر، کمتر از ۰/۱ تن است. آسیا نیمی از انتشار جهانی را تشکیل می‌دهد، در حالی که آفریقا و آمریکای جنوبی هر کدام ۳-۴ درصد و در ایالات متحده، انتشار در ۲۰۲۴ حدود ۰/۵ درصد کاهش یافت، اما اقتصاد ۳/۳۲ درصد رشد کرد، نشان‌دهنده جدایی انتشار از رشد اقتصادی می‌باشد. بودجه کربن یعنی چقدر دیگر می‌توانیم CO_2 به جو بفرستیم تا شانس خوبی برای محدود کردن گرمایش به 1.5°C داشته باشیم. برآوردهای جدید پژوهشی نشان می‌دهد بودجه باقیمانده برای 1.5°C (با احتمال ۵۰٪) از ژانویه ۲۰۲۵ حدود ۱۳۰ گیگاتن CO_2 بوده؛ با تداوم روند کنونی، این بودجه طی سه سال تمام می‌شود.

عوامل مؤثر بر رد پای کربن

- انرژی و برق و گرمایش: ۳۴ درصد انتشار جهانی از تولید برق و گرما است (عمدتاً از سوخت‌های فسیلی).

- حمل و نقل: حدود ۱۵ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کند.

- صنعت (فولاد، سیمان، مواد شیمیایی): هم سوخت می‌سوزاند، هم فرایندهای شیمیایی مولد CO_2 دارد؛ صنعت نزدیک به یک‌چهارم انتشارها را در بر می‌گیرد و کاهش آن سخت ولی ضروری است.

- ساختمان‌ها: حدود ۲۱ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۹ از ساختمان‌ها تولید شد.

- کاربری اراضی/کشاورزی: نقش مهمی در متان و اکسید نیتروژن دارد و حفاظت/احیای طبیعت را به اولویت کاهش تبدیل می‌کند (۲۴ درصد، شامل متان از دامداری).

- تغییرات کاربری زمین: مانند جنگل‌زدایی که ۱۲ درصد انتشار را تشکیل می‌دهد. در سال ۲۰۲۴، خشکسالی و آتش‌سوزی‌ها انتشار را افزایش داد.



راهکارهای کاهش رد پای کربن

کاهش رد پای کربن نیازمند تغییرات در سطوح فردی، سازمانی و جهانی است:

انرژی تجدیدپذیر: استفاده از انرژی خورشیدی، بادی و هیدروالکتریک. از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴، این فناوری‌ها از انتشار ۲/۶ گیگاتن جلوگیری کردند.

بهینه‌سازی انرژی: بهبود کارایی در ساختمان‌ها و صنایع. عایق‌کاری، مدیریت هوشمند مصرف، و گذار به پمپ‌های حرارتی.

تغییر سبک زندگی: کاهش مصرف گوشت قرمز، استفاده از حمل و نقل عمومی، و کاهش پروازها.

سیاست‌ها: مالیات کربن، توافق پاریس و هدف net-zero تا ۲۰۵۰.

نتیجه‌گیری

رد پای کربن، کلیدی برای درک و مقابله با بحران تغییرات اقلیمی است. با انتشار رکورددار در ۲۰۲۵، زمان برای اقدام محدود است. افراد، شرکت‌ها و دولت‌ها باید با محاسبه، کاهش و نوآوری، به سمت net-zero حرکت کنند. آموزش و آگاهی فرهنگی، نقش مهمی در این مسیر دارد. اگر همه ما مسئولیت‌پذیر باشیم، می‌توانیم آینده‌ای پایدار را بسازیم. ردپای کربن زبان مشترک علم و عمل است؛ زبانی که با آن می‌توانیم بین انتخاب‌های روزمره و اهداف کلان اقلیمی پل بزنیم.



نقش تغییرات اقلیمی در تشدید آلودگی هوای شهری و اثرات آن بر سلامت

در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در جهان تبدیل شده است. افزایش میانگین دمای کره زمین، تغییر در الگوهای بارش، ذوب یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب دریاها و افزایش آتش‌سوزی‌های گسترده در جنگل‌ها، تنها بخشی از پیامدهای این پدیده هستند که آثار آن بر سلامت انسان و محیط‌زیست غیرقابل انکار است. ایران نیز تحت تأثیر این تغییرات قرار گرفته است. خشکسالی‌های پیاپی، کاهش منابع آبی و خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها مانند دریاچه ارومیه و تالاب هورالعظیم، نه تنها بر کشاورزی و منابع طبیعی اثر گذاشته، بلکه منبعی جدید برای انتشار گرد و غبار ایجاد کرده و کیفیت هوا را در بسیاری از مناطق کشور کاهش داده است. این مسئله، تغییرات اقلیمی و آلودگی هوای ناشی از آن را به یک چالش جهانی تبدیل کرده است.



نویسنده: آقای احمد زارعی

کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: Ahmadzare174@gmail.com



با دقت بخوانید!!

مکانیسم‌های تشدید آلودگی هوا در اثر تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی می‌تواند از چند طریق باعث افزایش آلودگی هوا شود که در ادامه به برخی از این موارد اشاره می‌شود:

افزایش دما: هوای گرم واکنش‌های شیمیایی بین آلاینده‌ها را تسریع کرده و تولید آلاینده‌های خطرناک‌تری مانند ازن را در سطح زمین افزایش می‌دهد.

کاهش بارش و خشکسالی: باران به پاک شدن هوا کمک می‌کند، وقتی باران کاهش یابد، آلاینده‌ها و گرد و غبار در هوا باقی می‌مانند.

افزایش دوره‌های پایداری هوا: افزایش روزهای بدون باد و تشدید پدیده وارونگی دما باعث ایجاد پایداری هوا و تجمع آلاینده‌ها در شهرها می‌شود.

آتش‌سوزی جنگل‌ها: انتشار حجم زیادی از ذرات معلق و گازهای سمی در اثر آتش‌سوزی جنگل، کیفیت هوا را به شدت کاهش می‌دهد.

شواهد و نمونه‌های جهانی

چین و هند: ترکیب گرمای شدید، رطوبت پایین و آلودگی صنعتی منجر به بروز بحران‌های تنفسی و قلبی شده و میلیون‌ها نفر را در معرض خطر قرار داده است.

استرالیا: موج گرمای شدید در استرالیا در سال ۲۰۱۹ همراه با آتش‌سوزی‌های وسیع، موجب افزایش غلظت ذرات کمتر از دو میکرون ($PM_{2.5}$) در برخی مناطق به بیش از ۲۰ برابر حد مجاز سازمان جهانی بهداشت شد.

ایران: خشک شدن دریاچه ارومیه، بختگان و تالاب‌های جنوب کشور، منبعی برای انتشار ذرات معلق ایجاد کرده که علاوه بر استان‌های غربی و مرکزی، تا مرزهای شمالی کشور نیز گسترش یافته است.



نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی با اثرگذاری بر الگوهای بارش، افزایش دما و خشکسالی، نقش مهمی در تشدید آلودگی هوای شهری دارند. خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها به ویژه در ایران، باعث افزایش گرد و غبار و کاهش کیفیت هوا شده است که پیامدهای جدی برای سلامت جسمی و روانی مردم به همراه دارد. مدیریت هوشمندانه، احیای منابع طبیعی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین از راهکارهای مهم برای کاهش این بحران زیست‌محیطی است.

اثرات آلودگی هوا بر سلامت انسان

آلودگی هوا به ویژه در شهرها با مشکلات متعددی برای سلامت انسان مرتبط است، از جمله:

- افزایش بیماری‌های تنفسی مانند آسم و برونشیت.
- افزایش بیماری‌های قلبی-عروقی و سکته‌های قلبی و مغزی.
- کاهش عملکرد سیستم ایمنی و افزایش حساسیت به عفونت‌های تنفسی.
- تأثیرات روانی شامل اضطراب و افسردگی در جمعیت شهری.

راهکارهای مقابله

برای مقابله با تشدید آلودگی هوا ناشی از تغییرات اقلیمی، اقداماتی نظیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت پایدار منابع آبی و جلوگیری از خشک شدن تالاب‌ها، ایجاد سیستم‌های پایش لحظه‌ای کیفیت هوا، و افزایش فضای سبز شهری و استفاده از فناوری‌های نوین تصفیه هوا پیشنهاد می‌شود.



نویسنده: : خانم زهرا بهجتی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: Behjatizahra4@gmail.com

اقتصاد سبز و تاثیر آن در کاهش آلودگی هوای شهری

اقتصاد سبز، رویکردی نوین در توسعه است که با هدف ارتقای رفاه انسانی، کاهش خطرات زیست محیطی و کمبودهای اکولوژیکی، شکل گرفته است. این مدل اقتصادی، برپایه سرمایه گذاری در بخش هایی نظیر انرژی های تجدیدپذیر، حمل و نقل عمومی پاک، کشاورزی پایدار و مدیریت پسماند بنا شده است. یکی از چشمگیرترین تاثیرات اقتصاد سبز، کاهش آلودگی هوای شهری است. با ترویج استفاده از منابع انرژی پاک و توسعه سیستم های حمل و نقل پایدار، انتشار گازهای گلخانه ای و ذرات معلق که عامل اصلی آلودگی هوا هستند، به طور قابل توجهی کاهش می یابد و در نهایت به بهبود کیفیت هوا و سلامت شهروندان کمک می کند.

تاثیر اقتصاد سبز بر کاهش آلودگی هوای شهری

تاثیر اقتصاد سبز بر کاهش آلودگی هوای شهری صرفا به معنی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نیست، بلکه یک تغییر الگو در نحوه برنامه ریزی شهری، حمل و نقل، تولید انرژی و حتی سبک مردم است. این تاثیر را می توان در چند بعد بررسی کرد:

انرژی های تجدیدپذیر و پاک:

انتقال از سوخت های فسیلی به منابع تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و انرژی آبی، یکی از مهم ترین ستون های اقتصاد سبز به حساب می آید، که سبب کاهش چشمگیر انتشار ذرات معلق، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید گوگرد می شود. مطالعات نشان داده اند که شهرهایی با سهم بالایی از انرژی های تجدیدپذیر، کیفیت هوای بهتری دارند.

حمل و نقل پایدار و سبز:

ترویج حمل و نقل عمومی، دوچرخه سواری و توسعه خودروهای الکتریکی و هیدریدی، بخش جدایی ناپذیر اقتصاد سبز است. این اقدامات نه تنها مصرف سوخت را کاهش می دهند، بلکه منجر به کاهش قابل ملاحظه آلاینده های ناشی از آگروز خودروها می شوند. مطالعات انجام شده نشان می دهد عواملی مانند مدیریت یکپارچه، ارائه آموزش های لازم و جایگزینی خودروهای فرسوده، بیشترین تأثیر را بر حمل و نقل پایدار شهری با رویکرد اقتصاد سبز دارند.



صنعت و تولید سبز:



اقتصاد سبز به دنبال تشویق صنایع به استفاده از فناوری‌های پاک، کاهش مصرف انرژی، بازیافت و کاهش پسماند است. این رویکرد نه تنها باعث کاهش آلاینده‌های صنعتی می‌شود، بلکه با ایجاد "صنایع سبز" فرصت‌های اقتصادی جدیدی را نیز فراهم می‌کند. گسترش فضای سبز، که شامل ایجاد پارک‌ها، جنگل‌های شهری، بام‌ها و دیوارهای سبز، و حتی باغچه‌های محلی می‌باشد، یکی از ارکان اصلی اقتصاد سبز و ابزاری قدرتمند برای مقابله با آلودگی هوای شهری است. فضای سبز به عنوان یک سیستم تصفیه طبیعی، نقش حیاتی در بهبود کیفیت هوای شهری ایجاد می‌کند. درختان و گیاهان با جذب ذرات معلق، گازهای آلاینده نظیر اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، و تولید اکسیژن، به کاهش مه‌دود و پاکسازی هوا کمک شایانی می‌کند.

اقدامات برای حرکت به سمت اقتصاد سبز

سیاست‌گذاری و چارچوب‌های قانونی: دولت‌ها باید سیاست‌های حمایتی و تشویقی برای سرمایه‌گذاری در بخش‌های سبز، مالیات بر آلودگی، فناوری‌های کاهش آلودگی و راهکارهای پایدار را به کار گیرند.

سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز: تشویق تحقیق و توسعه در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، فناوری‌های کاهش آلودگی، و راهکارهای پایدار.

ترویج آموزش و آگاهی عمومی: افزایش آگاهی جامعه درباره مزایای اقتصاد سبز و نقش هر فرد در این تحول.

توسعه زیرساخت‌های پایدار: ایجاد زیرساخت‌هایی برای حمل و نقل عمومی سبز، مدیریت پسماندها و شبکه‌های انرژی تجدیدپذیر.

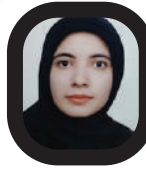


استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

مطالعه‌ای که در سال‌های اخیر در کشورهای آلمان و سوئد انجام شده است، نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری گسترده در انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی الکتریکی و دوچرخه‌سواری، و برنامه‌های جامع مدیریت پسماند، منجر به بهبود چشمگیر کیفیت هوای شهری و کاهش بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا شده است. این کشورها توانسته‌اند با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و ترویج سبک زندگی پایدار، نه تنها آلودگی‌ها را کنترل کنند، بلکه به مراکز مهمی برای نوآوری و ایجاد مشاغل سبز تبدیل شوند.



جوهر هوا : وقتی آلودگی به هنر و نوآوری تبدیل می شود.



نویسنده: خانم فاطمه حسن زاده
کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط
ایمیل: Hasanzadehfatemeh777@gmail.com

جوهر هوا: وقتی آلودگی به هنر و نوآوری تبدیل می‌شود
در کلان‌شهرهای شلوغ و پرهیاهو، هر نفس ما با ذره‌ای از آلودگی عجین شده است.

ذرات سیاه و نامرئی دوده که از آگروز خودروها، دودکش کارخانه‌ها به آسمان می‌روند، نه تنها کیفیت هوا را کاهش می‌دهند، بلکه به طور خاموش و پیوسته بر سلامت ما نیز تأثیر می‌گذارند. در مواجهه با این چالش جهانی، اغلب به دنبال راه‌حل‌های بزرگ و پیچیده می‌گردیم، اما گاهی اوقات، بزرگترین نوآوری‌ها از ساده‌ترین ایده‌ها سرمنشأ می‌گیرند. Air-Ink یکی از همین ایده‌هاست؛ یک پروژه خلاقانه که آلودگی هوا را به جوهر سیاه تبدیل می‌کند و به ما یادآوری می‌کند که می‌توان از دل تاریکی، روشنایی خلق کرد.

تولد یک ایده از دل یک تجربه تلخ

داستان Air-Ink با یک تجربه شخصی و ساده آغاز شد. در سال ۲۰۱۳، آنکیرت شارما، مهندس و کارآفرین هندی، در حال قدم زدن در بمبئی بود که متوجه شد لباس‌هایش به دلیل آلودگی شدید هوا به رنگ خاکستری تیره درآمده‌اند. این اتفاق، به جای ناامیدی، جرقه‌ای در ذهن او زد: "اگر این ذرات دوده می‌توانند لباس‌ها را سیاه کنند، چرا نمی‌توان از آن‌ها برای تولید جوهر استفاده کرد؟"





برای مثال، الن لویتون، هنرمند و مدیر ارشد موزه Cooper Hewitt، از کیفیت و رنگ عمیق این جوهر تمجید کرده و آن را «بسیار کاربردی» توصیف کرده است.

این پرسش، به یک پروژه تبدیل شد و شارما و تیم‌اش در یک گاراژ کوچک در بنگلور هند، شروع به آزمایش کردند. آن‌ها می‌خواستند ثابت کنند که می‌توان دوده را از آلودگی هوا جذب کرد و به یک محصول ارزشمند تبدیل نمود. پس از موفقیت‌های اولیه، آن‌ها شرکت Graviky Labs را تأسیس کردند تا ایده‌شان را به یک فناوری کاربردی و تجاری تبدیل کنند.

Kaalink: شکارچی خاموش دوده

قلب تپنده فناوری Air-Ink، دستگاهی به نام KAALINK است. نام این دستگاه از کلمه هندی «کالا» به معنای «سیاه» گرفته شده است. این ابزار مهندسی هوشمند، به لوله‌های آگزوز خودروها، ژنراتورهای دیزلی و دودکش‌های کارخانه‌ها متصل می‌شود و ذرات دوده را که با نام علمی $PM_{2.5}$ (ذرات معلق با قطر کمتر از 2.5 میکرومتر) شناخته می‌شوند، جذب می‌کند.

این ذرات، که به راحتی وارد ریه‌ها و حتی جریان خون می‌شوند، عامل اصلی بسیاری از بیماری‌های تنفسی و قلبی هستند. KAALINK با جذب این آلاینده‌ها در منبع اصلی، نه تنها به تولید یک محصول جدید کمک می‌کند، بلکه به طور مستقیم از ورود آن‌ها به اتمسفر جلوگیری می‌کند. این دستگاه می‌تواند تا ۹۵ درصد از ذرات دوده را فیلتر کند و از هر ۴۵ دقیقه آلودگی یک خودروی دیزلی، کربن کافی برای پر کردن یک ماژیک Air-Ink را فراهم می‌کند. این آمار به خوبی نشان می‌دهد که چه میزان آلاینده در مدت زمان کوتاهی به هوا منتشر می‌شود.

فرآیند تبدیل: از آلودگی به کیفیت

فرآیند تبدیل دوده خام به جوهر، یک فرآیند دقیق و چند مرحله‌ای است. ابتدا، دوده جمع‌آوری‌شده از طریق دستگاه KAALINK به آزمایشگاه‌های Graviky منتقل می‌شود. در آنجا، دوده تحت فرآیندهای پیچیده‌ای قرار می‌گیرد تا از هرگونه ناخالصی مانند فلزات سنگین و مواد سرطان‌زا پاکسازی شود. این مرحله از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا ایمنی محصول نهایی را تضمین می‌کند. پس از خالص سازی، پودر کربن به دست آمده با انواع روغن‌ها و حلال‌های مخصوص ترکیب می‌شود تا جوهری روان، باکیفیت و با رنگدانه‌های عمیق تولید شود. این جوهر در گریدهای مختلف برای کاربردهای متنوعی از جمله نقاشی، خوشنویسی، چاپ و حتی رنگ‌آمیزی پارچه تولید می‌شود. کیفیت این جوهر به حدی بالاست که هنرمندان و طراحان برجسته را شگفت‌زده کرده است.



یک رویکرد متفاوت در مبارزه با آلودگی

پروژه Air-Ink فقط به تولید جوهر محدود نمی‌شود؛ بلکه یک کمپین فرهنگی و زیست‌محیطی نیز محسوب می‌شود. این پروژه نشان می‌دهد که چگونه می‌توان یک مشکل بزرگ را به یک فرصت خلاقانه تبدیل کرد. با استفاده از این جوهر، هنرمندان در سراسر جهان پیام‌های محیط زیستی خود را به شکلی ملموس و قدرتمند به نمایش می‌گذارند. در سال ۲۰۱۶، با همکاری شرکت Heineken، نقاشی‌های دیواری بزرگی در خیابان‌های هنگ کنگ با این جوهر خلق شد که توجه جهانیان را به این پروژه جلب کرد. این پروژه به ما یادآوری می‌کند که راه‌حل‌های مقابله با آلودگی تنها به سیاست‌گذاری‌های دولتی و فناوری‌های بزرگ محدود نمی‌شوند. هر شرکت، هر هنرمند و هر فردی می‌تواند با نگاهی نوآورانه، در این مبارزه سهم داشته باشد. Air-Ink با تبدیل یک عامل مخرب به ابزاری برای خلق زیبایی، نه تنها به پاک سازی هوا کمک می‌کند، بلکه به فرهنگ و هنر نیز جان دوباره می‌بخشد.

آینده‌ای پاک‌تر، با جوهر سیاهی از جنس امید

هدف نهایی Graviky Labs فراتر از تولید خودکار و مازیک است. آن‌ها در حال تحقیق برای گسترش کاربردهای این جوهر به صنعت چاپ روزنامه، کتاب‌های درسی و حتی چاپ روی پارچه‌ها در صنعت مد هستند. این شرکت معتقد است با این کار می‌توان ردپای کربن را در صنایع مختلف کاهش داد و به آن‌ها کمک کرد تا به سمت پایداری حرکت کنند. در پایان، آنکیرت شارما یک نکته مهم را یادآوری می‌کند: «Air-Ink یک راه‌حل معجزه‌آسا برای تمام مشکلات آلودگی جهان نیست. این یک شروع است.» این پروژه، دعوت‌نامه‌ای برای همگان است تا به اشکال جدیدی از ضایعات که بدون استفاده رها شده‌اند، نگاه کنند و با خلاقیت و نوآوری، آن‌ها را به منابع ارزشمند تبدیل نمایند. Air-Ink یک داستان موفقیت است که ثابت می‌کند با کمی نبوغ، می‌توان از دل سیاهی آلودگی، جوهری برای نوشتن آینده‌ای پاک و روشن به دست آورد.



با این وجود، برخی از کشورها با اجرای سیاست‌های پیشگیرانه و استفاده از فناوری‌های نوین توانسته‌اند سطح آلودگی هوا را به طور چشمگیری کاهش دهند. اخیراً شاهد کاهش آلودگی هوا ناشی از سیاست‌هایی بوده‌ایم که از نظارت و تحقیقات زیست محیطی ایجاد شده‌اند. برخی کشورها با وجود چالش‌های مشابه توانسته‌اند با طراحی سیاست‌های جامع، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو و جلب مشارکت عمومی، گام‌های مؤثری در کنترل و کاهش آلودگی بردارند. بررسی این تجربه‌ها می‌تواند برای سایر کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، راهگشا باشد.

تجربه کشور چین : از آسمان خاکستری تا هوای پاک تر
رشد سریع اقتصادی چین باعث آلودگی شدید هوا شده و نگرانی‌های جدی را در مورد شواهد رو به رشد اثرات منفی آن بر سلامت، محیط زیست و اقتصاد ایجاد کرده است. در نتیجه دولت چین سیاست‌هایی را برای کاهش آلودگی هوا اجرا کرده است. در طول چهار دهه گذشته آلودگی هوا در چین عمدتاً با تمرکز بر انتشار SO_2 و اثرات گسترده رسوب اسید ناشی از آن در اولویت قرار گرفته است، همچنین تعدادی از استانداردهای آلودگی در سطح ملی اجرایی شده که کاهش قابل توجهی در انتشار چندین آلاینده اصلی در مدت زمان نسبتاً کوتاهی، به همراه داشته است و نشان دهنده سودمندی این رویکرد است. دیگر اقدامات انجام شده شامل موارد زیر است:

- انتقال صنایع آلاینده به خارج از شهرها
- گسترش مترو، اتوبوس‌های برقی و دوچرخه‌های اشتراکی
- ایجاد سیستم شفاف پایش آنلاین کیفیت هوا

تجربه کشور آمریکا: کنترل از طریق فناوری و قانون

یکی از اولین موفقیت‌های کاهش آلودگی هوا در ایالات متحده حذف افزودنی‌های سوختی مبتنی بر سرب از بنزین می‌باشد که منجر به کاهش بیش از ۹۵ درصد غلظت سرب در هوا شد. سرب باعث آسیب عصبی به کودکان و اثرات قلبی عروقی در بزرگسالان می‌شود و همبستگی بالایی بین سطوح آن در خون انسان و هوا وجود دارد پس بهتر است مقدار این عنصر در چرخه‌های طبیعی و هوا کاهش یابد.



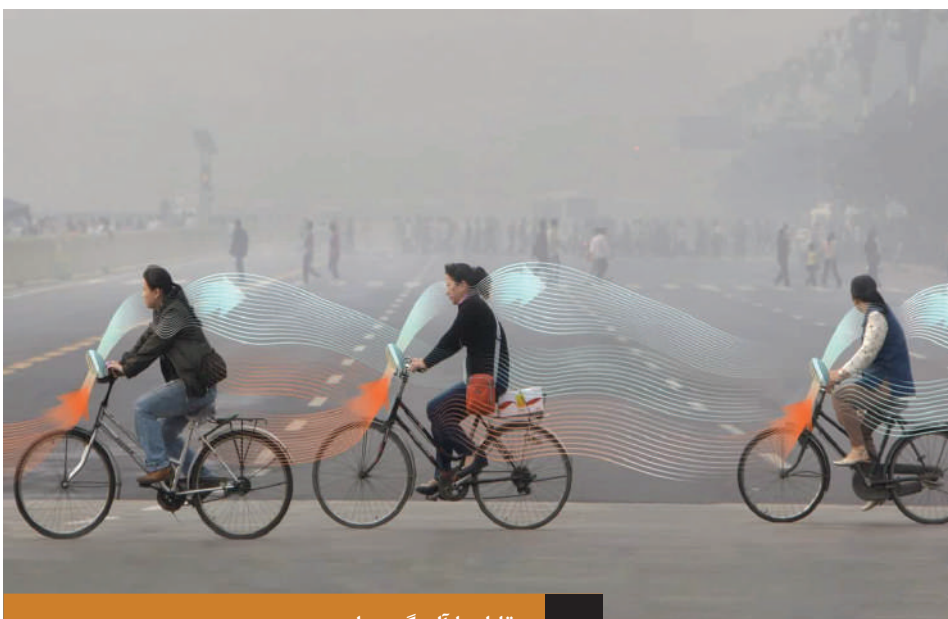
نویسنده: خانم ندا ادهمی

کارشناس مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: Adhami8174@gmail.com

تجربه‌های موفق کشورهای مختلف در مقابله با آلودگی هوا

آلودگی هوا یکی از جدی‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی قرن حاضر است. سازمان بهداشت جهانی تخمین زده است که سالانه بیش از ۷ میلیون نفر در اثر مواجهه طولانی مدت با آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند.



مقابله با آلودگی هوا در چین



ایالات متحده با حذف تترا اتیل سرب از بنزین در این زمینه موفق بوده است همچنین کاهش ازون تروپوسفری، بهبود دید و سلامت انسان از کاهش ذرات معلق در هوا، کاهش رسوب گوگرد و نیتروژن جوی و کاهش جیوه از جمله اقداماتی است که جهت کاهش آلودگی هوا در ایالات متحده صورت گرفته است.

ایالات متحده از نخستین کشورهایی است که قانون جامع برای کنترل آلودگی هوا تصویب کرد. قانون هوای پاک از سال ۱۹۷۰ تاکنون چندین بار بازنگری شده و نتایج قابل توجهی داشته است:

- کاهش بیش از ۷۰ درصد انتشار آلاینده‌های اصلی از ۱۹۷۰ تا

۲۰۱۹

- توسعه فناوری‌های کاهنده آلاینده‌ها در خودروها و صنایع
- تشکیل آژانس حفاظت محیط زیست به‌عنوان نهاد ناظر
- این تجربه نشان می‌دهد که ترکیب قانون‌گذاری سخت‌گیرانه و نوآوری صنعتی می‌تواند به موفقیت پایدار منجر شود.

تجربه کشور هند: گام‌های کوچک در برابر چالشی بزرگ

آلودگی هوا تقریباً یک چالش صد ساله در هند است و علت اصلی آن را می‌توان به رشد سریع جمعیت، شهرنشینی برنامه ریزی نشده و صنعتی شدن نسبت داد. بسیاری از شهرهای هند به عنوان آلوده‌ترین شهرهای جهان رتبه‌بندی شده‌اند. هند برنامه ها و سیستم‌های مدیریت آلودگی هوای خود را در درجه اول مدیون مداخلات قضایی است قوه قضاییه دستورالعمل‌ها و دستورات مختلفی را تنظیم کرده است که منجر به حکومت‌داری و قانون‌گذاری بهتر در مورد مسائل مربوطه شده است. در کشور هند از سال ۲۰۰۰ اقدامات اصلاحی فوری در سوخت خودروها ایجاد شد تا انتشار گازهای گلخانه‌ای از خودروها به حداقل مقدار ممکن برسد مقرراتی سختگیرانه در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای و سوخت ماشین‌ها اجرا شد.

تولید برق مبتنی بر زغال سنگ یکی از منابع اصلی آلودگی هوا در هند است به همین دلیل وزارت اقتصاد و محیط زیست و کمیسیون صنایع هند، قوانین اصلاحی محیط زیست را برای نیروگاه‌های حرارتی در مورد استانداردهای انتشار ذرات معلق و جیوه ابلاغ کردند همچنین یکی دیگر از اقدامات اجرایی انجام شده توسط دولت هند ارائه یارانه برای خرید خودروهای برقی است.



تجربه کشورهای شمال اروپا: سبک زندگی سبز

کشورهایی چون نروژ، سوئد و دانمارک، نمونه‌های موفق مدیریت پایدار شهری هستند. این کشورها از اقدامات زیر به عنوان راهکار برای کنترل آلودگی هوا بهره برده‌اند:

- مالیات سنگین بر برخی خودروها

- یارانه گسترده برای خرید خودروهای برقی (در نروژ بیش از ۷۰٪ خودروهای جدید برقی‌اند).
- ترویج فرهنگ دوچرخه‌سواری (در کپنهاگ بیش از ۶۰٪ رفت‌وآمدها با دوچرخه انجام می‌شود).
- ایجاد فضاهای سبز وسیع در طراحی شهری
- استفاده از انرژی‌های پاک

این کشورها با تلفیق سیاست‌های زیست‌محیطی و فرهنگ عمومی توانسته‌اند یکی از پاک‌ترین هواهای جهان را داشته باشند.



بنابراین، اگرچه مسیر دشوار است، اما حتی کشورهایی که روزگاری در صدر آلوده‌ترین‌ها بودند (مانند چین و ژاپن) توانسته‌اند شرایط را بهبود بخشند. این امر نویدبخش آن است که با اراده جمعی، کشورها می‌توانند آینده‌ای با هوای پاک‌تر بسازند. بررسی تجربه‌های جهانی نشان می‌دهد که موفقیت در کاهش آلودگی هوا وابسته به مجموعه‌ای از سیاست‌های دولتی، توسعه فناوری و مشارکت مردمی است. کشور ایران نیز تعهد جدی بر نظارت بر کیفیت هوا از نظر مقررات، سیاست‌ها، فناوری‌ها و امور مالی در سطح حمل و نقل عمومی و خودروها داشته است امید است با کسب تجربه و الگوگیری از سیاست‌های کشورهای دیگر گامی موثر در کاهش آلودگی هوا برداریم.



تجربه کشور ژاپن: الگوی موفق آشتی صنعت و محیط زیست

ژاپن در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ با بحران شدید آلودگی ناشی از صنعتی‌سازی مواجه شد. واکنش این کشور تصویب «قانون اساسی کنترل آلودگی» بود.

ویژگی‌های اصلی این تجربه:

- استانداردهای بسیار سخت‌گیرانه برای صنایع و خودروها
 - سرمایه‌گذاری در فناوری‌های ضدآلاینده (مثل فیلترهای کاتالیستی)
 - گسترش استفاده از سوخت‌های کم‌گوگرد و انرژی هسته‌ای
 - آموزش شهروندان برای رفتارهای زیست‌محیطی
- امروز ژاپن با وجود تراکم بالای جمعیت و صنعت، یکی از کشورهای دارای هوای پاک در آسیاست.

تجربه کشور مکزیک: سوخت پاک، هوای پاک

مکزیکوسیتی به عنوان یکی از موفق‌ترین شهرهای دنیا در مقابل آلودگی هوا شناخته می‌شود. سال ۱۹۹۲ سازمان ملل این شهر را به عنوان آلوده‌ترین شهر جهان معرفی کرد. در سال ۱۹۹۰، در حدود ۳۳۰ روز شاخص آلاینده‌ها در این شهر بالاتر از حد استاندارد بود.

آن زمان مشهور بود که در مکزیکوسیتی به خاطر آلودگی هوا، پرنده‌ها هنگام پرواز می‌میرند و روی زمین می‌افتند. اما امروز با اجرای برنامه‌های منسجم مقابله با آلودگی هوا، دیگر نام مکزیکوسیتی حتی در میان ۱۰ شهر اول آلوده جهان به چشم نمی‌خورد. کیفیت نامطلوب سوخت و خودروهای فرسوده از مهمترین دلایل آلودگی هوای مکزیکوسیتی بود.

دولت مکزیک با سرمایه ۹/۳ میلیارد دلار پالایشگاه‌هایی برای تولید سوخت مناسب (با میزان گوگرد پایین) راه اندازی کرد. اصلاح کیفیت بنزین را می‌توان مهم‌ترین سیاست دولت مکزیک در مقابل آلودگی هوای مکزیکوسیتی دانست. دیگر راهکارهای منسجم و سریع در کاهش آلودگی هوا در مکزیک عبارتند از:

- کاهش استفاده از خودروهای شخصی
- بهبود کیفیت خودروها
- گسترش سیستم نقلیه عمومی

آلودگی هوا یک معضل جهانی است اما تجربه کشورها نشان می‌دهد که راه‌حل‌های پایدار وجود دارند. کلید موفقیت در سه محور خلاصه می‌شود:

۱. سیاست‌های قاطع دولتی و قانون‌گذاری مؤثر
۲. نوآوری و فناوری‌های سبز
۳. مشارکت و تغییر سبک زندگی مردم



نویسنده: خانم حنا نه ترک زاده

کارشناس مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: Hananeh.tzd80@gmail.com

آلودگی هوا و عدالت محیط زیستی

آلودگی هوا، سالانه موجب مرگ زودرس میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شود. سازمان بهداشت جهانی (WHO) تخمین زده که تنها در سال ۲۰۱۹، بیش از ۷ میلیون مرگ زودرس به‌طور مستقیم ناشی از آلودگی هوا بوده است. در بسیاری از کشورها، اقشار کم درآمد، گروه‌های حاشیه‌نشین و اقلیت‌های قومی بیشتر از سایرین در معرض آلاینده‌ها هستند. این وضعیت، نشان‌دهنده پدیده‌ای است که آن را «عدالت محیط زیستی - Environmental Justice» می‌نامند؛ مفهومی که به توزیع عادلانه منافع و مضرات زیست محیطی در جامعه می‌پردازد.

عدالت محیط زیستی به این معناست که هیچ گروه یا طبقه‌ای نباید به‌طور نامتناسب در معرض آلودگی‌ها یا تخریب محیط زیست قرار بگیرد. این مفهوم برای نخستین بار در دهه ۱۹۸۰ در ایالات متحده مطرح شد، زمانی که تحقیقات نشان داد زباله‌های سمی و صنایع بیشتر در مناطقی دپو یا مستقر می‌شوند که محل زندگی اقلیت‌های سیاه‌پوست و فقیر است. در واقع عدالت محیط زیستی، ترکیبی از دغدغه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حقوق بشری است. آلودگی هوا نیز یکی از بارزترین نمونه‌های آن است، زیرا:

- توزیع آلودگی یکسان نیست.
- گروه‌های ضعیف‌تر بیشتر در معرض آن‌اند.
- توانایی مقابله یا سازگاری با پیامدهای آن را ندارند.

چرا آلودگی هوا ناعادلانه است؟

مکان زندگی: جوامع فقیرتر معمولاً در نزدیکی منابع آلاینده مانند کارخانجات، پالایشگاه‌ها یا بزرگراه‌ها سکونت دارند.

قدرت خرید پایین‌تر: امکان استفاده از وسایل نقلیه پاک، خانه‌های عایق‌بندی‌شده یا دستگاه‌های تصفیه هوا برای آن‌ها محدود است.

دسترسی ناکافی به خدمات درمانی: بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا مانند آسم و بیماری‌های قلبی در این جوامع بیشتر دیده می‌شود، اما هزینه درمان برای آن‌ها سنگین‌تر است.

چرخه معیوب فقر و بیماری: افراد بیمار بهره‌وری کمتری دارند، درآمدشان کمتر می‌شود و در نتیجه امکان جابه‌جایی از مناطق آلوده را ندارند.

نابرابری زیست محیطی در جهان

ایالات متحده: پژوهش کلارک و همکارانش در سال ۲۰۱۴ نشان داد اقلیت‌های نژادی (به‌ویژه سیاه‌پوستان و لاتین‌تبارها) به‌طور میانگین در معرض ۳۸٪ بیشتر آلودگی NO هستند.

هند: محله‌های فقیرنشین دهلی‌نو با تراکم جمعیتی بالا و نبود فضای سبز، بیشترین آلودگی هوا را تجربه می‌کنند. کودکان این مناطق نرخ بالاتری از بیماری‌های تنفسی دارند.

اروپا: در لندن، تحقیقات نشان داد که مدارس ابتدایی واقع در مناطق فقیرتر، بیشتر در معرض غلظت بالای $PM_{2.5}$ هستند و همین امر بر یادگیری کودکان اثر می‌گذارد. نابرابری زیست محیطی در ایران

تهران: جنوب شهر تهران، از نظر کیفیت هوا وضعیت بدتری نسبت به مناطق شمالی دارند. این تفاوت ناشی از نزدیکی به صنایع، ترافیک سنگین و کمبود فضای سبز است.

اهواز: هم‌جواری مناطق محروم با صنایع نفت و گاز، همراه با بحران ریزگردها، اهواز را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان تبدیل کرده است.

مشهد و تبریز: محله‌های حاشیه‌ای در این کلان‌شهرها نیز با تراکم بالای خودروهای فرسوده و کمبود خدمات شهری مواجه‌اند.



اثرات آلودگی هوا در چارچوب عدالت محیط زیستی

۱. سلامت جسمی
آلودگی هوا با افزایش آسم، بیماری‌های قلبی-عروقی و حتی برخی سرطان‌ها مرتبط است. تحقیقات نشان می‌دهد ذرات ریز معلق ($PM_{2.5}$) یکی از عوامل اصلی مرگ‌ومیر زودرس در مناطق آلوده هستند. نکته مهم این است که این بیماری‌ها در میان اقشار محروم، به دلیل نداشتن امکانات بهداشتی و درمانی، با شدت بیشتری دیده می‌شوند.

۲. سلامت روان و شناختی

هوای آلوده نه تنها بر ریه‌ها اثر می‌گذارد، بلکه بر مغز نیز تأثیر دارد. مطالعات جدید ارتباط میان آلودگی و افزایش نرخ افسردگی، اضطراب و کاهش تمرکز کودکان را نشان داده‌اند. مدارس مناطق فقیرتر معمولاً در معرض سطح بالاتری از آلاینده‌ها هستند و همین امر می‌تواند آینده تحصیلی و شغلی دانش‌آموزان را تحت تأثیر قرار دهد.

۳. بازتولید فقر و نابرابری

وقتی هزینه‌های درمان بیماری‌های ناشی از آلودگی بیشترین سهم از درآمد خانواده‌های کم‌درآمد را بگیرد، چرخه‌ای شکل می‌گیرد که فقر را عمیق‌تر می‌کند. کاهش بهره‌وری کاری، افت تحصیلی کودکان و مهاجرت اجباری از مناطق آلوده، همگی تبعات اجتماعی آلودگی نا عادلانه‌اند.

۴. پیامدهای زیست‌محیطی و اقلیمی

آلودگی هوا به تغییرات اقلیمی دامن می‌زند و بر خاک، آب و پوشش گیاهی هم اثر منفی دارد. جوامع محرومی که به کشاورزی یا منابع طبیعی وابسته‌اند، از این آسیب‌ها بیش از همه متأثر می‌شوند.

راهکارها: حرکت به سوی هوای عادلانه

۱. توزیع عادلانه زیرساخت‌ها (فضای سبز، حمل‌ونقل عمومی پاک)
۲. اندازه‌گیری و انتشار عمومی داده‌های محلی آلودگی
۳. مشارکت جوامع محلی در فرآیندهای تصمیم‌گیری شهری
۴. یارانه و حمایت مالی از اقشار ضعیف برای دسترسی به فناوری‌های کاهش آلودگی
۵. تمرکز سیاست‌ها بر مدارس و مراکز درمانی محروم برای حفاظت از کودکان و بیماران

نتیجه‌گیری:

آلودگی هوا، تنها یک بحران زیست‌محیطی نیست؛ بلکه یک بحران اجتماعی و اخلاقی است. آنچه امروز در هوای آلوده شهرهای بزرگ تنفس می‌کنیم، بازتابی از نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی است. عدالت محیط زیستی، ما را متوجه می‌کند که مبارزه با آلودگی هوا فقط نصب فیلتر یا توسعه مترو نیست؛ بلکه تلاشی است برای برابری، برای حق اساسی بشر در تنفس کشیدن.



نقش فناوری‌های نانو در کاهش آلودگی هوا



آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و بهداشتی قرن حاضر است. این آلودگی می‌تواند از منابع طبیعی مانند گرد و غبار ناشی از باد، آتشفشان‌ها و آتش‌سوزی‌ها یا از منابع مصنوعی همچون فعالیت‌های صنعتی و حمل‌ونقل ایجاد شود.

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO) آلودگی هوا سالانه موجب مرگ زودرس حدود هفت میلیون نفر در سراسر جهان می‌شود؛ مرگ‌هایی که عمدتاً به دلیل افزایش بروز سرطان ریه، بیماری مزمن انسدادی ریه، سکته مغزی، بیماری‌های قلبی و عفونت‌های حاد تنفسی رخ می‌دهند.

همچنین آمارها نشان می‌دهد ۹ نفر از هر ۱۰ نفر در جهان، هوایی تنفس می‌کنند که غلظت آلاینده‌های آن فراتر از حد مجاز توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. این مسئله به‌ویژه در کشورهای کم‌درآمد و متوسط شدت بیشتری دارد.

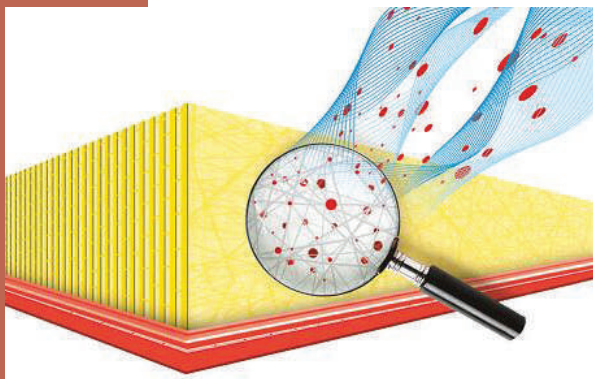
با توجه به ناکارآمدی و محدودیت روش‌های مرسوم کاهش آلودگی هوا مانند فیلتراسیون یا جذب سطحی توسط کربن فعال، در سال‌های اخیر فناوری نانو به عنوان یک راهکار نوظهور و امیدبخش مطرح شده است.

این فناوری به دلیل توانایی کنترل ماده در مقیاس اتمی و مولکولی، سطح ویژه بالا، واکنش‌پذیری قابل توجه و قابلیت طراحی مواد پیشرفته، افق جدیدی در مدیریت آلودگی‌های زیست‌محیطی گشوده است.

نانوفیلترها و غشاهای نانوساختار

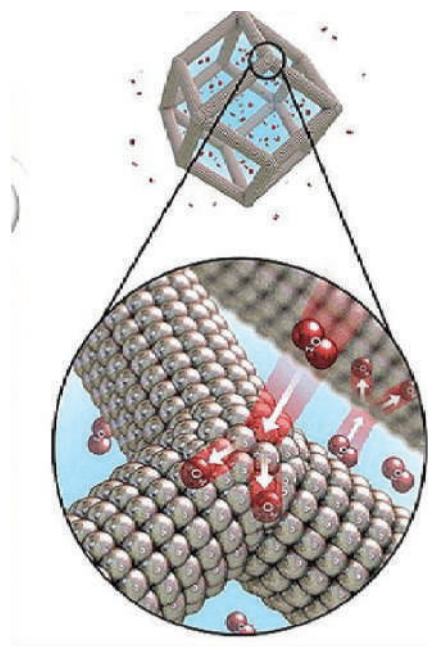
فیلترهای متداول توانایی محدودی در حذف ذرات بسیار ریز و آلاینده‌های خاص دارند و معمولاً با مشکلاتی مانند افت فشار بالا و مصرف زیاد انرژی مواجه‌اند. در مقابل، نانوفیلترها با منافذی در ابعاد ۱ تا ۱۰ نانومتر می‌توانند ذرات بسیار ریز، میکروارگانیسم‌ها و حتی آلاینده‌های آلی را حذف کنند.





غشاهای مبتنی بر نانولوله‌های کربنی نمونه‌ای برجسته از این فناوری هستند که توانایی جداسازی انتخابی گازهایی مانند CO_2 را دارند و نرخ انتقال آن‌ها صد برابر بیشتر از روش‌های متداول است. این ویژگی، نانوفیلترها را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای وسیع در صنایع و سیستم‌های تهویه شهری تبدیل کرده است. مطالعات نشان داده‌اند که ترکیب الیاف میکرومقیاس و نانومقیاس در یک فیلتر می‌تواند هم‌زمان کارایی فیلتراسیون را به بیش از ۹۹٪ برساند و افت فشار را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. این امر کاربرد نانوفیلترها را در تجهیزات حفاظت فردی، سیستم‌های تهویه مطبوع و تصفیه‌کننده‌های هوا تسهیل می‌کند.

نانوکاتالیست‌ها و فوتوکاتالیز



کاتالیست‌ها به‌طور کلی فرآیندهای شیمیایی را تسریع کرده و امکان تبدیل آلاینده‌های سمی به ترکیبات کم‌خطرتر را فراهم می‌کنند. نانوکاتالیست‌ها به دلیل سطح فعال بالا، کارایی بیشتری در حذف آلاینده‌ها دارند و می‌توانند حتی در دماهای پایین‌تر واکنش‌ها را به‌طور مؤثر انجام دهند. یکی از پرکاربردترین روش‌ها در این زمینه فوتوکاتالیز مبتنی بر نانومواد است. به‌ویژه نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) که با جذب نور خورشید فعال می‌شوند، قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی و گازی هستند. این فناوری در بسیاری از کشورها برای ساخت پوشش‌های خودپاک‌شونده در نمای ساختمان‌ها و کف خیابان‌ها مورد استفاده قرار گرفته و کاهش چشمگیری در غلظت اکسیدهای نیتروژن شهری به دنبال داشته است.

نانوحسگرها و غبار هوشمند



یکی از الزامات اساسی در مدیریت آلودگی هوا، پایش دقیق و سریع آلاینده‌ها است. نانوحسگرها با استفاده از موادی مانند گرافن، نانولوله‌های کربنی و اکسیدهای فلزی، می‌توانند غلظت‌های بسیار پایین آلاینده‌ها در حد (ppb) را شناسایی کنند. این حسگرها با دقت و سرعت بالا، امکان واکنش سریع به تغییرات کیفیت هوا را فراهم می‌کنند. نسل پیشرفته‌تر این فناوری، موسوم به غبار هوشمند (Smart Dust)، از ذرات فوق‌ریز سیلیکونی تشکیل شده است که مانند نانوکامپیوترهای کوچک در هوا معلق مانده و داده‌ها را به‌صورت بی‌سیم منتقل می‌کنند. این سیستم می‌تواند اطلاعات مربوط به میزان آلاینده‌ها، رطوبت و شرایط جوی را تا شعاع ۲۰ کیلومتری ثبت و ارسال نماید. چنین فناوری‌هایی می‌توانند در آینده به مدیریت هوشمند و لحظه‌ای آلودگی شهری کمک شایانی کنند.

نانوجاذب‌ها و چارچوب‌های آلی - فلزی متخلخل

یکی دیگر از کاربردهای مهم نانوفناوری، توسعه نانوذرات جاذب و چارچوب‌های فلزی-آلی (MOFs) است. این مواد به دلیل سطح ویژه بسیار بالا و ساختار متخلخل، توانایی چشمگیری در جذب گازهایی مانند دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسیدنیتروژن و ترکیبات آلی فرار دارند. مزیت بزرگ این مواد، قابلیت بازیافت و استفاده مجدد از آن‌هاست که آن‌ها را به گزینه‌ای پایدار برای تصفیه هوا تبدیل می‌کند.

افزودنی‌های نانومتری در سوخت

یکی از منابع اصلی آلودگی هوا، احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی در خودروها و صنایع است. افزودن نانوذراتی همچون اکسیدسربیم یا نانوذرات فلزی به سوخت، احتراق را کامل‌تر کرده و سبب کاهش تولید گازهایی مانند NO_x و CO می‌شود. این فناوری علاوه بر کاهش آلودگی، به صرفه جویی انرژی نیز کمک می‌کند.

چشم‌انداز آینده

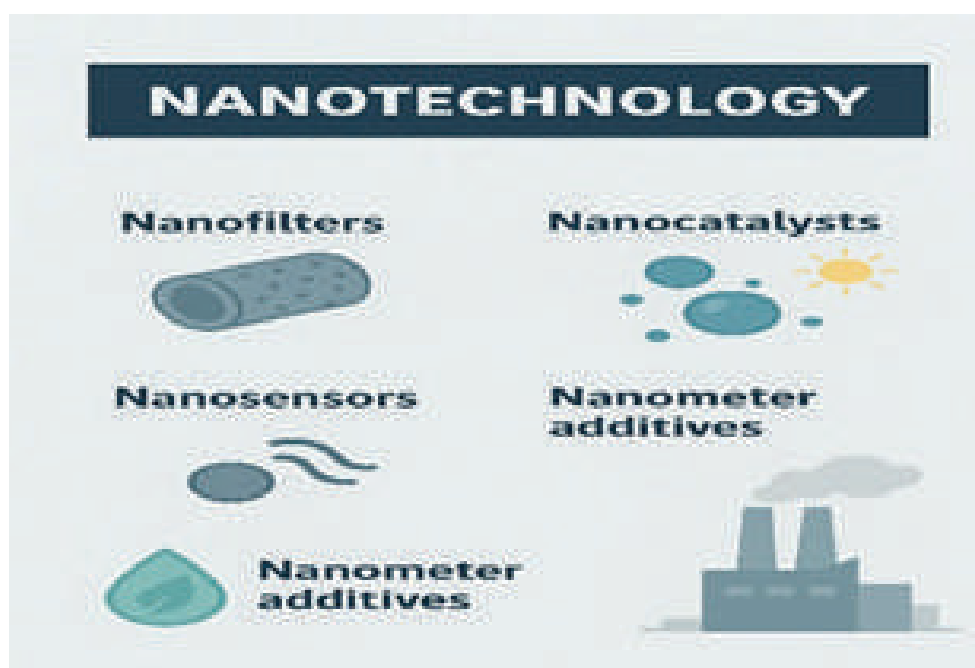
با پیشرفت تکنولوژی، انتظار می‌رود ابزارهای دقیق‌تر و کارآمدتری برای پایش و کاهش آلودگی توسعه یابند. نانوفناوری و سایر فناوری‌های نوین می‌توانند به کاهش اثرات مخرب آلودگی‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست کمک کنند. همچنین، ترکیب فناوری با آموزش عمومی و سیاست‌های حمایتی، مسیر دستیابی به محیطی سالم‌تر و پایدارتر را هموار خواهد کرد.

چالش‌ها و اثرات منفی احتمالی

با وجود تمامی مزایا، استفاده گسترده از نانومواد با چالش‌هایی نیز همراه است. از جمله این چالش‌ها می‌توان به هزینه بالای تولید، احتمال رهش نانومواد به محیط، ایجاد سمیت برای اکوسیستم‌ها و نبود مقررات ایمنی کافی اشاره کرد. فعالیت سطحی بسیار بالای نانومواد ممکن است منجر به واکنش‌های ناخواسته یا تجمع در محیط شود که این موضوع نیازمند توجه جدی پژوهشگران و قانون‌گذاران است.

نتیجه‌گیری

فناوری نانو با ارائه ابزارهایی چون نانوفیلترها، نانوکاتالیست‌ها، نانوحسگرها و نانوجاذب‌ها، افق‌های تازه‌ای در مدیریت و کاهش آلودگی هوا گشوده است. این فناوری نه تنها کارایی روش‌های مرسوم را بهبود بخشیده، بلکه راهکارهای جدید و مؤثری برای حذف آلاینده‌های مقاوم فراهم کرده است. با این حال، بهره‌گیری از نانوفناوری باید همراه با در نظر گرفتن مخاطرات احتمالی زیست محیطی و انسانی باشد. آینده‌ای پایدار و پاک، در گرو توسعه هوشمندانه، ایمن و اقتصادی فناوری‌های نانو است؛ فناوری‌ای که می‌تواند سلامت انسان و سیاره زمین را در برابر تهدید آلودگی هوا محافظت کند.





نویسنده: خانم محدثه سادات حسینی مقدم

کارشناس مهندسی بهداشت محیط

ایمیل: Hosinehmahdeseh6@gmail.com

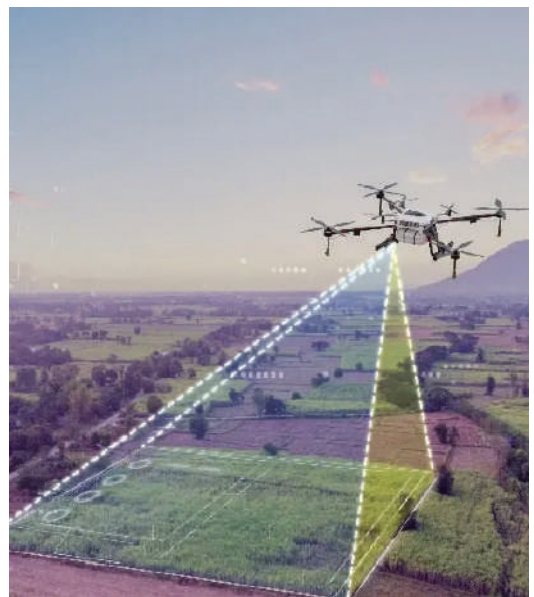
نقش پهپادها در پایش سه بعدی آلودگی های جوی و ردیابی خاستگاه های انتشار

کیفیت هوای محیط، این پدیده پیچیده و چندوجهی، همواره از دغدغه های بنیادین سلامت عمومی و پایداری زیست محیطی بوده است. این معضل، نه تنها به عوامل متعددی نظیر انتشار گازهای گلخانه ای برخاسته از فعالیت های گوناگون بشری از جمله تولید و مصرف انرژی، حمل و نقل، فرآیندهای صنعتی، کشاورزی و تصفیه فاضلاب وابسته است، بلکه تحت تأثیر مستقیم شرایط نامساعد هواشناسی، غلظت و پراکندگی آلاینده ها در لایه های جوی و محدودیت های ناهمواری های زمینی (توپوگرافی) نیز قرار می گیرد. از این رو، توزیع آلاینده های هوا هرگز یکنواخت نبوده و ضرورت پایش دقیق آن ها با تفکیک پذیری زمانی و مکانی مطلوب، بیش از پیش آشکار می گردد.

در این بستر، ابزارهای تحلیلی مبتنی بر پهپادها (وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین) به مثابه راهکاری نوین و قدرتمند، برای فائق آمدن بر این چالش ها رخ نموده و در حال اوج گیری هستند. این پیشرفت شگرف، مرهون توسعه برق آسای صنعت پهپاد و نیز تحولات چشمگیر در ساخت حسگرهای قابل حمل و با دقت بالاست، که کاربردهای این ابزارهای پرنده را در عرصه پایش آلودگی های جوی فزونی بخشیده است. متن حاضر، با رویکردی ژرف نگارانه، به بررسی و تبیین جامع کاربردهای متنوع پهپادها در حوزه پایش سه بعدی آلاینده های هوا و شناسایی دقیق خاستگاه های انتشار آن ها می پردازد.

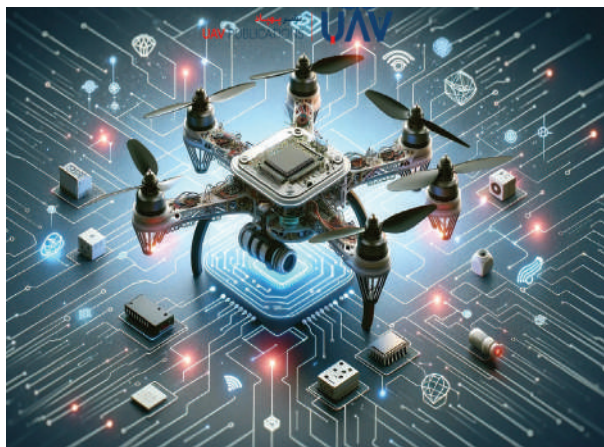
پهپادها پیشگامان پایش مقیاس پذیر و با تفکیک پذیری بالا:

پهپادهای مجهز به حسگرهای کیفیت هوای کم هزینه اما کارآمد، توانمندی رصد و اندازه گیری طیف وسیعی از آلاینده ها را از گازهای مولد گلخانه ای نظیر مونوکسید کربن (CO)، ازن (O_3)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، دی اکسید کربن (CO_2) تا ذرات معلق ریز ($\text{PM}_{2.5}$) و درشت (PM_{10}) دارا هستند. این سکوهای پروازی، با قابلیت پوشش سریع و فراگیر مناطق وسیع، به مثابه راه حلی بی بدیل برای ارتقاء مقیاس و وضوح در سنجش کیفیت هوا در حال ظهور هستند، چرا که می توانند داده های جامع و دقیقی را در بازه های زمانی کوتاه گردآوری کنند. حسگرهای مورد استفاده در این پهپادها، از تنوع بالایی برخوردارند و شامل سنسورهای الکتروشیمیایی برای تشخیص گازهای خاص، حسگرهای نوری (مانند سنسورهای پراکندگی نور) برای اندازه گیری غلظت ذرات معلق و حتی طیف سنج های کوچک و سبک برای شناسایی ترکیبات پیچیده تر می شوند.





الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای پیچیده‌ای را در داده‌های پهپاد کشف کنند، منابع آلودگی پنهان را شناسایی نمایند، و حتی رفتار آلاینده‌ها را در شرایط مختلف جوی پیش‌بینی کنند. به عنوان مثال، شبکه‌های عصبی می‌توانند با تحلیل داده‌های تاریخی و لحظه‌ای، پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت از غلظت آلاینده‌ها را ارائه دهند که این امر به سیاست‌گذاران اجازه می‌دهد تا اقدامات پیشگیرانه مناسبی را اتخاذ کنند. همچنین، مدل‌های پیشرفته پراکندگی آلاینده‌ها، با استفاده از ورودی‌های دقیق سه‌بعدی پهپادها، قادر به شبیه‌سازی دقیق‌تر حرکت و تحول آلاینده‌ها در اتمسفر هستند، که این امر به بهبود اثربخشی برنامه‌های کاهش آلودگی کمک شایانی می‌کند.



یکپارچه‌سازی داده‌ها، هوش مصنوعی و مدل‌سازی پیشرفته

پیشرفت‌ها در فناوری نانو و میکروالکترونیک، منجر به ساخت حسگرهایی شده که علاوه بر دقت بالا، از مصرف انرژی پایین و ابعاد بسیار کوچکی برخوردارند و این امکان را فراهم می‌کنند که چندین حسگرها به صورت همزمان بر روی یک پهپاد نصب شوند. این قابلیت چندحسگر، توانایی پهپاد را در جمع‌آوری داده‌های چندوجهی و جامع، به‌ویژه در محیط‌های شهری با منابع آلودگی متنوع، به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد.

نقشه‌برداری سه‌بعدی و ریشه‌یابی منابع انتشار:

نقش پهپادها در این عرصه، تنها به گردآوری داده‌ها محدود نمی‌شود؛ بلکه آن‌ها افق‌های جدیدی را برای مطالعات اتمسفری می‌گشایند که به تعمیق درک ما از پویایی آلاینده‌ها کمک شایانی می‌نماید. به عنوان نمونه، پهپادها قادرند با نمونه‌برداری از ستون عمودی هوا در محیط‌هایی با پروفایل‌های متفاوت آلودگی، امکان نقشه‌برداری و مدل‌سازی سه‌بعدی آلاینده‌ها را فراهم آورند. این ویژگی سه‌بعدی، انقلابی در تحلیل چگونگی پراکندگی آلاینده‌ها در لایه‌های گوناگون اتمسفر ایجاد می‌کند و به محققان و برنامه‌ریزان شهری اجازه می‌دهد تا دینامیک حرکت آلاینده‌ها را در ارتفاعات مختلف درک کنند. این امر به ویژه در شهرهای دارای پدیده‌ی وارونگی دما (اینورژن) که آلاینده‌ها در لایه‌های نزدیک به سطح زمین به دام می‌افتند، اهمیت حیاتی دارد. افزون بر این، یکی از توانمندی‌های منحصر به فرد و حیاتی پهپادها، قابلیت آن‌ها در تشخیص و ردیابی گازهای گلخانه‌ای فرار و تعیین موقعیت دقیق خاستگاه‌های انتشار آن‌هاست. با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته مسیریابی و سنسورهای فوق‌حساس، پهپادها می‌توانند مسیر انتشار آلاینده‌ها را از منبع تا نقطه اندازه‌گیری ردیابی کرده و با دقت بسیار بالا، حتی نشت‌های کوچک گاز را در تأسیسات صنعتی، خطوط لوله، یا حتی محل‌های دفن زباله شناسایی کنند. این امکان، به مسئولان و متولیان حفاظت از محیط زیست اجازه می‌دهد تا با دقتی بی‌سابقه به کانون‌های آلودگی ورود کرده و تدابیر اصلاحی لازم را اتخاذ نمایند، که این خود به کاهش چشمگیر انتشار آلاینده‌ها و بهبود سریع‌تر کیفیت هوا منجر می‌شود.

یکپارچه‌سازی داده‌ها، هوش مصنوعی و مدل‌سازی پیشرفته:

داده‌های حجیم و پیچیده‌ای که توسط پهپادها جمع‌آوری می‌شوند، ارزش واقعی خود را در یکپارچه‌سازی با سایر منابع داده و تحلیل‌های هوشمندانه نشان می‌دهند. سیستم‌های پیش مبتنی بر پهپاد، اغلب با شبکه‌های حسگر زمینی، ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای ثابت، و داده‌های ماهواره‌ای تلفیق می‌شوند تا یک تصویر جامع و چندلایه از وضعیت آلودگی ارائه دهند. این هم‌افزایی داده‌ها، دقت مدل‌سازی‌های پراکندگی آلاینده‌ها را به شدت افزایش می‌دهد. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نقش حیاتی در پردازش، تفسیر و پیش‌بینی روندهای آلودگی ایفا می‌کنند.

الزامات زیرساختی؛ تاب‌آوری ارتباطی و مقاومت محیطی

برای تضمین عملکردی بهینه و بدون وقفه، پهپادها نیازمند برخورداری از سیستم‌های ارتباطی مستحکم و قابل اتکاء هستند. این سامانه‌ها باید انتقال داده‌ها را به صورت بی‌درنگ و ایمن، به‌ویژه در مأموریت‌های دوربرد یا در نواحی با عوارض پیچیده زمینی، تضمین نمایند. استفاده از فناوری‌های ارتباطی پیشرفته مانند شبکه‌های G5، ارتباطات ماهواره‌ای کم‌مدار (LEO) یا حتی شبکه‌های مش (Mesh Networks) بین پهپادها، می‌تواند پایداری ارتباطی را در محیط‌های چالش برانگیز تضمین کند. همچنین، تأمین یک بستر انتقال داده‌ی رمزنگاری‌شده و امن، برای حفظ یکپارچگی و محرمانگی داده‌های گردآوری شده، از اهمیتی حیاتی برخوردار است تا از دستکاری یا سوءاستفاده از اطلاعات جلوگیری شود. در نهایت، خود پهپادها و حسگرهای همراه آن‌ها باید در برابر شرایط اقلیمی و محیطی دشوار نظیر دماهای بالا و پایین، رطوبت زیاد، ارتفاعات بالا، باد شدید یا اتمسفرهای خورنده از خود مقاومت نشان دهند. این شرایط چالش برانگیز، ممکن است در کاربردهایی چون ردیابی دود آتش‌سوزی‌های جنگلی، پایش انتشار گازهای آتشفشانی، یا حتی مانیتورینگ مناطق صنعتی با آلاینده‌های شیمیایی قوی بروز یابند. لذا، انتخاب مواد اولیه مناسب با مقاومت بالا، طراحی آیروپنایمیک برای پایداری در بادهای شدید، و پوشش‌های محافظتی ویژه برای حسگرها، برای افزایش دوام و دقت عملکرد این ابزارها، از اولویت بالایی برخوردار است.

کاربردهای ملموس؛ از کلان‌شهرها تا اعماق طبیعت:

طیف کاربردهای عملیاتی پهپادها در پایش آلودگی هوا، بسیار گسترده و حائز اهمیت است:

- **فارزبایی کیفیت هوای شهری و نقاط حساس:** پهپادها ابزاری بی‌بدیل برای ارزیابی دقیق کیفیت هوای مناطق شهری به شمار می‌روند و در شناسایی خاستگاه‌های آلاینده‌ی بالقوه (مانند نقاط ترافیکی شلوغ، کارخانه‌های کوچک یا مناطق ساخت‌وساز) و نقاط حساس (مانند مدارس، بیمارستان‌ها و پارک‌ها) یاری‌رسان هستند. کارایی آن‌ها به‌ویژه در مکان‌هایی که استقرار ایستگاه‌های نظارت سنتی به دلیل تراکم زیرساخت‌های شهری، پیچیدگی توپوگرافی یا محدودیت‌های فضایی دشوار است، نمایان‌تر می‌گردد. توانایی پرواز در ارتفاعات مختلف، امکان ایجاد پروفایل‌های عمودی آلودگی را فراهم کرده و به درک بهتر پدیده‌های محلی مانند "کانال‌های آلاینده" کمک می‌کند.

- **ردیابی و مدیریت آتش‌سوزی‌های جنگلی:** در مواجهه با آتش‌سوزی‌های مهیب جنگلی، پهپادها می‌توانند اطلاعات بی‌درنگی در خصوص مشخصات و پراکندگی دود، جهت و سرعت حرکت آن، و غلظت آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن و ذرات معلق ارائه دهند. این داده‌های حیاتی در مدیریت استراتژی‌هایی مقابله با آتش‌سوزی، ارزیابی مناطق تحت تأثیر، و پیش‌بینی پیامدهای آن بر کیفیت هوا در مناطق مجاور، نقشی تعیین‌کننده ایفا می‌کنند. علاوه بر این، پهپادها می‌توانند برای ارزیابی آسیب‌های پس از آتش‌سوزی و نظارت بر فرآیند بازسازی اکوسیستم نیز به کار گرفته شوند.

- **پایش آلودگی‌های مرزی و برون‌مرزی:** با توجه به حرکت توده‌های هوا، آلودگی هوا می‌تواند منشأ فرامرزی داشته باشد. پهپادها، به دلیل قابلیت پرواز در مسیرهای برنامه‌ریزی شده و پوشش مناطق وسیع، می‌توانند در پایش و ردیابی آلاینده‌هایی که از کشورهای همسایه یا مناطق دورتر منتقل می‌شوند، نقش مؤثری ایفا کنند. این داده‌ها می‌توانند در مذاکرات بین‌المللی و اتخاذ راهبردهای منطقه‌ای برای کنترل آلودگی هوا، مفید واقع شوند.





در نهایت، پهنای با ارائه قابلیت نمونه‌برداری مکانی-زمانی با وضوح بی‌نظیر، رویکردی را میسر می‌سازند که نه تنها با هواپیماهای سرنشین‌دار عملی نیست، بلکه از لحاظ اقتصادی نیز به صرفه نمی‌باشد.

برخی از سامانه‌های پهنای، حتی از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردارند و قابلیت حمل همزمان چندین حسگر و عملکرد در مدهای پروازی گوناگون (مانند طرح‌های ترکیبی بال چرخان برای بلند شدن عمودی و بال ثابت برای پرواز با راندمان بالا) را دارا هستند.

این تنوع در طراحی و قابلیت حمل پیلود، امکان انجام مأموریت‌های سفارشی‌سازی شده را فراهم می‌کند. با عنایت به قابلیت‌های بی‌حد و حصر و انعطاف‌پذیری مثال‌زدنی این پلتفرم‌های رباتیک، آینده‌ی کاربرد پهنای در حوزه‌ی پایش کیفیت هوا بسیار درخشان و امیدبخش به نظر می‌رسد.

همزمان، پیشرفت‌های شتابان در فناوری‌های نوین نظیر شیمی (برای ساخت حسگرهای حساس‌تر و پایدارتر)، فیزیک (برای توسعه‌ی منابع انرژی کارآمدتر و سیستم‌های پیش‌رانه نوآورانه) و علوم اطلاعات (برای پردازش هوشمندانه داده‌ها و هوش مصنوعی)، به تولید دستگاه‌های کوچک‌تر و سبک‌تر با حساسیت فزاینده، طول عمر بیشتر و قابلیت کنترل از راه دور پیشرفته‌تر منجر شده است.

این هم‌افزایی فناوریانه، نویدبخش تحولی بنیادین در شیوه‌های پایش و مدیریت آلودگی هوا در افق آینده است و ما را به سوی آسمانی پاک‌تر و سیاره‌ای سالم‌تر رهنمون می‌شود. چشم‌اندازی که در آن پهنای، به عنوان حافظان آسمان، به طور مداوم و هوشمندانه، سلامت تنفس ما را تضمین می‌کنند.

1. A Concise Review on BTEX Remediation from Aqueous Solutions by Adsorption — Springer, 2024.
2. A Review on Porous Adsorbents for Benzene and Other VOCs — MDPI, 2024.
3. Removal of MTBE and BTEX Pollutants from Contaminated Water using Colloidal Activated Carbon — ACS Omega, 2024.
4. Recent review on MOFs for adsorptive remediation of BTEX — (review article) 2025Piracha A,
- 5.Chaudhary MT. Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health: A Review of the Literature. Sustainability. 9234:(15)14;2022.
- 6.Jain R, Brar TS, Kamal MA. Environmental impact and mitigation benefits of urban heat island effect: a systematic review. Architecture Engineering and Science. 7-230:(4)3;2022.
- 7.Ibrahim OL, Saleem YMM. Reviewing study of the urban heat island phenomenon and mitigation strategies using available technology. Salud, Ciencia y Tecnología-Serie de Conferencias. 834:(3)2024.
- 8.Nutakki TUK, Kazim WU, Alamara K, Salameh T, Abdelkareem MA. Experimental investigation on aging and energy savings evaluation of high solar reflective index (sri) paints: A case study on residential households in the gcc region. Buildings. 419:(2)13;2023.
- 9.Fan L, Zhao M, Huo J, Sha Y, Zhou Y. The Impact of Vegetation Layouts on Thermal Comfort in Urban Main Streets: A Case Study of Youth Street in Shenyang. Sustainability. 1755:(4)17;2025.
- 10.Yoshioka M, Grosvenor DP, Booth BBB, Morice CP, Carslaw KS. Warming effects of reduced sulfur emissions from shipping. Atmos Chem Phys. 92-13681:(23)24;2024
- 11.Soukharev B. Why Humans Would Not Be Able to Stop Global Warming in the Coming Decades Even If There Were No Climate Feedbacks. In: Soukharev B, editor. Global Warming and Mass Migration: Climate change and its impact on migration to the North. Cham: Springer Nature Switzerland; .2025 73-113 .(20)8.
- 12.Westervelt DM, Horowitz LW, Naik V, Golaz JC, Mauzerall DL. Radiative forcing and climate response to projected 21st century aerosol decreases. Atmos Chem Phys. 703-12681:(22)15;2015.
- 13.Zhong S, Chen R, Song F, Xu Y. Knowledge mapping of carbon footprint research in a LCA perspective: A visual analysis using CiteSpace. Processes. 818:(11)7;2019.
- 14.Hertwich EG, Peters GP. Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. Environ Sci Technol. 20-6414:(16)43;2009.
- 15.Wood R, Stadler K, Simas M, Bulavskaya T, Giljum S, Lutter S, et al. Growth in environmental footprints and environmental impacts embodied in trade: Resource efficiency indicators from EXIOBASE3. J Ind Ecol. 64-553:(3)22;2018.
16. Orru H, Ebi K, Forsberg B. The interplay of climate change and air pollution on health. Current environmental health reports. 13-504:(4)4;2017.
17. Bowman DM, Kolden CA, Abatzoglou JT, Johnston FH, van der Werf GR, Flannigan M. Vegetation fires in the Anthropocene. Nature Reviews Earth & Environment. 15-500:(10)1;2020.
18. Kaur R, Pandey P. Air pollution, climate change, and human health in Indian cities: a brief review. Frontiers in Sustainable Cities. 3:705131;2021.
19. Agache I, Akdis C, Akdis M, Al-Hemoud A, Annesi-Maesano I, Balmes J, et al. Immune-mediated disease caused by climate change-associated environmental hazards: mitigation and adaptation. Frontiers in science. 2:1279192;2024.
20. Ramezani Ghavamabadi MH. Green economy: a step towards realizing sustainable development in international environmental law. Journal of Encyclopedia of Economic Law (Previous knowledge and development Journal). (6)21;2014.

21. Azmoodeh M, Masteri Farahani N. The Effect of Vertical Green Surfaces in Improving the Quality of Urban Climate With an Emphasis on Improving Air Pollution and Temperature Parameters (Monograph Case Study: Green Wall of Nature Bridge, Tehran). *Urban Economics and Planning*. 2022 Nov 83-76:(4)3;22.
22. Eskandari Sani M, Moradi M, Ebrahimi A. Investigating the factors affecting sustainable urban transportation based on green economy theory study: Birjand city. *Journal of Urban Research and Planning*. 24-13:(37)10;2019.
23. Xue C, Chao Y, Xie S, Yuan K. The Health Effects of Economic Growth: Evidence from PM2.5-Attributable Mortality in China. *Economies*. (7)13 ;2025.
24. Sharma D, Jahnavi R, Singh V, Verma M. Intelligent Pollution Mask: a Lifesaving Device. *Indian Journal of Science and Technology*. 12:43;2019.
25. Stinson, LIZ(7 feb.2017), "Hey eco-warriors: Now you can buy ink made of car exhaust. ISSN 1028-1059. Retrieved 15 Sept. 2019.
26. Gulia S, Shukla N, Padhi L, Bosu P, Goyal S, Kumar R. Evolution of air pollution management policies and related research in India. *Environmental Challenges*. 6:100431;2022.
27. Kirikkaleli D. Resource efficiency, energy productivity, and environmental quality in Japan. *Resources Policy*. 85:104006;2023.
28. Sullivan TJ, Driscoll CT, Beier CM, Burtraw D, Fernandez IJ, Galloway JN, et al. Air pollution success stories in the United States: The value of long-term observations. *Environmental science & policy*. 73-84:69;2018.
29. Zeng Y, Cao Y, Qiao X, Seyler BC, Tang Y. Air pollution reduction in China: Recent success but great challenge for the future. *Science of the Total Environment*. 37-663:329;2019.
30. Brulle RJ, Pellow DN. Environmental justice: human health and environmental inequalities. *Annual review of public health*. 24-103:(1)27;2006.
31. Clark LP, Millet DB, Marshall JD. National patterns in environmental injustice and inequality: outdoor NO2 air pollution in the United States. *PloS one*. (4)9;2014:e94431.
32. Pope III CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*. 42-709:(6)56;2006.
33. David E, Niculescu V-C. Volatile organic compounds (VOCs) as environmental pollutants: occurrence and mitigation using nanomaterials. *International journal of environmental research and public health*. 13147:(24)18;2021.
34. Ghosh A, Chakraborty R, Das A, Kumar A. Abating air pollution using nanoparticles and sustainable technologies through holistic lens. *Nanotechnology for Environmental Engineering*. 77-637:(4)9;2024.
35. Roy A, Sharma A, Yadav S, Jule LT, Krishnaraj R. Nanomaterials for remediation of environmental pollutants. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. 1764647:(1)2021;2021.
36. Saleem H, Zaidi SJ, Ismail AF, Goh PS. Advances of nanomaterials for air pollution remediation and their impacts on the environment. *Chemosphere*. 287:132083;2022.
37. Jońca J, Pawnuk M, Bezyk Y, Arsen A, Sówka I. Drone-assisted monitoring of atmospheric pollution—A comprehensive review. *Sustainability*. 11516:(18)14;2022.
38. Motlagh NH, Kortoçi P, Su X, Lovén L, Hoel HK, Haugsvær SB, et al. Unmanned aerial vehicles for air pollution monitoring: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*. 704-21687:(24)10;2023.
39. Rohi G, Ejofodomi Ot, Ofualagba G. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*. (1)6;2020.
40. Villa TF, Gonzalez F, Miljevic B, Ristovski ZD, Morawska L. An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future perspectives. *Sensors*. 1072:(7)16;2016.

نشریه علمی، اجتماعی، فرهنگی | شماره مجوز: ۱۰/۵۰/۱۳۱۷

@Dolatabadi_maryam
@Yaldasunrise

راه های ارتباطی :