

مدیریت آلودگی هوا

راهنمای کاربردی برای صنایع



تألیف: ب. اصفیا

ترجمه: احمد اصفیا



نشر دانشگاهی فرهنگ

نام کتاب: آلودگی هوا

مؤلف: بهرنگ (بن) اصفیا

مترجم: احمد اصفیا

گرافیس: کتابون علی نوری

سال چاپ: ۱۴۰۵

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

بها: سیاه و سفید ۷۵۰۰۰۰، رنگی: ۱۲۰۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۹۰-۸

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهنگ محفوظ می‌باشد

نشانی مرکز پخش: تهران، خیابان انقلاب، روبروی در اصلی دانشگاه، پاساژ فروزنده، طبقه اول واحد ۴۱۹

سرشناسه	: اصفیا، بهرنگ، ۱۳۵۹ - -Asfia, Ben, 1980
عنوان و نام پدیدآور	: مدیریت آلودگی هوا: راهنمای کاربردی برای صنایع/ مؤلف بهرنگ اصفیا؛ مترجم احمد اصفیا.
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فرهنگ، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۳ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: : 978-622-4980-90-8 ۱۲۰۰۰۰۰۰ ر یال
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Air pollution management: a primer for industry, 2026.
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۷۱ - ۱۷۲.
موضوع	: هوا -- مدیریت کیفیت Air quality management هوا -- آلودگی Air -- Pollution هوا -- آلودگی -- پیشگیری Air -- Pollution -- Prevention
شناسه افزوده	: اصفیا، احمد، ۱۳۲۴-، مترجم
رده بندی کنگره	: TDA۸۲
رده بندی دیویی	: ۳۶۳/۷۳۹۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۶۷۱۰۹۵
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

درباره نویسنده

بهرنگ (بن) اصفیا مهندس محیط‌زیست با تجربه و تخصص در حوزه سیستم‌های کنترل آلودگی هوا است. وی پس از طی دوره کارشناسی مهندسی عمران در دانشکده فنی دانشگاه تهران و کارشناسی ارشد مهندسی آب در دانشگاه صنعتی شریف، پس از چند سال تجربه در پروژه‌های سد و نیروگاهی، فعالیت حرفه‌ای خود را در زمینه کنترل آلودگی هوا از سال ۲۰۰۷ آغاز کرده است. حاصل این تجربیات مقالات فنی و دستورالعمل‌های طراحی در زمینه مهندسی محیط‌زیست بوده است. در طول فعالیت حرفه‌ای خود، او کارگاه‌های آموزشی متعددی را در کنفرانس‌های بین‌المللی برگزار کرده و دوره‌های آموزشی تخصصی برای کارفرمایان صنعتی، مشاوران مهندسی و تیم‌های فنی درون‌سازمانی ارائه داده است. وی طی سال‌های فعالیت در شرکت AmerAir International در طیف گسترده‌ای از پروژه‌های صنعتی در سطح بین‌المللی مشارکت فعال داشته است؛ از بخش‌های شهری تا صنایع نفت و گاز، و تمامی مراحل پروژه از مطالعات امکان‌سنجی و توسعه مفهومی تا طراحی تفصیلی و تأمین تجهیزات را پوشش داده است.

فهرست مطالب

مقدمه

نشانه‌های اختصاری

فصل ۱	آلاینده‌های صنعتی هوا----- ۱۱
۱-۱	ماهیت آلاینده
۱-۱-۱	ذرات آلاینده
۲-۱-۱	آلاینده‌های گازی
۳-۱-۱	منابع آلودگی
۲-۱	آثار سوء آلودگی
۱-۲-۱	به خطر انداختن سلامت انسان
۲-۲-۱	تخریب اقلیم و جهان
۳-۲-۱	تهدید ایمنی، آزاردهندگی و خسارت مالی
۳-۱	جریان آلودگی در هوا
۱-۳-۱	کمیت آلاینده
۲-۳-۱	انتشار آلاینده
۳-۳-۱	پخش آلودگی
۴-۱	محدودیت آلودگی در صنعت
۱-۴-۱	آلاینده‌های متعارف
۲-۴-۱	محدودیت انتشار آلاینده
۳-۴-۱	آلودگی هوا و توسعه پایدار
فصل ۲	مدیریت آلودگی هوا----- ۳۲
۱-۲	رویکردهای مدیریت آلودگی
۱-۱-۲	پیشگیری از تشکیل آلاینده
۲-۱-۲	کاهش انتشار آلاینده
۳-۱-۲	اصلاح پخش آلودگی در هوا
۴-۱-۲	پالایش هوای آلوده
۲-۲	فن‌آوری‌های پالایش ذرات آلاینده
۱-۲-۲	محفظه ته‌نشینی
۲-۲-۲	جداساز سیکلونی
۳-۲-۲	الکتروفیلتر
۴-۲-۲	غبارگیر کیسه‌ای
۵-۲-۲	اسکراپر
۳-۲	فن‌آوری‌های پالایش گازهای آلاینده
۱-۳-۲	فیلتر کربن فعال
۲-۳-۲	اسکراپر بستر دار
۳-۳-۲	اسکراپر برج سینی‌دار
۴-۳-۲	فیلتر بیولوژیکی

فصل ۳	۵-۳-۲	اکساینده حرارتی
۳	۳-۱	مطالعات آلودگی هوا
	۳-۱-۱	اندازه‌گیری انتشار آلاینده
	۳-۱-۲	هدف اندازه‌گیری
	۳-۱-۳	شناسایی منابع آلودگی
	۳-۱-۴	اندازه‌گیری آلاینده
	۳-۱-۵	روندهای اندازه‌گیری
	۳-۱-۵	نمونه‌برداری
	۳-۲	طرح مدیریت آلودگی
	۳-۲-۱	برآورد انتشار آلاینده
	۳-۲-۲	شبیه‌سازی پراکنش آلودگی
	۳-۲-۳	راهکارهای مهار آلودگی هوا
	۳-۲-۴	تعیین راهکار بهینه مهار آلودگی هوا
فصل ۴	۴-۱	سیستم پالایش هوا
	۴-۱-۱	انتخاب فن‌آوری
	۴-۱-۲	پالایش ذرات
	۴-۱-۳	پالایش گازها
	۴-۱-۳	ترکیب فن‌آوری‌ها
	۴-۲	طراحی سیستم تهویه
	۴-۲-۱	دستگاه‌های بدون فن
	۴-۲-۲	سازوکار تهویه با فن
	۴-۲-۳	محاسبه افت فشار
	۴-۲-۴	طراحی مجاری
	۴-۳	تجهیزات سیستم پالایش
	۴-۳-۱	انتخاب مصالح
	۴-۳-۲	پوشش و هود
	۴-۳-۳	مجاری
	۴-۳-۴	فن
	۴-۳-۵	پیش‌فیلتر و قطره‌گیر
	۴-۳-۶	انتقال و بازچرخش مایعات و تزریق مواد
	۴-۳-۷	کاهنده و افزایش دما
	۴-۴	مهندسی سیستم پالایش
	۱۹۰	تصاویر تجهیزات پالایش آلودگی هوا
	۱۹۷	واژه‌نامه
	۲۱۳	مراجع

مقدمه

این کتاب مروری فشرده بر مسائل مربوط به آلاینده‌های صنعتی هواست. خوشبختانه تا کنون کتاب‌های ارزشمندی در زمینه مهندسی آلودگی هوا منتشر شده‌است. عمده این کتاب‌ها یا به بحث جامع آلودگی هوا، شامل منابع متحرک و صنایع، پرداخته و یا به صورت تخصصی پایش یا پالایش آلاینده‌ها را بررسی کرده‌است. نگارنده به عنوان مهندس مدیریت آلودگی هوا، سال‌ها از این کتب مرجع بهره برده‌ام و در خلال آن با کاستی‌هایی روبرو شده‌ام. بخشی از این کاستی‌ها مربوط به کلیاتی چون مطالعات و طراحی و انتخاب تجهیزات است و برخی ناشی از فاصله مابین مباحث نظری و عملی است. از این رو تصمیم گرفتم کتابی مربوط به آلودگی هوا اما متمرکز بر صنایع بنویسم تا کلیه مسائلی که یک مهندس از نقطه صفر تا تهیه طرح مدیریت آلودگی با آن روبروست را بررسی کنم.

در فصل اول، ماهیت آلاینده اعم از ذره یا گازی بودن، منبع آلودگی یا دلیل شکل‌گیری آلاینده و نحوه انتشار آن مرور می‌شود. سپس آثار سوء آلاینده از منظر تهدید سلامت انسان در محیط کار و محیط زیست، تخریب اقلیم و جهان، آزاردهندگی، تهدید ایمنی و خسارت‌آوری مالی بررسی می‌شود. برای کاهش این آثار، محدودیت‌هایی از جانب متولیان امر مانند سازمان‌های حفاظت از محیط زیست، انجمن بهداشت محیط، انجمن آشنشانی، ادارات محلی و مجامع بین‌المللی، در قالب آیین‌نامه و پیمان‌نامه تعیین می‌شود. با توجه به اینکه آلاینده بنابر آثار سوءش ممکن است در چندین آیین‌نامه محدود شده باشد، مهندس طرح باید با همه این موارد آشنا باشد و محدودیت‌ها را در طراحی لحاظ کند. در مجموع این فصل برای مهندسان کارفرما و مشاوران که در نقطه صفر مدیریت آلودگی هوا قرار دارند بسیار کاربردی است.

فصل دوم کتاب به بحث مدیریت آلودگی هوا اختصاص دارد. به طور کلی رویکردهای متنوعی برای مدیریت آلودگی وجود دارد؛ پیشگیری از تشکیل آلاینده، کاهش انتشار آلاینده، اصلاح پخش آلودگی در هوا و پالایش هوای آلوده. انتخاب هر رویکرد بستگی به نیاز طرح و محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای دارد. در این میان، رویکرد آخر یعنی اجازه تشکیل آلودگی و پالایش آن در پایین‌دست، با توجه به افزایش محدودیت‌های انتشار آلاینده در سال‌های اخیر و همچنین سازگاری با توسعه پایدار، کاربرد بیشتری دارد. بنابراین در این فصل به مفاهیم پایه فن‌آوری‌های پالایش و طراحی دستگاه‌های پالایش می‌پردازیم. البته با توجه به گستردگی این فن‌آوری‌ها، صرفاً به تعدادی از آن‌ها نظیر محفظه ته‌نشینی، جداساز سیکلونی، الکتروفیلتر، غبارگیر، انواع اسکرابر، فیلتر جاذب، فیلتر بیولوژیکی و اکساینده حرارتی پرداخته شده که در زمره پرکاربردترین روش‌های پالایش هستند. برای سایر موارد می‌توان به کتاب‌ها یا تأمین‌کنندگان تخصصی مراجعه کرد. این فصل علاوه بر مهندسان

کارفرما و مشاور که در وهله اول وظیفه انتخاب راهکار مهار آلودگی بر عهده آن‌ها است و در مرحله بعد باید مدارک طراحی تامین‌کننده تخصصی را مرور و تایید کنند، به کار مهندسان تامین‌کنندگان تخصصی نیز می‌آید تا با مباحث نظری طراحی دستگاه‌های پالایش نیز آشنا شوند.

در فصل سوم، تمرکز اصلی بر روی مطالعات آلودگی هواست. در بسیاری از طرح‌ها این مبحث به اندازه‌گیری آلاینده و نهایتاً شبیه‌سازی پراکنش آلودگی تقلیل می‌یابد. در صورتی که در بحث اندازه‌گیری ظرایفی هست که تاثیری مستقیم بر تدقیق طراحی دارد؛ از انتخاب روند اندازه‌گیری، روش نمونه‌برداری و ابزار سنجش تا پردازش آماری داده‌ها. اما مهمترین بخش این مطالعات، تهیه طرح مدیریت آلودگی است که در آن به کمک داده‌های اندازه‌گیری و نتایج شبیه‌سازی پراکنش، نسبت به انتخاب منابع آلودگی که باید مهار شوند و همچنین احجام تهویه از این منابع تصمیم‌گیری می‌شود. البته در این مرحله ملاحظات اقتصادی نیز مد نظر قرار می‌گیرد تا راهکار بهینه تعیین شود. در نهایت، ماحصل این طرح، تعیین دبی هوای آلوده، غلظت ورودی آلاینده و میزان لازم بازدهی کاهش آن، به عنوان متغیرهای اصلی راهکار مهار آلودگی هستند. این فصل برای مهندسان کارفرما و مشاور که خود قصد انجام مطالعات دارند و یا مشاورهای تخصصی، کاربرد دارد.

فصل چهارم به جزئیات بیشتری از راهکارهای مهار آلودگی می‌پردازد. در راس این جزئیات، انتخاب فن‌آوری مناسب است که با توجه به ماهیت و غلظت آلاینده و سایر عوامل باید صورت پذیرد. بعد از آن به بحث تهویه اعم از روش راکد یا مجهز به فن می‌پردازیم. در اینجا، طراحی شبکه مجاری و محاسبه افت فشار نیز به عنوان بخشی از تهویه بررسی می‌شود. هر فن‌آوری پالایش شامل تجهیزات مختلفی از جمله دستگاه پالایش، فن، مجاری و پوشش منابع آلودگی است که باید متناسب با نیاز طرح، انتخاب شوند. با وجود آلاینده‌های مضر، برای تضمین دوام لازم برای تجهیزات باید از مصالح مناسب استفاده نمود. همچنین در برخی فن‌آوری‌ها به سایر تجهیزات جانبی نظیر پیش‌فیلتر، قطره‌گیر، انواع پمپ، مخزن نگهداری مواد و کاهنده و افزایش دما نیاز دارد. در انتها نیز به مهندسی سیستم پالایش پرداخته می‌شود. این فصل برای مهندسان کارفرما و مشاور که قصد برگزاری مناقصه و بررسی اسناد فنی دارند و همچنین مهندسان تامین‌کنندگان تخصصی که در پی انتخاب فن‌آوری مناسب و تجهیزات جانبی هستند، کاربرد دارد.

چنانچه در ابتدا گفته شد، این کتاب ترکیبی از تجربه کاری و مطالعات جانبی نگارنده است که به قصد کاربردی کردن مسائل کلیدی این مبحث نوشته شده‌است. بی‌شک کتاب خالی از نواقص نیست و نیاز به افزودن و پیراستن بیشتر دارد. از این‌رو از خوانندگان گرامی درخواست می‌کنم در صورت یافتن اشتباه یا داشتن پیشنهاد برای بهبود مطالب کتاب، نگارنده را از طریق رایانامه b.asfia@gmail.com، از نقطه نظرشان آگاه سازند. بسیاری از اشکال به صورت اختصاصی برای این کتاب

تهیه شده است. برخی نمودارها نیز از روی نمودار اصلی کشیده است. از این رو، توصیه می شود برای نمودارها به مراجع اصلی که در زیر هر شکل اشاره شده مراجعه نمود. در انتهای کتاب مراجع مورد استفاده در کتاب ذکر شده است. از آنجا که بخش عمده ای از مطالب کتاب از مدارک فنی شخصی و یا شرکت های تخصصی استخراج شده، ممکن است برخی مراجع اصلی از قلم افتاده باشد که پیشاپیش از این بابت پوزش می طلبم. همچنین به جاست از همکار گرامی ام S.M.Shojaie، از متخصصان بنام در زمینه مهار آلودگی هوا، مراتب سپاسگزاری را به عمل آورم که بخش عمده ای از این تجارب در خلال همکاری با ایشان میسر شد. امیدوارم کتاب حاضر کمکی هرچند کوچک به بهترسازی محیط زیستمان باشد.

نشانه‌های اختصاری

ε	Particle dielectric constant	ثابت دی‌الکتریک ذره
ε_0	Free space permittivity	قابلیت نفوذ در فضای آزاد
λ	Mean free path	میانگین مسافت آزاد
μ	Air viscosity	گران‌روی هوا
η	Removal efficiency	بازدهی زدایش آلاینده
η_B	Removal efficiency for block flow	بازدهی زدایش جریان قالبی
η_M	Removal efficiency for mixed flow	بازدهی زدایش جریان اختلاطی
η_P	Plate removal efficiency	بازدهی زدایش صفحه
η_t	Target efficiency	بازدهی هدف
ρ_a	Air density	چگالی هوا
ρ_p	Particle density	چگالی ذرات
ω	Angular velocity	سرعت زاویه‌ای
A	Experimentally determined coefficients	ضریب ثابت تجربی
A_L	Liquid surface	مساحت بارش
A_p	Particle projected area	سطح در معرض نیروی ذرات
AC	Adsorption capacity of pollutant	ظرفیت جذب آلاینده (حجمی)
c	Concentration	غلظت
C	Cunningham correction factor	ضریب تصحیح کانینگهام
C_d	Drag coefficient	ضریب پَسار
D_b	Diameter of the obstacle or barrier	قطر مانع
D_D	Droplet diameter	قطر قطره
D_p	Particle diameter	قطر ذرات

DRE	Destruction and removal efficiency	بازدهی زدایش و تخریب
E	Field strength	قدرت میدان
EM	Eliminated mass	کل جرم حذف شده
F_c	Centrifuge force	نیروی گریز از مرکز
F_d	Drag Force	نیروی پَسار
F_e	Electrostatic force	نیروی الکترواستاتیک
g	Gravitational acceleration	شتاب جاذبه
G	Gas flux rate	شار گاز
H	Henry's law constant	ضریب ثابت هنری
HTU	Overall height of transfer unit	ارتفاع واحد انتقال
h_s	Vertical settling distance	فاصله عمودی ته‌نشینی
k	Permeability	نفوذپذیری
k	Kinetic rate constant	ثابت سرعت واکنش
K_Y	Overall mass transfer coefficient in gas	ضریب انتقال جرم گاز
L	Liquid flux rate	شار مایع
m_p	Particle mass	جرم ذرات
n	Reaction order	مرتبه واکنش
N_s	Separation number	عدد جداسازی
N_p	Number of plates	تعداد صفحات
NTU	Number of transfer unit	تعداد واحدهای انتقال
Q_G	Gas/Air flowrate	دبی گاز یا هوا
Q_L	Liquid flowrate	دبی جریان آب
P_i	Partial pressure	فشار جزئی گاز

R	Universal gas constant	ثابت جهانی گازها
Re	Reynolds number	عدد رینولدز
R_x	Mass loading rates	نرخ دریافت جرمی
t	Residency time	زمان ماند
V_0	Particle velocity	سرعت ذرات
V_a	Air average velocity	سرعت متوسط هوا
V_c	Tangential velocity	سرعت مماسی
V_D	Drop velocity	سرعت قطره
V_G	Gas velocity	سرعت گاز
V_s	Velocity of fluid in a porous medium for laminar flow	سرعت سیال با جریان آرام در محیط متخلخل
V_t	Terminal settling velocity	سرعت ته‌نشینی
Vol_B	Bed media volume	حجم بستر
Vol_p	Particle volume	حجم ذرات
w	Drift velocity	سرعت سوق
X_s	Stokes stopping distance	مسافت توقف استوک
Z	Packing depth	عمق پکینگ

فصل اول: آلاینده‌های صنعتی هوا

آلودگی هوا به معنای حضور موادی در هواست که برای سلامتی انسان و سایر موجودات زنده مضر بوده و یا آسیب‌رسان به اقلیم و مقتضیات است. آلاینده‌های هوا، همچون سایر آلودگی‌های محیط‌زیست (خاک و آب) در محیط پخش و رقیق شده، تحت تغییرات فیزیکی و شیمیایی قرار گرفته و در نهایت در تماس با گیرنده (موجودات زنده) یا مواد، موجب آسیب و خسارت می‌شوند. تغییرات مزبور در محیط، می‌تواند موجب تشکیل آلاینده‌های جدید نیز گردند. تفاوت عمده آلودگی هوا با سایر آلودگی‌ها در این است که اولاً به دلیل گستردگی جو، پخش آلودگی به صورت مهارناپذیرتری رخ می‌دهد، دوم اینکه فرایند تشکیل آلاینده‌های جدید ناشی از تغییرات جوی و آلودگی‌های تجمعی، غیرقابل پیش‌بینی‌تر است. بنابراین به صرف کاهش آلاینده تا حد قابل تحمل در محیط، نمی‌توان از تبعات انتشار آلاینده با غلظت هر چند کم، در پایین‌دست جریان هوا مطمئن بود. با وجود این، باید نهایت تلاش را برای کاهش آلاینده نمود. برای شناخت معضل آلودگی هوا در صنعت، ابتدا باید از ماهیت آلاینده، آثار سوء و نحوه انتشار محدودیت‌های آن آگاه شد تا بتوان در خصوص مدیریت آلودگی اقدامات لازم را انجام داد.

۱-۱ ماهیت آلاینده

عامل ایجاد آلودگی هوا، ذرات، گازها و ترکیبات فرار یا مولکول‌های بیولوژیکی هستند که از منابع آلودگی جدا شده و در هوا پخش شده‌اند. آلاینده‌ها را می‌توان بر اساس خواص فیزیکی، به دو گروه اصلی ذرات آلاینده و آلاینده‌های گازی تقسیم نمود. این آلاینده‌ها، موسوم به آلاینده اولیه، پس از انتشار از منابع و پخش در جو نیز می‌توانند طی واکنش‌های شیمیایی با سایر آلاینده‌ها یا گازهای جو ترکیب شوند و آلاینده‌های جدید یا به عبارتی آلاینده‌های ثانویه را تشکیل دهند. برای آگاهی از ماهیت آلودگی هوا، باید نگاهی به انواع آلاینده‌ها و منابع آلودگی انداخت.

۱-۱-۱ ذرات آلاینده

ذرات آلاینده، دانه‌های جامد یا قطرات مایع هستند که طی فرایندهای مکانیکی یا شیمیایی در هوا پراکنده شده‌اند. گرد و غبار، فیوم و دود از ذره‌های جامد و میست و مه از ذره‌های مایع و مه‌دود مخلوطی از ذره‌های جامد و مایع هستند: گرد و غبار ذرات خشک حاصل از فرایندهای مکانیکی مانند شکستن، ساییدن و خردکردن است. ذرات خروجی از صنایع معدنی و فلزی در زمره همین آلاینده‌ها است.

فیوم ذرات جامد بسیارریزی است که از بخار یک ماده جامد در فرایند ذوب ایجاد می شود. فیوم های ناشی از ذوب پلاستیک در کارخانه های بازیافت و فیوم های حاصل از جوشکاری با قوس الکتریکی، نمونه ای از این آلاینده ها است.

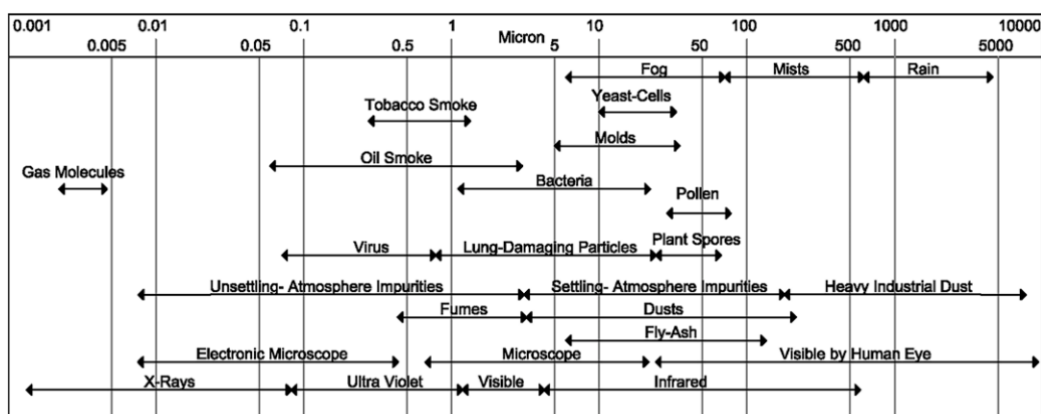
دود یک مخلوط پیچیده از ذرات جامد، و بعضاً مایع، گاز یا بخار است که به علت احتراق ناقص مواد کربن دار ایجاد می شود. دود ناشی از سوختن پلاستیک، از همین نوع آلاینده ها است.

میست قطره های کروی شکل مایع است که به وسیله فرایندهای مکانیکی مانند پاشیدن مایع به اطراف، ایجاد حباب در مایع یا اسپری کردن یک مایع تولید می شود. هوای خروجی از سالن های رنگ در صنایع مختلف حاوی همین آلاینده ها است.

مه نیز قطره های کوچکتر از میست، حاصل از متراکم شدن بخار است که در هوا معلق می ماند. این آلاینده بیشتر در حوزه ذرات جوی مطرح است تا بحث آلاینده های صنعتی.

مه دود نوعی آلودگی هوا است که عمدتاً در اثر سوختن زیاد زغال در یک منطقه ناشی از مخلوط دود و دی اکسید گوگرد حاصل می شود.

به طور معمول، این ذرات بر اساس قطر نیز تقسیم بندی می گردند. البته استفاده از قطر به این معنی نیست که ذرات الزاماً کروی باشند. مثلاً الیاف شیشه و آزبست، میله ای شکل هستند و از قطر کره با حجم معادل آن ها استفاده می شود. ذرات ریز عمدتاً حاصل احتراق، تبخیر یا چگالش هستند در حالی که ذرات درشت تر ناشی از عملیات فیزیکی هستند. در شکل (۱-۱)، نمودار اندازه ذرات نشان داده شده است.



۱-۱-۲ آلاینده‌های گازی

آلاینده‌هایی که در شرایط استاندارد دما (۲۵ درجه سانتیگراد) و فشار (۱ جو) به شکل گاز هستند، به آلاینده‌های گازی موسوم‌اند. برخی از این آلاینده‌ها از موادی هستند که در شرایط مزبور گاز هستند. اما برخی جزء گازی شکل از مواد مایع یا جامد هستند که در حال تعادل با آن مواد هستند. این دسته دوم بخار نامیده می‌شوند.

گازها حاصل نشت مواد مورد استفاده در فرایندهای تولیدی یا تصفیه، و یا حاصل خروجی از فرایندهای شیمیایی و حرارتی هستند. مثلاً نشت گاز از مخازن نگهداری کلر یا گازهای خروجی گوگردار از کوره‌ها در زمره این آلاینده‌ها هستند. بخارها هم در واقع گازهایی هستند که به دلیل فراریت یا تبخیر و تصعید از سطح مایع و جامد تشکیل شده‌اند. مثلاً بخارهای لاشه حیوانات در کشتارگاه‌ها یا بخارهای حوضچه‌های پساب در زمره این آلاینده‌ها هستند.

گازها می‌توانند منشا آلی و غیرآلی داشته باشند. اگر بخارها از مواد آلی باشند، ترکیبات آلی فرار (VOCs) خوانده می‌شوند. این ترکیبات شیمیایی که در مولکول‌های خود دارای کربن آلی (کربن متصل به کربن، هیدروژن، نیتروژن یا گوگرد) هستند، به دلیل نقطه جوش پایین، در دمای استاندارد فشار بخار بالایی دارند. این فشار باعث می‌شود که تعداد مولکول‌های قابل توجهی از این مواد در اثر فرایند تبخیر یا تصعید به حالت گاز درآمده و در هوای اطراف انتشار یابند.

۱-۱-۳ منابع آلودگی

قدمت آلاینده‌های هوا به تاریخچه تشکیل کهنکشان‌ها و زمین پس از مه‌بانگ بر می‌گردد. طبق نظریه‌های رایج، حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش، جو اولیه زمین متشکل از گازهای موجود در سحابی خورشیدی مانند هیدروژن و هلیوم و احتمالاً بخار آب، متان و آمونیاک بوده‌است. گازهای خروجی از آتشفشان‌ها در شکل‌گیری جو دوم (حدود ۳/۵ تا ۲/۷ میلیارد سال پیش) تاثیر داشت، به طوری که نیتروژن و دی‌اکسیدکربن به عمده گاز موجود در جو تبدیل شدند. در این دوران گازهای سمی نظیر آرسنیک نیز در جو یافت می‌شدند و حتی برخی سیانوباکتری‌ها^۱ نسبت به آن مصون بودند. جو سوم پس از آزادسازی دی‌اکسیدکربن، به دلیل جابه‌جایی صفحات زمین ساخت شکل گرفت. در این دوران، اکسیژن آزاد شده صرف اکسایش مواد از جمله آهن می‌شد تا زمانی که نرخ آزادسازی از میزان اکسیژن مورد نیاز پیش گرفت و منجر به تجمع قابل تامل این گاز در

^۱ *Cyanobacteria* به عنوان قدیمی‌ترین فتوسنتزکننده روی زمین شناخته شده‌اند که به‌طور گسترده‌ای در خاک‌های طبیعی، آب‌های شیرین و زیستگاه‌های دریایی توزیع شده‌اند.

جو گردید. میزان اکسیژن در جو در طی ۶۰۰ میلیون سال گذشته متناسب با فوتوسنتز گیاهان و فوران آتشفشان ها با نوساناتی همراه بوده است. اما آنچه اکنون مایه نگرانی است، تهدید شرایط متعادل ترکیبات هوای جو، توسط آلودگی قابل ملاحظه هوا در قرون اخیر و به ویژه پس از انقلاب صنعتی است.

منابع آلاینده را می توان به دو بخش انسانی و طبیعی تقسیم نمود؛

اولی شامل گرد و غبار برخاسته از منابع طبیعی بدون پوشش گیاهی، متان ناشی از هضم غذا توسط حیوانات و تجزیه گیاهان (گاز مرداب)، رادون حاصل از پوسیدگی رادیواکتیو در پوسته زمین، دود و مونوکسیدکربن ناشی از آتش سوزی ها، ترکیبات آلی فرار از برخی پوشش های گیاهی (مانند صنوبر، بلوط و بید) و ترکیبات گوگرددار فعالیت های آتشفشانی است.

دومی نیز عمدتاً متشکل از آلودگی های ناشی از احتراق در منابع ساکن (نیروگاه های سوخت فسیلی، کارخانه ها، زباله سوزها و کوره ها)، منابع متحرک (وسایل نقلیه موتوری، شناورهای دریایی و هواپیماها) و احتراق های مهار شده (ترمیم مراتع و جنگل ها) است. منابع انسانی غیر مرتبط با احتراق نیز شامل ذرات و گازهای خروجی از منابع ساکن (انتشار از فرایند، نشی از مخازن نگهداری، تصعید پسماند و تبخیر حوضچه پساب)، ترکیبات آلی فرار مصنوعات (رنگ، اسپری مو، لاک الک، اسپری های آئروسل و سایر حلال ها)، متان ناشی از دفن زباله، گازهای خروجی از منابع نظامی (سلاح های هسته ای، شیمیایی و میکروبی) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) برخاسته از کودهای کشاورزی است.

۱-۲ آثار سوء آلودگی

اکنون که از ماهیت آلاینده آگاه شدیم، برای درک لزوم مدیریت آلودگی باید ابتدا آثار سوء آلودگی را بررسی کنیم. شاخص ترین این آثار، تاثیرات آلاینده بر سلامت انسان در محل کار و محیط زیست محلی است. در وهله بعد، تاثیر تخریبی آلاینده ها بر اقلیم و جهان است که به همراه عواملی چون آزاردهندگی، تهدید ایمنی و خسارت آوری مالی در زمره این آثار سوء هستند.

۱-۲-۱ به خطر انداختن سلامت انسان

قدیمی ترین تاثیر شاخص هر نوع آلودگی، به خطر افتادن سلامت انسان است. از همین روست که قدمت پرهیز بشر از آب و خاک آلوده به سال های دور باز می گردد.^۲ در این میان، آلودگی هوا به دلیل زمان بر بودن بروز تاثیراتش و همچنین حضور

^۲ کتاب سوم دین کرد، کردهای چهل و ششم؛ و از بایاترین خویشکاری های شهروان این است که با پراکندن بوی خوش بر آتش و آب و زمین، برای پایش هوای اطراف که فساد و تباهی از آن ترا برده می شود، بیماری های چرکین و خشکی و بدبختی و نیاز تودگان را ریشه کن کند؛ و این شدنی نیست مگر از راه پاییدن آتش و آب و زمین. ترجمه فریدون فضیلت.

کم‌رنگش تا پیش از انقلاب صنعتی، تا سده اخیر تا حدی نامحسوس بود. اما با توسعه صنایع و کارخانه‌ها و بازشدن پای موتورهای احتراقی به شهرها، این آلودگی از اهمیت بسزایی برخوردار گشت.

بسیاری از این آلاینده‌های هوا در زمره مواد خطرناک و سموم طبقه‌بندی شده‌اند. فیزیولوژی بدن انسان به صورتی عمل می‌کند که در طول یک مدت معین قادر به جذب میزان معینی از سم (حد آستانه) بدون بروز آثار مسمومیت است. از طرفی، انتشار آلاینده ممکن است به طور یکباره با غلظت زیاد یا به صورت مزمن با غلظت کم باشد. بنابراین با در معرض بودن چه کوتاه‌مدت در برابر غلظت‌های زیاد و چه بلندمدت در برابر غلظت‌های کم، با عبور از آستانه تحمل سم، به بدن آسیب‌های جدی وارد می‌شود. این آسیب‌ها از خستگی مزمن، آلرژی، ناباروری، بیماری‌های ریوی و قلبی، خفه‌شدگی تا سرطان را در بر می‌گیرد.

در خصوص ذرات آلاینده، علاوه بر میزان مواد، اندازه ذره نیز اهمیت دارد که پس از تنفس به سه بخش تقسیم می‌شوند: بخش اول، ذرات استنشاقی با قطر بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر است که در مسیر بینی تا حلق توسط مژک‌ها و مخاط تصفیه می‌شوند. بخش دوم، ذرات قفسه‌سینه‌ای یا ذرات ریز با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر است که از حنجره نفوذ می‌کند. بخش سوم، ذرات ریزتر، کوچکتر از ۰/۱ میکرومتر، موسوم به ذرات قابل تنفسی است که تا ریه نفوذ کرده و در کیسه‌های هوایی رسوب می‌کنند.

آلاینده‌های تهدیدکننده سلامت انسان، به کمک مشاهدات پزشکی مشخص شده و توسط متخصصان بهداشت محیط تبیین می‌گردند. از آنجا که کارکنان در خط اول مواجهه با آلودگی هوا هستند، مراجع مربوط به بهداشت صنعتی به عنوان متولیان حفاظت از سلامت ایشان، بررسی‌های زیادی روی آلاینده‌ها انجام داده‌اند. از طرف دیگر، آلودگی هوا علاوه بر کارکنان، ساکنان مناطق مجاور را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این‌رو، متولیان محیط‌زیست هم برای حفاظت از سلامت مردم، وظیفه مهمی در مدیریت آلودگی دارند.

۱-۲-۲- تخریب /قلیم و جهان

آلاینده‌های هوا پس از انتشار، در جو پخش شده و ضمن تجمع با آلاینده‌های سایر صنایع، مسافتی طولانی را به همراه باد تا کیلومترها می‌پیمایند. این آلاینده‌ها ممکن است باعث آلودگی مناطق دوردست و پدیده‌هایی از قبیل باران‌های اسیدی شوند. گاهی نیز راهی ارتفاعات بالاتر شده و تبدیل به گازهای گلخانه‌ای نامطلوب می‌شوند یا به لایه ازن آسیب می‌رسانند. این آلاینده‌ها با آثار سوءشان بر محیط‌زیست، در تضاد با توسعه پایدار نیز هستند.