

## فصل اول

### تاریخچه آلودگی هوا

بحث تاریخچه آلودگی هوا و حوادث مهم آن در سه مقطع زمانی با توجه به تحولات و انقلاب‌های صنعتی و به‌طور کلی فعالیت بشر که مهم‌ترین عامل ایجاد آلودگی است، مورد توجه قرار گرفته است.

#### مقدمه

"آنچه را می‌خواهیم بر آن تأکید کنیم، تقسیم‌ناپذیری و پیچیدگی محیط زیست است. برای مثال جو زمین در لایه بیوسفر آن قدر کامل مخلوط می‌شود و چنان سریع می‌چرخد که دومین دمی که فرو می‌رود، احتمالاً اتم‌های بازدمی حضرت عیسی مسیح در گتمان را داراست و یا اتم‌های رادیواکتیو استرانسیوم 90 و 131 انفجارهای اتمی و گازی دودکش‌ها و خروجی اگزوز اتومبیل‌های گوشه و کنار دنیا را در بردارد"<sup>1</sup>.

آلودگی هوا از زمان برپایی اولین آتش با انسان بوده است. ولی در زمان‌های مختلف به‌جنبه‌های گوناگونی از آلودگی‌ها اهمیت داده شده است. در مقیاس کوچک، آلودگی‌های محلی انتشار می‌یابند و مشکلاتی تا حد عوارض فیزیکی پدید می‌آورند. در مناطق شهری، در گذشته زغال سنگ و در حال حاضر بنزین خودروها، بر سلامت انسان اثر نامساعد داشته است. در مقیاس منطقه‌ای تشکیل اوزن تریوسفری و رسوب‌های اسیدی تهدیدکننده‌اند. سرانجام این که انتشار دی‌اکسید کربن و سایر گازهای فعال همراه با تخریب اوزن استراتوسفر، کل محیط زیست کره زمین را در معرض خطر قرار داده است.

این نگاه تمام جنبه‌های آلودگی هوا را از نظر کمی و کیفی دربر نمی‌گیرد. این کتاب که بیشتر برای دوره‌های کاردانی، کارشناسی و کارشناسی ارشد تهیه شده است، علاوه بر پوشش سرفصل‌های مصوب شورای عالی برنامه ریزی، آنچه را به‌نظر می‌رسد برای دانشجویان علاقه‌مند

---

<sup>1</sup> - The Oxygen cycle, P.Cloud and A.Fibor scientific American 1970.

به این رشته لازم است، مورد توجه و بحث قرار می‌دهد. زیرا این سرفصل‌ها که از زمان تهیه آنها حدود 15 سال می‌گذرد، نمی‌توانند اطلاعات مورد نیاز امروز را در مورد مشکلاتی که آلودگی هوا برای شهروندان به وجود آورده است در اختیار قرار دهند.

مطالب پایه‌ای و اصولی و قوانین فیزیکی و شیمیایی حاکم بر آلودگی هوا تغییری نکرده است و تا حدودی همان است که در کتاب آلودگی هوا ترجمه مؤلف این کتاب دیده می‌شود. با این حال در اینجا بحث قدری گسترده‌تر و مفصل‌تر ارائه شده است. همچنین در این کتاب در مورد روش‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آلاینده‌ها در هوا و در منابع که به نظر می‌رسد کاربرد بیشتری برای دانشجویانی تا مقطع کارشناسی و نیز سایر کارشناسان مسئول دارد، مشروح‌تر بحث می‌شود.

### قبل از انقلاب صنعتی

یکی از دلایل زندگی عشایری در اوایل تاریخ، حرکت و جابجایی انسان به منظور دوری از زایدات تولیدی ناشی از نگهداری حیوانات و فعالیت‌های روزمره خود بود. وقتی مردان قبيله استفاده از آتش را آموختند آن‌را در محیط زندگی خود به کار بردند و حاصل احتراق ناقص مواد سوختی را نیز تجربه کردند. این گونه زندگی را هنوز در بین قبایل ابتدایی در گوشه و کنار دنیا می‌توان مشاهده کرد. پس از اختراع دودکش، محصول احتراق و بوی غذا را به خارج از محل زندگی هدایت کردند. ولی سال‌ها آتش در محیط باز و شومینه‌ها با دود زیاد همراه بوده است. در قرن شانزدهم میلادی، فیلسوفی رومی بنام سنکا<sup>1</sup>، در گزارشی از وضعیت رم چنین می‌گوید:

*"وقتی من از هوای سنگین رم و بوهای بد دودکش‌ها که می‌چرخیدند و بخارات بیماری‌زا و دوده را به هوا می‌ریختند خارج شدم، احساس تغییر در حالت خود نمودم".*

آلودگی هوا ناشی از سوزاندن چوب در قصر تائبری<sup>2</sup> در ناکینگهام برای الینور، همسر هنری دوم پادشاه انگلیس غیرقابل تحمل بود، به طوری که در سال 1157 م. تغییر مکان داد. یکصد و شصت سال بعد استفاده از زغال سنگ در لندن ممنوع شد، به طوری که در سال 1300 م. ادوارد اول فرمانی صادر کرد: "تمام کسانی که صدای مرا می‌شنوند آگاه باشند که هرکس به علت سوزاندن زغال سنگ مقصر شناخته شود سر خود را از دست خواهد داد" و هم او در سال 1306 م. طی فرمانی دستور داد از زغال در اجاق‌ها استفاده نه کنند. الیزابت اول هم مصرف زغال را در روزهایی که پارلمان انگلیس در لندن جلسه داشت ممنوع کرد. با وجود این

---

<sup>1</sup> - Seneca

<sup>2</sup> - Tutbury castle

فرمان‌ها، مصرف زغال سنگ ادامه پیدا کرد و در عین حال مردم به‌چوب هم روی آوردند. در سال 1661 م. آلودگی هوای لندن به‌حدی رسید که جان اولین<sup>۱</sup>، بروشوری را با عنوان فومی فوجیوم<sup>۲</sup> انتشار داد. این بروشور که در سال 1772 م. نیز منتشر شد، نشان می‌دهد که راه حل‌های ارائه شده توسط اولین هنوز هم قابل استفاده است. او پیشنهاد کرده بود، صنایع به‌خارج شهر انتقال یابند و کمربند سبز دور شهر ایجاد شود. منابع اصلی انتشار آلودگی هوا در آن زمان، صنایع فلزی، سرامیک و نگهداری محصولات حیوانی بود.

### انقلاب صنعتی

انقلاب صنعتی پیامد مهار بخار برای تأمین نیرو برای پمپ کردن آب و به‌حرکت درآوردن ماشین‌ها بود. این انقلاب در اوایل سده هجدهم زمانی که ساوری<sup>۳</sup>، پاپین<sup>۴</sup> و نیوکامن<sup>۵</sup> موتور پمپ را طراحی کردند و در سال 1784 م. به‌موتور رفت و برگشتی وات چیره شدند، شروع شد. موتور بخار تا قرن بیستم که توربین بخار طراحی شد، به‌کار می‌رفت. موتورهای و توربین‌های بخار به‌دیگ بخار نیاز دارند. این دستگاه‌ها تا پیش از اختراع راکتور هسته‌ای، با سوخت‌های گیاهی یا فسیلی، بخار تولید می‌کردند در بیشتر مدت قرن نوزدهم زغال، سوخت اصلی دیگ‌های بخار بود، ولی در اواخر قرن، نفت نیز برای تأمین نیاز دیگ‌های بخار مورد استفاده قرار گرفت.

در قرن نوزدهم مهم‌ترین مشکل آلودگی هوا، دود و خاکستر حاصل از مصرف زغال‌سنگ برای تولید انرژی در کوره‌ها، دیگ‌های بخار، لوکوموتیوها، شناورها و منازل، بود. در این زمان انگلیس بیشترین فعالیت را در مورد مسائل و مشکلات آلودگی هوا انجام می‌داد. هیوبیور<sup>۶</sup> در این مورد چنین گفته است:

"در سال 1819 م. فشار زیادی به‌پارلمان وارد شد تا اولین کمیته آلودگی هوا تعیین شود. در نظر بگیرید که تا چه زمانی شخصی که موتور بخار را به‌کار می‌برد، می‌تواند طوری با آن کار کند که کمتر سلامت و رفاه انسان را به‌خطر بیندازد. به‌این ترتیب، عملی بودن جلوگیری از دود تأیید شد و چند کمیته بعدی باید آن را انجام می‌دادند، اما از آنجاکه بازهم باید مطالعه و تجربه

---

<sup>1</sup> - John Evelyn

<sup>2</sup> - Fumifugium, or the Inconvenience of the aer and Smoak of London Dissipated (together with some remedies humbly proposed) to king charles and parliament.

<sup>3</sup> - Savery

<sup>4</sup> - Papin

<sup>5</sup> - Newcomen

<sup>6</sup> - Hugh Beaver

می‌شد، هیچ کاری صورت نگرفت".

در سال 1843 م. یک کمیته دیگر توسط پارلمان انتخاب شد و در 1845 م. کمیته سوم روی کار آمد. در همین سال پارلمان حکم کرد که لوکوموتیوها باید دود خودشان را خود مصرف کنند. دو سال بعد قانون بهبود وضعیت شهر، همین کار را برای دودکش تصویب کرد. به همین ترتیب مجلس انگلیس قدرت بیشتری را برای پلیس قائل شد تا مقررات و قوانین را به‌ویژه برای شهر لندن اجرا کند.

کاهش آلودگی دود و خاکستر در بریتانیا در مسئولیت سازمان‌های بهداشت در نظر گرفته شد. اما آلودگی هوای ناشی از صنایع شیمیایی بنابر قانون 1863 م. الکالی<sup>1</sup> در مسئولیت بازرسی الکالی<sup>2</sup> قرار گرفت. در ایالات متحده آمریکا از زمانی که کنترل آلودگی مطرح شد، مسئولیت آن با شهرداری‌ها بود در آن هنگام، قواعد کنترل آلودگی فدرال یا ایالت‌ها وجود نداشت.

اولین دستور صادر شده در مورد دود سیاه در سال‌های 1880 م. شامل صنایع، لوکوموتیوها و شناورها بود ولی منابع خانگی را شامل نمی‌شد. اصول فناوری که برای کنترل آلودگی هوا در قرن نوزدهم به کار برده شد، مشعل‌های مکانیکی برای احتراق زغال سنگ، اسکرابرها برای گازهای اسیدی، سیکلون و جعبه صافی برای ذرات و معرفی روش‌های فیزیکی و شیمیایی در روند طراحی بود.

## قرن بیستم

### الف: 1900-1925

طی سال‌های 1900 تا 1925 م. تغییرات زیادی در فناوری تولید و مهندسی تجهیزات آلودگی هوا به وجود آمد. اما تغییر چندانی در قوانین مربوط به شناخت و رفتار مردم نسبت به مسأله دیده نشد. شهرها بزرگ شدند و مشکل آلودگی هوا بیشتر شد. یک تغییر اساسی در فناوری، جایگزین شدن موتور برقی برای حرکت ماشین‌ها و پمپ‌های آب به جای موتور بخار بود. این تغییر سبب شد دوده که در دیگ‌های بخار کارخانه تولید می‌شد به دیگ بخار ایستگاه‌های تولید برق منتقل گردد. در سال‌های میانی این دوره استفاده از مشعل‌های مکانیکی و در اواخر، زغال پودر شده و سوخت نفت و گاز شروع شد. هرکدام از انواع این اشتعال‌ها آلودگی‌های مخصوص خود را وارد جو می‌کردند.

---

<sup>1</sup> - Alkali Act

<sup>2</sup> - Alkali Inspectorate

در شروع این دوره لکوموتیوهای بخاری وارد قلب شهرها شدند و در پایان دوره بیشتر خطوط راه آهن برقی شدند. کاربرد نفت به جای زغال سنگ مقدار زیادی از انتشار خاکستر کاست. شاید مهم‌ترین تغییر در صنعت، افزایش تعداد خودروها بود که تقریباً از هیچ در ابتدای قرن، فقط در امریکا در سال 1925 م. به بیش از 4 میلیون دستگاه در سال رسید. جدول 1-1 تعداد خودروهای امریکا را از سال 1900 م. تا 1980 م. نشان می‌دهد.

جدول 1-1: تعداد خودروهای ساخته شده و فروخته شده در امریکا

| سال  | تعداد کل | سال  | تعداد کل |
|------|----------|------|----------|
| 1900 | 4192     | 1945 | 72521    |
| 1905 | 25000    | 1950 | 8003056  |
| 1910 | 187000   | 1955 | 9169292  |
| 1915 | 963930   | 1960 | 7869221  |
| 1920 | 2227343  | 1965 | 11057366 |
| 1925 | 4265830  | 1970 | 8239257  |
| 1930 | 3362820  | 1975 | 8985012  |
| 1935 | 3971241  | 1980 | 8067309  |
| 1940 | 4472286  |      |          |

اساسی‌ترین تغییرات فناوری در مهندسی کنترل آلودگی‌ها، تکامل روش‌های تولید موتورهای پرقدرت بود که امکان ساخت تجهیزات کنترل گازها را در مقیاس گسترده به وجود آورد. اختراع رسوب‌دهنده‌های الکتریکی کنترل ذرات را در بسیاری از صنایع امکان‌پذیر کرد و توانایی‌های مهندسی شیمی نیز روش‌های کنترل گاز و بخارها را فراهم آورد.

#### ب: 1925-1950

در این دوره مشکلات آلودگی هوا که امروز هم با آنها مواجهیم بروز کرد. حادثه دره میوز بلژیک در 1930 م.، دونورا- پنسیلوانیا در 1948 م. و پوزاریکا در مکزیکو از آن جمله بودند. اولین سمپوزیم ملی آلودگی هوای ایالات متحده آمریکا در سال 1949 م. در پاسادنای کالیفرنیا برگزار شد و اولین کنفرانس فنی آلودگی هوا سال 1950 م. در واشنگتن برگزار شد. نخستین بررسی آلودگی هوا در مقیاس وسیع، در سال 1926 م. در سالت‌لیک‌سیتی یوتا و سپس در سال‌های 1937 م. در نیویورک و 1939 م. در لیستر انگلیس صورت گرفت. تحقیقات در باره آلودگی هوا در کالیفرنیا شروع شد. تغییر مهم دیگر در این دوره احداث خط لوله گاز بود، گاز جای زغال و نفت را در گرمایش خانگی گرفت و به‌طور بسیار مؤثری دوده سیاه را در پیتربورگ و سن‌لویی کاهش داد. لکوموتیوهای دیزلی به جای لکوموتیوهای

بخاری، اتوبوس‌هایی با موتور احتراق داخلی به‌جای اتوبوس‌های برقی از جمله سایر تغییرات در این دوره بودند.

### ج: 1950-1980

بزرگ‌ترین فاجعهٔ آلودگی در سال 1952 م. در لندن اتفاق افتاد که به‌تصویب قانون هوای پاک در سال 1956 م. و توسعهٔ اختیارات بازرسی الکالی انجامید. تغییر اساسی که از این دوره صورت گرفت درمورد وسایل گرمایش خانگی بود. پیش از آن زغال سنگ نرم مهم‌ترین منبع گرمایش خانه‌ها بود که در شومینه‌ها و در هر اتاق به‌طور جداگانه سوزانده می‌شد. کوشش موفق در این مورد استفاده از سوخت‌های بی‌دود به‌جای زغال سنگ بود که در این روش سیستم گرمایش مرکزی و الکتریکی برای بخاری‌ها و شومینه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و غلظت دود سیاه از 175 میکروگرم در مترمکعب در سال 1958 م. به 75 میکروگرم در سال 1968 م. کاهش یافت.

در این دهه تقریباً بیشتر کشورهای اروپایی، ژاپن، استرالیا و نیوزیلند از آلودگی شدید هوا در شهرهای بزرگ خود رنج می‌بردند، از این‌رو جزو نخستین کشورهایی بودند که قوانین ملی کنترل آلودگی هوا را به‌تصویب رساندند.

در سال 1980 م. مرکزهای بزرگ تحقیقات آلودگی هوا در انگلیس، فرانسه، هلند، سوئد، آلمان و ژاپن شروع به کار کردند. مراکز زیاد دیگری که از ذکر نام آنها خودداری می‌شود تحقیقات وسیعی را انجام دادند.

در لس‌آنجلس آمریکا مشکل اسمگ روزبه‌روز بدتر می‌شد و در سایر شهرهای بزرگ نیز به‌صورت معضل در آمد. در سال 1955 م. اولین قانون فدرال عملی شد. در این قانون دولت فدرال موظف شد کمک‌های مالی، آموزشی و فنی برای مراکز پژوهشی کنترل آلودگی هوا تأمین کند. مسئولیت این کار تا سال 1970 به‌عهدهٔ وزارت بهداشت، آموزش و رفاه عامه بود و از آن پس سازمان حفاظت محیط زیست مسئول آن شد. بین سال‌های 1955 م. تا 1980 م. چندین بار در قانون کنترل آلودگی هوا تجدیدنظر به‌عمل آمد و اختیارات دولت فدرال به‌ویژه درمورد کنترل افزایش یافت. در اروپا نیز مانند آمریکا فعالیت در زمینهٔ آلودگی هوا طی این سه‌دهه به‌شدت توسعه یافت.

در این دورهٔ زمانی تعداد زیادی کنگره، کنفرانس و سمینار برای ارائهٔ تحقیقات انجام شده درمورد آلودگی هوا در شهرهای مختلف آمریکا و اروپا برگزار شد که در نتیجه آن پیشرفت‌های زیادی هم از نظر اطلاعات و هم از نظر فناوری بدست آمد. مطالعات فناوری بیشتر بر کنترل

آلودگی‌های ناشی از وسایل حمل و نقل مانند اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای ازت متمرکز شد. همچنین با استفاده از داده‌های هواشناسی مدل‌های ریاضی پراکندگی آلودگی هوا طرح و برای پیش‌بینی انتشار و شدت آلودگی هوا مورد استفاده قرار گرفتند و سرانجام انواع زیادی از لوازم و تجهیزات پایش آلودگی هوا عرضه و در ایستگاه‌های متعدد در سراسر دنیا به کار برده شدند.

### دهه 1980

در دهه‌های 70 و 80 نگرش‌های اکولوژیکی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفتند و از نظر سازمانی وزارت خانه‌ها و سازمان‌های مسئول در دولت‌های سراسر جهان به وجود آمدند. در آمریکا سازمان حفاظت محیط زیست فدرال بنیان نهاده شد و در بسیاری از ایالت‌ها و شهرهای پرجمعیت شعبه‌های آن فعال شدند که مسئولیت آنها در مورد کیفیت آب، مواد زائد جامد، آلودگی صوتی، مخاطرات ناشی از تشعشعات و مصرف آفت‌کش‌ها بود. در مجموع بیشتر این مسئولیت‌ها را سازمان حفاظت محیط زیست به عهده گرفت، همچنین تغییرات مشابهی در آموزش و پژوهش به وجود آمد.

در حال حاضر کنترل آلودگی هوا اغلب جزیی از فرایند تولید در منبع است. خودروها، نیروگاه‌ها و کارخانه‌ها در زمان ساخت، تجهیزات کنترلی را نصب می‌کنند. در این دوره، علاوه بر مشکلات محلی ناشی از آلودگی هوا، مسائلی چون اثر گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزن و رسوب‌های اسیدی نیز مطرح شدند که در فصل‌های بعدی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

### در ایران

در ایران پیشینه قانون‌گذاری زیست‌محیطی به معنای خاص آن از سه دهه تجاوز نمی‌کند، ولی طی این مدت، قوانین، مقررات و مصوبات جامعی در این زمینه تدوین و تصویب شده است. اگر به گذشته دورتر بنگریم، شاید نخستین بار در سال 1307 ش. موادی از قانون مدنی به مقررات شکار اختصاص داده شد. ولی اولین مقررات جامع و مستقل در سال 1335 در زمینه حفاظت از حیات وحش به تصویب مجلس وقت رسید و براساس یکی از مواد آن قانون شکار ایران به عنوان یک سازمان مستقل برای حفظ نسل وحش به وجود آمد که بعدها به سازمان شکاربانی و سرانجام در سال 1350 ش. به سازمان حفاظت محیط زیست تبدیل شد.

در سال 1353 ش. با تصویب قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست، این سازمان دارای اختیارات وسیعی در زمینه جلوگیری از آلودگی‌ها و تخریب محیط زیست شد. با استناد به ماده 10 این قانون، آیین نامه جلوگیری از آلودگی هوا به تصویب کمیسیون‌های وابسته مجلس وقت

رسید.

اهمیت جلوگیری از آلودگی‌ها تا آن حد بود که قانونگذار به‌جای هیأت وزیران، کمیسیون‌های مجلس را به‌عنوان مرجع تصویب آیین‌نامه‌ها تعیین کرد. با تصویب این آیین‌نامه هرچند دفتری به‌نام آلودگی هوا در سازمان حفاظت محیط زیست تشکیل شد و کارشناسانی شروع به‌کار کردند اما اقدام عملی مؤثری در جهت کاهش آلودگی هوای شهرها صورت نگرفت تا این که پس از پیروزی انقلاب اسلامی اصل پنجاهم قانون اساسی به‌حفاظت از محیط زیست اختصاص یافت. اصل پنجاهم می‌گوید:

"در جمهوری اسلامی حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی روبه رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد. از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیرآن که با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیرقابل جبران آن ملازمه پیدا کند ممنوع است".

باتوجه به‌این اصل در سوم اردیبهشت 1374 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا به‌تصویب مجلس شورای اسلامی و تأیید شورای نگهبان رسید. این قانون مشتمل بر سی‌وشش ماده و چهارده تبصره است که در بخش‌های بعدی عیناً درج خواهد شد.

به استناد ماده 35 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا در شانزدهم شهریور 1379، آیین‌نامه اجرایی این قانون مشتمل بر سه فصل، ده ماده و 4 تبصره به‌تصویب هیأت وزیران رسید و این در حالی است که بنابر ماده 35 باید آیین‌نامه طی 3 ماه توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به‌تصویب می‌رسید. مشروح این آیین‌نامه و مقررات مربوط در جای خود خواهد آمد.

## آینده

بحران آلودگی هوا و مشکلات آن در آینده با توجه به‌استفاده هرچه بیشتر از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای و نیز افزایش جمعیت پیش‌بینی می‌شود در مدت زمانی که این کتاب مورد استفاده قرار می‌گیرد کوشش‌های زیادی برای استفاده از انرژی خورشیدی، فتوولتاییک، زمین گرمایی، باد، سوخت‌های زیستی (بیوماس)، امواج و جزر و مد دریاها به‌عمل می‌آید و در مواردی موفقیت‌های شایان توجهی نیز به‌دست آمده است. به‌طور کلی مجموعه این انرژی‌ها با عنوان انرژی‌های پاک طبقه‌بندی شده‌اند. به‌هرحال تا عملی و اقتصادی شدن انرژی‌های نو، بشر به‌ناچار سوخت‌های فسیلی را مصرف خواهد کرد. از این‌رو باید از روش‌های مختلف از



جمله بهره‌وری بهتر و فناوری مناسب برای کاهش آلودگی‌ها استفاده کرد.

## فصل دوم

در سال 1353 ش. با تصویب قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست، این سازمان دارای اختیارات وسیعی در زمینه جلوگیری از آلودگی‌ها و تخریب محیط زیست شد. با استناد به ماده 10 این قانون، آیین نامه جلوگیری از آلودگی هوا به تصویب کمیسیون‌های وابسته مجلس وقت رسید.

اهمیت جلوگیری از آلودگی‌ها تا آن حد بود که قانونگذار به جای هیأت وزیران، کمیسیون‌های مجلس را به عنوان مرجع تصویب آیین‌نامه‌ها تعیین کرد. با تصویب این آیین‌نامه هر چند دفتری به نام آلودگی هوا در سازمان حفاظت محیط زیست تشکیل شد و کارشناسانی شروع به کار کردند اما اقدام عملی مؤثری در جهت کاهش آلودگی هوای شهرها صورت نگرفت تا این که پس از پیروزی انقلاب اسلامی اصل پنجاهم قانون اساسی به حفاظت از محیط زیست اختصاص یافت. اصل پنجاهم می‌گوید:

*"در جمهوری اسلامی حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی روبه رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد. از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیر آن که با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیرقابل جبران آن ملازمه پیدا کند ممنوع است."*

باتوجه به این اصل در سوم اردیبهشت 1374 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا به تصویب مجلس شورای اسلامی و تأیید شورای نگهبان رسید.

این قانون مشتمل بر سی‌وشش ماده و چهارده تبصره است که در بخش‌های بعدی عیناً درج خواهد شد.

به استناد ماده 35 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا در شانزدهم شهریور 1379، آیین‌نامه اجرایی این قانون مشتمل بر سه فصل، ده ماده و 4 تبصره به تصویب هیأت وزیران رسید و این در حالی است که بنابر ماده 35 باید آیین‌نامه طی 3 ماه توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به تصویب می‌رسید. مشروح این آیین‌نامه و مقررات مربوط در جای خود خواهد آمد.

## آینده

بحران آلودگی هوا و مشکلات آن در آینده با توجه به استفاده هرچه بیشتر از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای و نیز افزایش جمعیت پیش‌بینی می‌شود در مدت زمانی که این کتاب مورد استفاده قرار می‌گیرد کوشش‌های زیادی برای استفاده از انرژی خورشیدی، فتوولتاییک، زمین گرمایی، باد، سوخت‌های زیستی (بیوماس)، امواج و جزر و مد دریاها به‌عمل می‌آید و در مواردی موفقیت‌های شایان توجهی نیز به‌دست آمده است. به‌طور کلی مجموعه این انرژی‌ها با عنوان انرژی‌های پاک طبقه‌بندی شده‌اند. به‌هر حال تا عملی و اقتصادی شدن انرژی‌های نو، بشر به‌ناچار سوخت‌های فسیلی را مصرف خواهد کرد. از این‌رو باید از روش‌های مختلف از جمله بهره‌وری بهتر و فناوری مناسب برای کاهش آلودگی‌ها استفاده کرد.

## جو زمین و هوای غیر آلوده

### منشأ جو کره زمین

آنچه را ما امروز به‌نام جو می‌شناسیم، حاصل تحولات ناشی از انفجارهای متعدد در طول تاریخ است. بیشترین دانشی را که درباره زمین و جو آن داریم حقیقت اثبات‌شده‌ای نیست، بلکه فقط نظریه علمی است. در حدود 4600 میلیون سال قبل، کره زمین با شتاب ثقل صخره‌های نسبتاً کوچک و غباری که در بین لکه‌های سیاه خورشید، به‌نام پلانت سیمال<sup>1</sup> وجود داشت، تشکیل شد. احتمالاً جو اولیه‌ای هم از لکه‌های سیاه باقی‌مانده وجود داشت که در فضا محو شد، زیرا سرعت مولکول‌های گاز از سرعت 11/2 کیلومتر در ثانیه فرار زمین بیشتر بوده است. مجموع اثرهای انرژی و اضمحلال مواد رادیواکتیو با نیمه عمر کوتاه، دمای این جسم را افزایش داد و در نتیجه عناصر سنگین‌تر مثل آهن به‌طرف مرکز جسم (کره زمین) تجمع یافتند. همین حرارت موجب تجزیه مواد معدنی هیدراته و کربناته بود که پیامد آن خروج گازهای  $H_2O$  و  $CO_2$  بوده است. همچنان‌که زمین سرد می‌شد، بخارات  $H_2O$  چگالیده شدند و اقیانوس‌ها را به‌وجود آوردند و بیشتر  $CO_2$  در آنها حل شدند که پس از رسوب صخره‌های کربناته را ایجاد کردند.

گازهای برخاسته در آن زمان بیش از صد برابر گازهایی است که امروزه در جو وجود دارند. اصلی‌ترین گاز باقی‌مانده نیتروژن بود. مقداری اکسیژن هم از تجزیه نوری مولکول‌های آب وارد فضا شد. هیدروژن حاصل از این تجزیه با سرعت زیاد از میدان جاذبه زمین خارج می‌شود و

---

<sup>1</sup> - Plannetesimal

بنابراین ترکیب مجدد اکسیژن و هیدروژن امکان پذیر نمی شود. جرم مولکولی اختلاف عظیمی را در احتمال فرار آنها از زمین به وجود می آورد. اتم های هیدروژن در دمای 600 درجه کلوین (دمای معمولی در بالای جو زمین) احتمال افزایش سرعت برای فرار از زمین برابر 6-10 را دارند.

## فصل سوم

### قوانین - مقررات - استانداردها و ضرایب پخش

#### اصل پنجاهم قانون اساسی

در جمهوری اسلامی حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد در آن حیات اجتماعی روبه رشد داشته باشند وظیفه عمومی تلقی می‌شود، از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیرآن که با آلودگی محیط زیست و تخریب غیرقابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است.

#### قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا

مصوب 1374/2/3 مجلس شورای اسلامی

#### فصل اول - کلیات

ماده 1- جهت تحقق اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و به‌منظور پاکسازی و حفاظت هوا از آلودگی‌ها کلیه دستگاه‌ها و مؤسسات و کلیه اشخاص حقیقی و حقوقی موظفند مقررات و سیاست‌های مقرر در این قانون را رعایت نمایند.

ماده 2- اقدام به هر عملی که موجبات آلودگی هوا را فراهم نماید، ممنوع است. منظور از آلودگی هوا عبارت است از وجود و پخش یک یا چند آلوده‌کننده اعم از جامد، مایع، گاز، تشعشع پرتوزا و غیرپرتوزا در هوای آزاد به‌مقدار و مدتی که کیفیت آن‌را به‌طوری که زیان آور برای انسان و یا سایر موجودات زنده و یا گیاهان و یا آثار و ابنیه باشد، تغییر دهد.

ماده 3- منابع آلوده‌کننده هوا که تحت مقررات این قانون قرار دارند به‌سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

الف: وسایل نقلیه موتوری

ب: کارخانجات و کارگاه‌ها و نیروگاه‌ها

ج: منابع تجاری و خانگی و منابع متفرقه

## تقسیم‌بندی آلاینده‌های هوا

با آنکه شیمی‌دان‌های قدیم هوا را یکی از چهار عنصر در کنار سه عنصر دیگر یعنی خاک، آب و آتش می‌دانستند، ولی امروزه می‌دانیم که حتی هوای پاک فراز اقیانوس‌ها دارای گونه‌های شیمیایی متعددی است که نوع و غلظت مهم‌ترین آنها در جدول 1-2 (فصل 2) آمده است. علاوه بر آنچه به‌عنوان ترکیب طبیعی هوای پاک در جدول ذکر شده است، ده‌ها ترکیب شیمیایی دیگر به‌عنوان آلودگی هوا در جو مناطق مسکونی و به‌ویژه محل‌های فعالیت انسان وجود دارند که ممکن است منشأ طبیعی یا انسان‌ساخت داشته باشند و یا آنکه اصولاً منشأ اولیه نداشته باشند، بلکه از واکنش بین آلاینده‌های مختلف موجود در هوا در شرایط خاص جوی و تأثیر اشعه خورشید به‌وجود آیند. بدین ترتیب منبع آلاینده‌های هوا را از نظر نوع و منشأ انتشار به‌دو طریق تقسیم می‌کنند.

### 1- آلاینده‌های با منشأ طبیعی و آلاینده‌های با منشأ انسان‌ساخت

#### 2- آلاینده‌های اولیه و ثانویه که در ادامه این فصل بیشتر توضیح داده خواهند شد.

در جدول 2-15 غلظت زمینه و چاهک آلودگی‌های مهم هوا به‌انضمام برآورد انتشار آنها از منابع طبیعی و انسان‌ساخت داده شده است. در قسمت‌های بعدی این فصل در مورد برآورد انتشار و منابع مهم آن برای بعضی از کشورها توضیح بیشتری داده خواهد شد. به‌طوری که در جدول 2-15 دیده می‌شود، انتشار  $\text{SO}_2$  از احتراق سوخت‌های فسیلی به‌مراتب بیش از انتشار آن از طریق آتشفشان‌هاست، برعکس مقدار  $\text{H}_2\text{S}$  منتشر شده از منابع طبیعی بیشتر از مقداری است که از فعالیت انسان وارد جو می‌شود. باید به‌این نکته نیز توجه شود که  $\text{H}_2\text{S}$  پس از ورود به‌هوا به  $\text{SO}_2$  اکسیده می‌شود و این موضوع عملاً توازنی را بین گوگرد منابع طبیعی و انسان‌ساخت به‌وجود می‌آورد.  $\text{CO}$  در اثر احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی انتشار می‌یابد و سپس در هوا به  $\text{CO}_2$  اکسیده می‌شود. از چهار ترکیب نیتروژن که در جدول دیده می‌شود، به‌غیر از  $\text{NH}_3$  که احیا کننده است، بقیه، یعنی  $\text{NO}$ ،  $\text{NO}_2$  و  $\text{N}_2\text{O}$  (گاز خنده که برای بیهوشی به‌کار می‌رفته است و اکنون از گازهای گلخانه‌ای است) اکسیدکننده‌اند. مونواکسید نیتروژن ( $\text{NO}$ ) و دی‌اکسید نیتروژن با اکسیداسیون نیتروژن هوا در حرارت زیاد و اغلب در محفظه احتراق تولید می‌شوند و همچنین در مواقع رعد و برق هم این واکنش انجام می‌گیرد. به‌هرحال این دو ترکیب در شروع واکنش‌های زنجیره‌ای نورشیمی که منجر به‌تولید مه - دود می‌شود نقش اصلی را دارند. اوزن و سایر آلاینده‌های جدول 2-15 در ادامه این فصل شرح داده خواهند شد.

جدول 2-15- آلاینده‌های گازی مهم غلظت زمینه و چاهک ها

| نوع آلاینده      | نوع منابع مهم                                                          |                              | بر آورد انتشار سالانه به کیلوگرم |                                              | غلظت زمینه            | چاهک مهم شناخته شده                           |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
|                  | طبیعی                                                                  | انسان ساخت                   | طبیعی                            | انسان ساخت                                   |                       |                                               |
| SO <sub>2</sub>  | آتشفشان                                                                | احتراق سوخت فسیلی            | 2×10 <sup>9</sup>                | 130×10 <sup>9</sup>                          | 1-4                   | واکنش‌های شیمیایی جذب آب، خاک و رسوبات اسیدی  |
| H <sub>2</sub> S | آتشفشان و فساد بیولوژیکی                                               | فرایندهای شیمیایی            | 100×10 <sup>9</sup>              | 3×10 <sup>9</sup>                            | 0/3                   | اکسید به SO <sub>2</sub>                      |
| NO               | باکتری‌های خاک و تفکیک نوری و NO <sub>2</sub> به N <sub>2</sub> O و NO | احتراق                       |                                  | 53×10 <sup>9</sup><br>جمع با NO <sub>2</sub> | 0/25-2/5              | اکسید به NO <sub>2</sub>                      |
| NO <sub>2</sub>  | باکتری‌های خاک و اکسیداسیون NO                                         | احتراق                       | 768×10 <sup>9</sup><br>جمع با NO |                                              | 1/9-2/6               | واکنش نورشیمی - اکسید به نیترات               |
| NH <sub>3</sub>  | فساد بیولوژیکی                                                         | احتراق زغال - کودها - فاضلاب | 170×10 <sup>9</sup>              | 4×10 <sup>9</sup>                            | 4                     | واکنش با SO <sub>2</sub> ، اکسید به نیترات    |
| CO               | اکسیداسیون متان تفکیک نوری CO <sub>2</sub> آتش سوزی جنگل‌ها            | احتراق سوخت خودروها          | 3000×10 <sup>9</sup><br>؟        | 360×10 <sup>9</sup>                          | 100                   | جذب خاک اکسید به CO <sub>2</sub>              |
| O <sub>3</sub>   | واکنش‌های تریوسفری و انتقال از استرئوسفر                               | ندارد                        | ؟                                | ---                                          | 60-20                 | واکنش‌های نورشیمی - جذب خاک گیاه و آبهای سطحی |
| *NRHC            | فرایندهای بیولوژیکی در باطلاحا                                         | اگزوز اتومبیل                | 300×10 <sup>9</sup>              | 70×10 <sup>9</sup>                           | CH <sub>4</sub> =1000 | عمل بیولوژیکی                                 |
| **R.HC           | فرایندهای بیولوژیکی                                                    | اتومبیل و احتراق نفت         | 175×10 <sup>9</sup>              | 27×10 <sup>9</sup>                           | <1                    | اکسیداسیون نورشیمی                            |

منبع: Heinsohn 1999

\* = Non Reactive hydrocarbons

\*\* = Reactive hydrocarbons

## آلاینده‌های مختلف منابع و انتشار

### دی‌اکسید گوگرد

کلیه سوخت‌های فسیلی دارای گوگرد هستند که در جریان احتراق به‌صورت دی‌اکسید گوگرد وارد هوا می‌شود. تقریباً همه دی‌اکسید گوگرد انسان‌ساخت، ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. مقدار گوگرد در سوخت‌های مختلف تفاوت دارد و فراورده‌های نفتی هم از نظر مقدار گوگرد با هم متفاوت اند.

نفت کوره یا مازوت ایران بین 2/5 تا 3/5 درصد و گازوئیل بین 0/5 تا 1 درصد گوگرد دارد، ولی گوگرد بنزین ناچیز است. زغال سنگ بین 0/1 تا 4 درصد گوگرد به‌صورت پیریت آهن ( $\text{FeS}_2$ ) دارد. گوگرد گاز طبیعی در سرچاه‌های مختلف فرق می‌کند و ممکن است به‌صورت گاز  $\text{H}_2\text{S}$ ، دی‌سولفید کربن ( $\text{CS}_2$ ) مرکاپتان ( $\text{CH}_3\text{SSCH}_3$ ) و یا دی‌متیل دی‌سولفید (DMDS) باشد. دی‌متیل دی‌سولفید توسط پلانکتون‌های دریایی هم تولید و در جو به  $\text{SO}_2$  اکسیده می‌شود.  $\text{H}_2\text{S}$  هم همان‌طور که اشاره شد از فساد مواد آلی نیز تولید و در هوا به  $\text{SO}_2$  تبدیل می‌شود. اکثر شکل‌های احیایی ترکیبات گوگرد بعداً در هوا به  $\text{SO}_2$  اکسیده می‌شود. جدول 3-15 منابع طبیعی و انسان‌ساخت دی‌اکسید گوگرد را که از (کالز، 2002) اقتباس شده است، نشان می‌دهد. طی سال‌های اخیر غلظت دی‌اکسید گوگرد در کشورهای صنعتی به‌علت آنکه در نیروگاه‌ها به‌جای زغال سنگ بیشتر از گاز طبیعی استفاده می‌کنند، کاهش یافته است.

جدول 3-15- منابع جهانی طبیعی و انسان ساخت  $\text{SO}_2$

| منابع               | انتشار MTS/y |
|---------------------|--------------|
| طبیعی               |              |
| <sup>1</sup> DMS    | 16           |
| خاک و گیاه          | 2            |
| آتشفشان             | 8            |
| جمع طبیعی           | 26           |
| انسان‌ساخت          |              |
| زیست‌توده           | 3            |
| مصرف سوخت‌های فسیلی | 70           |
| جمع انسان‌ساخت      | 73           |
| جمع کل              | 99           |

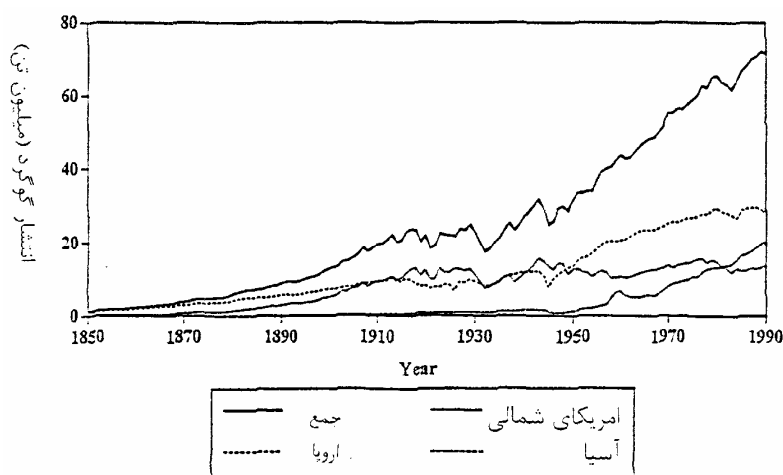
1- Dimethyl sulphide



جدول 4-15- انتشار جهانی اشکال احیایی گوگرد

| نوع ترکیب                         | انتشار MT/y |
|-----------------------------------|-------------|
| سولفید کربنیل (OSC)               | 1/3         |
| دی سولفید کربن (CS <sub>2</sub> ) | 1/0         |
| سولفید هیدروژن (H <sub>2</sub> S) | 8/0         |
| دی متیل سولفید (DMS)              | 16/0        |
| جمع                               | 26/3        |

همان‌طور که در شکل 2-15 دیده می‌شود با آنکه غلظت جهانی دی‌اکسید گوگرد سیر صعودی داشته است، ولی در اروپا از سال 1980 به بعد روبه کاهش رفته است.



شکل 2-15- تولید جهانی و منطقه‌ای گوگرد طی سال‌های 1850 تا 1990 (لفون و همکاران<sup>1</sup>، 1999)

## در ایران

از سال 1357 به بعد به تدریج سوخت مصارف خانگی و تجاری از نفت سفید و گازوئیل به گاز تبدیل شده است، به طوری که در حال حاضر (1383) 85 درصد مصارف خانگی به ویژه در شهرهای بزرگ گاز طبیعی شیرین است. از سال 1370 به بعد علاوه بر این که گازرسانی

1- Lefohn et al.

شهرها شتاب بیشتری پیدا کرد برای بسیاری از صنایع که از نفت کوره استفاده می‌کردند و همچنین کوره‌های آجرپزی اطراف شهرها به تدریج گاز تأمین شد. در سال‌های اخیر این موضوع عمومیت بیشتری پیدا کرده است. بنابه آمار تفصیلی صنعت برق در سال 1380 مصرف سوخت در نیروگاه‌ها برحسب میلیون لیتر به شرح زیر بوده است.

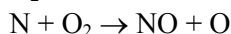
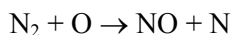
گازوئیل 1618، نفت کوره 6799 و گاز طبیعی 24012 میلیون مترمکعب علاوه بر این صنایع برای تولید برق مقدار 49 میلیون لیتر گازوئیل و 989 میلیون مترمکعب گاز مصرف کرده‌اند. درحالی‌که پیش از این بیشتر صنایع و نیروگاه‌ها نفت کوره با گوگرد زیاد مصرف می‌کردند. با توجه به این موضوع و با وجود افزایش روزافزون حمل و نقل و شدت ترافیک نه تنها غلظت  $SO_2$  در شهر تهران و سایر شهرهای بزرگ افزایش نیافته، بلکه کاهش محسوسی هم داشته است. به طوری که میانگین سالانه ایستگاه‌های اندازه‌گیری از استاندارد سازمان جهانی بهداشت کمتر است. ولی در بعضی میدان‌ها مثل تجریش و ولیعصر که محل توقف اتوبوس‌ها و مینی بوس‌های گازوئیل‌سوز است غلظت قدری زیاد است (ر.ک. جدول‌های پایان این فصل)

### دی‌اکسید نیتروژن

دو اکسید اصلی نیتروژن، مونوکسید نیتروژن ( $NO$ ) و دی‌اکسید نیتروژن  $NO_2$  هستند. همان‌طور که در بخش‌های قبلی هم ذکر شده است مجموع این دو اکسید ناکس ( $NO_x$ ) نامیده می‌شود. اکسیدهای نیتروژن در جریان احتراق سوخت و در حرارت زیاد محفظه احتراق تولید می‌شوند. در این مرحله معمولاً 95 درصد این مخلوط به صورت  $NO$  است که بعداً در هوا با اکسیداسیون تبدیل به  $NO_2$  می‌شود.

اکسید نیترو ( $NO$ ) به دو روش مشخص تولید می‌شود:

1)  $NO$  حرارتی که از ترکیب نیتروژن و اکسیژن هوای محفظه احتراق در حرارت زیاد به وجود می‌آید که با ساز و کار واکنش زلدوویچ<sup>1</sup> انجام می‌گیرد.



این واکنش گرماگیر<sup>2</sup> است. بنابراین زمانی که دمای محفظه احتراق حداکثر باشد (حدود 950 درجه سلسیوس و بیشتر) تشکیل  $NO$  هم حداکثر خواهد شد.

2) مونوکسید نیتروژن تولید شده از نیتروژن موجود در سوخت. به طور معمول بین 0/5 تا

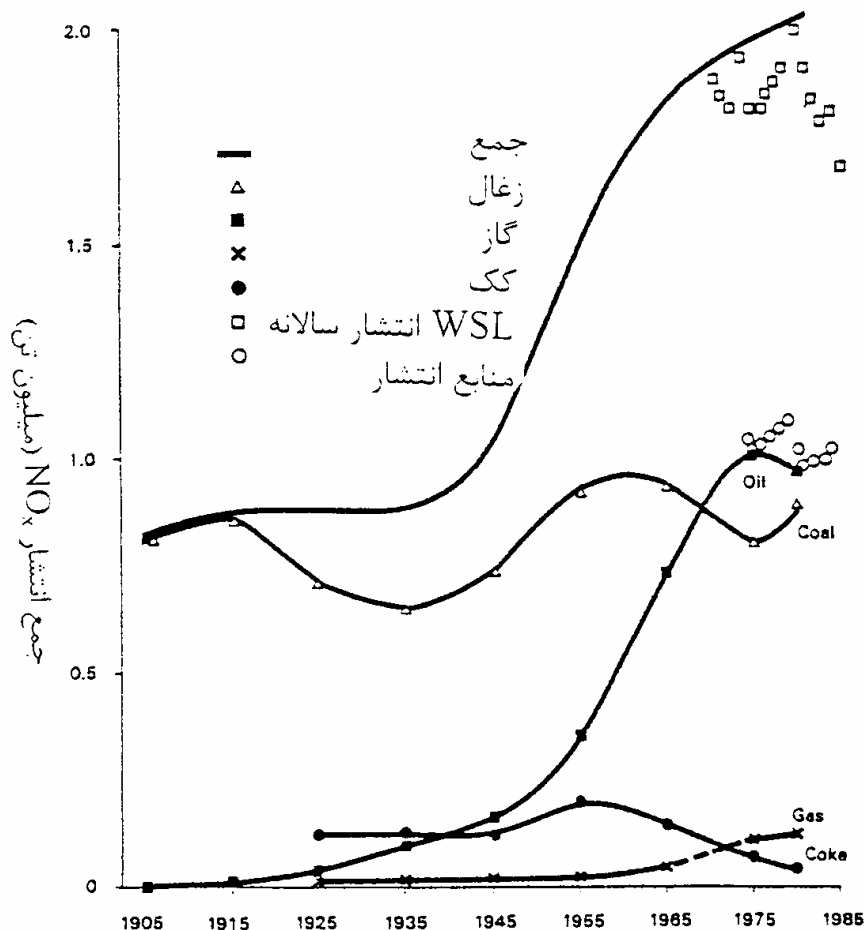
---

1- Zeldovitch mechanism

2- Endothermic

1/5 درصد نیتروژن در نفت وجود دارد که تبدیل به NO می‌شود. نیتروژن موجود در گاز کمتر از مقادیر بالاست.

در شکل 3-15 دیده می‌شود که کل انتشار ناکس از منابع مختلف تا سال 1940 در انگلستان تقریباً ثابت بوده و از آن به بعد به سرعت افزایش یافته است. در این شکل دیده می‌شود که ناکس منتشر شده از سوخت‌های مختلف تا حدودی متفاوت است. نفت و زغال سنگ بیش از بقیه سوخت‌ها ناکس انتشار می‌دهند. اطلاعات جدیدتر در شکل 4-15 برای دوره 1970 تا پیش‌بینی 2010 نشان داده شده است. البته باید توجه داشت که در شکل 4-15 انتشار برحسب مقدار نیتروژن نشان داده شده است، درحالی‌که در شکل 3-15 معیار  $\text{NO}_x$  است.



شکل 3-15- انتشار  $\text{NO}_x$  در انگلستان (Uk Building Effects Review group 1989)

در فاصله بین سال‌های 1984 تا 1990 مجموع انتشارات نیتروژن به علت افزایش تعداد خودروها زیاد شده و از آن پس به علت استفاده بیشتر از مبدل‌های کاتالیستی در خودروها و سایر اقدامات انجام شده در دودکش کارخانجات این روند روبه کاهش گذاشت. اکسید نیتریک از خاک هم منتشر می‌شود ولی تعیین کمیت آن مشکل است. برآورد حدسی این است که ترکیبات  $\text{NO}_x$  از خاک بین 2 تا 5 درصد  $\text{NO}_x$  منتشرشونده از سوخت ترکیبات نفتی است.

جدول 5-15 مشروح اطلاعات محیط زیست انگلیس را برای سال‌های 1970 تا 1988

داده است. مجموع انتشارات سالانه  $\text{NO}_x$  کمتر از  $\text{SO}_2$  است. نیروگاه‌ها یک‌پنجم ناکس را انتشار می‌دهند، درحالی‌که حمل و نقل با انتشار مقدار ناچیزی  $\text{SO}_2$  حدود یک‌دوم ناکس انگلیس را وارد هوا می‌کند.

جدول 5-15- انتشار  $\text{NO}_x$  در انگلیس 1970 و 1998

| نوع منبع                       | KtN 1970 | KtN 1980 | درصد 1980<br>نسبت به کل |
|--------------------------------|----------|----------|-------------------------|
| احتراق برای تولید انرژی        | 247      | 111      | 21                      |
| برق                            | 13       | 16       | 3                       |
| پالایش نفت                     | 19       | 16       | 3                       |
| سوخت برای موارد دیگر           |          |          |                         |
| سوخت برای تجاری خانگی          | 19       | 22       | 4                       |
| خانگی                          | 22       | 10       | 2                       |
| تجاری                          |          |          |                         |
| سوخت برای صنایع                | 23       | 7        | 1                       |
| تولید آهن و فولاد              | 98       | 47       | 9                       |
| سایر صنایع                     | 4        | 2        | 0                       |
| فرایندهای تولید                | 0        | 0        | 0                       |
| استخراج و توزیع سوخت‌های فسیلی | 234      | 234      | 46                      |
| حمل و نقل جاده ای              | 76       | 60       | 11                      |
| سایر حمل و نقل و عملیات ماشینی | 760      | 534      | 100                     |
| جمع                            |          |          |                         |

منبع: کالز، 2002

در شکل 4-15 دیده می‌شود که شباهت سهم جاده‌ای نیتروژن در سال 1970، 1998، 400 کیلو تنی سال 1990 را پنهان کرده است. زیرا این درست زمانی است که با استفاده از کاتالیست، انتشار جاده‌ای ناکس رو به کاهش گذاشته و در سال 1998 به حد انتشار 1970 رسیده است و همان‌طور که در شکل پیش‌بینی شده است تا سال 2020 به کمترین حد خواهد رسید. جدول 6-15 انتشار جهانی  $\text{NO}_x$  را برحسب نوع منبع برای  $\text{NO}_2$  داده است، زیرا تقریباً کل  $\text{NO}$  قابل تبدیل به  $\text{NO}_2$  است. در این جدول کل  $\text{NO}_2$  جهان حدود 150 میلیون تن در سال برآورد شده است که 20 میلیون تن آن را اروپا انتشار می‌دهد.

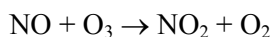
ارقام نشان می‌دهند که 70 درصد  $\text{NO}_2$  در اثر فعالیت‌های انسان تولید و منتشر می‌شود. به عبارت دیگر انسان دو برابر کل مقداری که کره زمین انتشار می‌دهد،  $\text{NO}_2$  تولید می‌کند. توزیع اکسیدهای نیتروژن در مناطق مختلف اروپا با ضریب 30 تفاوت دارد. مناطق بسیار آلوده انگلیس، هلند و آلمان خیلی بیش از مناطق کم جمعیت اسکاندیناوی و شمال اسکاتلند تولید ناکس دارند. در آسیا سه کشور چین، هند و ژاپن 75 درصد از انرژی این قاره را در سال 1990 مصرف کرده‌اند که بیشتر زغال سنگ بوده است. مجموع  $\text{NO}_x$  منتشرشده در این سه کشور 19/2 تریلیون گرم برآورد شده است که 15/8 تریلیون گرم آن از منابع منطقه‌ای و 3/3 تریلیون گرم آن از منابع نقطه‌ای است. پیش‌بینی می‌شود تا سال 2020 مصرف انرژی با ضریب 4 افزایش یابد که گاز و نفت بیشترین سهم را خواهند داشت. در این مدت در بعضی مناطق ممکن است افزایش تا 10 برابر هم برسد. متأسفانه آمار قابل ارائه‌ای از انتشار  $\text{NO}_x$  در ایران به دست نیامد، ولی منابع تولید همان است که برای سایر کشورها ذکر شد. در برآوردی تقریبی حدود 54 درصد  $\text{NO}_2$  در شهر تهران از فعالیت‌های ترافیکی است. در جدول‌های پایان فصل غلظت  $\text{NO}_x$  همراه با سایر آلاینده‌های مهم هوا برای ایستگاه‌های مختلف شهر تهران آمده است.

جدول 6-15- انتشار جهانی NO<sub>x</sub> برحسب نوع منبع

| نوع منبع                      | انتشار برحسب KtNO <sub>2</sub> در سال | درصد کل |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------|
| مصرف سوخت                     |                                       |         |
| زغال سنگ                      | 21000                                 | 13/7    |
| نفت                           | 10200                                 | 6/6     |
| گاز                           | 7600                                  | 4/9     |
| حمل و نقل                     | 26300                                 | 17/1    |
| صنایع                         | 4000                                  | 2/6     |
| رهاشدن از خاک                 | 18100                                 | 11/8    |
| سوخت زیست توده                |                                       |         |
| مرغزارها                      | 10200                                 | 6/6     |
| جنگل زدایی                    | 6900                                  | 4/5     |
| سوخت چوب                      | 6900                                  | 4/3     |
| زایدات کشاورزی                | 13100                                 | 8/5     |
| منابع جوی                     |                                       |         |
| اکسیداسیون NH <sub>3</sub>    | 10200                                 | 6/6     |
| رعد و برق                     | 16400                                 | 10/7    |
| هواپیما در ارتفاع بالا        | 1000                                  | 0/7     |
| NO <sub>x</sub> از استراتوسفر | 2000                                  | 1/4     |
| جمع کل انتشار                 | 153600                                | 100     |

### تشکیل NO<sub>2</sub>

همان‌طور که اشاره شد فقط قسمت کوچکی از NO<sub>2</sub> به‌طور مستقیم از منابع وارد هوا می‌شود. بیشتر موجودی این گاز به‌صورت آلایندهٔ ثانویه از اکسیداسیون NO ضمن واکنش‌های نورشیمی تولید می‌شود.

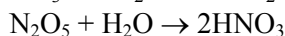
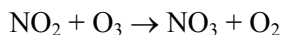


NO<sub>2</sub> نور آبی و فرابنفش خورشید را که طول موج کمتر از 420 نانومتر دارند جذب و به NO و O<sub>3</sub> اولیه تبدیل می‌کند که به‌تبادل بین 4 گاز NO، NO<sub>2</sub>، O<sub>2</sub> و O<sub>3</sub> منجر می‌شود.

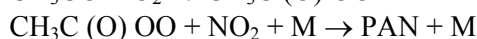
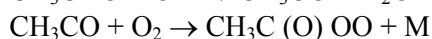
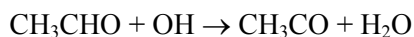
در مناطق روستایی که از منبع انتشار NO دور هستند، غلظت NO<sub>2</sub> بیش از NO است. در مناطق شهری O<sub>3</sub> تجزیه می‌شود و توازن به نفع NO<sub>2</sub> تغییر می‌کند. تولید اوزن که به حضور هیدروکربن‌ها برای چرخه پیچیده نورشیمی نیاز دارد در جای خود مورد بحث قرار می‌گیرد. چاهک اصلی اکسیدهای نیتروژن، اکسیداسیون آن به نیتریک اسید HNO<sub>3</sub> در ساعات روز می‌باشد.



و در شب

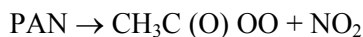


طول عمر HNO<sub>3</sub> فقط یک روز است. علاوه بر این حلالیت HNO<sub>3</sub> در آب خیلی زیاد است و به راحتی همراه با رسوبات جوی از هوا زدوده می‌شود. این که چه عاملی بر ذخیره مؤثر NO<sub>x</sub> در مناطق دور از منابع انسان ساخت عمل می‌کند قابل توضیح نیست. یک راه محتمل تأثیر پراکسی استیل نیترات (CH<sub>3</sub>C(O)OONO<sub>2</sub>) است که به طور خلاصه PAN گفته می‌شود و خود یک آلاینده ثانوی است. پراکسی استیل نیترات در تروپوسفر با حضور ترکیبات کربنی و اکسیدهای نیتروژن ضمن یک دوره واکنش‌های پیچیده نورشیمی در حضور NO<sub>x</sub> تشکیل می‌شود. برای مثال واکنش‌ها از استالدهید به شرح زیر است:



چون PAN خیلی کم در آب حل می‌شود، با فرایند رسوب شدن به سادگی از هوا حذف نمی‌شود. راه اصلی حذف آن تجزیه حرارتی است که به تولید NO<sub>2</sub> منجر می‌شود.

حرارت



فرایند تجزیه دارای ثابت زمانی 1 ساعت در دمای 295 درجه کلوین و چندین ماه در دمای 250 درجه کلوین است. تصور می‌شود که PAN در نزدیکی منابع NO<sub>x</sub> تولید و به طبقات بالای تروپوسفر و زیرین استراتوسفر منتقل می‌شود و مسافت زیادی را طی می‌کند و در جایی که دما مناسب است NO<sub>2</sub> تولید می‌نماید. این فرایند غلظت NO<sub>x</sub> را بین 50 تا 100 قسمت در تریلیون (PPT) در تروپوسفر حفظ می‌کند.



## مواد آلی فرار (VOCs)<sup>1</sup>

از نظر طبقه‌بندی، مواد آلی فرار شامل هیدروکربن‌ها به‌غیر از متان (NMHC) مانند (هیدروکربن‌های زنجیره‌ای، عطری‌ها، هالوکربن‌ها، اکسیژنه، کتن‌ها، الدهیدها) و متان  $\text{CH}_4$  هستند. به‌طور معمول اندازه‌گیری هیدروکربن‌ها (HC) شامل متان نمی‌شود. متان گازی گلخانه‌ای است، ولی آلاینده معمولی هوای آزاد محسوب نمی‌شود. اما یکی از عوامل چرخه نورشیمی تولید اوزن تروپوسفری است که از این نظر اهمیت دارد.

هیدروکربن‌های غیرمتان انتشار بیشتری دارند، ولی از آنجاکه بسیار واکنش‌پذیرند، غلظت آنها در هوا کم است. در بین VOCها که در ابتدا اشاره شده به‌دلیل شرکت در چرخه تولید مه - دود نورشیمی بسیار مورد توجه هستند. این اواخر، گروه هیدروکربن‌های کلرینه و اکسیژنه هم موجب نگرانی شده‌اند. هیدروکربن‌های غیرمتان وقتی وارد هوا شدند تغییرات زیادی پیدا می‌کنند. بیشتر این تغییرات شامل واکنش با  $\text{NO}_3$  یا رادیکال‌های OH و  $\text{O}_3$  است. در این واکنش ممکن است هیدروکربن‌های غیرمتان از گونه‌های پایدارتر و یا محلول‌تر به‌وجود آیند یا این‌که از فاز گازی به‌ذرات تبدیل شوند و برعکس.

داده‌های انتشار VOCهای غیرمتان برای سال 1998 که از فهرست آلاینده‌های هوای انگلیس اقتباس شده است در جدول 7-15 آمده است. مهم‌ترین آنها شامل مصرف حلال‌ها (رنگ، چسب، افشان‌ها برای تمیز کردن فلزات و چاپ) و حمل و نقل است. مقدار زیادی از انواع VOCها در فرایندهای نقاشی ساختمان و لوازم (تبخیر حلال‌ها) تولید نفت (شعله و تهویه گازها) پالایش نفت (شعله و انتشار مواد فرار) توزیع نفت و فراورده‌های پالایشگاه‌ها (تبخیر از انبارها، حمل و نقل و تهویه مخازن) خشک‌شویی‌ها (خشک شدن نهایی لباس‌ها و لوازم)، فعالیت‌های کشاورزی (فراآوری محصولات، سیلوکردن علوفه تازه و پهن کردن لجن) وارد هوا می‌شود.

مجموع انتشار VOCها در حدود 2 میلیون تن بیش از  $\text{NO}_x$  و  $\text{SO}_2$  است. انتشار بیشتر از راه فرایندهای صنعتی، حلال‌ها و حمل و نقل است که از سال 1970 تا 1990 به‌طور مداوم روبه افزایش بوده است (شکل 4-15).

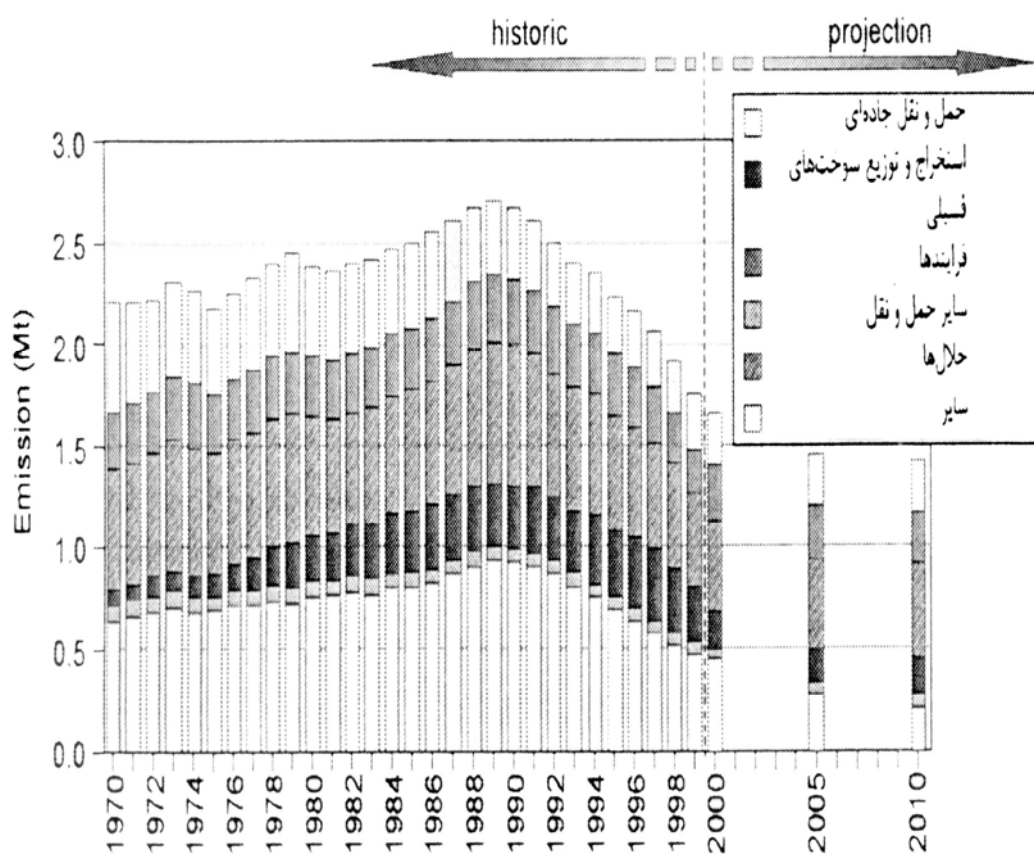
پروتکل VOC کمیسیون اقتصادی اروپایی سازمان ملل UNECE<sup>2</sup> سه گروه VOC را برحسب قدرت تولید اوزن نورشیمی مشخص کرده است، گروه 1 دارای بیشترین قدرت شامل الکن‌ها، عطری‌ها، الکن‌های پایین<sup>3</sup> و ایزوپرن است. گروه 2، اتانل و الکن‌های بالا<sup>1</sup> و گروه 3

1- Volatile Organic Compounds

2- United Nations Economic Commission for Europe

3- Low alkene

متانل، استن، بنزن و استیلن هستند. با آنکه در مورد VOC های انسان ساخت اطلاعات نسبتاً خوبی وجود دارد، ولی در مورد انتشار بیوژنیک، آگاهی چندانی وجود ندارد. جدول 7-15 انتشار NMVOC انگلیس و جدول 8-15 انتشار منابع بیوژنیک VOC را نشان می دهد. پژوهش ها در امریکا نشان می دهد که انتشار ایزوپرن که منشأ بیوژنیک دارد از انتشار هیدروکربن های انسان ساخت بیشتر است. بنابراین با کنترل HC نمی توان تشکیل اوزن نورشیمی را کاهش داد، بلکه کنترل مؤثر  $\text{NO}_x$  لازم است.



شکل 4-15- انتشار NMVOC در انگلستان 1970 - 2010 (National expert group 2001)

جدول 8-15- انتشار VOC های بیوژنیک در جهان

| انتشار $\text{MTC a}^{-1}$ | نوع ترکیب                  |
|----------------------------|----------------------------|
| 160                        | متان                       |
| 15-30                      | دی متیل سولفید             |
| 8-25                       | اتیلن (اتن)                |
| 175-503                    | ایزوپرن                    |
| 127-480                    | ترپن ها                    |
| ~260                       | سایر VOC های واکنش زا      |
| ~260                       | سایر VOC های کمتر واکنش زا |

یکی از مهم ترین منابع انتشار هیدروکربن ها صنایع نفت است که انتشارات مختلف از واحدهای این صنعت به صورت شماتیک در صفحه های بعد نشان داده شده است.

#### آلودگی های ناشی از صنایع نفت و مصرف انرژی

1- اکتشاف و تولید

2- حمل

3- پالایش

4- توزیع

5- مصرف

بخش نخست: حفاری - جداسازی نفت و گاز؛

بخش دوم: پمپاژ - حمل از طریق لوله - تانکرها و نفتکش های اقیانوس پیما، راه آهن و

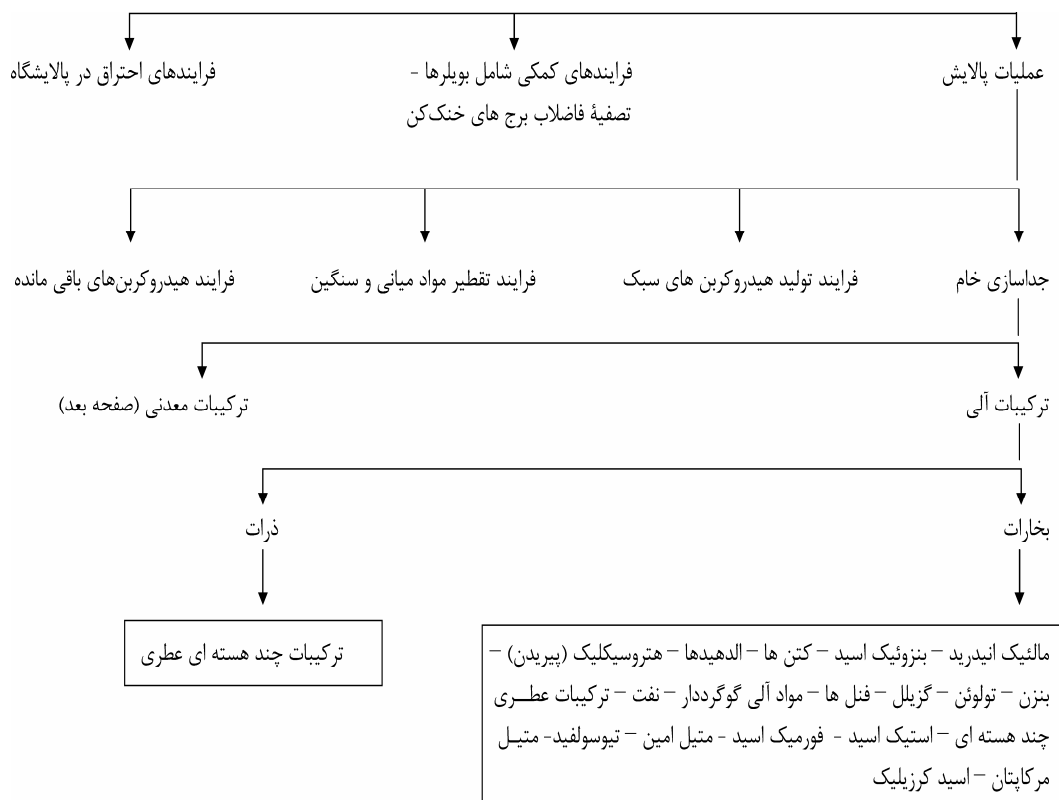
آلودگی دریاها به علت تخلیه آب موجود در مخازن؛

بخش سوم: پالایش کلیه عملیات تولید فراورده های مختلف؛

بخش چهارم: توزیع فراورده های نفتی از پالایشگاه به مخازن و از مخازن به مصرف کننده

ریخت و پاش و تخلیه بخارات؛

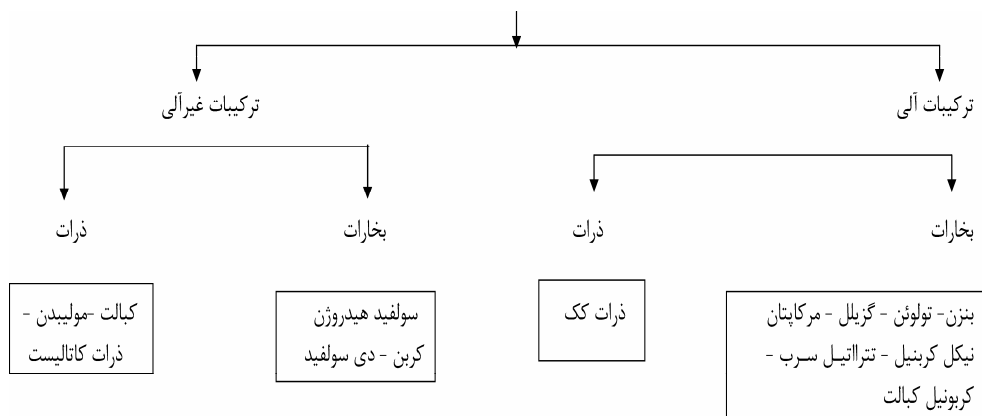
بخش پنجم: احتراق برای مصارف مختلف.



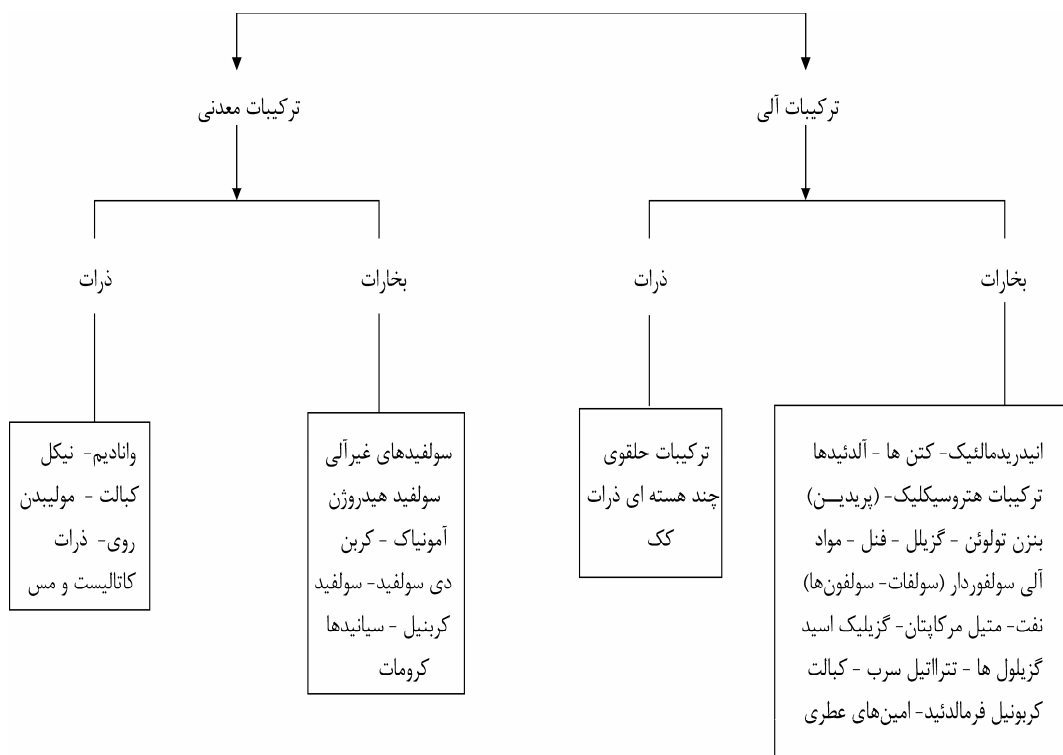
شکل 5-15- آلودگی های بالقوه خطرناک در صنایع تصفیه و تولید نفت  
الف- نوع فرایند



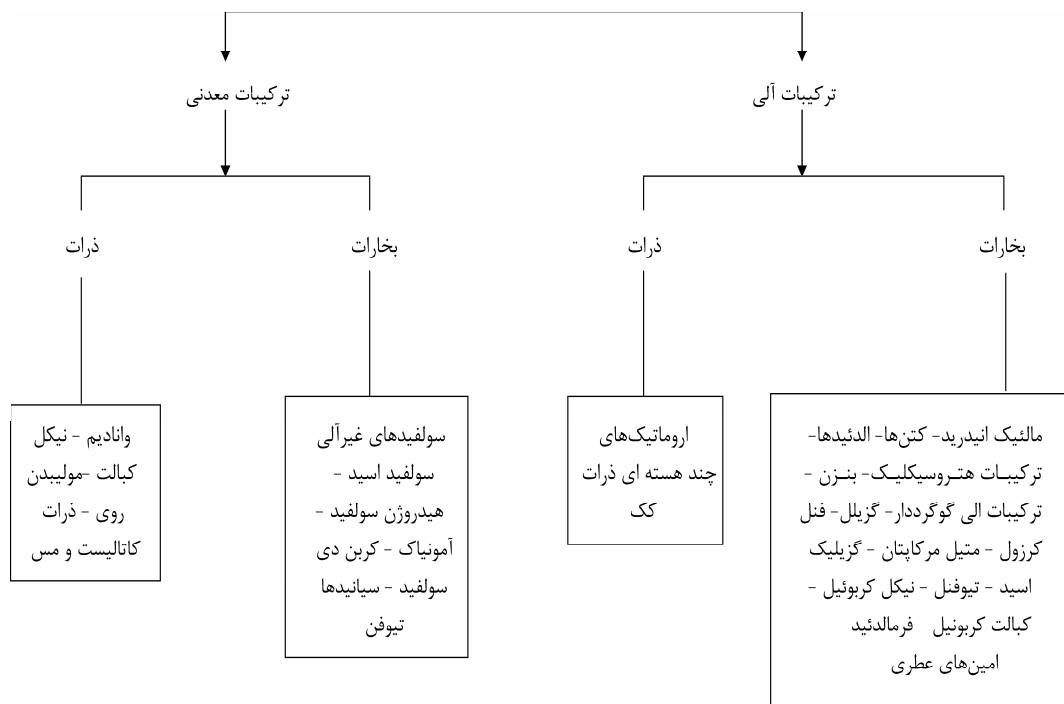
شکل 5-15- ب- جداسازی خام ترکیبات معدنی



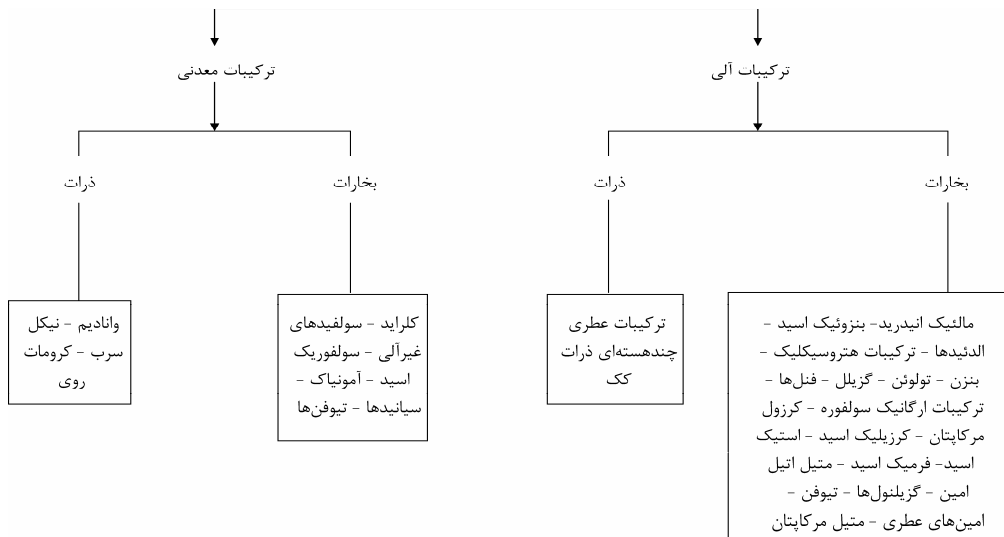
شکل 5-15- ج- فرایند تولید هیدروکربن های سبک



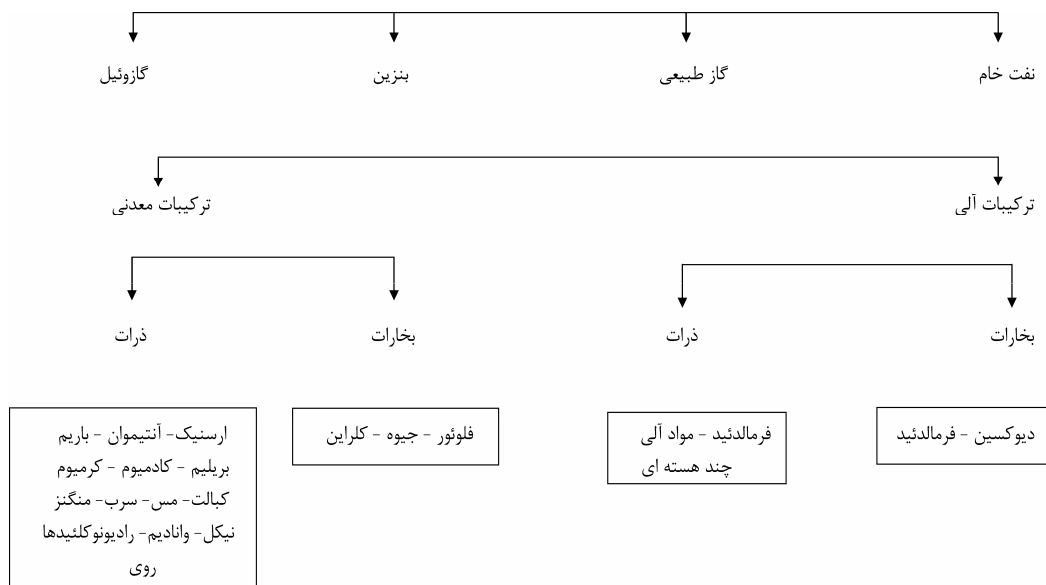
شکل 5-15- د- فرایند تقطیر مواد میانی و سنگین



شکل 5-15- ه - فرایند هیدروکربن‌های باقی مانده



شکل 5-15 - و - فرایندهای کمکی



شکل 5-15 - ز - فرایند احتراق

### مونوکسید کربن

احتراق کامل سوخت‌های فسیلی نباید حاصلی به‌غیر از بخار آب،  $\text{CO}_2$  و مختصری از ترکیبات ناخالص موجود در سوخت داشته باشد، ولی در هیچ وسیله‌ای به‌ویژه خودروها، واکنش کامل یا استوکیومتری صورت نمی‌گیرد. در چنین شرایطی مقداری زیادی CO تولید و وارد هوا می‌شود. در جدول 9-15 انتشار جهانی مونوکسید کربن از سوخت‌ها و منابع مختلف نشان داده شده است.

در سال 1998 در انگلیس حدود 4/7 میلیون تن CO که 73 درصد آن مربوط به حمل و نقل بوده، انتشار یافته است. این منبع نیز از سال 1990 به‌بعد که در خودروها از کاتالیست استفاده شده رو به کاهش گذاشته است.

درمورد مونوکسید کربن حاصل از منابع متحرک ایران در بخش مربوط به منابع متحرک بحث خواهد شد در این قسمت به‌بعضی از منابع ثابت انتشار مونوکسید کربن که در تهران توسط گروه جایکا بررسی شده است، اشاره می‌شود.

جدول 9-15- تولید و چاهک جهانی مونوکسید کربن

| منابع                        | حدود برآورد به Tg CO در سال |
|------------------------------|-----------------------------|
| احتراق سوخت‌های فسیلی / صنعت | 300-550                     |
| سوزاندن زیست‌توده            | 300-700                     |
| گیاهان                       | 60-160                      |
| اقیانوس‌ها                   | 20-200                      |
| اکسیداسیون متان              | 400-1000                    |
| اکسیداسیون سایر هیدروکربن‌ها | 200-600                     |
| جمع چاهک                     | 1800-2700                   |
| اکسیداسیون تروپوسفریک با OH  | 1400-2600                   |
| استراتوسفر                   | $\approx 100$               |
| برداشت بوسیله خاک            | 250640                      |
| جمع چاهک                     | 2100-3000                   |

مأخذ: کالر، 2002

**کوره‌های آجریزی** - در این کوره‌ها با این‌که از گاز طبیعی استفاده می‌شود، ولی به‌علت سوخت ناقص مقدار CO خروجی بسیار زیاد است. به‌نظر می‌رسد با تغییر نازل‌های مشعل و کاهش نسبت هوا به‌سوخت که در حال حاضر خیلی زیاد است هم CO کاهش یابد و هم در مصرف انرژی صرفه جویی شود.

**سیمان تهران** - در اندازه‌گیری‌های انجام شده غلظت CO به‌طور غیرعادی زیاد بوده است.



نتیجه اندازه‌گیری CO در بعضی از واحدهای تهران بر حسب گرم به‌گیگاژول

| آجریزی | پالایشگاه | سیمان<br>واحد 4 | گرمایش خانگی |     |           | پخت و پز<br>گاز<br>طبیعی | دیگ بخار<br>پالایشگاه |
|--------|-----------|-----------------|--------------|-----|-----------|--------------------------|-----------------------|
|        |           |                 | گازوئیل      | نفت | گاز طبیعی |                          |                       |
| 113    | 16-49     | 2370            | 106          | 595 | 32        | 21/2                     | 384                   |

#### خلاصه‌ای از انتشار آلاینده‌های اولیه

مجموع انتشار جهانی گازهای عمده آلاینده هوا که به‌طور تقریبی برآورد شده، در جدول 10-15 ارائه گردیده است و ارقام متناظر این گازها برای اروپا در جدول 11-15 آمده است. خلاصه‌ای از منابع گازهای ذکر شده در جدول 11-15، در جدول 12-15 دیده می‌شود. کثرت منابع مختلف و توازن بین آنها برای آلاینده‌های مختلف نشان می‌دهد که تغییرات فضایی انتشار هم می‌تواند خیلی متفاوت باشد.

جدول شماره 10-15- انتشار جهانی گونه‌های مختلف آلودگی از منابع مختلف و انسان ساخت  
به میلیون تن در سال

| گونه‌ها          | طبیعی | انسان ساخت | جمع  |
|------------------|-------|------------|------|
| CO               | 430   | 1815       | 2245 |
| SO <sub>2</sub>  | 15    | 146        | 161  |
| NO <sub>x</sub>  | 24    | 85         | 109  |
| NH <sub>3</sub>  | 15    | 30         | 45   |
| H <sub>2</sub> S | 1-2   | 4          | 5    |

منبع: کالز، 2002

جدول 11-15- جمع انتشار گونه‌های مختلف آلودگی در اروپا\*

| گاز             | انتشار به میلیون تن در سال |
|-----------------|----------------------------|
| CO              | 46/1                       |
| SO <sub>2</sub> | 14/4                       |
| NO <sub>x</sub> | 12/9                       |
| NH <sub>3</sub> | 3/7                        |
| NMVOC           | 17/4                       |

\* 15 کشور اتحادیه اروپا به‌اضافه کرواسی، ایسلند، مالتا، نروژ و سوئد.

جدول 12-15- درصد سهم فرایندهای مختلف نسبت به جمع جدول 11-15

| منبع               | CO    | NM VOC | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | NH <sub>3</sub> |
|--------------------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| نیروگاهها          | 1/23  | 0/86   | 50/88           | 18/93           | 0/09            |
| سوخت صنعتی و غیره  | 18/66 | 3/63   | 23/59           | 13/89           | 0/09            |
| فرایندهای تولید    | 5/39  | 5/87   | 3/99            | 1/75            | 2/83            |
| تصفیه و توزیع سوخت | 0/23  | 6/00   | 0/22            | 0/88            | ---             |
| مصرف حلال ها       | ---   | 23/56  | ---             | ---             | 0/06            |
| حمل و نقل          | 61/4  | 27/97  | 3/34            | 47/37           | 0/96            |
| سایر منابع متحرک   | 7/55  | 5/03   | 1/89            | 15/87           | ---             |
| کشاورزی            | 0/74  | 17/17  | ---             | 0/29            | 94/65           |
| تصفیه و دفع فاضلاب | 4/66  | 1/28   | 0/58            | 0/84            | 1/09            |
| طبیعی              | 0/21  | 8/64   | 15/50           | 0/17            | 0/23            |

#### آلاینده‌های آلی پایدار (POP,s)<sup>۱</sup>

آلاینده‌های آلی پایدار یک طبقه از آلودگی‌هایی هستند که در سال‌های اخیر تعریف و مورد توجه قرار گرفته‌اند. اینها شامل موادی چون دی‌اکسین‌ها<sup>۲</sup>، فوران‌ها<sup>۳</sup>، PCBها<sup>۴</sup> و مواد آلی کلره مانند حشره‌کش‌ها (DDT) است. ترکیبات این گروه در محیط پایداری دارند، به‌طوری که نیمه عمر آنها در خاک و رسوبات به‌چند سال می‌رسد و وقتی وارد جو می‌شوند روزها باقی می‌مانند. این ترکیبات در مواد آلی و چربی‌ها ذخیره می‌شوند. با همین ویژگی است که وارد چرخه غذایی می‌شوند و به‌طور تجمعی غلظت آنها افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر با تجمع بیولوژیکی<sup>۵</sup> غلظت آنها در بافت‌های موجودات افزایش می‌یابد. این مواد با تبخیر وارد هوا شده و بر روی ذرات معلق هوا چگالیده می‌شوند و همراه ذرات تا مسافت‌های دور انتقال می‌یابند. مهم‌ترین اثر آنها اختلال در تولید مثل و سرطان زایی است.

اصطلاح دیوکسین شامل 210 ترکیب مختلف آلی است که 75 ترکیب، به‌طور مخفف PCDD<sup>۶</sup> و 135 ترکیب دیگر PCDF<sup>۷</sup> نام دارند. مهم‌ترین منبع انتشار آنها، سوخت ناقص

1- Persistent Organic Pollutants

2- Dioxin

3- Furan

4- Polychlorinated biphenyl.

5- Bioaccumulation

6- Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxins

7- Polychlorinated Dibenzo Furans

پلاستیک مثل PVC است. دی اکسین ها 1 تا 8 اتم کلر دارند. 209 گونه PCB که سم های شناخته شده برای انسان هستند، شناسایی شده اند که تأثیری شبیه دی اکسین ها دارند. حلالیت دی اکسین در آب کم و فشار بخار آن اندک است. در هوا معمولاً با ذرات همراه اند. غلظت آنها در هوا 10 تا 100 فمتوگرم  $10^{-15}$  I-TEQm<sup>-3</sup> است. (یک فمتوگرم برابر 10<sup>-15</sup> گرم است). برد وسیعی از فرایندها در انتشار دی اکسین ها دخالت دارند که هیچ یک از آنها غالب نیستند. در سال 1998 چهار گروه از منابع مهم تر شامل کلوخه سازی<sup>۲</sup> با 13 درصد، سوزاندن زباله در هوای باز با 20 درصد، سوزاندن مواد زاید کلینیکی با 7 درصد و تولید فلزات غیر آهنی با 7 درصد انتشار دی اکسین ها شناسایی شده اند.

## آلاینده های ثانویه هوا

### اوزن

اوزن طبیعی بیشتر در استراتوسفر در ارتفاع 15 تا 50 کیلومتری از سطح زمین وجود دارد. تشکیل آن با عمل فوتون های اشعه فرابنفش با طول موج کمتر از 242 نانومتر بر مولکول های اکسیژن صورت می گیرد. این لایه اوزن که گاه به آن اوزن خوب گفته می شود، در حقیقت 90 درصد اوزن جو کره زمین را تشکیل می دهد (ر.ک. فصل نهم). در تروپوسفر هم اوزن طبیعی وجود دارد که غلظت زمینه آن 10 تا 20 پی پی بی است. قسمتی از این اوزن از استراتوسفر به طبقات پایین تر نفوذ کرده است. بعضی برآوردها تبادل اوزن استراتوسفر - تروپوسفر را  $400 \times 10^9$  تا  $500 \times 10^9$  کیلوگرم در سال پیش بینی کرده است که می تواند 30 تا 40 درصد اوزن تروپوسفری را تشکیل دهد. با آنکه به طور دقیق معلوم نیست چه مقدار از اوزن استراتوسفر به پایین نفوذ می کند، ولی می توان گفت که اوزن سطح زمین حداقل یک برابر غلظت طبیعی اوزن تروپوسفر را افزایش می دهد. تشکیل اوزن زمینی آن طور که در استراتوسفر صورت می گیرد، نیست، زیرا طول موج اشعه فرابنفشی که به زمین می رسد در محدود 280 نانومتر است. انرژی این طول موج برای شکست مولکول های اکسیژن و تشکیل اوزن کافی نیست. بنابراین اوزن سطح زمین یک فرایند نورشیمی با تأثیر اشعه فرابنفش رسیده به زمین است.



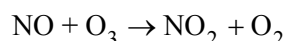
1- Toxic equivalent: a standard of toxicity of toxic organic micropollutants – generic term that includes PCDD, PCDF, and other minority chemicals with recognised toxicity at low (ppt) concentration

2- Sinter plant

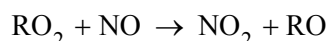
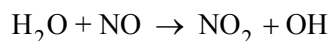
این واکنش را فوتولیز  $\text{NO}_2$  می‌گویند. فوتون‌های با طول موج بزرگ‌تر از 400 نانومتر انرژی کافی برای شکست مولکول‌های  $\text{NO}_2$  ندارد و فوتون‌های با طول موج کوچک‌تر هم در استراتوسفر جذب می‌شود که در نتیجه مقدار آن در تروپوسفر ناچیز است.



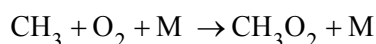
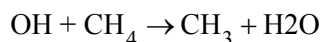
M هر مولکول سومی مثل  $\text{N}_2$  یا  $\text{O}_2$  می‌تواند باشد تا انرژی واکنش را جذب کند و همان‌طور که در فرمول واکنش دیده شد وارد عمل نمی‌شود. اوزن تولید شده به‌سرعت با NO ترکیب می‌شود.



این چرخه مقدار کمی اوزن به‌موجودی زمینه اضافه می‌کند. در جو آلوده تعادل بین این سه واکنش به‌غلظت ثابت اوزن می‌انجامد. غلظت اوزن هیچ‌گاه خیلی زیاد نمی‌شود زیرا همان‌طور که دیدیم به‌سرعت با NO ترکیب می‌شود. اوزن باقی‌مانده یک آلاینده ثانوی است که در ابتدای فصل به‌آن اشاره شد. در دهه 1950 یکی از مشکلات مهم آلودگی هوا در لوس‌آنجلس غلظت زیاد اوزن بود که موجب اختلال در تنفس، تحریک چشم‌ها و خسارات واضح به گیاهان می‌شد. شناخت دقیق چگونگی تشکیل آن بسیار پیچیده است. واکنش بین صدها هیدروکربن، رادیکال،  $\text{NO}_2$ ، NO و هیدروپراکسی (رادیکال  $\text{HO}_2$ ) به‌تولید آلاینده‌های ثانوی، اوزن و مه - دود نورشیمی منجر می‌شود.

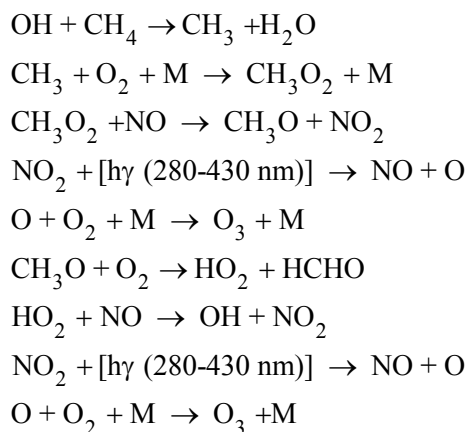


در اینجا R یک رادیکال آلی، (هر گروه اتمی که دارای C و H) مثل  $\text{C}_2\text{H}_5$  است. برای مثال در مورد متان  $\text{CH}_4$  ( $\text{R}=\text{CH}_3$ ) و بنابراین:

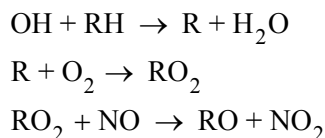


از فوتولیز آن، اتم اکسیژن آزاد می‌شود که پس از ترکیب با مولکول اکسیژن موجب افزایش غلظت اوزن می‌شود.

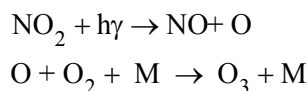
سلسله واکنش‌های پی در پی برای متان عبارتند از:



همین واکنش‌های پی در پی با سایر مواد آلی نیز ممکن است روی دهد. بنابراین هوای آلودهٔ تابستان مخلوطی از NO، NO<sub>2</sub> و O<sub>3</sub> با غلظتی است که نه تنها با شدت منابع پیش‌نیازها متناسب است، بلکه به‌حضور ترکیبات فعال واکنش‌پذیر، شرایط اختلاط، طول عمر گونه‌ها و شرایط جوی هم وابسته است. همچنین باید توجه داشت که رادیکال OH در جریان سلسله واکنش‌ها دوباره تولید می‌شود، زیرا به‌طور مؤثری به‌صورت کاتالیست عمل می‌کند. به‌همین دلیل است که غلظت کم آن (در حد ppt) نقش مهمی در شیمی جو دارد. اصولاً هر هیدروکربن موجود در هوا می‌تواند به‌رادیکال هیدروکسیل شکسته شود و رادیکال آلی پراکسی (RO<sub>2</sub>) را تشکیل دهد. این رادیکال‌ها به‌سادگی با NO وارد واکنش می‌شوند، NO<sub>2</sub> تولید می‌کنند و تعادل چرخهٔ سلسله واکنش‌ها به‌نفع O<sub>3</sub> پیش می‌رود. برای انجام این واکنش‌ها: ابتدا رادیکال هیدروکسیل OH با یک مولکول آلی وارد عمل می‌شود و سپس با اکسیژن مولکولی ترکیب شده رادیکال پراکسی را تولید می‌کند.

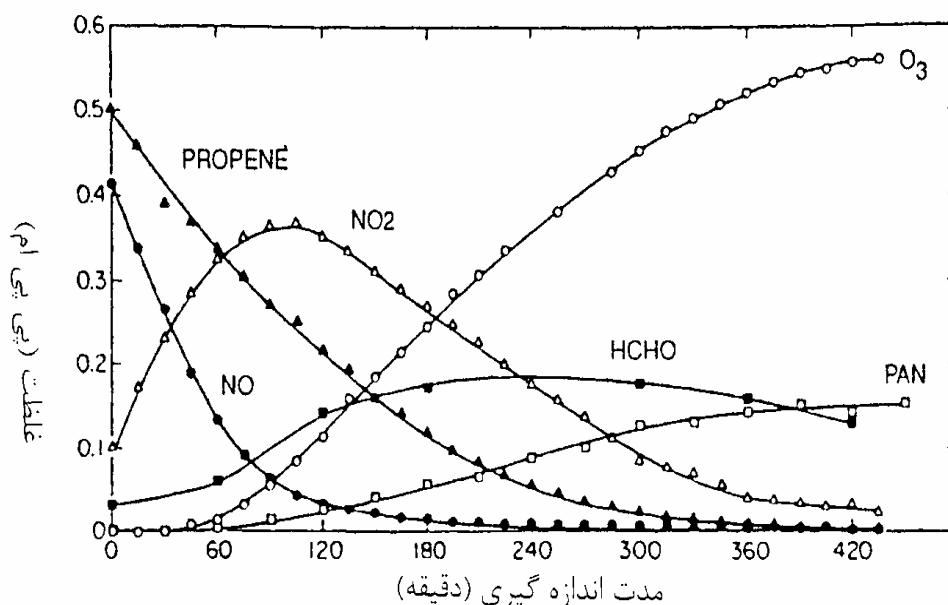


RO یک رادیکال آلوکسی آلی است.



در روز طرح این واکنش با منابع NO<sub>2</sub> برای فوتولیز NO<sub>2</sub> است که محصول جانبی آن O<sub>3</sub> است. شکل 6-15 نتیجهٔ تجربهٔ آزمایشگاهی را که در آن مخلوطی از 500 پی‌پی‌بی پروپن،

400 پی پی بی NO و 100 پی پی بی NO<sub>2</sub>، هفت ساعت در یک اتاقک تحت تأثیر اشعه قرار داده شدند نشان می‌دهد.



شکل 6-15- واکنش‌های آزمایشگاهی NO<sub>x</sub> و پروپین<sup>1</sup> برای تولید O<sub>3</sub> (مأخذ: وینر<sup>2</sup>، 1986)

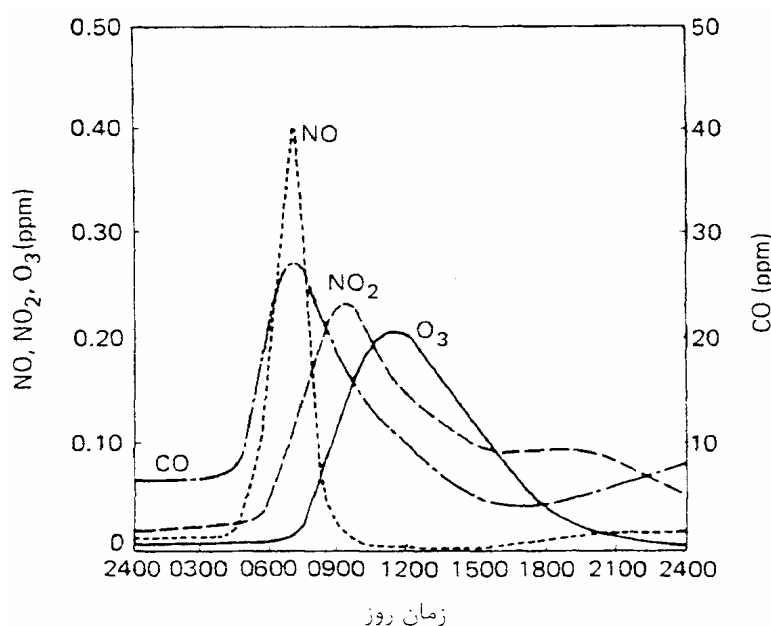
غلظت‌های پروپین و NO سیر کاهشی داشتند، زیرا در واکنش‌های شیمیایی مصرف شدند. غلظت NO<sub>2</sub> تا 90 دقیقه قبل از آنکه کاهش یابد روبه افزایش بود. غلظت اوزن هم سیر ثابت صعودی را تا رسیدن به 600 پی پی بی نشان داده است. علاوه بر آن دو آلایندۀ ثانویۀ دیگر مشخص شدند که عبارت از HCOH و پراکسی استیل نیترات PAN بودند. هر دو این آلاینده‌ها هم سمی و هم محرک مجاری تنفسی و چشم‌ها هستند.

تجربه نشان داده است که باتوجه به سرعت واکنش و وجود منابع OH حدود دو روز هوای آفتابی برای تولید و افزایش اوزن تا حد 600 پی پی بی کافی است. شب‌ها و زمستان‌ها در عرض جغرافیایی مناطق معتدل که فوتون‌های اشعهٔ فرابنفش کمتر است، NO با فوتولیز تشکیل نمی‌شود تا با O<sub>3</sub> واکنش داده و مصرف شود. غلظت NO و O<sub>3</sub> هم کاهش می‌یابد. NO<sub>2</sub>

1- Propene  
2- Viner

اضافی با مولکول‌های آلی ترکیب می‌شود و در نهایت اسید نیتریک ( $\text{HNO}_3$ ) تولید می‌شود. این اسید هم در قطرات آب حل شده و بصورت باران اسیدی وارد زمین و آبهای سطحی می‌شود.

نیاز اشعه فرابنفش و طول عمر کوتاه مولکول‌های اوزن در جو، ویژگی خاص چرخه روزانه غلظت اوزن تروپوسفر پایین را بوجود آورده است. در شکل 7-15 این چرخه برای شهر لس‌آنجلس نشان داده شده است. با افزایش شدت نور خورشید واکنش‌های نورشیمی شتاب می‌یابند و به دنبال اوج  $\text{NO}_2$  در میانه‌های صبح، اوزن در میانه بعد از ظهر افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری پیش درآمدها و محصولات تولیدی می‌توان اثر هریک از هیدروکربن‌ها را در تولید اوزن پیش‌بینی کرد.



شکل 7-15- چرخه روزانه تولید اوزن و غلظت پیش‌نیازها در لس‌آنجلس

در یک آزمایش که 34 هیدروکربن مختلف وجود داشته 50 درصد تولید اوزن به حساب وجود ترکیباتی مانند متان، بوتن<sup>1</sup>، مونوکسید کربن، اتیلن و ایزوپرن می‌باشد. اگر اثر اتیلن را 100 بگیریم، اثر پروپن 103، پروپان 42، اکتان 53، بنزن 19 و متانول 12 است. همچنین

1- Butene

می‌توان اوزن را با یک VOC معین مدل کرد. در یک آزمایش، تشکیل اوزن با سرعت 1/323 پی‌پی‌بی در ساعت با مشارکت 0/249 ایزوبوتن، 0/147 اتیلن و 0/116 پی‌پی‌بی ایزوپرن صورت گرفت. تعادل بین تولید و حذف اوزن در تروپوسفر در جدول 13-15 آمده است. توجه داشته باشید که بسیاری از این ارقام از مدل 3-D نورشیمی جوی گرفته شده‌اند و عدم اطمینان به‌ارقام در بین کمترین و بیشترین حد نشان داده شده است.

جدول 13-15- بودجه اوزن تروپوسفری

| منابع                                           | $\text{TgO}_3\text{a}^{-1}$ |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|
| مجموع تولید شیمیایی                             | 3000-4600                   |
| از $\text{HO}_2 + \text{NO}$                    | 70 درصد                     |
| $\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{NO}$             | 20 درصد                     |
| $\text{RO}_2 + \text{NO}$                       | 10 درصد                     |
| انتقال از استراتوسفر                            | 400-11000                   |
| جمع کل                                          | 3400-5700                   |
| چاهک                                            |                             |
| کل حذف شیمیایی                                  | 3000-4200                   |
| از $\text{O}(^{\text{D}}) + \text{H}_2\text{O}$ | 40 درصد                     |
| $\text{HO}_2 + \text{O}_3$                      | 40 درصد                     |
| $\text{OH} + \text{O}_3$                        | 10 درصد                     |
| سایر واکنش‌ها                                   | 10 درصد                     |
| ترسیب خشک                                       | 500-1500                    |
| جمع کل چاهک                                     | 3400-5700                   |

منبع 200 Colls صفحه 53

## ذرات و منابع آن

### فرسایش توسط باد

بسیاری از ذرات با منشأ طبیعی، به‌علت فرسایش خاک توسط باد تولید و وارد هوا می‌شوند. وزش باد، گرد و غبار و خرده‌ریزه‌های روی زمین را بلند می‌کند و تا مسافت زیادی انتقال می‌دهد. این فرایند که ناهموار<sup>۲</sup> کردن زمین نام دارد، می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- توفان شن، تشکیل تپه‌های ماسه‌ای و صحرا؛

1-  $\text{O}(\text{D}) =$  اکسیژن اتمی در حالت برانگیخته و بسیار واکنش‌پذیر  
2- Deflation



- فرسایش خاک‌های کشاورزی؛

- تشکیل رسوبات بادی؛

- تولید ذرات در هوا؛

- کاهش فاصله دید؛

- رسوبات دریاها؛

- حادثه باران سرخ؛

همان‌طور که در فصل سوم بحث شده است سرعت نشست ذرات با توان دوم قطر ذره رابطه مستقیم دارد، برای مثال در مورد ذره‌ای با قطر 10 میکرون اگر سرعت رسوب 0/3 سانتیمتر در ثانیه باشد برای ذره‌ای با قطر 100 میکرون 30 سانتیمتر در ثانیه خواهد بود (این اندازه کوچک‌ترین قطرات یک باران ملایم است). به‌طور معمول سرعت بالا رفتن ذرات در هوای توفانی به‌چند متر در ثانیه می‌رسد. با این پدیده ذرات ریز می‌توانند مدت زیادی، قبل از رسوب، به‌صورت معلق در هوا بمانند و مسافت زیادی را طی کنند.

منبع اصلی ذرات طبیعی هوای نیمکره شمالی است. شبه جزیره عربستان، جنوب غربی آمریکا، گوبی و صحرا از جمله مهم‌ترین این منابع هستند.

از این مراکز، سالانه 1500 میلیون تن از ذرات وارد هوا می‌شود. این فرایند در تمام دنیا و در تمام مدت سال ادامه دارد، ولی تا زمانی که حادثه‌ای روی ندهد، توجهی به آن نمی‌شود. سالانه حدود 100 میلیون تن گرد و غبار همراه با باد از طرف صحرا می‌وزد، به‌طوری که مهم‌ترین نقش را در پدید آمدن باران‌های سرخ اروپا دارد. به‌طور کلی بیشتر ذرات ناشی از فرسایش خاک در دو اندازه مشخص قرار می‌گیرند. ذرات درشت که از دانه‌های کوارتز بین 100 تا 200 میکرون درست شده‌اند و گروه دوم ذرات خاک که دارای قطر کوچک‌تر از 10 میکرون هستند و به‌نقاط دورتر انتقال می‌یابند. اندازه‌گیری ذرات برخاسته از زمین در صحرا نشان داده است که قطر میانه جرمی ذراتی که نزدیک منبع نشست کرده بودند، 50 میکرون است. نشست ذرات به‌طور پیوسته ادامه داشته است، تا حدی که در 5000 کیلومتری ذرات رسوب یافته قطری برابر 2 تا 3 میکرون داشته‌اند. این ذرات بیشتر از زنگ آهن، آلومینیوم، سیلیکون و تتانیم هستند. طبق برآوردهای انجام شده 1/4 میلیون تن ذرات محتوی آهک و 34 میلیون تن غبار حاصل از فرسایش زمین‌های اروپا برای خنثی کردن 10 درصد از  $SO_2$  منتشر شده کافی است. اندازه‌گیری نشان داده است که  $10^{-6}$  سانتیمتر مکعب ذرات بر هر سانتیمتر مربع در ثانیه برابر حدود 1 میلیمتر نشست روی خاک در هر روز است.

## نمک دریا

یک منبع طبیعی دیگر، ذرات کریستال‌های نمکی است که از پاشیدن امواج دریا به‌هوا و تبخیر آب قطرات پخش شده تولید می‌شود و در هوا باقی می‌ماند. طبق جدول 14-15، سالانه 3 میلیون تن کریستال نمک‌های دریایی با قطر میانه جرمی که در نزدیک دریا حدود 8 میکرون است، وارد هوا می‌شوند. ترکیب شیمیایی این ذرات هم گونه‌های محلول در سطح آب دریاست که 55 درصد آن  $\text{Cl}^-$ ، 31 درصد  $\text{Na}^+$ ، 7/7 درصد  $\text{SO}_4^{2-}$ ، 3/7 درصد  $\text{Mg}^{+2}$ ، 1/2 درصد  $\text{Ca}^{+2}$  و 1/1 درصد هم  $\text{K}^+$  است. این یون‌ها به‌صورت  $\text{KCl}$ ،  $\text{NaCl}$ ،  $\text{CaSO}_4$  و  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  است.

## سایر منابع طبیعی ذرات

این منابع، آتش‌فشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها و پولن‌های گیاهی است. فرایندهای طبیعی روی گازها نیز عمل می‌کنند و آنها را به‌ذرات تبدیل می‌نمایند. تبدیل ممکن است فرایندی فیزیکی مثل چگالش ترپن‌ها و یا بای فنل‌ها در مناطق جنگلی باشد و یا به‌صورت واکنش‌های شیمیایی مثل تولید هواویزهای اسید سولفوریک از دی‌اکسید گوگرد  $\text{SO}_2$  دی‌متیل سولفید  $\text{CH}_3\text{SCH}_3$  و هیدروژن سولفید  $\text{SH}_2$  صورت گیرد. در استراتوسفر هم هواویزهای اسید سولفوریک از راه تفکیک نوری کربونیل سولفید (COS) به CO و S تبدیل می‌شوند.

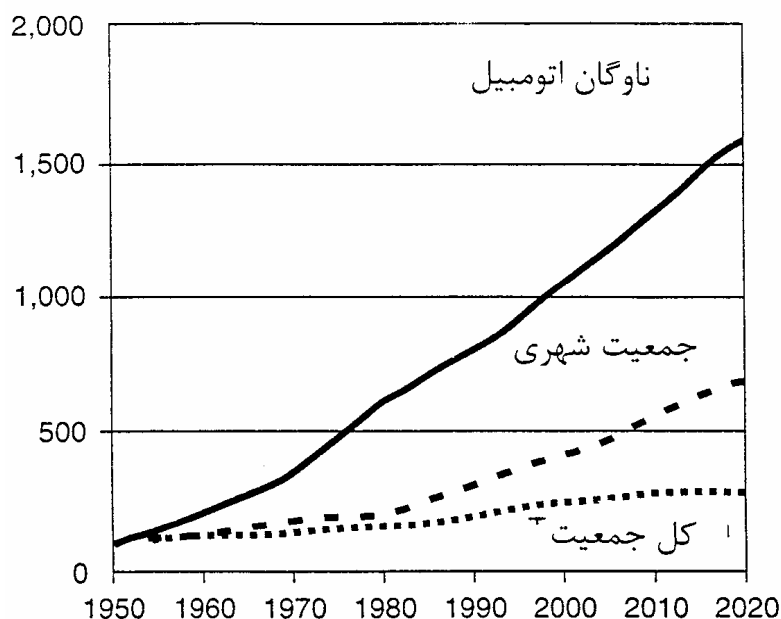
جدول شماره 14-15- تولید جهانی ذرات

| سرعت تولید $10^6 + a^{-1}$ | منبع                         |
|----------------------------|------------------------------|
|                            | طبیعی                        |
|                            | اولیه                        |
| 3000                       | نمک دریا                     |
| 1500                       | غبار معدنی                   |
| 300                        | غبار آتش فشان                |
| 100                        | جنگل سوزی                    |
| 4900                       | کل طبیعی اولیه               |
|                            | ثانوی                        |
| 40                         | سولفات‌ها                    |
| 30                         | نیتрат‌ها                    |
| 20                         | هیدروکربن‌ها                 |
| 90                         | کل طبیعی ثانوی               |
| 5000                       | کلی طبیعی جمع اولیه و ثانویه |
|                            | انسان ساخت                   |
| 200                        | اولیه                        |
| 300                        | ثانویه                       |
| 500                        | جمع                          |
| 5500                       | جمع کل طبیعی و انسان ساخت    |

### منابع متحرک

آلودگی‌های هوا ناشی از وسایل نقلیه روزبه روز اهمیت بیشتری پیدا کرده و به‌صورت یک موضوع مهم زیست‌محیطی و بهداشتی درآمده است، زیرا هم تعداد خودروها رو به‌افزایش است و هم مسافتی که هر خودرو در روز طی می‌کند، بیشتر می‌شود. از سال 1960 به‌بعد نرخ رشد تولید خودرو از نرخ رشد جمعیت در جهان بیشتر بوده است. در سال 1950 حدود 50 میلیون خودرو برای 3/5 میلیارد جمعیت جهان وجود داشته است و اکنون 600 میلیون خودرو برای 6 میلیارد نفر که با تولید 45 میلیون وسیله در سال روبه افزایش است. بدین ترتیب تا سال 2020 جهان دارای یک میلیارد خودرو خواهد شد. خالص نرخ رشد خودرو در (2002) 5 درصد است که در مقایسه با رشد 1 تا 2 درصدی جمعیت خیلی بیشتر است. در شکل 8-15 رابطه بین رشد جمعیت و رشد خودرو دیده می‌شود.

### شاخص رشد ۱۹۵۰-۱۰۰



شکل 8-15- رابطه بین رشد جمعیت و خودرو از 1950 تا 2020 (مأخذ: فنجر<sup>۱</sup>، 1999)

طبق برآورد انجام شده گفته می‌شود که جمعیت جهان در فاصله بین 2020 تا 2050 بین 9 تا 10 میلیارد نفر تثبیت گردد. اما ناوگان حمل و نقل به رشد خود ادامه می‌دهد. نرخ رشد خودرو در هندوستان 15 تا 25 درصد در سال می‌باشد. در سال 2000 تعداد خودرو در پکن به 2/3 میلیون و تا 2010 به 4/3 میلیون خواهد رسید. در ایران روزانه 1500 اتومبیل شماره می‌شود که بیشتر آنها در تهران و چند شهر بزرگ توزیع می‌شوند. طی 50 سال گذشته تهدید زیست‌محیطی و بهداشتی خودروها از منابع ثابت بیشتر شده است. عامل انتشار 4 آلاینده عمده، مونوکسید کربن (CO) اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ )، هیدروکربن‌ها و ذرات معلق هوا وسایل نقلیه هستند. ضمناً باید توجه داشت که خود این آلاینده‌ها پایان داستان نیستند. علاوه بر آلاینده‌های ثانوی که از محصول آلودگی‌های منتشر شده از وسایل نقلیه در جو می‌باشند، (پیشتر در این مورد توضیح داده شده است) برآورد کامل آلودگی از تولید و استفاده خودروها باید براساس چرخه عمر<sup>۲</sup> انجام گیرد. آلودگی‌هایی که قبل و بعد از استفاده از

1- Fenger

2- Life cycle

فرایندهای استخراج معدن و پروسه تهیه آهن و فولاد، تهیه پلاستیک، پاشش رنگ، تهیه و توزیع سوخت، دفع خودروهای اوراقی در پایان عمر مفید آن، انتشار می‌یابند باید مورد توجه قرار گرفته و به حساب آیند و مهمتر آنکه آلودگی‌های وسایل نقلیه موتوری بیشتر در مراکز پرجمعیت رها می‌شوند.

در انگلستان با 26 میلیون خودرو، 540 میلیارد کیلومتر سفر صورت می‌گیرد. انتظار می‌رود که این عدد تا سال 2010 به 653 میلیارد کیلومتر برسد. نتیجه این شده که استفاده از وسیله‌های نقلیه موتوری بیش از هریک از فعالیت‌های انسان موجب آلودگی می‌شود. وسایل نقلیه تندرشدترین منبع  $CO_2$  هستند و در مناطق شهری، بیشتر  $CO$ ،  $HC$  و  $NO_x$  را انتشار می‌دهند. هم مردم و هم خودروها در شهرها متمرکزند. در شهرها دانسیته آلودگی در واحد سطح بیشترین و شرایط پراکندگی بدترین است. وسایل نقلیه به‌عنوان مؤثرترین عامل تخریب محیط زیست و مخاطرات بهداشتی ساکنان شهری شناخته شده‌اند. در جدول 15-15 سهم آلودگی ناشی از حمل و نقل در تعدادی از شهرهای جهان آمده است.

### ضرایب انتشار

برای برآورد کمیت آلاینده‌ها، از منابع مختلف و تعیین سهم هر منبع از ضرایب انتشار استفاده می‌شود. ضرایب انتشار معمولاً یا برحسب مقدار آلودگی به‌واحد محصول و یا مقدار آلودگی به‌واحد مواد خام مصرفی داده می‌شود، برای مثال در مورد وسایل نقلیه، گرم آلودگی به‌کیلومتر پیمایش و یا گرم آلودگی برای هر لیتر سوخت داده می‌شود. روش کار بدین صورت است که از هر گروه فعالیت مشابه نمونه یا نمونه‌هایی انتخاب می‌کنند و برای آن ضرایب انتشار را با اندازه‌گیری برحسب آنچه گفته شد، تعیین می‌نمایند و سپس در کل مواد خام مصرفی تمامی واحدهای آن فعالیت و یا محصول تولیدی آن را ضرب می‌کنند تا کل آلودگی منتشر شونده برای فعالیت موردنظر به‌دست آید. چنانچه این کار برای تمامی فعالیت‌ها انجام شود جمع هر آلاینده در یک شهر، منطقه یا کشور قابل برآورد خواهد بود. در جدول‌های 15-17 و 15-18 برای منابع متحرک و ثابت تهران و ثابت کل ایران به‌همین ترتیب برآورد شده است. در جدول‌های 15-19 مشروح جدول 15-17 برای منابع متحرک داده شده است. به‌طوری‌که دیده می‌شود برای هر گروه از وسایل نقلیه برآورد صورت گرفته و سپس جمع کل وسایل نقلیه محاسبه شده است.

جدول شماره 19-15- مشروح انتشار آلودگی وسایل نقلیه موتوری تهران سال 1994

| مقدار آلودگی برحسب تن در سال |                 |       |        | نوع وسیله  |
|------------------------------|-----------------|-------|--------|------------|
| NO <sub>x</sub>              | SO <sub>x</sub> | HC    | CO     |            |
| 1086                         | 179             | 16293 | 64085  | موتورسیکلت |
| 21865                        | 1177            | 41296 | 478017 | سواری شخصی |
| 5381                         | 331             | 13336 | 158572 | تاکسی      |
| 5030                         | 262             | 9099  | 105660 | وانت       |
| 1245                         | 1325            | 360   | 4164   | مینی بوس   |
| 2748                         | 2995            | 756   | 8492   | اتوبوس     |
| 2219                         | 2071            | 551   | 7814   | کامیون     |
| 39610                        | 8340            | 81691 | 826804 | جمع        |

جمع همان است که در جدول 17-15 آمده است.

در جدول 20-15 ضرایب انتشار برای مصارف سوخت در واحدهای مختلف برحسب گرم به گیگاژول با اقتباس از گزارش جایکا آورده شده است.

جدول شماره 20-15- ضریب انتشار مصرف سوخت در فعالیتهای مختلف تهران برحسب گرم به گیگازول

| ردیف | بخش                 | سوخت      | SO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | CO   | HC  | SPM  |
|------|---------------------|-----------|-----------------|-----------------|------|-----|------|
| 1    | صنایع               | بنزین     | 37              | 165             | 7744 | 298 | 41   |
|      |                     | نفت سفید  | 86              | 165             | 15   | 9   | 64   |
|      |                     | نفت گاز   | 336             | 164             | 13   | 9   | 65   |
|      |                     | نفت کوره  | 1268            | 175             | 12   | 9   | 67   |
|      |                     | گاز مایع  | 61              | 52              | 7    | 2   | 8    |
|      |                     | گاز طبیعی | 1               | 73              | 7    | 1   | 6    |
|      |                     | سوخت جامد | 590             | 250             | 170  | 0   | 74   |
| 2    | خانگی و تجاری       | بنزین     | 86              | 62              | 15   | 11  | 22   |
|      |                     | نفت گاز   | 336             | 71              | 15   | 4   | 55   |
|      |                     | نفت کوره  | 1268            | 70              | 15   | 4   | 71   |
|      |                     | گاز مایع  | 61              | 36              | 9    | 3   | 8    |
|      |                     | گاز طبیعی | 1               | 50              | 8    | 3   | 7    |
|      |                     | سوخت جامد | 590             | 215             | 800  | 1   | 74   |
| 3    | حمل و نقل           | بنزین     | 37              | 301             | 8845 | 800 | 575  |
|      |                     | نفت جت    | 129             | 224             | 120  | 63  | 23   |
|      |                     | نفت گاز   | 345             | 831             | 765  | 559 | 9190 |
|      |                     | گاز مایع  | 61              | 132             | 15   | 3   | 112  |
| 4    | نیروگاه و پالایشگاه | نفت گاز   | 336             | 284             | 15   | 15  | 66   |
|      |                     | نفت کوره  | 1637            | 325             | 16   | 16  | 70   |
|      |                     | گاز طبیعی | 1               | 234             | 7    | 16  | 6    |

ضرایب انتشار از سایر منابع را که از مراجع اقتباس شده است در ضمیمه پایان کتاب ملاحظه کنید.

### آلاینده‌های مهم از دفن بهداشتی زباله‌ها

از پژوهش‌هایی که طی سال‌های اخیر انجام گرفته، چنین نتیجه‌گیری شده است که مقادیر بسیار کم گازهای منتشره از محل‌های دفن بهداشتی زباله‌ها می‌تواند خطر زیادی برای سلامت و محیط زیست داشته باشد. البته نوع گازها و آلودگیها از محل دفنی به محل دفن دیگر متفاوت است و به عوامل زیادی از جمله ترکیب زباله‌های دفن شده، روش دفن، شرایط جوی و عمر محل دفن و غیره بستگی دارد. در جدول 21-15 انواع گازهای مهم رها شده از محل دفن نشان داده شده است.

## فصل چهارم

### نمونه‌برداری و آزمایش آلاینده‌های هوا

#### روش برنامه ریزی و نمونه‌برداری از هوای آزاد

منظور از این بخش ارائه اصول نمونه‌برداری از هوای آزاد به منظور تعیین غلظت آلاینده است. مشروح روش، مورد بحث قرار نخواهد گرفت، ولی اصول برنامه‌ریزی و برنامه نمونه‌گیری و همچنین راهنمای انتخاب محل نمونه‌برداری مورد توجه قرار می‌گیرد.

بررسی آلاینده‌های جوی شامل مطالعه جرم نامتجانس در شرایط کنترل نشده است. تحلیل داده‌های به دست آمده بر پایه نظریه‌های آمار و احتمالات است. بنابراین باید سعی کرد مقدار هر نمونه و طول زمان نمونه‌برداری برای این تجزیه و تحلیل‌ها کافی باشد.

متغیرهای مؤثر در نتیجه کار شاخص‌های هواشناسی شامل پروفیل عمودی دما، تلاطم، سمت و سرعت باد، تشعشع خورشید، ریزش برف و باران، توپوگرافی، مقدار نشر آلودگی، واکنش‌های شیمیایی تشکیل و تجزیه آنها و ویژگی فیزیکی و شیمیایی آلاینده‌ها است. برای تعیین غلظت وزنی گازها، دما و فشار محل نمونه‌برداری باید اندازه‌گیری شود.

با توجه به تأثیر متغیرهای متعدد استفاده از روش‌های آماری مناسب برای تحلیل داده‌ها لازم است. مثلاً اگر نمونه‌های 24 ساعته ذرات معلق به‌طور متناوب هر 5 یا 6 روز یک‌بار گرفته شده باشد، با فرض توزیع لاگ - نرمال باید از میانگین هندسی برای معدل نتایج استفاده کرد و با استانداردها یا زمان و مکان دیگر مقایسه نمود.

#### روش نمونه‌برداری

ویژگی مکان، تعداد مکان‌های نمونه‌برداری و مقدار داده‌های جمع‌آوری شده به هدف نمونه‌برداری بستگی دارد. این اهداف ممکن است یک یا چند مورد زیر باشد:

- 1- ارزیابی کیفیت هوا و تعیین حداکثر آلودگی؛
- 2- اثر بر سلامت انسان و گیاهان؛
- 3- روند تغییرات آلودگی؛
- 4- ارزیابی کاهش آلودگی مثل اثر اقدامات انجام شده برای کنترل؛



- 5- برقراری استانداردهای کیفیت هوا با توجه به تأثیر مربوطه؛
- 6- اجرای قوانین و مقررات کنترلی؛
- 7- تهیه راهبرد کنترل آلودگی هوا؛
- 8- فعال کردن سیستم‌های هشداردهنده برای مواقع بحران؛
- 9- کاربری زمین، حمل و نقل و برنامه ریزی سیستم‌های تأمین انرژی؛
- 10- ارزیابی زمینه آلودگی؛
- 11- مطالعه شیمی هوا.

در تمام موارد بالا، اطلاعات هواشناسی مورد نیاز است. اطلاعات هواشناسی، توپوگرافی منطقه، جمعیت‌شناسی و دامنه غلظت آلودگی، تعداد ایستگاه‌های سنجش را برای یک منطقه تعیین می‌کند.

به غیر از موارد بالا، انتخاب محل استقرار ایستگاه سنجش برای دریافت تصویر کامل از یک منطقه بسیار مهم است. محل پایش باید طوری انتخاب شود که اثر ناخواسته یک منبع مجاور غلظت‌های به دست آمده را برای آن منطقه غیرواقعی نشان ندهد. وقتی چندین منبع آلودگی در محلی قرار دارند نمونه‌گیری بالادست و پایین دست باد نسبت به یک منبع ممکن است آلودگی منبع موردنظر را برآورد کند.

ارتفاع نقطه ورود هوا به نمونه‌بردار باید 2/5 تا 5 متر بالاتر از سطح زمین باشد. ارتفاع ورودی نمونه‌بردار از ساختمان ایستگاه یا گیاهان مجاور ایستگاه باید بیش از 1 متر باشد. لوله نمونه‌بردار باید عمودی باشد و در نوک آن یک قیف رو به پایین قرار گیرد. اگر این لوله افقی است، باید دست کم دو متر از جلوی ساختمان فاصله داشته باشد. برای این که نمونه نشان‌دهنده وضعیت محل باشد، ورودی نمونه‌برداری باید دست کم 15 متر از جاده پرتراфик فاصله داشته باشد. اگر تعیین غلظت آلاینده‌های فتوشیمیایی و ازن مورد نظر است این فاصله به 50 متر افزایش داده شود و همچنین فاصله نمونه‌بردار از خیابان خاکی دست کم 200 متر باشد. به طور کلی دستورالعمل زیر برای فاصله از خیابان یا بعضی منابع توصیه می‌شود.

به طور کلی محل نمونه‌برداری در شهر باید جایی باشد که مردم بیشتر وقت خود را در آنجا می‌گذرانند و افراد زیادی در رفت و آمد هستند. به هر حال با توجه به آنچه گفته شد زمانی که محل مناسب برای پایش تعیین شد بعضی نکات که در زیر خواهد آمد باید مورد توجه قرار گیرد. این انتخاب برای یک مورد خاص نیست. اگر مورد خاص باید پایش شود، مثل یک منطقه صنعتی یا مجاور یک واحد صنعتی، در این صورت انتخاب محل با توجه به اهداف مطالعه انجام می‌گیرد.

- 1- مکان پایش باید جایی باشد که مردم وقت زیادی را در آنجا می‌گذرانند.
  - 2- محل باید نسبت به ساختمان‌های اطراف باز باشد.
  - 3- محل برداشت هوا نباید بیش از ده متر از سطح زمین فاصله داشته باشد و تاحد امکان بهتر است کمتر از 5 متر باشد.
  - 4- محل برداشت هوا نباید مسقف و یا زیر درخت، بالکن و... باشد.
  - 5- در فاصله 50 متری از محل برداشت هوا نباید یک منبع عمده تولید آلودگی مثل پارکینگ طبقاتی وجود داشته باشد.
  - 6- محل باید از جاهایی چون پمپ بنزین و محل تهویه ساختمان‌ها، دست‌کم 20 متر فاصله داشته باشد.
  - 7- جایی که به فاصله 5 متری آن خودروهای روشن در حال توقف باشند، برای نمونه برداری مناسب نیست.
  - 8- در محل نمونه برداری با توجه به شدت ترافیک فواصلی به شرح زیر باید مراعات شود:
    - الف - 30 متری یک جاده پرتراфик (30 هزار خودرو در روز)؛
    - ب - 20 متری خیابان با ترافیک متوسط (10 تا 30 هزار خودرو در روز)؛
    - ج - 10 متری خیابان با کمتر از 10 هزار خودرو در روز.
- علاوه بر موارد بالا نکته عملی نیز وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد:
- 1- دسترسی به برق، آب و تلفن ممکن باشد.
  - 2- جاده برای رساندن تجهیزات توسط کامیون وجود داشته باشد؛
  - 3- تحویل سیلندر گاز کالیبراسیون به آسانی انجام پذیر باشد؛
  - 4- امکان رفت و آمد کارکنان در طول شبانه روز فراهم باشد؛
  - 5- دارای ایمنی لازم در برابر افراد غیرمجاز و غیرمسئول باشد.

### روش‌های نمونه برداری و اندازه‌گیری آلاینده‌ها

برای نمونه برداری آلاینده‌های هوا معمولاً از پمپ مکنده، جمع‌آورنده، وسیله سنجش حجم هوا و در بعضی دستگاه‌ها یک آشکارساز و یا تجهیزات دیگر استفاده می‌شود. برای ذرات معلق هوا نیز روند کار به همین ترتیب است. اندازه‌گیری ممکن است با قرائت مستقیم و یا آزمایشگاهی برحسب امکانات اعم از شمارش و یا توزیع اندازه ذرات و یا تعیین جرم آلاینده صورت گیرد نمونه برداری را می‌توان با استفاده از یک جمع‌آورنده چون صافی، گازشوی محتوی آب مقطر یا جاذب مخصوص هر گاز، رسوب‌دهنده الکترواستاتیک، رسوب‌دهنده حرارتی،

سیکلون و غیره انجام داده و سپس برای اقدامات بعدی مانند وزن کردن- ترکیب شیمیایی و درمورد ذرات، شمارش، تعیین قطر و غیره به آزمایشگاه ارسال کرد. نمونه برداری و آزمایش های بعدی باتوجه به اهداف، امکانات و میزان دقت مورد نیاز تعیین می شود.

چنانچه هدف چگونگی تأثیر ذرات بر سلامتی انسان باشد چون بیشترین اثر را ذرات زیر 10 میکرون دارند، استفاده از وسیله ای که هم قطر و هم غلظت را تعیین کند مهم است. برای اتاق های پاک تعداد ذره در اندازه های مختلف لازم است. بنابراین وسیله و روش باید با توجه به هدف و تفسیری که از اندازه گیری می شود انتخاب گردد. در مورد گازها غلظت اهمیت زیادی دارد.

حجم نمونه نیز در اندازه گیری آلاینده ها مهم است. اگر نمونه برداری روی صافی برای شمارش و تعیین قطر با روش میکروسکپی باشد، نباید آن قدر ذره روی صافی نشست کند که نتوان آنها را شمارش و تعیین قطر کرد و چنانچه وزن کل ذرات مورد نظر باشد، باتوجه به میزان آلودگی حجم نمونه روی صافی یا وسیله دیگر نباید آن قدر کم باشد که با حساسیت ترازو سنجیده نشود و یا زیاد نباشد که کیک تشکیل شده از روی صافی کنده شود و همراه جریان از وسیله خارج گردد و پاسخ نادرست به دست آید.

درمورد گازها نیز غلظت آلاینده در هوا و حساسیت روش آزمایش، حجم نمونه و مدت نمونه برداری را تعیین می کند.

محل نمونه برداری ممکن است هوای آزاد، دودکش یا داخل سالن یک کارگاه و یا محل تنفس کارگر باشد که در این صورت نیز در انتخاب وسیله مناسب باید دقت بعمل آید. مراحل نمونه برداری و روش ارزیابی باید آن قدر دقیق و حساس باشد تا دست کم یک دهم استاندارد را بسنجد. فرمول زیر برای تعیین حداقل نمونه قابل استفاده است:

$$\text{حداقل نمونه} = \frac{\text{حساسیت روش سنجش} * 10}{\text{غلظت استاندارد}}$$

و حداقل زمان نمونه برداری از فرمول زیر به دست می آید:

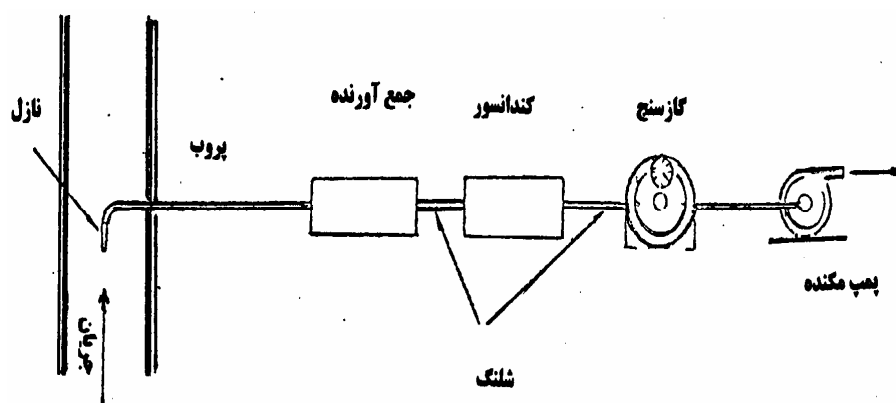
$$\text{حداقل زمان نمونه برداری} = \frac{\text{حساسیت روش سنجش} * 10}{\text{هواگذر دستگاه} * \text{غلظت استاندارد}}$$

### وسایل نمونه برداری

در نمونه برداری سنتی، هوای حامل آلاینده از یک نازل وارد یک لوله ورودی شده و سپس آلاینده مورد نظر در یک جمع آورنده که با توجه به نوع آلاینده جاذب مخصوص در آن ریخته

شده است از جریان هوا خارج و در آن تغلیظ می‌شود و برای آزمایش‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پس از جمع‌آورنده در صورت نیاز یک کندانسور برای جذب رطوبت قرار می‌گیرد. حجم هوای خروجی از جمع‌آورنده به کمک یکی از انواع گازسنج اندازه‌گیری می‌شود و در انتها یک پمپ مکنده جریان هوا را برقرار می‌کند. مجموعه این سیستم هم برای هوای آزاد و هم دودکش قابل استفاده است. شکل 1-4 اجزا و ترتیب قسمت‌های مختلف یک سیستم نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل 1-6- اجزای اصلی یک نمونه‌بردار سنتی

امروزه با توجه به پیشرفتی که در فناوری نمونه‌برداری و آزمایش حاصل شده است، بیشتر از وسایل و تجهیزات قرائت مستقیم با برد حساسیت‌های مختلف برای هوای آزاد، محیط کار و منابع تولید آلودگی هوا استفاده می‌شود. این تجهیزات ضمن این‌که بعضی از اجزای روش سنتی را دارند، به وسیله آشکارسازهای مختلف الکتروشیمیایی، نوری و... (که بعداً شرح داده می‌شوند) غلظت آلاینده‌ها را (گاه چند آلاینده به‌طور همزمان) نشان می‌دهند. این گروه وسایل، گران و برای هوای آزاد اغلب غیرقابل حمل هستند، بنابراین کاربرد آنها در همه جا امکان‌پذیر نیست.

### وسایل و تجهیزات نمونه‌برداری ذرات

برای ذرات دو گروه وسایل نمونه‌برداری موجود است: گروه اول وسایل سنتی یا وسایلی‌اند که نتیجه نمونه‌برداری در آزمایش‌های بعدی معلوم می‌شود و گروه دوم تجهیزات قرائت

مستقیم هستند.

### وسایل و روش سنتی نمونه برداری ذرات

همه اجزای نمونه برداری به غیر از جمع آورنده، در کلیه موارد مشترک اند. بنابراین در اینجا به انواع جمع آورنده ها و روش جمع آوری اشاره می شود. جمع آوری ذرات به دو روش تر و خشک صورت می گیرد.

#### الف - روش تر

در این روش از گازشوی محتوی آب مقطر دوبار تقطیر شده، مخلوط آب مقطر و الکل، الکل خالص یا ایزوپروپیل استفاده می شود. گازشوی یا ایمپینجر با جنس های شیشه، پیرکس و پلاستیک با حجم های متفاوت وجود دارد که مهم ترین آنها ایمپینجر گرین برگ<sup>۱</sup> و میجت<sup>۲</sup> نام دارند. (شکل 2-4)

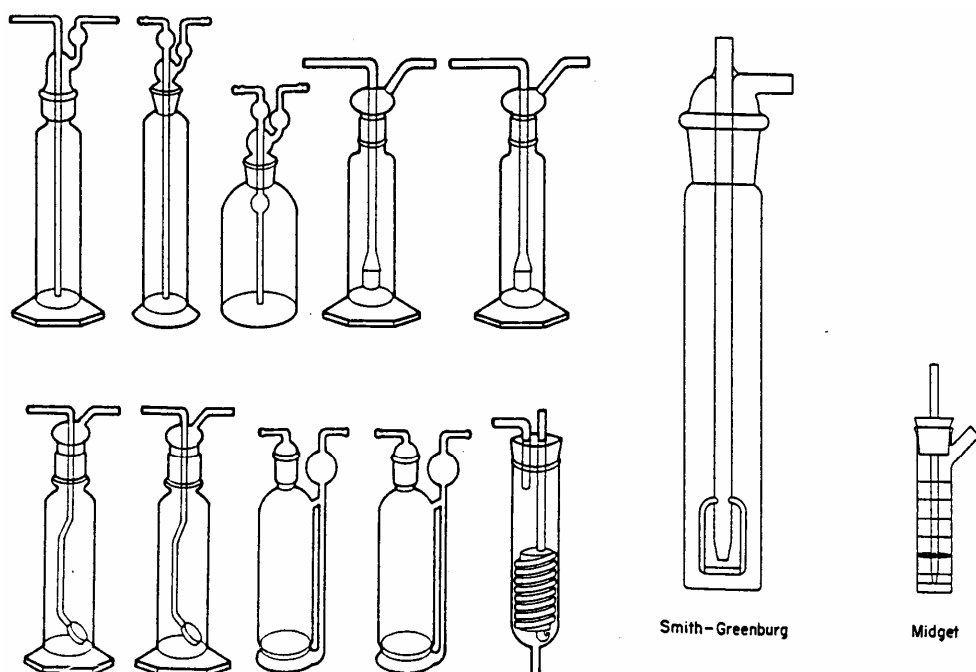
#### ایمپینجر

ایمپینجر گرین برگ یک گازشوی تمام شیشه ای با طرح مخصوص در نازل انتهایی است که هوا را وارد مایع می نماید (شکل 2-6). ظرفیت آن 500 سانتیمتر مکعب است. در بعضی از انواع ایمپینجرها به جای صفحه زیر نازل از کف ظرف برای برخورد حباب های هوا استفاده شده است. در این ایمپینجرها سرعت نمونه تا حدود 28 لیتر در دقیقه قابل نمونه برداری است. میجت ایمپینجر هم برای ذرات و هم گازها به کار می رود. ظرفیت آن 25 سانتیمتر مکعب است و با سرعت 2/8 لیتر در دقیقه نمونه برداری انجام می شود. در این روش ذرات موجود در هوا با برخورد به کف یا صفحه زیر نازل از حباب هوا جدا می شوند و در مایع جاذب باقی می مانند که پس از اتمام نمونه برداری به آزمایشگاه برده می شود.

---

<sup>۱</sup> - Smith Greenburg impinger.

<sup>۲</sup> - Midget Impinger



شکل 2-6- چند نمونه ایمپینجر

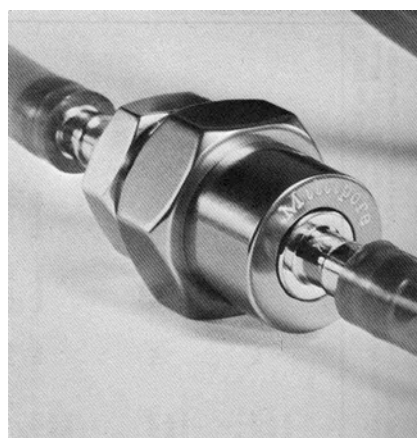
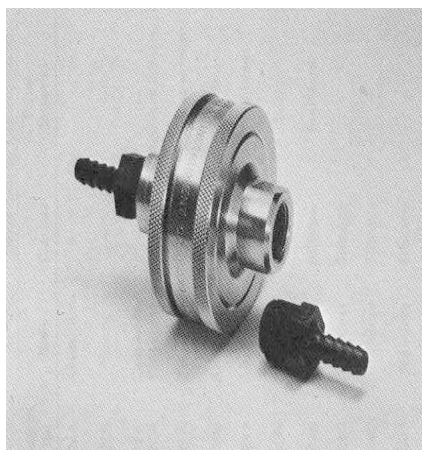
### ب - روش خشک

در این روش به جای گازشوی در سیستم نمونه برداری یک وسیله بدون مایع جاذب مثل صافی قرار می گیرد. در زیر انواع جمع آورنده های خشک شرح داده می شوند. صافی ها در داخل یک نگه دارنده صافی قرار می گیرند. نگه دارنده صافی ها (شکل 3-6) ضمن این که از پاره شدن صافی جلوگیری می کنند طوری طراحی شده اند که جریان هوا و در نتیجه ذرات محتوی در آن را به طور یکنواخت روی صافی پخش می کنند. دهانه ورودی هوا تا محل قرار گرفتن صافی به طور یکنواخت و معمولاً با زاویه 15 درجه افزایش می یابد.

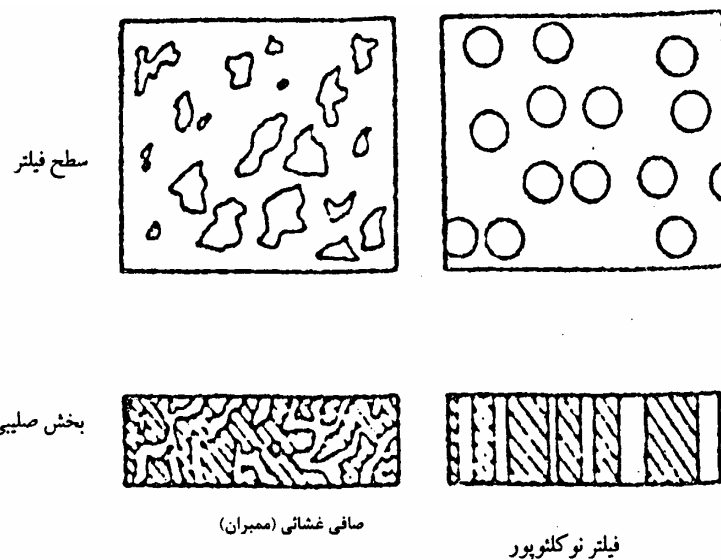
### نوع و ساختمان صافی ها

تمام صافی ها دارای ساختمان متخلخل با ضخامت و قطر و زمان ماند معین هستند. این عوامل تحت تأثیر ساختمان صافی اند. یکی از قدیمی ترین و متداول ترین آنها صافی های الیافی اند. آرایش الیاف بستر صافی نیز در انواع مختلف متفاوت است و نوع دیگر دارای بستر گرانوله است. صافی هایی از جنس ژل سلولز استر، PVC و نایلون و همچنین صافی های

پلی کربنات به نام نوکلئوپرنیر وجود دارند. شکل 4-6 نمونه‌هایی از بستر صافی و ذرات روی صافی را نشان می‌دهد.



شکل 3-6- نمونه‌هایی از نگهدارنده صافی



شکل 4-6- نمونه‌هایی از قطعات صافی و آرایش ذرات روی آن

صافی‌ها با سازوکارهای گوناگونی ذره را از جریان گاز حامل جدا می‌کنند. این سازوکارها از برخورد مستقیم، رسوب به علت حرکت براونی، رسوب اینرسی - جذب الکترواستاتیک و رسوب وزنی. شکل 5-6 سه مورد از این سازوکارها را که در آن ذرات با مقطع یک لیف استوانه‌ای فیلتر برخورد کرده‌اند و به آن چسبیده‌اند نشان می‌دهد.

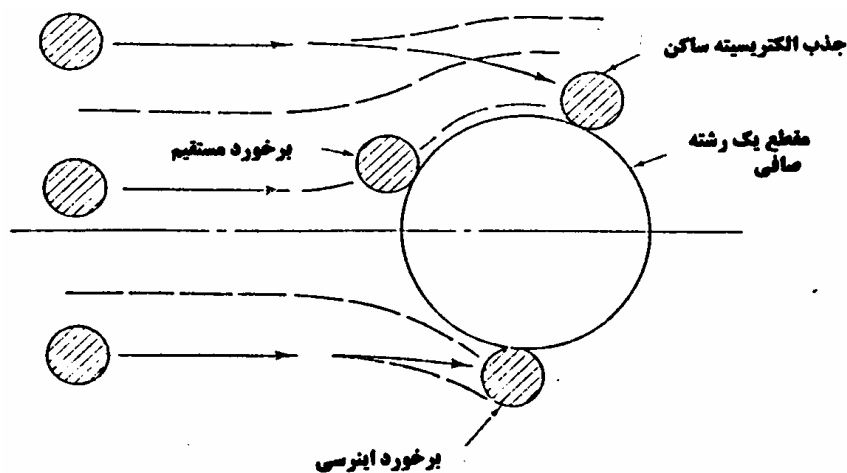
## انواع صافی‌های تجارتي

### صافی با بستر الیاف سلولزی

بیشتر انواع این صافی‌ها در شیمی آنالیتیک به کار می‌روند. برای نمونه‌برداری هوا صافی واتمن 41 بیشترین مصرف را دارد و واتمن 50 نیز که به کمک آن می‌توان با شست‌وشو ذرات را جدا کرد برای بعضی مصارف مناسب است.

### صافی با الیاف پشم شیشه

صافی‌های الیاف شیشه گران‌تر و از نظر مکانیکی ضعیف‌تر از صافی‌های کاغذی‌اند، ولی حرارت بیشتر را تحمل می‌کنند، کمتر رطوبت جذب می‌کنند، و بازده بیشتری هم دارند. این صافی‌ها برای جرم‌سنجی و تعیین ترکیب شیمیایی ذرات مناسب‌اند.



شکل 5-6- مکانیسم‌های جذب ذره به یک المان صافی



### صافی با الیاف مخلوط

در این گروه، صافی‌های سلولز - ازیست، سلولز - شیشه و مخلوط الیاف شیشه و ازیست قرار دارند. ویژگی افت فشار کم و بازده زیاد این صافی‌ها بسیار مهم است، به‌طوری‌که در سیستم‌های پالایش هوا نیز به‌کار می‌روند، ولی در نمونه‌برداری هوا کمتر مصرف می‌شوند.

### صافی با الیاف پلاستیک

این صافی‌ها به‌صورت نمد از الیاف پلی استارین با قطر زیر میکرونی ساخته شده‌اند، مقاومت آنها در برابر جریان نسبتاً کم است با واتمن 41 قابل مقایسه‌اند در حالی‌که بازده جمع‌آوری ذرات توسط آنها بیشتر و در حد صافی‌های پشم شیشه است.

### صافی‌های غشایی

این صافی‌ها کاربردهای زیادی دارند. غشاهای اصلی از ژل کلئیدی کربن آلی ساخته شده‌اند. ضخامت آنها حدود 150 میکرون است و خلل و فرج یکنواخت در سطح دارند. جنس نیترات سلولز در دهه 1950 مصرف زیادی پیدا کرده بود، ولی به‌تازگی سلولز تری‌استات<sup>1</sup>، پلی‌وینیل کلراید<sup>2</sup>، پروپیلن<sup>3</sup>، پلی‌مید<sup>4</sup>، پلی‌سولفن<sup>5</sup>، تفلن<sup>6</sup> و غشای نقره<sup>7</sup> مصرف می‌شوند. در بین اینها نیترات سلولز و تری‌استات سلولز بیشترین مصرف را دارند. درموردی که ضمن آزمایش باید سوخته شوند خاکستر باقی مانده آنها قابل چشم‌پوشی است. بعضی‌ها به‌طور کامل در حلال حل می‌شوند و این خاصیت برای آزمایش‌های بعدی بسیار مفید است. بازده آنها با کاهش اندازه تخلخل‌ها بیشتر می‌شود. برخلاف صافی‌های الیافی ذرات بیشتر روی سطح صافی می‌نشینند، به‌همین علت برای تعیین قطر و شمارش ذرات با میکروسکوپ مناسب‌اند.

### صافی‌های پلی کربنات

این صافی‌ها تقریباً 10 میکرون ضخامت دارند و به‌وسیلهٔ جریان نوترون در یک راکتور اتمی منافذی در آنها ایجاد می‌شود که اندازه این منافذ بعداً با مواد شیمیایی تنظیم می‌گردد. صافی‌های پلی کربنات که نوکلئوپر نامیده شده‌اند با منافذی از 0/03 تا 8 میکرون وجود دارند.

---

<sup>1</sup> - Cellulose triacetate

<sup>2</sup> - Polyvinyl chloride

<sup>3</sup> - Polypropylene

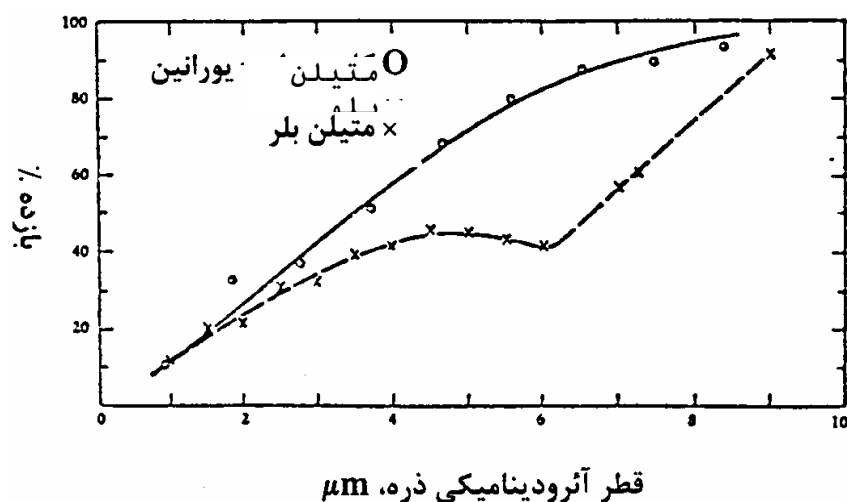
<sup>4</sup> - Polyimide

<sup>5</sup> - Polysulfon

<sup>6</sup> - Teflon

<sup>7</sup> - Silvermembrane

سرعت حرکت هوا در آنها 5 سانتیمتر در ثانیه گزارش شده است. این صافی بدون روغن ایمرسیون که برای شفاف کردن صافی‌های غشایی لازم است، شفاف‌اند و بنابراین می‌توان به‌طور مستقیم ذرات را زیر میکروسکوپ مشاهده کرد. شکل 6-6 بازده صافی نوکلئوپر با منافذ 8 میکرونی را برای ذرات مختلف نشان می‌دهد.



شکل 6-6- بازده صافی 42 میلی‌متر با منافذ 8 میکرونی نوکلئوپر برای دو نوع ذره و سرعت هوای 5 لیتر در دقیقه

علاوه بر موارد ذکر شده انواع دیگری از صافی تهیه شده‌اند که مصرف کمتری دارند. از آن جمله صافی‌های پلاستیک اسفنجی، صافی‌های گرانوله و صافی‌های رسپراتور را می‌توان نام برد. اطلاعات مربوط به این صافی‌ها را می‌توان در کتاب‌ها و یا کاتالوگ سازندگان مطالعه کرد.

### جمع‌آورنده‌های اینرسی

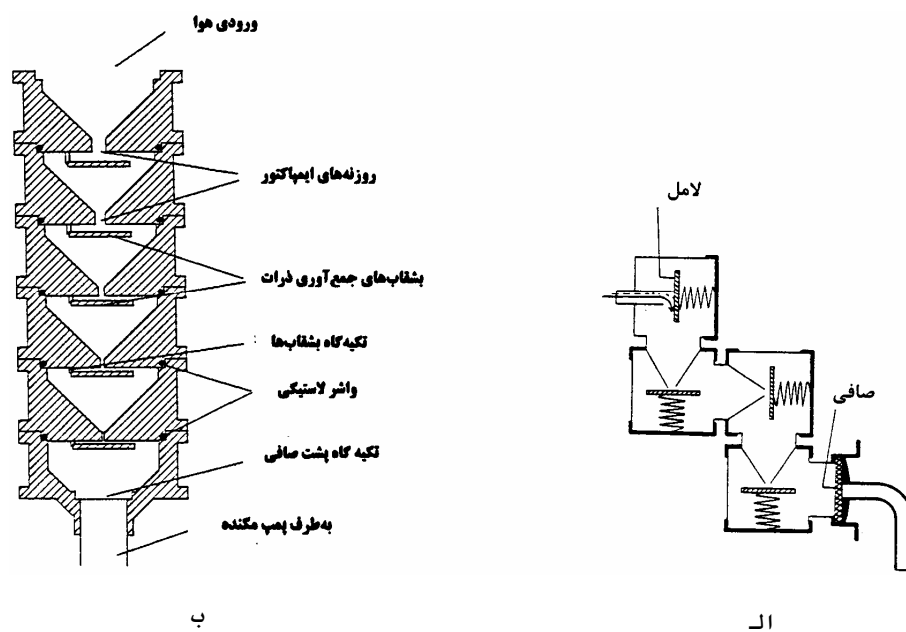
جمع‌آورنده آبشاری<sup>1</sup> روش جمع‌آوری با برخورد خشک است. این دستگاه دارای چهار مرحله یا بیشتر است که در آنها دهانه خروج به تدریج کوچکتر می‌شود و بنابراین ذرات کوچک در مراحل بعدی که سرعت هوا زیاد می‌شود جمع‌آوری می‌شوند.

ذراتی با ابعاد مختلف روی شیشه‌هایی جمع‌آوری می‌شوند. آنها را به‌طور مستقیم می‌توان زیر میکروسکوپ مورد آزمایش قرار داد. کارایی این دستگاه برای ذرات بزرگ‌تر بیش از ذرات

<sup>1</sup> - Cascade impactors

کوچک است، زیرا ذرات خیلی کوچک امکان دارد روی صفحات جمع‌آوری باقی نمانند. گاهی در مرحله آخر یک صافی به کار برده می‌شود تا تمام ذرات کوچک و مورد نظر نیز جمع‌آوری شوند.

دو نوع نمونه‌برداری آبخاری بیشتر مورد استفاده است. نوع نخست، کسکید<sup>۱</sup> نامیده شده است و دیگری نمونه‌بردار اندرسن<sup>۲</sup> نام دارد. از این وسایل می‌توان تا حد زیادی برای تعیین توزیع اندازه ذرات استفاده کرد. جداسازی و دانه بندی ذرات با توجه به قطر ذرات و سرعت عبور آنها از نازل صورت می‌گیرد. در نوع ۹ مرحله‌ای ذرات ۱۱ تا صفر میکرونی در ۱۰ گروه تقسیم می‌شوند. بدیهی است ذرات صفر تا ۰/۴۵ میکرونی روی صافی انتهایی باقی می‌مانند. در این وسیله علاوه بر غلظت هر گروه از ذرات، غلظت کلی نیز تعیین می‌شود. شکل‌های ۶-۷ و ۸-۶ دو نوع نمونه‌بردار این دسته را نشان می‌دهد.



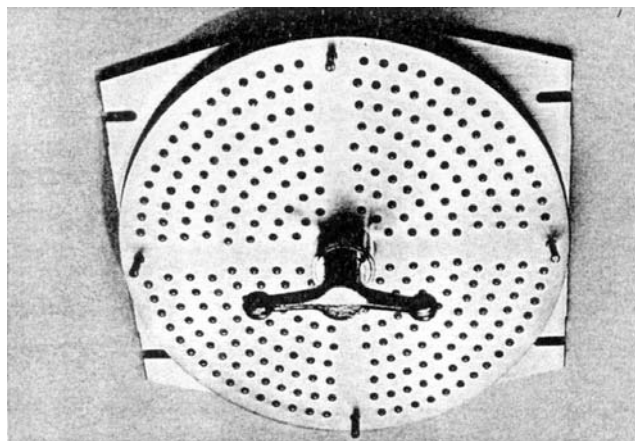
شکل ۶-۷- شمای دو نوع نمونه‌بردار آبخاری الف: یک نمونه‌بردار چهار مرحله‌ای با جریان زیگزاگ ب: یک نمونه‌بردار پنج مرحله‌ای تک نازلی و جریان بالابر پایین

<sup>۱</sup>- Cascade

<sup>۲</sup>- Andersen Sampler



الف



ب

شکل 8-6- الف: تصویر یک نمونه بردار هشت مرحله‌ای اندرسن ب: تصویر یکی از صفحات مشبک نمونه بردار اندرسن

### رسوب دهی الکتریکی

دستگاه‌های رسوب‌دهنده برقی کارایی بسیار خوبی برای کلیه ذرات با ابعاد مختلف دارند. در بعضی از دستگاه‌ها ذرات به‌طور مستقیم روی لام میکروسکوپی جمع‌آوری می‌شوند، ولی در پاره‌ای از دستگاه‌های تجارتي باید ذرات جمع‌آوری شده به لام میکروسکوپی منتقل شوند و سپس مورد آزمایش قرار گیرند.

## وسایل و تجهیزات قرائت مستقیم

تجهیزاتی با اندازه‌گیری مستقیم به‌وسایلی مانند خواندن فوری آلودگی اعم از گاز یا هواویزها روی صفحه نمایشگر و استریپ چارت که از چاپگر و یا تغییر رنگ استفاده می‌کنند، مجهزند. این وسایل نیازی به ارسال نمونه به آزمایشگاه شیمی و انجام عملیات بعدی ندارند و اگر خوب کالیبره و خوب شناخته شده باشند و از اصول کار آنها اطلاع کافی وجود داشته باشد، بسیار کارا هستند و برای سنجش آلاینده‌ها با توجه به برد حساسیت آنها برای هوای آزاد، محیط‌های کار و همچنین منابع تولید آلودگی با موفقیت و دقت کافی به‌کار برده می‌شوند. این وسایل براساس اصول فیزیکی یا شیمیایی کار می‌کنند که به‌طور خلاصه موردبحث قرار می‌گیرند. به‌منظور اطلاع بیشتر از طرز کار و کارایی آنها باید قبل از استفاده به‌دفترچه‌های راهنمای هر وسیله مراجعه و آنها را با دقت مطالعه کرد. در بسیاری موارد لازم است فروشنده با آموزش لازم، مصرف‌کننده را با طرز کار آنها آشنا کند.

## مزایای تجهیزات سنجش آلودگی هوا با قرائت مستقیم

- 1- برآورد فوری غلظت آلودگی این امکان را می‌دهد تا به‌صورت در مدار<sup>1</sup> از آنها استفاده شود و میانگین‌های کوتاه‌مدت تعیین گردد؛
- 2- به‌طور مداوم به‌منظور تعیین میانگین غلظت 24 ساعته مورد استفاده قرار می‌گیرند؛
- 3- می‌توان آنها را به‌سیستم اطلاع رسانی اتصال داد و از بروز حادثه احتمالی به‌هنگام افزایش غلظت آلودگی جلوگیری کرد و مسئولان و افراد در معرض را مطلع ساخت؛
- 4- آزمایش‌های دستی تا حد زیادی کاهش می‌یابند؛
- 5- وسایل و تجهیزات آزمایشگاه برای آزمایش‌های بعدی کاهش پیدا می‌کنند و یا اصولاً نیازی به آنها نخواهد بود؛
- 6- امکان اتصال به‌پردازش‌گر و ضبط اطلاعات در طول نمونه‌گیری وجود دارد.

## محدودیت‌ها

- 1- قیمت گران و سرمایه‌گذاری اولیه بالا؛
- 2- نیاز به کالیبراسیون در طول کارکرد به‌طور متناوب؛
- 3- کمبود تجهیزات یا مواد کافی برای کالیبراسیون و به‌ویژه گران بودن نمونه‌های دانسته برای کالیبره کردن در ایران؛

---

<sup>1</sup> - On site

4- غیرقابل حمل بودن مگر با نصب روی کامیون‌های مخصوص.

### تجهیزات آزمایشگاهی برای نمونه‌های قرائت غیرمستقیم

پس از نمونه‌برداری با توجه به نیاز و اهداف پژوهش، ذرات، مورد آزمایش قرار می‌گیرند. این آزمایش‌ها شامل جرم سنجی، شمارش، تعیین قطر، توزیع اندازه و ترکیب شیمیایی است. در آزمایش جرم سنجی برای تعیین غلظت ذرات بهتر است از صافی‌های سلولزی با بازده زیاد و از جنس فایبرگلاس استفاده شود. باید قبل از استفاده صافی را در دسیکاتور قرار داد و پس از 24 ساعت وزن کرد و این کار را تکرار کرد تا در توزین‌های متوالی، وزن ثابت به دست آید و سپس در جای مخصوص که یک نگه‌دارنده صافی است قرار داده شود بعد از نمونه‌برداری باید رطوبت آن در دسیکاتور حذف شود و آن‌گاه وزن گردد. اختلاف وزن اولیه و بعدی، جرم ذرات جمع‌آوری شده خواهد بود که با تقسیم آن بر حجم هوا پس از تصحیح به استاندارد غلظت ذرات در واحد حجم بدست می‌آید.

### الف - شمارش

شمارش ذرات را اعم از این که با روش تر یا خشک باشد به وسیله میکروسکوپ انجام می‌دهند.

#### 1- میکروسکوپ چشمی و منضعات آن

میکروسکوپ چشمی که برای کارهای بیولوژیکی به کار برده می‌شود، برای شمارش ذرات نیز مناسب است. میکروسکوپ باید دارای کندانسور و دیافراگم ایریس باشد تا تنظیم نور به آسانی صورت گیرد. عدسی‌های شیئی 4، 10، 20، 40 میلیمتری با عدسی چشمی \* 10 بزرگنمایی کافی را برای ذراتی بین 0/5 تا 25 میکرون تأمین خواهد کرد. ناحیه شمارش به وسیله Wipple disk شکل 9-6 و یا لام مدرج تعیین می‌شود.

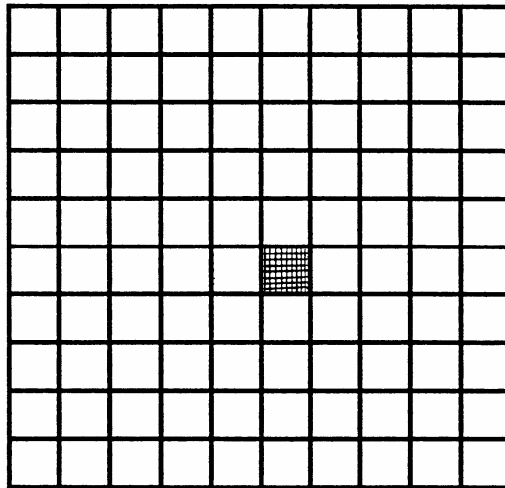
فواصل روی لام قبلاً باید به وسیله یک میکرومتر<sup>1</sup> کالیبره شود تا سطح هریک از چهارخانه‌های موجود در روی لام یا ویپل دیسک مشخص گردد. این کار برای هر میکروسکوپ و بزرگنمایی موردنظر لازم است.

نور لازم برای روشن کردن میدان میکروسکوپی به وسیله یک لامپ 15 وات که زیر کندانسور قرار می‌گیرد و یا به وسیله یک لامپ 75 وات که در فاصله 25 سانتیمتری آینه

---

1- میکرومتر یک لام شیشه‌ای است که یک میلی متر آن به 100 قسمت تقسیم شده است.

میکروسکوپ نهاده می‌شود تأمین می‌گردد. برای تأمین چنین نوری فیلتر روز لازم است.



شکل 9-6- تقسیمات روی Wipple disk که برای شمارش ذره به کار می‌رود

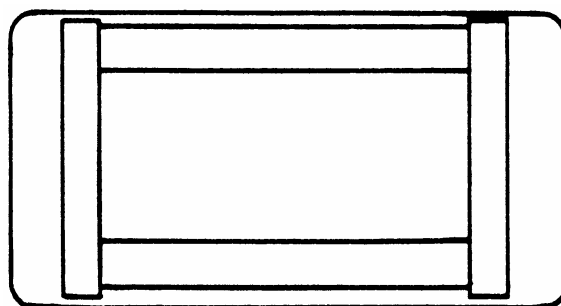
## 2- لام شمارش

کمیت استاندارد متد کنفرانس متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا لام سدویک رافت<sup>1</sup> با عمق یک میلی‌متر را برای شمارش ذرات توصیه کرده است.

این لام همان‌طور که در شکل 10-6 دیده می‌شود کمی بزرگ‌تر از لام معمولی میکروسکوپ است که در وسط آن یک مستطیل به عمق دقیقاً یک میلیمتر با چسباندن نوار شیشه‌ای تعبیه شده است و با قرار گرفتن یک لامل بر روی آن جهت شمارش تکمیل می‌گردد. این لام خیلی بادوام است، ولی برجستگی‌های موجود تمیز کردن آن را مشکل می‌کند.

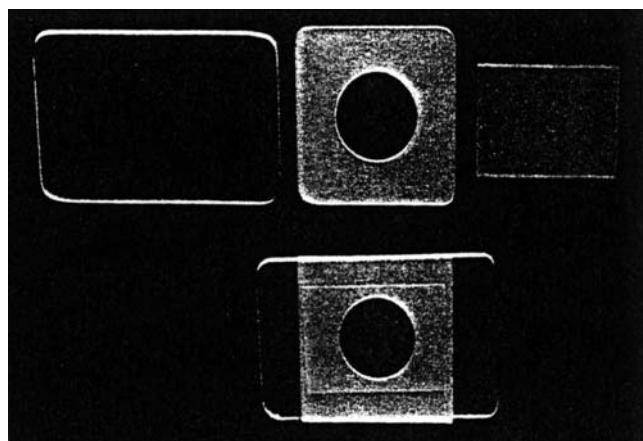
---

<sup>1</sup> - Sedgwick Rafter Cell



شکل 10-6- لام سدویک رافتر

وسیله دیگر لام دان<sup>1</sup> است که در شکل 11-6 دیده می شود و از سه قسمت مجزا تشکیل شده است که عبارتند از یک قطعه شیشه ای به قطر دقیقاً یک میلیمتر که دارای یک سوراخ گرد در وسط است. یک لام ضخیم و یک لامل که روی قطعه سوراخ دار قرار می گیرد.



شکل 11-6- سه قسمت مختلف لام دان

### 3- آماده کردن نمونه

نمونه جمع آوری شده در مایع پس از رقیق سازی لازم باید به طور مستقیم به لام شمارش منتقل شود. تمام نمونه هایی که به صورت سوسپانسیون هستند، باید قبل از 36 ساعت و ترجیحاً قبل از 24 ساعت پیش از آنکه متراکم شوند و یا به هم بچسبند، شمارش گردند.

<sup>1</sup> - Dunn Cell



سوسپانسیون به دست آمده باید آن قدر رقیق شود که در هر میدان میکروسکوپی بیش از 150 ذره وجود نداشته باشد و در ضمن تعداد ذرات از چهار برابر ذرات موجود در مایع جاذب خالص هم نباید کمتر باشد. هچ<sup>1</sup> و دینکر<sup>2</sup> حدود 50 تا 75 ذره در میدان و متخصصان دیگر تا 100 ذره در هر میدان میکروسکوپی را پیشنهاد نموده‌اند. در هر حال بزرگی و کوچکی ذرات هم در تعیین تعداد ذره در میدان مؤثر است. ذرات مورد شمارش باید تاحدامکان یکنواخت انتخاب شوند، زیرا ذرات بزرگ‌تر ذرات کوچک‌تر را می‌پوشانند و از نظر مخفی می‌سازند. تجربه نشان داده است مایعی که در آن 150 ذره در میدان میکروسکوپی وجود داشته است، وقتی سه برابر رقیق شده به جای 50 ذره حدود 60 تا 75 ذره شمارش شده است.

پراکندگی یکنواخت ذرات در سوسپانسیون اهمیت زیادی دارد، به همین علت قبل از آنکه سوسپانسیون بر روی لام منتقل شود باید به شدت تکان داده شود و سپس با پی پت مقدار لازم سوسپانسیون در گودی لام قرار گیرد.

برای هر نمونه دو لام باید تهیه شود و مدت زمانی که برای دیدن هر نمونه لازم است در فاصله زمانی بین تهیه دو نمونه باید مراعات شود. برای لام‌هایی که 1 میلی‌متر عمق دارند 30 دقیقه باید صبر کرد تا ذرات بنشینند و در لام‌های کم عمق‌تر این زمان به نسبت کمتر خواهد بود.

وقتی جمع‌آوری ذرات با دستگاه الکترواستاتیک صورت گیرد باید ذرات جمع‌آوری شده بصورت سوسپانسیون درآید و برای شمارش آماده شود. برای انتقال ذرات از بشقاب‌های جمع‌آوری باید بشقاب‌ها را با آب مقطر بدون ذرات شست‌وشو داد و در نهایت با سوآب لاستیکی و آب مقطر کلیه ذرات را وارد مایع نمود. مقدار آب مقطر یا هر مایع دیگر وابسته به مقدار ذرات است. در بعضی از دستگاه‌های الکترواستاتیک ذرات به‌طور مستقیم روی لام میکروسکوپی جمع‌آوری می‌شوند.

#### 4- شمارش با میکروسکپ

بعد از آنکه 30 دقیقه از تهیه لام گذشت آن را بر صفحه میکروسکوپ قرار می‌دهند. یکی از میدان‌های میکروسکوپ در نظر گرفته می‌شود. از چپ به راست و از راست به چپ به‌طور خطی و یکنواخت در داخل مربع‌ها شمارش انجام می‌شود. دقت و صحت در شمارش به مهارت و تمرین شمارش‌کننده بستگی دارد. شمارش باید در 25 مربع کالیبره شده صورت گیرد. تمام ذراتی که بر محیط مربع قرار می‌گیرند، چنانچه فقط محیط ذره با محیط مربع تماس داشته

---

<sup>1</sup> - Hatch

<sup>2</sup> - Dinker

باشد و خود ذره خارج از مربع قرار گرفته باشد به حساب نمی آید، ولی اگر ذره روی محیط باشد به حساب می آید. به همین ترتیب لام دوم و یک نمونه از مایع خالص به عنوان شاهد مورد آزمایش قرار می گیرد.

شمارش برحسب میلیون ذره در متر مکعب گزارش می شود که با فرمول 1-6 محاسبه می گردد:

$$6-1 \quad \text{غلظت ذرات} = \frac{(N_s - N_c) \times V_w}{V_a \times A \times D}$$

که در آن:

$N_s$  = متوسط شمارش در هر میدان میکروسکوپی (10 میدان شمارش شود)

$N_c$  = متوسط شمارش در هر میدان شاهد

$V_w$  = مجموع حجم مایع برحسب سانتیمتر مکعب

$V_a$  = حجم هوای نمونه

## ب - تعیین اندازه به وسیله میکروسکوپ چشمی

### 1- آماده کردن نمونه

در مواردی که یک نمونه خشک و حجیم مورد آزمایش باشد مقدار زیادی ذره بزرگ تر از 100 میکرون در نمونه وجود دارد که باید قبلاً به وسیله الک خشک یا تر جداسازی شوند، سپس ذرات کوچک تر به وسیله میکروسکوپ تقسیم بندی گردند ذراتی که قرار است زیر میکروسکوپ مشاهده شوند ابتدا باید روی لام به طور اتفاقی پخش شوند، به طوری که خرد نشوند و اگر متراکم شده اند به آرامی از هم جدا شوند. روش مناسبی که برای جداسازی ذرات وجود دارد این است که ابتدا یک قطره الکلی یا استن روی ذرات مجتمع شده قرار می دهند. سپس یک خلال دندان را به آرامی روی آن حرکت می دهند تا تمام ذرات از هم جدا و بر سطح لام پخش شوند.

این مخلوط روی لام به صورت یک لایه نازک گسترده می شود تا مایع مصرف شده تبخیر گردد و ذرات به طور یکنواخت باقی بمانند. برای نگهداری دایم ذرات روی لام از روش مونتاژ با کانادا بالسام<sup>1</sup> محلول در گزلیل استفاده می شود. بدین ترتیب که ذرات را با محلول کانادا بالسام مخلوط می کنند و به صورت گسترش نازک روی لام درمی آورند و سپس یک لامل روی آن قرار می دهند و صبر می کنند تا خشک شود. ذرات کوارتز را نمی شود با این روش مونتاژ کرد، زیرا

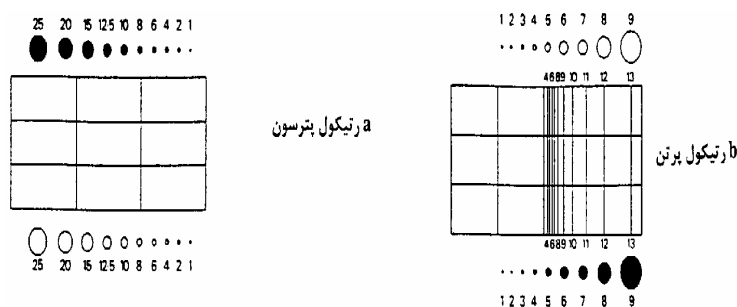
<sup>1</sup> - Canada balsam

ضریب انکسار نور کوآرتز و کانادا بالسام تقریباً یکی است. نمونه‌هایی را که با روش رسوب دهی حرارتی روی لام میکروسکوپ جمع‌آوری شده باشند می‌توان با وارونه قرار دادن آن روی یک لام دیگر به‌همان حالت که نشئت کرده است مونتاژ کرد. صافی‌های غشایی را نیز می‌توان به‌طور وارونه روی لام میکروسکوپ قرار داد و با روغن ایمرسیون صافی را شفاف کرد و آنگاه به‌مشاهده زیر میکروسکوپ پرداخت. نمونه‌های جمع‌آوری شده در مایع را می‌توان روی لام میکروسکوپ گسترده و پس از خشک شدن مورد مطالعه قرار داد.

## 2- روش اندازه‌گیری قطر ذرات با میکروسکوپ

### 2-1- کلیات

میکروسکوپ فقط تصویری از سطح یک حجم را نشان می‌دهد، از این رو با این وسیله یا قطر سطح تصویر اندازه‌گیری می‌شود و یا قطری که به آن قطر آماری می‌گویند تعیین می‌گردد. به هر حال این اندازه‌گیری‌ها با منعکس کردن تصویر بر صفحه روشن و یا با عکس‌برداری نیز انجام می‌گیرد. قطر تصویر میکروسکوپی ذره قطر دایره‌ای است که سطح آن مساوی با سطح مقطع ذره باشد که تعیین آن از طریق مقایسه سطح ذره با سطح دایره‌های کالیبره شده روی رتیکول نصب شده در چشمی میکروسکوپ که اندازه آنها به تدریج تغییر می‌یابد صورت می‌گیرد (شکل 12-6).



شکل 12-6- رتیکول پرتن برای تخمین اندازه ذره

هر دایره یا نقطه‌هایی که در بالا و پایین رتیکول قرار گرفته است ریشه دوم برابر دایره پیشین از آن است. بنابراین اگر با لام میکرومتری یکی از این دایره‌ها اندازه‌گیری شود بقیه

قابل محاسبه خواهد بود و در این مورد بهتر است بزرگ‌ترین دایره اندازه‌گیری شود:  
مثال: اگر دایره شماره 9 قطری معادل 10 میکرون داشته باشد قطر دایره 8 برابر است با:

$$d_a = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7.07 \text{ میکرون}$$

در وسط رتیکول پرتن یک مستطیل وجود دارد که نیمی از آن به شش مستطیل تقسیم شده است. عرض مستطیل کامل 100 واحد و طول آن 200 واحد پرتن است. طول یا عرض را می‌توان با میکروسکوپ مورد استفاده کالیبره کرد. در نتیجه طول هر واحد به دست خواهد آمد. در اندازه‌گیری ذرات که باید پیشتر روی لام میکروسکوپ قرار گرفته باشند این رتیکول بر ذرات لام منطبق می‌شود. اندازه ذرات با دایره‌های کالیبره شده مقایسه می‌شود و بدین ترتیب قطر معادل ذره تعیین می‌گردد. تمام ذراتی که در شش مستطیل قرار گرفته‌اند، به‌طور نظری مقایسه و یادداشت می‌شوند. اندازه ذراتی که شکل آنها خیلی غیرهندسی است، به‌وسیله خطوط عمودی رسم شده در نیمه دوم رتیکول تعیین می‌شوند. قطری که به این روش اندازه‌گیری می‌شود قطر فرت<sup>1</sup> یا مارتین<sup>2</sup> خواهد بود که همان قطر آماری است. قطرهای اندازه‌گیری شده به‌وسیله میکروسکوپ سه نوع است:

1- قطر معادل: قطر دایره‌ای است که سطح آن معادل سطح ذره مورد آزمایش باشد (شکل 13-6).

2- قطر فرت: فاصله بین دو خط مماس بر طرفین ذره است. در این مورد خطوط موازی تصویر شده بر ذرات برای تمام ذرات باید موازی باشد (شکل 13-6). در شکل 14-6 تصویر ذرات به‌روی رتیکول نشان داده شده است.

3- قطر مارتین: طول خطی است که ذره را به دو نیم تقسیم کند. در اینجا نیز کلیه خطوط بر تمام ذرات باید موازی در نظر گرفته شوند (شکل 13-6).

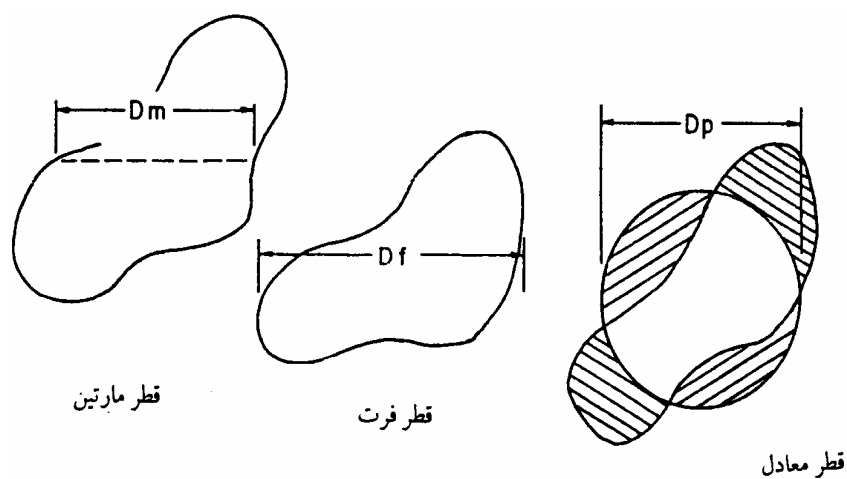
چنانچه نمونه‌برداری روی صافی‌های غشایی انجام شده باشد برای شمارش و تعیین قطر باید یک قطاع از صافی را به‌طوری که از حاشیه تا مرکز را دربرگیرد با دقت از صافی جدا کرد و سپس طرف نمونه‌برداری شده را روی یک لام میکروسکوپی که یک قطره روغن ایمرسیون برای شفاف کردن روی آن قرار گرفته است با دقت خواباند. مقدار روغن ایمرسیون باید آن قدر باشد که کل سطح صافی را پوشش دهد و در عین حال از اطراف صافی هم تراوش نکند. سپس با قرار دادن یک لامل و به‌همان ترتیب که گفته شد زیر میکروسکوپ مجهز به رتیکول ذرات را شمارش و قطر آنها را تعیین کرد.

---

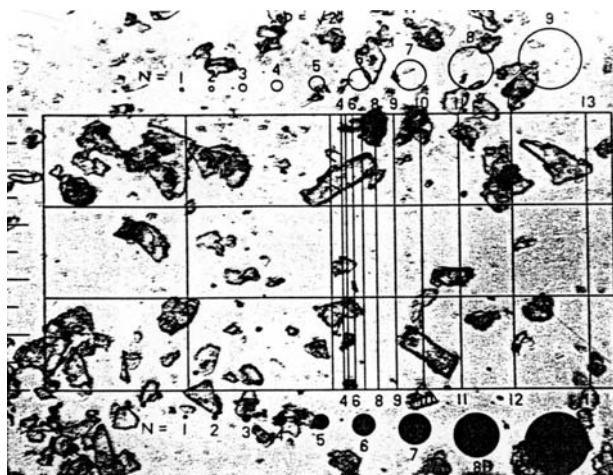
<sup>1</sup> - Feret

<sup>2</sup> - Martin

علاوه بر میکروسکوپ معمولی از میکروسکوپ الکترونی در صورتی که در اختیار باشد می‌توان استفاده کرد و با تهیه عکس با دقت بیشتر و آسان‌تر عمل شمارش و تعیین اندازه را انجام داد.



شکل 13-6- روش‌های تعیین قطر برای ذرات غیرهندسی



شکل 14-6- پراکندگی ذرات بر روی صفحه میکروسکوپ مجهز به رتیکول پرتن

## سنجش ذرات با روش قرائت مستقیم

فتومترى هواویزها (پراکنش نور): اصول کار این دستگاه‌ها تولید پالس الکتریکی به وسیله فوتوسل است که این فوتوسل‌ها نور پراکنده شده توسط ذرات عبوری از برابر اشعه تابشی را اندازه‌گیری می‌کنند. این وسایل قطر ذرات و یا غلظت ذرات را در فاصله زمانی کوتاه اندازه‌گیری و علاوه بر آن میانگین زمانی 24 ساعته را نیز تعیین می‌کنند. اشعه تابشی ممکن است اشعه لیزر یا تابش «یتا» باشد. حساسیت این دستگاه‌ها برای ذرات 0/01 تا 10 میکرون و یا 0/05 تا 40 میکرون با قدرت  $10^{-3}$  تا  $10^2$  میکروگرم در لیتر است.

## روش نوری<sup>1</sup>

پرتو بعضی از تشعشعات الکترومغناطیسی بر روی ذرات بازتاب و از مسیر اصلی خود پراکنده می‌شود. مقداری که پراکنده می‌شود به عواملی چون اندازه ذره بستگی دارد. وسایل زیادی با استفاده از این ویژگی برای اندازه‌گیری ذرات ساخته شده‌اند. در این وسایل ذرات برای آزمایش شیمیایی و تعیین ترکیب جمع‌آوری نمی‌شوند.

## شمارش گر تک ذره ای

یک روزنه با حجم کم (چند میلی‌مترمکعب) با اشعه لیزر روشن می‌شود و اشعه با زاویه‌ای معین نسبت به مسیر اصلی پراکنده می‌گردد و به وسیله یک فروزافزا<sup>2</sup> اندازه‌گیری می‌شود. وقتی ذره‌ای نباشد اشعه به طرف فروزافزا منحرف نمی‌شود، اما وقتی یک پمپ هوای محتوی ذرات را به طوری که این ذرات تک تک از روزنه تابش لیزر عبور کنند به درون روزنه می‌راند، هر ذره موجب پراکنده شدن اشعه و انحراف آن به طرف فروزافزا شده و این انحراف ثبت می‌شود. وقتی به اندازه کافی نمونه برداری انجام گیرد که از نظر آماری معنی دار گردد (1 تا 2 دقیقه در غلظتی که معمولاً در هوای آزاد وجود دارد)، شمارش ذرات براساس تعداد کمی ذره به مترمکعب در اتاق پاک تا میلیون ذره در مترمکعب محیط آلوده اندازه‌گیری می‌شود.

## اسپکترومتر آئروسول‌ها

در این روش جریان هوای محتوی ذرات معلق به سرعت شتاب می‌گیرد. تأخیر حرکت ذرات به علت نیروی اینرسی برای ذرات با قطر آئروودینامیکی بزرگ‌تر، بیشتر است. این تأخیر با اشعه موازی لیزری اندازه‌گیری می‌شود و به این ترتیب به طور مستقیم قطر آئروودینامیکی ذرات

---

<sup>1</sup> - Optical Methods

<sup>2</sup> - Photomultiplier

اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص برای تعیین ذرات قابل تنفس و یا رسوب‌دهی ذرات در دستگاه‌های کنترل آلودگی لازم است. « قطر آئرو دینامیکی، قطر یک ذره کروی است که سرعت سقوط آن برابر ذره غیرهندسی است و دانسیته آن واحد باشد».

### نفلومتری

در این روش گروهی از دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری نور پراکنده از ذرات زیادی که به‌طور همزمان وارد دستگاه می‌شوند، استفاده می‌شود. نمونه هوا از داخل استوانه‌ای که از یک سو، نور به آن تابیده شده است عبور می‌کند. نور با برخورد به ذرات پراکنده می‌شود و در انتهای استوانه با یک فروزافزا اندازه‌گیری می‌شود. چنین وسیله‌ای برای ویژگی اپتیکی جو مثل ضریب خاموشی یا میزان دید به کار می‌رود و اصولاً امکان اندازه‌گیری توزیع اندازه یا غلظت جرمی وجود ندارد.

### میرایی با بتا<sup>۱</sup>

نمونه هوا (احتمالاً پس از عبور از یک ورودی) از داخل یک صافی عبور داده می‌شود تا ذرات روی صافی رسوب کنند. یک دسته پرتو حدود 0/1 Mev از یک منبع رادیواکتیو (کریپتون  $^{58}\text{Bq} \times 10^9$ ) به سوی کاغذ صافی تابیده می‌شود و شار آن به وسیله یک گایگاکانتر در آن طرف صافی اندازه‌گیری می‌شود. میرایی مداوم پرتوها به علت خود صافی و افزایش میرایی با توجه به قانون لامبرت<sup>۲</sup> بیر<sup>۳</sup> با تجمع ذرات روی صافی به وجود می‌آید. این روش بیشتر در دستگاه‌های خودکار که به‌طور مداوم غلظت ذرات را تعیین می‌کنند، به کار می‌رود.

### میکروترازوی رزونانس<sup>۳</sup>

دو نوع مختلف از این وسیله وجود دارد. در یکی، ذرات با اینرسی یا الکتریسیته ساکن به داخل یک پیزومتر از جنس کریستال کوارتز برخورد می‌کنند و می‌نشینند و این پیزومتر با شدت فرکانس معمولی نوسان می‌کند. با افزایش جرم ذرات نشست بر نمونه‌بردار از شدت نوسانات کاسته می‌شود. فرکانس نوسانات نمونه‌بردار با فرکانس کریستالی که خارج از جریان ذرات قرار دارد مقایسه می‌شود. اختلاف فرکانس کریستال ذرات و کریستال شاهد به‌طور مستقیم با جرم ذرات جمع‌آوری شده رابطه دارد. این وسیله برای تواترهای زمانی یک دقیقه حساس است.

<sup>۱</sup> - Beta attenuation

<sup>۲</sup> - Lambert Beer

<sup>۳</sup> - Resonating microbalance

در نوع دیگر، ذرات به‌طور مداوم روی صافی‌ای که در نوک یک المان شیشه‌ای در حال نوسان قرار گرفته است و در یک میدان الکتریکی واقع شده جمع‌آوری می‌شوند. در اینجا نیز فرکانس طبیعی دستگاه با تجمع ذرات روی صافی کاهش می‌یابد. این وسیله برای تعیین غلظت ذرات  $PM_{10}$  در انگلستان استفاده می‌شود.

### روش اختصاصی برای کوچک‌ترین ذرات

اندازه‌گیری ذرات با قطر کوچک‌تر از یک میکرون با روش‌هایی که شرح داده شد بسیار مشکل است و نیاز به وسایل دقیق‌تر که بسیار هم گران قیمت هستند دارد. اسپکترومتر برای آنالیز اختلاف حرکت ذرات برای این منظور ساخته شده است که می‌تواند ذرات را با توجه به اختلاف سرعت حرکت آنها که با قطر تغییر می‌کند اندازه‌گیری نماید. کشف این ذرات یا با چگالش بخار روی هر ذره و سپس پراکندگی نور و یا رسوب دادن با شارژ الکتریکی روی یک الکترومتر است.

### نمونه‌برداری بدون نیروی محرکه<sup>1</sup>

#### 1- ذرات

در این روش ذراتی که با وزن خود رسوب می‌کنند، در ظرفی جمع‌آوری و اندازه‌گیری می‌شوند. طرح‌های زیادی برای انجام این روش ارائه شده‌اند که متداول‌ترین آنها که در ایران مورد استفاده قرار گرفته، طرح انگلیسی است که در BS 1747 آمده و در شکل 15-6 نشان داده شده است. این وسیله شامل یک ظرف تقریباً مخروطی از جنس شیشه یا پلاستیک برای ورود ذرات و معمولاً یک بطری شیشه‌ای بزرگ در زیر آن برای جمع‌آوری آب باران است. ظرف ورودی 315 میلی‌متر قطر و 105 میلی‌متر عمق دارد که در وسط به 180 میلی‌متر می‌رسد دارد. این نمونه‌بردار مدت یک‌ماه در محل مورد نظر قرار می‌گیرد و پس از آن ذرات جمع‌آوری شده در ظرف و یا بطری شیشه‌ای با دقت به روش‌های متداول از نظر مواد جامد محلول، غیرمحلول و در صورت نیاز، ترکیب شیمیایی مورد آزمایش قرار می‌گیرند. قبل از انتقال ذرات از نمونه‌بردار، حشرات، برگ گیاهان و سایر موادی که به وسیله باد در ظرف ریخته شده‌اند باید جمع‌آوری شوند. نتیجه آزمایش برحسب کیلوگرم در ماه بر مترمربع و یا مقیاس کمتر یا بیشتر از آن گزارش می‌شود.

---

<sup>1</sup> - Passive Sampling

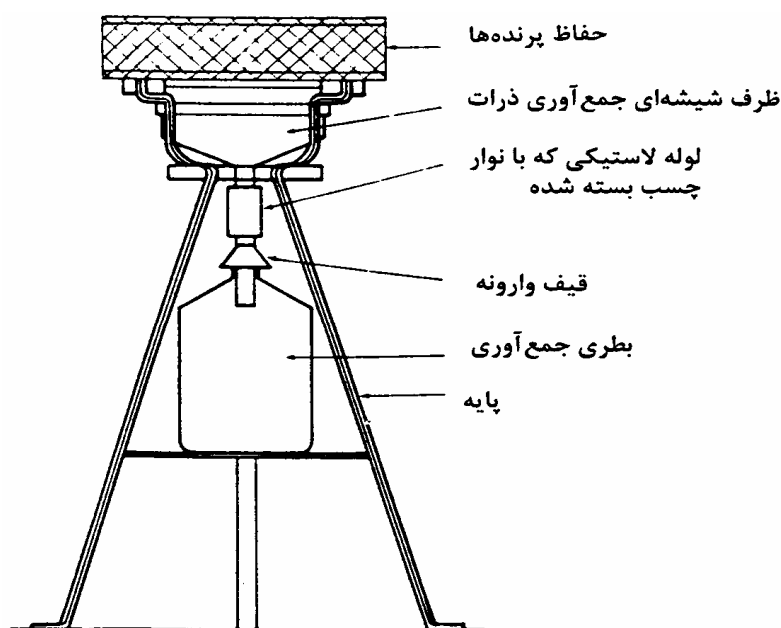


## 2- گازها

متداول ترین گازی که با این روش اندازه گیری می شود دی اکسید گوگرد است. به این نمونه برداری روش شمع پراکسید سرب<sup>1</sup> گفته می شود.

در این روش خمیر پراکسید سرب روی پارچه پهن شده و آن پارچه دور یک میله معمولاً سرامیکی پیچیده می شود و یا آنکه این خمیر کف یک ظرف مالیده می شود و به طور افقی در معرض هوا قرار می گیرد. دی اکسید گوگرد موجود در هوا در اثر تماس با پراکسید سرب به سولفات تبدیل و با آزمایش سولفات تولید شده مقدار  $SO_2$  بر حسب میلی گرم در روز در 100 سانتیمتر مربع گزارش می شود.

هیوئی<sup>2</sup> پیشنهاد کرد محلول  $PbO_2$  در یک بشقاب پتری یک بار مصرف ریخته شود و اجازه داده شود تا خشک گردد و آن گاه آن را باید به طور افقی و ترجیحاً وارونه در محل نمونه برداری نصب کرد.



شکل 15-6- ظرف جمع آوری ذرات رسوب شونده و طرز قرار دادن آن

<sup>1</sup> - Lead Peroxide Candle method

<sup>2</sup> - Huey. N.A (1968)

## نمونه‌برداری و آزمایش گازهای آلاینده

مواردی را که باید در نمونه‌برداری گازها موردتوجه و دقت قرارداد عبارتند از:

- 1- وقتی غلظت گاز در هوای ساکن و یا کم حرکت زیاد باشد، اختلاف دانسیته، موجب عدم یکنواختی انتشار آلودگی در هوا می‌شود. برای این‌که نمونه‌برداری صحیح باشد باید جریان متلاطم ایجاد کرد تا اختلاط کامل شود.
- 2- گازهای موجود در هوا بسیار واکنش‌پذیرند، بنابراین اجزای نمونه‌برداری باید طوری انتخاب شوند که وارد واکنش با گاز آلاینده موردنظر نشوند.
- 3- ذرات معلق هوا معمولاً در آنالیز بعدی گازها مداخله می‌کنند. برای جلوگیری از این اشکال هوای نمونه را باید پیش از ورود به جمع‌آورنده گاز از صافی مناسب گذرانند.
- 4- باید احتیاط‌های لازم در مورد نشت گاز به‌خارج یا مکش هوا به‌داخل سیستم نمونه‌برداری به‌ویژه در نمونه‌های جمع‌آوری شده در کیسه یا بطری به‌کار برده شود.
- 5- چگالش بخار آب در اجزای سیستم نمونه‌برداری ایجاد اختلال و خطا می‌کند. همچنین بسیاری از گازها واکنش‌های فتوشیمیایی انجام می‌دهند که باید دقت کرد و از تأثیر مستقیم نور خورشید جلوگیری نمود.
- 6- باید توجه شود که هوای خروجی از پمپ مکنده در گردش مجدد نمونه‌برداری قرار نگیرد و فقط هوای تازه وارد نمونه‌برداری شود.
- 7- نمونه‌برداری بخارات فلزی ممکن است با گازها متفاوت باشد. درمورد بعضی ترکیبات فلزی مثل نیکل کربونیل و تترا اتیل سرب نمونه‌برداری مداوم می‌توان انجام داد، ولی در بعضی دیگر باید یک کنسانتره اولیه از آنها تهیه کرد.
- 8- در تمام موارد دما، رطوبت نسبی و فشار هوا برای محاسبات و تصحیح حجم هوای نمونه‌برداری شده لازم است که باید اندازه‌گیری شود.

## لوازم نمونه‌برداری گازها

### جذب سطحی<sup>۱</sup>

در جذب سطحی مولکول‌های گاز به‌وسیله جاذبه بین مولکولی بر سطح یک ماده جامد می‌ماند. در حالت تعادل گاز جمع شده بر سطح فاز جمع آورنده متناسب با نیروی مثبت فشار جزئی گاز<sup>۲</sup> است. به‌علاوه از آنجا که جذب سطحی یک پدیده در سطح است با سطح نسبی ماده

---

<sup>۱</sup> - Adsorption

<sup>۲</sup> - Freundlich's adsorption isotherm

جاذب نیز رابطه مستقیم دارد. از جاذب‌های مهم کربن فعال - کربن گرانول (GC)، سیلیکا ژل و آلومینا هستند. مثلاً هر گرم سیلیکاژل بین 200 تا 600 متر مربع و هر گرم کربن فعال 500 تا 2000 مترمربع سطح جاذب دارد. در حرارت کم، جذب سطحی بهتر انجام می‌گیرد.

### جذب در مایع<sup>۱</sup>

وقتی گاز در یک مایع حل می‌شود جذب عمقی اتفاق می‌افتد. مقدار جذب در یک مایع به‌ویژه با فشار جزیی تعادل بر روی محلول جاذب رابطه مستقیم دارد. اگر گاز با مایع وارد یک واکنش غیرقابل برگشت شود پدیده جذب بهبود می‌یابد. همچنین سطح تماس ماده جاذب نیز در بازده جذب مؤثر است. وسایل تهیه شده طوری طراحی شده‌اند که با خرد کردن حباب‌های هوا سطح تماس را افزایش دهند. مانند جذب سطحی در اینجا نیز حرارت در میزان جذب مؤثر است به‌ویژه در مورد گازهای فرار حرارت کمتر بهتر است. بازده جذب حالت گازی بعضی ترکیبات توسط سکتون<sup>۲</sup> مطالعه شده که در جدول 1-6 ملاحظه می‌شود.

جدول 1-6- آزمون بازده گازشوی برای ترکیبات مختلف

| نوع ماده شیمیایی | حلال                | سرعت نمونه‌برداری<br>لیتر در دقیقه | راندمان جذب | غلظت دودکش<br>پی‌پی‌ام وزنی |
|------------------|---------------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------|
| اسید سولفوریک    | آب                  | 3/4                                | 99/8        | 72                          |
| اسید کلریدریک    | آب                  | 28/3                               | 97/1        | 47                          |
| اسید کلریدریک    | آب                  | 3/4                                | 100         | 47                          |
| اسید پرکلریک     | آب                  | 3/4                                | 99/8        | 41                          |
| اسید استیک       | آب                  | 3/4                                | 99/5        | 1065                        |
| اسید نیتریک      | آب                  | 3/4                                | 100         | 182                         |
| آمونیاک          | آب                  | 3/4                                | 84/3        | 103                         |
| کلر              | آب                  | 3/4                                | خیلی پایین  | 103                         |
| کلر              | کربنات سدیم به‌درصد | 3/4                                | 77          | 103                         |
| اتیلن دی‌آمین    | آب                  | 3/4                                | 99/6        | 211                         |

<sup>۱</sup> - Absorption

<sup>۲</sup> - Sexton. R.W.1964

## چگالش

چگالش یک گاز آلاینده هوا با سرد کردن آن در کمتر از درجه جوش یا انجماد صورت می‌گیرد. دمایی که در وسیله چگالش یک گاز به کار می‌رود باید توان لازم برای چگالش مقدار کافی از گاز را با کاهش فشار بخار آن به کمتر از  $1/33$  میلی‌بار داشته باشد. برای این کار انواع سردکننده‌ها وجود دارند و دمای لازم برای انواع ترکیبات مختلف نیز مشخص است. این روش به علت مشکلاتی که دارد چندان رایج نیست مگر در موارد خاصی که نتوان با روش دیگر گاز را برای آزمایش جمع‌آوری کرد.

## نمونه‌برداری ربودنی<sup>۱</sup>

در این روش مقداری از هوای مورد نظر به‌طور مستقیم در یک ظرف غیرقابل نفوذ، جمع‌آوری و برای اقدامات بعدی به آزمایشگاه ارسال می‌شود. بدیهی است این نمونه فقط برای مواردی است که یک روش حساس آزمایش برای آن وجود داشته باشد و از آنجا که آلاینده در نمونه هوا تغلیظ نشده است نسبت به‌نشست نیز حساس است. بسیاری وسایل مثل بطری خلأ، سرنگ، کیسه‌های پلاستیکی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ظرفی که برای پر کردن هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد باید برای گاز مورد نظر واکنش‌پذیر نباشد. از آنجا که اغلب فقط مقداری از هوای داخل ظرف برای آزمایش مستقیم برداشت می‌شود، لزومی به تعیین حجم هوای داخل ظرف نیست.

## صافی‌های آغشته

نمونه‌برداری گاز آلاینده را می‌توان به‌وسیله صافی‌ای که به‌ماده شیمیایی آغشته شده است انجام داد. گاز موجود در هوا ضمن عبور از صافی، با ماده شیمیایی مخصوص آن گاز واکنش می‌دهد و در صافی جمع می‌شود. این روش مزایایی نسبت به‌گازشوی دارد و آن در روش گازشوی حمل شیشه‌آلات شکننده و مشکل مایعات جاذب مطرح است که در اینجا وجود ندارد. آلاینده یا آلاینده‌های جذب شده روی صافی به‌وسیله یک حلال مثل آب یا حلال‌های دیگر استخراج و برای آزمایش با یک روش مناسب به‌کار برده می‌شود. یکی از محدودیت‌های صافی ظرفیت آن است که حد مشخصی از گاز را با توجه به‌ماده شیمیایی روی صافی، جذب می‌کند. اگر نمونه‌برداری بیش از آن انجام گیرد گاز آلاینده جذب نمی‌شود و در محاسبات، غلظت آن کمتر از مقدار واقعی نشان داده می‌شود.

---

<sup>1</sup> - Grab Sampling

در بررسی‌های انجام شده توسط لوین<sup>۱</sup> و کریستنسن<sup>۲</sup>، صافی سلولزی آغشته به هیدروکسید پتاسیم 0/5 نرمال گاز SO<sub>2</sub> را در رطوبت هوای 30 تا 90 درصد جذب کرد و سپس سولفات با اسپکتر و فوتومتر تعیین مقدار شد. برای جلوگیری از مداخله ذرات سولفات از یک صافی خنثی برای جمع‌آوری ذرات معلق هوا قبل از صافی آغشته استفاده شده است. نویسنده نیز صافی آغشته به سود 0/2 نرمال را برای نمونه‌برداری فلوراید هوا به کار برده است. روش صافی آغشته برای گازها و بخارات زیادی مثل اسید کلریدریک، آمونیاک، هیدروژن سولفور، فلوراید گازی، اسید نیتریک و اکسیدهای ازت استفاده شده است.

## نمونه‌برداری آزمایش و تعیین غلظت گازهای مختلف

### روش‌های سنتی و آزمایشگاهی

#### دی‌اکسید ازت

روش استاندارد تعیین دی‌اکسید ازت در هوا (واکنش گریس - سالتزمن)<sup>۳</sup>

#### کلیات

تعیین غلظت از 4 تا 10000 میکروگرم در مترمکعب (0/002 تا 5 پی‌پی‌ام): برای غلظت‌های بیش از 5 پی‌پی‌ام یا همراه با دی‌اکسید گوگرد، باید از روش‌های دیگر مثل D1608 آس تی ام استفاده شود.

مدت نمونه‌برداری حداکثر 60 دقیقه با جریان 0/4 لیتر در دقیقه مواد مداخله کننده مثل SO<sub>2</sub> تا 10 برابر غلظت NO<sub>2</sub> و یا اوزن تا 5 برابر تأثیر مهمی ندارد. در هر حال بهتر است تا پیش از سه ساعت بعد از نمونه‌برداری آزمایش و تعیین مقدار انجام گیرد. لوازم نمونه‌برداری: قبلاً شرح داده شده است.

#### مواد و معرف‌ها

تمام مواد باید در حد خلوص قابل قبول استاندارد باشند.

---

<sup>1</sup> - Lewin

<sup>2</sup> - Christiansen

<sup>3</sup> - Gries Saltzman Reaction

### ماده جاذب

5/5 گرم سولفانلیک اسید منوهیدرات یا 5 گرم سولفانلیک اسید بدون آب را در یک ظرف یک لیتری محتوی 140 میلی لیتر اسید استیک گلاسیال بریزید و با ملایمت حرارت دهید. به مخلوط پس از سرد شدن 20 میلی لیتر از محلول 0/1 درصد (ان-1- نفتیل) دی اتیل آمین دی هیدروکلراید<sup>1</sup> و 10 میلی لیتر استن اضافه کنید و حجم آن را با آب مقطر به یک لیتر برسانید. این ماده جاذب اگر در بطری قهوه ای با در محکم در یخچال نگهداری شود تا چندین ماه پایدار است، ولی قبل از استفاده باید به دمای اتاق برسد. در جریان تهیه باید سعی شود تا حد امکان کمتر با هوا تماس داشته باشد تا رنگ آن به علت جذب NO<sub>2</sub> تغییر نکند. برای تهیه (ان-1- نفتیل) هیدروکلراید اتیلن دی آمین<sup>2</sup> با غلظت 0/1 درصد برای ذخیره، 0/1 گرم از این معرف را در 100 میلی لیتر آب مقطر حل و در بطری قهوه ای با در محکم در یخچال نگهداری کنید.

### محلول استاندارد نیترات سدیم (0/0246 g/L)

یک میلی لیتر از این محلول در هوایی با فشار 101 کیلو پاسکال و 25 درجه سلسیوس رنگی معادل 20 میکروگرم NO<sub>2</sub> در لیتر تولید می کند. این محلول باید تازه و قبل از مصرف از محلول ذخیره 2/46 گرم در لیتر تهیه شود. محلول ذخیره برای 90 روز در هوای محیط پایدار است و در شیشه قهوه ای در بسته و یخچال تا یک سال باقی می ماند.

### کالیبراسیون

تجربه نشان داده است که 0/82 مول NaNO<sub>3</sub> رنگی معادل 1 مول NO<sub>2</sub> به وجود می آورد. از آنجا که محلول استاندارد دارای 24/6 میکروگرم NaNO<sub>3</sub> است و وزن مولکولی نیترات سدیم 69/1 است، پس:

$$(24.6/69.1) \times (46/0.82) = 20 \mu\text{gNO}_2$$

به وسیله یک پی پت دقیق مقادیر مختلف تا حد یک میلی لیتر از NaNO<sub>3</sub> به تعدادی بالن ژوژه 25 میلی لیتری اضافه کنید و تا نشانه با ماده جاذب آن را رقیق سازید، بهم بزنید. پس از 15 دقیقه رنگ کامل می شود.

<sup>1</sup> - n-(1-naphthyl) Ethylendiamine Dihydrochloride

<sup>2</sup> - n-(1-naphthyl) hydrochloride ethylenediamine

## روش کار

10 میلی‌لیتر از ماده جاذب را داخل یک گازشوی که انتهای ورودی آن دارای شیشه متخلخل است (سنگ هوا) بریزید. نمونه‌برداری را با سرعت 0/4 لیتر در دقیقه تا زمانی که رنگ نهایی بدست آید ادامه دهید. (حدود 10 تا 60 دقیقه). حجم کل هوای نمونه‌برداری را یادداشت کنید، دما، رطوبت و فشار هوا را در مدت نمونه‌گیری یادداشت کنید. حدود 15 دقیقه پس از پایان نمونه‌برداری رنگ قرمز مایل به بنفش پیدا می‌شود. در طول موج 550 نانومتر مقدار جذب را توسط اسپکتروفوتومتر بخوانید. همین کار را با جاذب شاهد انجام دهید و نتیجه را از نمونه کم کنید. اگر رنگ نمونه آن قدر تیره است که قابل خواندن نیست، آن را با ماده جاذب رقیق سازید و مقدار جذب قرائت شده را در ضریب رقیق‌سازی ضرب کنید.

## محاسبه

حجم هوای نمونه را برای شرایط استاندارد تصحیح کنید.

$$V_r = \left[ V \times \frac{P}{101.3} \right] \times \left[ \frac{298}{T} \right]$$

$$NO_2 = \text{میکروگرم در متر مکعب} \times 10^3 \times V_1 / V_r$$

$$V_r = \text{حجم هوای نمونه‌برداری در شرایط استاندارد (لیتر)}$$

$$V = \text{حجم هوای نمونه در شرایط هوای آزاد (لیتر)}$$

$$P = \text{میانگین فشار هوا (کیلو پاسکال)}$$

$$T = \text{دمای هوای آزاد برحسب کلوین}$$

$$K = \text{ضریب استاندارد کردن. (میکروگرم } NO_2 \text{ به میلی‌لیتر ماده جاذب)}$$

$$V_1 = \text{حجم مایع جاذب}$$

برای توضیح بیشتر درمورد دقت و سایر اطلاعات موردنیاز به روش ASTM D 1607 مراجعه کنید.

## دی اکسید گوگرد

### روش استاندارد تعیین دی اکسید گوگرد در هوا

#### روش وست گیکی<sup>1</sup>

با این روش غلظت  $\text{SO}_2$  از 25 میکروگرم در مترمکعب هوا (0/01 پی پی ام) تا 1000 میکروگرم در مترمکعب (0/4 پی پی ام) اندازه گیری می شود. مدت نمونه برداری می تواند بین 1 تا 24 ساعت باشد.

اصول روش: دی اکسید گوگرد در سیستم نمونه برداری با ماده جاذب تتراکلرومرکورات (TCM) واکنش داده و دی کلروسولفوناتو مرکورات تشکیل می دهد. به این محلول EDTA اضافه می شود تا با فلزات سنگین که ممکن است ایجاد مزاحمت نمایند کمپلکس تشکیل دهد. وقتی دی کلروسولفوناتو مرکورات تشکیل شد در برابر اکسیدان ها مثل ازن یا دی اکسید ازن پایدار است. برای از بین بردن یون نیترات، سولفامیک اسید به محلول اضافه می شود و سپس فرمالدئید و پارا روزانیلین بی رنگ شده توسط اسید که محتوی اسید فسفریک برای کنترل PH است اضافه می شود.

#### روش نمونه برداری

نمونه ها را می توان یک ساعته یا 24 ساعته تهیه کرد. برای نمونه یک ساعته، 10 میلی لیتر TCM را در یک گازشوی میجت بریزید و آن را در مدار نمونه برداری قرار دهید. با سرعت تقریباً 0/5 لیتر در دقیقه برای مدت یک ساعت نمونه برداری کنید و برای سنجش هوا از اوریفیس محدود کننده و یا روتامتر استفاده کنید. محلول جاذب را از نور مستقیم آفتاب محافظت کنید. برای نمونه 24 ساعته، 50 میلی لیتر محلول جاذب TCM را در گازشوی بریزید و با سرعت 0/2 لیتر در دقیقه مدت 24 ساعت به نمونه برداری ادامه دهید. در حمل نمونه به آزمایشگاه، دمای آن را زیر 25 درجه سانتیگراد نگه دارید. از نور مستقیم محافظت کنید. اگر در حرارت کم نگهداری شود تا 30 روز پایدار می ماند و مقدار قابل سنجش  $\text{SO}_2$  از دست نمی رود.

---

<sup>1</sup> - West-Gaeke



### تهیه معرف‌ها

کلیه مواد مصرفی و آب باید از درجه خلوص زیاد برخوردار باشند.

**ماده جاذب** (0/04 M TCM) 10/86 گرم کلرور جیوه  $\text{HgCl}_2$ ، 5/96 گرم کلرور پتاسیم (KCl)، 0/066 گرم EDTA را در آب حل کنید و به حجم یک لیتر برسانید. PH این محلول باید  $4 \pm 0/1$  باشد که می‌توان با اضافه کردن قطره قطره پتاس (KOH) آنرا تنظیم کرد. این محلول جاذب پس از تهیه، 6 ماه پایدار می‌ماند.  
(دقت: این ماده بسیار سمی است. اگر روی پوست ریخته شود باید بی‌درنگ شسته شود)

### معرف پاراروزانیلین (محلول ذخیره 0/2 درصد)

0/2 گرم پاراروزانیلین در 100 میلی‌لیتر آب حل کنید. این محلول باید حداکثر جذب را برای طول موج 450 نانومتر در محلول بافر استات داشته باشد.

### پاراروزانیلین برای روش معمولی

به یک بالن یک لیتری 80 میلی‌لیتر از محلول ذخیره بریزید، 100 میلی‌لیتر اسید فسفریک 3N به آن اضافه کرده و تا حجم رقیق کنید. این محلول تا 9 ماه در دمای 25 درجه سانتیگراد پایدار می‌ماند.

### استانداردهای کالبراسیون

#### محلول ید (ذخیره 0/1 N)

12/7 گرم ید ( $\text{I}_2$ ) و 40 گرم یدید پتاسیم (KI) را در 25 میلی‌لیتر آب حل کرده و حجم آنرا به یک لیتر برسانید.  
محلول ید برای مصرف (0/01N) - 50 میلی‌لیتر از محلول ذخیره را در یک بالن 500 لیتری با دقت تا نشانه پر کنید.

#### محلول ید نشاسته

0/4 گرم نشاسته را بسایید و نرم کنید و 2 گرم یدید جیوه ( $\text{HgI}_2$ ) را در کمی آب حل کنید و به این خمیر با آهستگی 200 میلی‌لیتر آب جوش اضافه کنید و بجوشانید تا شفاف شود، سپس آنرا سرد کنید و در شیشه در سمباده نگه دارید.

### تیوسولفات سدیم (0/1 N)

24/82 گرم تیوسولفات سدیم ( $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) را در آب تازه جوشیده و خنک شده حل کنید و به آن 0/1 گرم کربنات سدیم اضافه کنید و حجم آن را به یک لیتر برسانید. این محلول را قبل از مصرف، یک روز نگه دارید.

تیوسولفات تهیه شده را باید از نظر نرمالیت با استفاده از محلول تهیه شده از یدات سدیم و اسید کلریدریک تیت্রে کرد (روش ASTM D 2914) و سپس از آن محلول 0/01 نرمال برای استفاده تهیه نمود.

محلول استاندارد سولفات سدیم ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0/40 گرم از آن را در 500 میلی لیتر آب مقطر ترجیحاً دو بار تقطیر شده که جوشیده و سرد شده باشد حل کنید. این محلول حدود 320 تا 400 میکروگرم در لیتر  $\text{SO}_2$  دارد. برای تعیین مقدار دقیق آن، مقدار معین ید (بیش از حد لازم) اضافه کنید و با تیوسولفات تیت্রে نمایید.

چون محلول سولفات ناپایدار است باید به صورت تازه تهیه شود.

### تجزیه

اگر نمونه یک ساعته است، ابتدا نمونه را به طور دقیق<sup>1</sup> و کامل به یک بالن 25 میلی لیتری منتقل کنید و ته گازشوی را با حدود 5 میلی لیتر آب شست و شو دهید. حدود 20 دقیقه آن را به حال خود بگذارید تا اوزن از بین برود. اگر نمونه 24 ساعته برداشت شده است نمونه را تا 50 میلی لیتر با ماده جاذب رقیق کنید، سپس 5 میلی لیتر از این محلول را در یک بالن 25 میلی لیتری ریخته و با ماده جاذب آن را به حجم برسانید.

برای هر سری تجزیه، یک شاهد 10 تا 20 میلی لیتری از ماده جاذب مصرف نشده را بسته به مدت زمان نمونه برداری در یک بالن 25 میلی لیتری بریزید و 5 میلی لیتر هم آب به آن اضافه کنید. به هر بالن یک میلی لیتر سولفامیک اسید اضافه کرده و 10 دقیقه صبر کنید تا واکنش انجام شود. در این واکنش نیتریک که از اکسید نیتروژن تشکیل شده است از بین می رود. دقیقاً 2 میلی لیتر فرمالدئید 0/2 درصد و 5 میلی لیتر پارا روزانیلین از قبل تهیه شده به آن اضافه کنید و خوب مخلوط سازید. آن را به مدت سی دقیقه (از روی ساعت) به حال خود بگذارید و بعد به نمونه ها آبی را که تازه جوشانده و سرد کرده اید اضافه کنید. بعد از 30 دقیقه با استفاده از سلول های اپتیک با طول عبور 10 میلیمتری، جذب نور را با طول موج 548 نانومتر تعیین کنید.

---

<sup>1</sup> - Quantitative

نمونه نباید مدت زیادی در سلول بماند چون رنگ روی جداره آن رسوب کند. رسوب رنگی را می‌توان با اسید کلریدریک (1+1) پاک کرد. اگر جذب شاهد بیش از 0/03 واحد با منحنی کالیبراسیون تفاوت داشت بهتر است یک شاهد دیگر تهیه شود. محلول‌های خیلی غلیظ را می‌توان تا 6 برابر با ماده جاذب رقیق کرد تا بتوان آنها را با مقیاس دستگاه خواند.

#### تهیه منحنی کالیبراسیون

با پی پت مقادیر 0/5، 1، 2، 3 و 4 میلی‌لیتر محلول سولفیت رقیق شده را به‌دقت در یک سری بالن بریزید، بعد به‌هریک از بالن‌ها آن‌قدر TCM اضافه کنید تا به‌حدود 10 میلی‌لیتر برسد و سپس معرف را همان‌طور که در روش نمونه‌برداری گفته شده است اضافه کنید و به‌همان ترتیب که شرح داده شده است ادامه دهید. حرارت این نمونه با نمونه اصلی نباید بیش از 2 درجه سانتیگراد اختلاف داشته باشد. منحنی جذب را برحسب میکروگرم SO<sub>2</sub> برای غلظت‌های (0/5، 1، 2، 3، 4) رسم کنید. منحنی باید قاعداً خطی باشد و محل تلاقی با محور y در حدود 0/03 جذب قرار گیرد. شیب منحنی را نیز به‌دست آورید. محاسبه SO<sub>2</sub> در محلول جاذب را با روش بالا و از روی منحنی حساب کنید.

حجم هوای نمونه‌برداری را در دمای 25 درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر تعیین کنید. حجم SO<sub>2</sub> هوای نمونه از رابطه 2-6 تعیین و با رابطه 3-6 محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{C_s \times V_s \times 1000}{V_r} \times d_c \quad 6-3$$

C = غلظت SO<sub>2</sub> در هوا در شرایط استاندارد

C<sub>s</sub> = غلظت SO<sub>2</sub> در محلول جاذب گازشوی

d<sub>c</sub> = ضریب رقت نمونه‌هایی که غلظت آن بیش از 1/4 میکروگرم در میلی‌لیتر بوده است و اگر محلول رقیق نشده باشد، d<sub>c</sub> برابر واحد است.

V<sub>s</sub> = حجم محلول نمونه گازشوی

1000 = ضریب تبدیل لیتر به مترمکعب

#### روش آب اکسیژنه

#### روش کار

دی‌اکسید گوگرد موجود در هوا توسط محلول رقیق شده آب اکسیژنه جذب و اکسید شده

و به اسیدسولفوریک تبدیل می‌شود. محلولی که به دست می‌آید عبارت است از محلول ثابت و غیرفرار اسید سولفوریک که مقدار آن در آزمایشگاه از طریق تیتراسیون با محلول قلیایی استاندارد شده اندازه‌گیری می‌شود.

#### حساسیت روش و دخالت‌کننده‌ها

این روش برای غلظت‌های حدود 0/01 تا 10 قسمت در میلیون (PPm) مناسب است. وجود گازهای اسیدهای قوی به غیر از دی‌اکسید گوگرد و اسیدهای دیگر مانند اسید کلریدریک، دی‌اکسید ازن و سایر گازهای اسیدی در هوا، جواب آزمایش را بیشتر و همین‌طور وجود مواد قلیایی مانند آمونیاک و اکسید کلسیم جواب آزمایش را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد.

ذرات اسید سولفوریک موجود در هوا به علت قطر کم جذب نمی‌شوند و همراه هوا خارج می‌گردند و فقط در مواقعی مداخله می‌کنند که رطوبت هوا بیش از 85 درصد و یا قطر ذرات آنها بیش از یک میکرون باشد.

ترکیباتی چون  $H_2S$ ،  $CH_3SH$ ،  $CO_2$  و اوزن دخالت محسوسی در روش بالا ندارند. رطوبت نسبی نیز تأثیر چندانی بر جمع‌آوری دی‌اکسید گوگرد به این روش ندارد. در صورتی که رطوبت نسبی صددرصد و غلظت دی‌اکسید گوگرد در هوا حدود 174-50 میکروگرم در مترمکعب باشد، از فیلترهایی با جنس پلی‌تترافلور و اتیلن (PTFE) با خلل و فرج 5 میکرومتری استفاده می‌شود که در این حالت بازده جمع‌آوری دی‌اکسید گوگرد به حدود 92-95 درصد می‌رسد. تأثیر درجه حرارت بر جمع‌آوری دی‌اکسید گوگرد نیز قابل چشم‌پوشی کردن است. در دامنه درجه حرارت‌های 40-5 درجه سانتی‌گراد بازده تجمع دی‌اکسید گوگرد در حدود  $99/5 \pm 4/5$  درصد است.

برای نمونه‌برداری از سیستمی که پیشتر شرح داده شده است استفاده می‌شود.

#### مواد لازم

- 1- آب اکسیژنه 30 درصد
- 2- اسید کلریدریک 0/6 نرمال
- 5 میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ (حدود 12 نرمال) را در یک بالن حجمی 100 میلی‌لیتری می‌ریزیم و به حجم می‌رسانیم.
- 3- محلول جاذب
- 20 میلی‌لیتر محلول آب اکسیژنه 30 درصد را داخل بالن حجمی یک لیتری می‌ریزیم.

سپس 0/1 میلی لیتر از اسید کلریدریک 0/6 نرمال را به آن اضافه می کنیم و به حجم می رسانیم. pH این محلول باید حدود 4/5-5 باشد. می توان با اضافه کردن سود یا اسید نیتریک 10 درصد pH آن را تنظیم کرد و با هواگذر 0/2 لیتر در دقیقه هوای موردنظر را از داخل محلول جاذب که در گازشوی ریخته شده است، عبور داد.

**توجه:** آب اکسیژنه در تاریکی به آهستگی و در روشنایی روز و مجاورت حرارت به سرعت تجزیه می شود. این فعل و انفعال یک طرفه است و حتی در بطری های سربسته این تجزیه انجام می گیرد. آب اکسیژنه در نتیجه تجزیه شدن در بطری در بسته مقداری فشار تولید می کند. باید در بطری آب اکسیژنه با دقت و احتیاط باز شود. در صورتی که آب اکسیژنه روی پوست دست یا صورت بریزد محل فوق را باید بی درنگ با آب فراوان شست و شو داد.

**نکته:** در صورتیکه محلول جاذب از آب اکسیژنه 1٪ تهیه شده باشد، قدرت مکش پمپ را به 2 لیتر در دقیقه برسانید.

#### 4- معرف

0/06 گرم بروموکرزول گرین و 0/04 گرم متیل رد را در 100 سانتی متر مکعب متانول حل کنید. این معرف در درجه حرارت معمولی و در بطری قهوه ای رنگ به مدت 6 ماه پایدار می ماند.

#### 5- محلول سود 0/002 نرمال

2 میلی لیتر از سود تیتره نرمال را در یک بالن ژوژه یک لیتری بریزید و با آب مقطر بجوشانید تا عاری از دی اکسید کربن شود و با آب مقطر (دوبار تقطیر شده) به حجم برسانید.

#### نمونه گیری

50 سانتی متر مکعب از محلول جاذب را داخل گازشوی بریزید و گازسنج پمپ را روی 0/2 لیتر در دقیقه تنظیم کنید و دستگاه را بکار بیندازید. نمونه گیری باید تا مدت 24 ساعت ادامه یابد.

**تذکر:** اگر قدرت پمپ 2 لیتر در دقیقه باشد، باید 40 سانتی متر مکعب آب اکسیژنه یک درصد استفاده شود.

#### تیتراسیون نمونه

نمونه را در یک ارلن مایر 150 میلی لیتری خالی کنید و سپس 2 قطره معرف به آن بیفزایید تا رنگ قرمز ایجاد شود و آن را با مخلوط سود 0/002 نرمال تا تغییر رنگ محلول از

قرمز به سبز فلوئورسانس تیتره کنید.

#### محاسبات برای تعیین غلظت دی اکسید گوگرد در هوا

دو فرمول برای تعیین غلظت دی اکسید گوگرد در هوا به روش آب اکسیژنه وجود دارد:  
الف:

$$\text{PPm SO}_2 = \frac{\text{ml (NaOH)} \times 0.002 \times (273 + t)}{V \times 298} \times 1.45 \quad 6-4$$

در این رابطه:

$$\text{PPm SO}_2 \times 2620 = \text{میکروگرم در مترمکعب}$$

$\text{ml (NaOH)}$  = مقدار سود مصرفی بر حسب میلی لیتر.

$t$  = درجه هوای نمونه گیری شده بر حسب سلسیوس

$V$  = حجم هوای نمونه گیری شده بر حسب مترمکعب

ب:

میکرولیتر دی اکسید گوگرد =  $24/47 \times$  مقدار سود مصرفی بر حسب میلی لیتر

$$\text{PPm SO}_2 = \frac{\text{میکرولیتر دی اکسید گوگرد}}{V_r} \quad 6-5$$

$$V_r = V \frac{P}{760} \times \frac{298.2}{t + 273.2}$$

در این رابطه:

$V_r$  = حجم هوا در شرایط استاندارد بر حسب لیتر

$V$  = حجم هوای نمونه گیری شده بر حسب لیتر

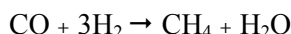
$P$  = فشار هوا بر حسب میلی متر جیوه

$t$  = درجه حرارت بر حسب سلسیوس

#### روشهای اندازه گیری مونوکسید کربن در هوا

روش معمولی برای تعیین غلظت مونوکسید کربن در هوا جمع آوری در کیسه های مخصوص و انتقال به آزمایشگاه و سپس تعیین مقدار با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی است. جواب به دست آمده فقط وضعیت یک نقطه خاص برای مدت زمان بسیار کوتاه می باشد. یکی از مشکلات گاز کروماتوگرافی برای تعیین مقدار CO این است که برای غلظت های کمتر از 10 پی پی ام حساسیت کافی ندارد. به همین علت در سال 1970 در دانشگاه ویسکانسین روش جدیدی برای افزایش حساسیت کروماتوگرافی ابداع شد (بارتا و همکاران،

1978)<sup>1</sup>. در این روش ابتدا CO در حضور کاتالیست نیکل تبدیل به متان می‌شود.



و سپس با اندازه‌گیری متان مقدار CO محاسبه می‌شود. از آنجاکه متان یکی از ترکیبات هوای آزاد است و باتوجه به فعالیت‌های انسان رو به افزایش هم هست، باید قبل از آنکه CO تبدیل به متان شود متان طبیعی در ستون الک ملکولی جدا گردد. در این روش حساسیت 100 برابر افزایش می‌یابد به طوری که با 0/5 میلی لیتر نمونه قله منحنی 6 میلیمتر برای هر پی‌پی‌ام خواهد بود. در مجموع این روش وقتگیر است و مشکل وجود CO<sub>2</sub> هوا را هم دارد که آن‌را نیز باید قبل از تزریق به گاز کروماتوگراف با ستون الک ملکولی جدا ساخت.

### اندازه‌گیری مونوکسید کربن در هوا با روش NDIR<sup>2</sup>

مشروح این روش به شماره 94-D3162 به عنوان روش استاندارد ASTM ثبت شده است. با این روش می‌توان غلظت‌های بین 0/5 تا 100 پی‌پی‌ام مونوکسید کربن هوا را اندازه گرفت. اصول کار بر پایه جذب CO به وسیله اشعه فروسرخ با طول موج 4/7 میکرومتر است.

### خلاصه روش

نمونه هوا در یک سیستم آماده‌سازی<sup>3</sup> شده و سپس وارد NDIR می‌شود. اسپکترومتر، جذب CO را در طول موج 4/7 میکرومتر که دو دسته اشعه را به طور موازی یکی وارد نمونه و دیگری وارد سلول رفرانس و آشکارساز انتخابی می‌نماید اندازه‌گیری می‌کند. علائم آشکارساز به یک تقویت کننده هدایت می‌شود و نتیجه به وسیله چاپگر ضبط می‌گردد. باتوجه به نوع دستگاه احتمال مداخله کننده‌ها وجود دارد که باید فهرست مواد مداخله گر و روش مواجهه با آنها را از سازنده دریافت کرد. با این روش می‌توان به طور مداوم نمونه‌برداری و اندازه‌گیری کرد. روش کار با این وسیله که به صورت قرائت مستقیم جواب می‌دهد و همچنین روش کالیبراسیون دستگاه را باید در دفترچه راهنمای وسیله مطالعه کرد یا به‌مأخذ ASTM مراجعه نمود.

### کپسول آشکارساز

سنجش مونوکسید کربن هوا توسط کپسول‌های آشکارساز هم انجام می‌پذیرد. این وسیله، دستگاهی کوچک است که مونوکسید کربن هوا را به طور مستقیم اندازه می‌گیرد و احتیاجی

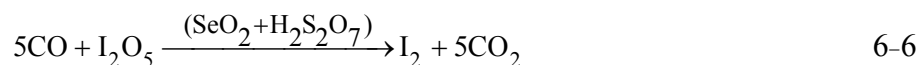
<sup>1</sup> - Edward D. Bareta et.al. 1987

<sup>2</sup> - Nonodispersive Infrared Spectrometry

<sup>3</sup> - Conditioning

به محاسبه نیز ندارد. در این دستگاه از یک کپسول مخصوص اندازه‌گیری مونوکسید کربن استفاده می‌شود که دارای دو نوع درجه‌بندی است. یک درجه‌بندی از 5 تا 150 پی‌پی‌ام و درجه بندی دیگر از 100 تا 700 پی‌پی‌ام است. دو سر کپسول فوق را می‌شکنیم و داخل پمپ دستی کوچکی که به‌همین منظور ساخته شده است قرار می‌دهیم. در صورتی که محل نمونه‌برداری، منبع دودزای قوی باشد با زدن یک پمپ تغییر رنگ از 100 پی‌پی‌ام می‌گذرد. در این حالت تنها 2 پمپ می‌زنیم و از روی مقیاس 100 تا 700 پی‌پی‌ام میزان مونوکسید کربن هوا را می‌خوانیم و در صورتی که در پمپ اول تغییر رنگ به 100 پی‌پی‌ام نرسید با 10 پمپ و از روی مقیاس 5 تا 150 پی‌پی‌ام میزان مونوکسید کربن هوا را قرائت می‌کنیم.

با زدن پمپ ابتدا قسمت سفید رنگ کپسول تغییر رنگ می‌دهد که رنگ آن از آبی به سبز و در نهایت قهوه‌ای تغییر می‌یابد. وقتی قهوه‌ای شد میزان مونوکسید کربن را برحسب پی‌پی‌ام قرائت می‌کنیم. معرفهای به کار برده شده برای منواکسید کربن در کپسول ساخت دراگر<sup>1</sup> عبارتند از پراکسید ید، دی‌اکسید سلینیوم و اسید سولفوریک تدریجی هستند. واکنش به شرح رابطه 6-6 است:



رنگ قهوه‌ای مایل به سبز مربوط به ید نشان‌دهنده مونوکسید کربن است. حجم هوایی که با هر پمپ وارد کپسول می‌شود معادل 100 سانتیمتر مکعب است. چنانچه دفعات پمپاژ بیش از دستورالعمل همراه کپسول باشد باید در محاسبه تعیین غلظت منظور گردد. در این روش نیز غلظت‌های لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شود و برای غلظت‌های زیاد با دقت بیشتری پاسخ می‌دهد. از این روش بیشتر برای محیط‌های کار استفاده می‌شود.

### ازون و سایر اکسیدان‌ها

در این روش اکسیدان‌ها مانند اوزن، کلر، پراکسیدهای الی و امثال آن که موجب آزاد کردن ید می‌شوند اندازه‌گیری می‌شوند.

#### مواد لازم

آب مقطر دوبار تقطیر شده  
پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات

<sup>1</sup> - Drager



دی‌سدیم هیدروژن فسفات بی‌آب  
یدید پتاسیم

#### تهیه محلول جاذب

13/61 گرم پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات و 14/2 گرم دی‌سدیم هیدروژن فسفات بی‌آب و 10 گرم یدیدپتاسیم را در آب حل کنید و حجم آن را به یک لیتر برسانید و به‌مدت یک روز به‌حال خود بگذارید تا به‌پایداری برسد. این محلول را می‌توان چندین هفته در یخچال نگهداری کرد، ولی نباید آن را در برابر نور خورشید قرار داد.

#### تهیه محلول استاندارد ید 0/05 نرمال ذخیره

به ترتیب 16 گرم یدیدسدیم و 3/173 گرم ید را در آب حل کنید و به‌حجم 500 میلی‌لیتر برسانید. محلول قبل از استفاده باید یک روز نگهداری شود. اگر وزن کردن به‌دقت انجام شده باشد، استاندارد کردن لازم نیست.

#### تهیه ید استاندارد

از استاندارد ذخیره (0/05 نرمال) استاندارد 0/0025 نرمال ید تازه تهیه کنید. برای این کار 5 میلی‌لیتر از استاندارد ذخیره را در یک بالن حجمی 100 میلی‌متری بریزید و با دقت با محلول جاذب به‌حجم برسانید و از این محلول تازه تهیه شده مقادیر 0/2، 0/4، 0/6 و 0/9 میلی‌لیتر در یک بالن حجمی 25 میلی‌لیتری بریزید و به‌حجم برسانید.

#### تهیه منحنی استاندارد جذب تصحیح شده

رنگ محلول‌های رقیق شده را در طول موج 352 میکرومتری بخوانید و منحنی جذب را برای نرمالیت‌ه‌های یک از مقادیر رقیق شده ید رسم کنید. باید سعی شود بهترین خط رسم گردد. نرمالیت‌ه‌ای را که دقیقاً جذب 1 را بدهد تعیین کنید. برای سل‌های 2 سانتیمتری این مقدار 4/8 است.

#### روش تجزیه

نمونه‌برداری هوا، باید بنابه روش‌های گفته شده در بخش‌های قبلی این فصل انجام و حجم آن برای شرایط استاندارد (25 درجه سلسیوس و 760 میلی‌متر جیوه) تصحیح گردد. با پی پت دقیقاً 10 میلی‌لیتر محلول جاذب را در گازشوی میجت تمام شیشه‌ای بریزید و با جریان 1 تا 2 لیتر در دقیقه هوای موردآزمایش را از آن عبور دهید. معمولاً در مدت 30 دقیقه حدود

0/5 تا 10 میکرولیتر اوزن بسته به غلظت آن در هوا جذب می‌شود. نمونه جذب شده نباید با نور مستقیم خورشید تماس پیدا کند. اگر تبخیر محسوسی در محلول گازشوی دیده شود با آب مقطر حجم آن را به 10 میلی‌لیتر برسانید. باید محلول گازشوی به یک سل کلریمتر منتقل و در طول موج 352 میکرومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر جذب نور تعیین شود. برای اطمینان از پایداری رنگ بهتر است چند بار در زمان‌های بعدی هم جذب خوانده شود. ضمناً بهتر است با همان روش یک سل هم از محلول جاذب بدون آنکه نمونه‌برداری شود به عنوان رفرانس جذب نور استفاده گردد و در محاسبه منظور شود.

#### محاسبه

به تجربه معلوم شده است که یک مول اوزن یک مول  $I_2$  آزاد می‌کند. وقتی نرمالیت محلول یدی را که جذبی معادل یک واحد داشت تعیین کردید. عدد آنرا در  $1/24 \times 10^5$  ضرب نمایید تا ضریب استاندارد M به دست آید<sup>1</sup>. ضریب بعنوان میکرولیترهای اوزن مورد نیاز برای 10 میلی‌لیتر ماده جاذب که دقیقاً جذب یک را بدهد تعریف شده است. برای یک سل 2 سانتیمتری همان‌طور که پیشتر گفته شد این عدد برابر 4/8 خواهد بود. نتیجه برای نمونه‌ها به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ppm } O_3 = M/v \times \text{جذب تصحیح شده}$$

بنابراین برای  $M=4/8$  اگر دقیقاً 4/8 لیتر هوا در گازشوی نمونه‌برداری شده باشد جذب بدست آمده به‌طور مستقیم معادل ppm‌های اوزن است. اگر حجم هوای نمونه‌برداری به‌غیر از این باشد، V حجم هوای نمونه برای 10 میلی‌لیتر ماده جاذب در نظر گرفته شود. روش‌های دیگر برای آزمایش  $O_3$  در هوای آزاد و محیط‌های بسته را در ASTM جلد 11/03 جستجو کنید.

#### مداخله‌کننده‌ها

مواد احیا کننده مثل دی‌اکسید گوگرد و ذرات اثر منفی شدیدی دارند. در مورد ذرات باید دقت کرد هم در ظروف نباشند و هم وارد ماده جاذب نشوند، ولی برای دی‌اکسید گوگرد بهتر است از لوله یو شکل (U) بزرگ حدود 140 میلی‌لیتری که در آن الیاف شیشه آغشته به‌تری

1- حجم مولار استاندارد (760 میلی‌متر جیوه و 25 درجه سانتیگراد) برابر است با 24/47 لیتر و 1 میکرومول  $I_2$  برابر است با 24/47 میکرومول اوزن و 10 میلی‌لیتر 1 نرمال ید  $= 5 \times 10^3$  میکرومول  $I_2$  است. بنابراین: میکرولیتر اوزن  $= 1/224 = 5 \times 10^3 \times$   
24/47

اکسید کرم قرار گرفته است، استفاده کرد.

تهیه کاغذ آغشته به تری اکسید کرم به این ترتیب است که 15 میلی لیتر محلول آبی تری اکسید سدیم که دارای 2/5 گرم تری اکسید کرم و 0/7 میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ است به طور یکنواخت روی 6/5 سانتیمتر مربع کاغذ پخش شود و در دمای حدود 30 درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت خشک گردد و سپس به نوارهای 1/3 در 0/6 سانتیمتری بریده شده و به صورت V شکل چین داده شود و در داخل لوله قرار گیرد. این نوار کاغذها تا حدود یک ماه خاصیت جذب دارند و اگر به علت رطوبت هوا خیس شدند می توان آنها را دوباره خشک کرد و مورد استفاده قرار داد.

### روش های قرائت مستقیم

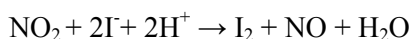
تجهیزات مختلف بسیاری برای اندازه گیری مداوم آلاینده های گازی توسط سازندگان مختلف عرضه شده است: API بکمن، هوريبا، انواروتک، TOA و DKK<sup>1</sup> علاوه بر اینها تعداد بسیاری، سازنده و عرضه کننده دستگاه های نمونه بردار و تحلیلگر آلاینده های هوا هستند.

### دی اکسید ازت

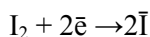
#### روش کولومتری<sup>2</sup>

اساس این روش، اندازه گیری جریان الکتریکی ای است که توسط گاز آلاینده ای به وجود می آید که به شدت اکسیدان یا احیا کننده است و در اثر واکنش با یدیدپتاسیم در یک سلول الکتروشیمیایی به وجود می آید. یکی از روش ها، سلول گالوانیک است که در آن چرخه فرایند اکسیداسیون - احیا اتفاق می افتد.

در یکی از نمونه ها، هوای مورد آزمایش وارد سلول آشکارساز که محتوی یدید پتاسیم بافر شده است، می شود و دور الکترودها می چرخد. سلول آشکارساز دارای کاتد پلاتین و آند کربن با اختلاف پتانسیل گالوانیک بین آنها است. وقتی NO<sub>2</sub> وارد سلول شود باید ید موجود در سلول وارد واکنش گردد:



ید آزاد شده در کاتد احیا می شود:



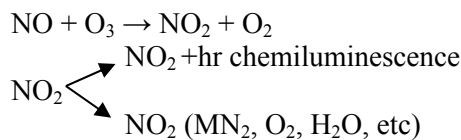
<sup>1</sup> - API, Bakkman, Horiba, Envirotech, TOA, DKK

<sup>2</sup> - Coulometric

و سپس واکنش اکسیداسیون درآند صورت می‌گیرد.  
(درحالت اکسیداسیون)  $C + n\bar{e} \rightarrow C$  (درحالت احیا) و ید آزاد شده عبور جریان بین اند- کاتد را برقرار می‌کند. این جریان با غلظت  $NO_2$  ورودی به سلول متناسب است. اگر عامل اکسیدان وارد سلول نشود جریان صفر خواهد بود.

### روش کمیلومینسانس

پدیده کمیلومینسانس زمانی اتفاق می‌افتد که قسمتی از انرژی یک واکنش شیمیایی حرارت‌زا به صورت نور آزاد شود. عاملی که در انتشار نور از یک واکنش گاز کمیلومینسانس مؤثر است مانند واکنش بین  $NO$  و  $O_3$  است که در سطح وسیعی برای واکنش آنالیز اکسیدهای ازت به کار می‌رود. واکنش سریع بین  $NO$  و  $O_3$  در فاز گازی مولکول‌های تحریک شده  $NO_2$  تولید می‌کند که انرژی خود را یا به صورت نور و یا با برخورد و خنک شدن با سایر مولکول‌ها از دست می‌دهد.



انتشار نور (I) بنابه رابطه زیر انجام می‌گیرد.

$$I = C \times [NO] [O_3] / [M]$$

که در آن عدد ثابت C با مجموع فشار متناسب است. در فشار ثابت، I فقط به غلظت  $NO$  و  $O_3$  وابسته است. اگر هریک از این اجزا ثابت نگه داشته شوند، انتشار نور متناسب با غلظت دیگری خواهد بود.

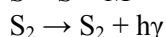
ثابت نگاه داشتن یک گاز را می‌توان با تأمین بیش از نیاز آن گاز انجام داد. در عمل وقتی هوای نمونه محتوی گاز  $NO$  وارد دستگاه می‌شود غلظت آن با انتخاب طیف مناسب نور و نورافزای مناسب اندازه‌گیری می‌شود و اگر اندازه‌گیری  $NO_2$  هم لازم باشد ابتدا  $NO_2$  در یک المان فولاد زنگ نزن داغ به  $NO$  تجزیه و سپس اندازه‌گیری می‌شود. در بعضی از دستگاه‌ها  $NO$  و  $NO_x$  اندازه‌گیری می‌شود که  $NO_2$  از تفاضل این دو بدست می‌آید.

### دی‌اکسید گوگرد

برای تعیین غلظت  $SO_2$  نوع دیگری آشکارساز کمیلومینسانس به کار می‌رود که شعله‌ای یا  $FPD^1$  است. وقتی که گاز محتوی گوگرد در شعله هیدروژن سوزانده شود نور شدید

<sup>1</sup> - Flame Photometric Detecotr

کمیلومینسانس در محدوده طیف 300 تا 425 نانومتر تولید می‌شود.



اگر انتشار نور در یک محدوده کوچک ( $394 \pm 5$  نانومتر) اندازه‌گیری شده نسبت گوگرد به سایر گازهای تولیدکننده کمیلومینسانس 20000 به 1 خواهد بود. از آنجا که پاسخ دستگاه با توان دوم گوگرد موجود در گاز متناسب است، خروجی خطی با تقویت‌کننده لگاریتمی بدست می‌آید. حداقل اندازه‌گیری با این وسیله 1 قسمت در بیلیون است. در اطراف پالایشگاه‌ها که  $H_2S$  و مرکابتانها هم وجود دارند بایستی قبل از ورود به دستگاه کمیلومینسانس جذب و یا اندازه‌گیری آنها با گاز کروماتوگرافی صورت گیرد ولی در جاهای دیگر چون عملاً گاز گوگردی موجود در هوا  $SO_2$  است مشکلی وجود نخواهد داشت.

### فلورسانس

فلورسانس موقعی اتفاق می‌افتد که یک مولکول، انرژی تابشی را در طول موج مشخص جذب و در طول موج دیگر بازتاب نماید. فلورسانس در گازها یک پدیده کم فشار است که در فشار جو تا حد غیرقابل جذب خاموش می‌گردد. چنانچه یک منبع مناسب نور تک رنگ<sup>1</sup> وجود داشته باشد، می‌توان  $SO_2$  را در حد جزئی<sup>2</sup> اندازه‌گیری نمود، زیرا  $SO_2$  شدیداً دارای باند جذب نور فلورسانس می‌باشد. دستگاه‌های اندازه‌گیری  $SO_2$  با این روش می‌توانند از 0/5 تا 1000 پی‌پی‌بی و یا 0/5 تا 1000 پی‌پی‌ام را سنجش نمایند. این دستگاه‌های پالس یک منبع فرابنفش را به کار می‌برند که جریان گاز نمونه را در داخل یک سلول اپتیک درخشان می‌کنند. فلورسانس تولید شده به وسیله یک فروزافزا که با زاویه 90 درجه به اشعه تحریک شده می‌تابد، آشکار می‌گردد. صافی‌های اپتیک برای انتخاب یک محدوده باریک تشعشع به کار می‌رود. محدودیت این روش برای سنجش آلودگی در هوای آزاد زمان نسبتاً طولانی پاسخ (2 دقیقه) در مقایسه با آنالیزور فلیم فوتومتر که در 25 ثانیه پاسخ می‌دهد، است.

### سنجش اوزن هوا

اشعه فرابنفش در طول موج 245 نانومتر، که از یک لامپ بخار جیوه با فشار کم تولید می‌شود، از طول یک لوله 70 سانتیمتری که هوا به‌طور مداوم به‌داخل آن پمپ می‌شود، عبور داده می‌شود. میرایی نور عبوری در انتهای لوله به‌غلظت اوزن بستگی دارد. همین عمل با یک

---

<sup>1</sup> - Monochromatic

<sup>2</sup> - Trace

لوله دیگر که اوزن هوا توسط صافی زغال فعال جذب شده است، انجام می‌گیرد (شاهد) با مقایسه شدت جذب بین دو لوله نمونه و شاهد و استفاده از قانون بیر-لامبرت<sup>1</sup>، ارتباط میرایی اشعه فرابنفش با غلظت اوزن محاسبه می‌شود.

$$\text{Log} \frac{I_0}{I} = 253.7 \times [O_3] \quad 6-7$$

رابطه جذب به‌طور الکترونیک محاسبه و غلظت  $O_3$  برحسب ppm تعیین می‌شود، حداقل قابل کشف 1 تا 2 پی‌پی‌بی است. این روش، ساده و قابل اعتماد است. علاوه بر موارد ذکر شده روش‌های دستگاهی و قرائت مستقیم زیادی برای گازهای مختلف وجود دارد که توسط سازندگان مختلف در کشورهای جهان تهیه و استفاده می‌شود. به‌طور خلاصه برای آلاینده‌های عمده هوای محیط آزاد روش‌های زیر کاربرد بیشتری دارند.

سازندگان مختلف وسایل دیگری را با تغییراتی در روش‌های موجود برای اندازه‌گیری گازها ساخته‌اند که برای آشنایی با طرز کار آنها باید به‌دفعه‌چرا راهنمای وسیله مراجعه کرد.

### مونوکسید کربن CO

چندین روش دستگاهی قرائت مستقیم برای اندازه‌گیری غلظت مونوکسید کربن وجود دارد. از روش‌های معمول می‌توان به‌روش الکتروشیمیایی،<sup>2</sup>NDIR و گاز کروماتوگرافی اشاره کرد. از میان این روش‌ها روش NDIR برای تعیین غلظت مونوکسید کربن هوا به‌طور مداوم از همه حساس‌تر و دقیق‌تر است. با کاربرد IR در یک مسیر 10 متری می‌توان غلظت CO را از 10 پی‌پی‌ام به‌بالا اندازه گرفت. اندازه‌گیری واقعی در طول موج 4/67 میکرومتر انجام می‌گیرد. ماهیت اصلی سیستم IR در طراحی آشکارساز است که دارای سلول دوطرفه با حجم مساوی است که در یک طرف CO و در طرف دیگر گازی است که نسبت به IR شفاف‌تر است. اشعه مادون قرمز به‌هر دو نیمه این سلول تابانده می‌شود. یک دسته اشعه به‌سلول شاهد و دسته دیگر به‌سلول نمونه برخورد می‌کند، اگر CO وجود داشته باشد انرژی اشعه مادون قرمز را جذب می‌کند و در نتیجه اختلاف حرارت یا فشار بین دو قسمت آشکارساز به‌وجود می‌آید که به‌الکتریسیته تبدیل می‌شود و مقدار الکتریسیته تولید شده متناسب با غلظت مونوکسید کربن است.

بخار آب و دی‌اکسید کربن از مداخله‌کننده‌ها هستند که آنها را باید توسط سلول صافی

---

<sup>1</sup> - Beer- Lambert

<sup>2</sup> - Nondispersive infrared

جدا کرد. در حال حاضر ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر تهران از این روش استفاده می‌کنند، ولی باید همیشه با استفاده از گاز کالیبراسیون دستگاه‌ها کالیبره شوند تا پاسخ آنها قابل اعتماد باشد.

## تعیین غلظت سرب در هوا

### 1- روش نمونه‌برداری

برای نمونه‌برداری از دستگاه نمونه‌برداری هوا با حجم زیاد<sup>1</sup> با سرعت 1/2 تا 1/6 مترمکعب در دقیقه استفاده می‌شود. در این دستگاه هوا به وسیله پمپ با گذر بالا از فیلتری عبور می‌کند و ذرات موجود در هوا در روی فیلتر جمع می‌شوند. وزن ذرات جمع‌آوری شده در زمان مشخص اندازه‌گیری و نتیجه به عنوان جرم ذرات در واحد حجم هوای جمع‌آوری شده ( که به وسیله گازسنج اندازه‌گیری شده است) بر حسب  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  بیان می‌شود.

### 2- آماده‌سازی نمونه

#### الف) روش اسید نیتریک

در این روش ابتدا فیلترها به تکه‌های کوچک تقسیم و سپس در بشر 100 میلی‌لیتری همراه 10 میلی‌لیتر اسید نیتریک 1:1 روی اجاق  $95^\circ\text{C}$  حرارت داده می‌شود تا تقریباً تمام اسید تبخیر گردد. در این مرحله 5 میلی‌لیتر دیگر اسید نیتریک افزوده می‌شود. بعد از ده دقیقه دوباره تا  $95^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد حرارت داده می‌شود و به محض رسیدن نمونه به مرحله جوش با استفاده از صافی و اتمن 42 در یک بالن 50 CC صاف می‌شود. دوباره 10 میلی‌لیتر آب مقطر به بشر اولیه اضافه و به مرحله جوش رسانده می‌شود و پس از خنک شدن صاف می‌گردد. حجم نهایی نمونه با آب مقطر به 50CC می‌رسد و نمونه حاصل به کمک دستگاه جذب اتمی قرائت و غلظت سرب تعیین می‌شود.

#### ب) روش اسید فلوئوریدریک

در این روش فیلتر از قسمت طول معادل 2 سانتیمتر برش داده می‌شود و این برش به مدت 2 ساعت در کوره 500 درجه سانتی‌گراد تبدیل به خاکستر می‌گردد. در این مرحله پس از خنک شدن نمونه مقدار 15 میلی‌لیتر مخلوط اسید هیدروفلوریدریک، آب مقطر و اسید نیتریک

---

<sup>1</sup> - High volume sampler

به نسبت های مساوی به آن اضافه شده و تا مرحله خشک شدن حرارت داده می شود. سپس CC 5 اسید نیتریک غلیظ به نمونه اضافه می گردد تا حالت مرطوب پیدا کند. در نهایت 20 میلی لیتر آب مقطر به نمونه اضافه می شود و در روی بن ماری گرم تبخیر می شود تا حجم نمونه به 15 میلی لیتر برسد. نمونه حاصل به کمک دستگاه جذب اتمی قرائت و غلظت سرب با استفاده از فرمول 6-8 محاسبه می شود:

$$6-8 \quad \text{mgPb} / \text{m}^3 = \frac{140 * \text{mg/ml شاهد} - \text{gm/lm نمونه}}{\text{حجم هوا}}$$

در همه این روش ها وسایل مورد استفاده ابتدا با آب و پودر پاک کننده شست و شو و سپس با استفاده از محلول سولفورومیک از هر گونه ماده اضافه پاک می شوند. پس از مدتی محلول مزبور تخلیه و با آب مقطر 2 بار تقطیر شست و شو داده می شود و پس از آن کلیه ظروف در آون خشک و آماده آزمایش خواهند شد.

### (3) روش های تجزیه

روش های متنوعی برای اندازه گیری سرب در محیط و مواد بیولوژیکی وجود دارد که از متداول ترین و پذیرفته ترین آنها استفاده از معرف دی تیزون، استفاده از اسپکتروگرافی، پلاروگرافی و استفاده از دستگاه جذب اتمی است.

#### الف - روش استفاده از اسپکتروگرافی

اصول کار این روش بر این اساس است که هر اتم در حالت عادی دارای الکترون هایی در پایین ترین سطح انرژی است و اگر یک اتم به کمک انرژی حرارتی یا الکتریکی تحریک شود، الکترون از لایه پایین به لایه بالاتر صعود می کند. اما هر اتم تمایل دارد در حالت عادی به وضعیت نخستین خودش برگردد. این عمل یعنی حرکت الکترون از لایه بالا به لایه پایین همواره با آزاد شدن انرژی و ساطع شدن نور همراه است. با استفاده از این دستگاه، اتم ها یا الکترون ها، انرژی را شده و توسط دستگاه ثبت که شامل یک منشور برای جدا کردن سطوح انرژی می باشد به محض متصاعد شدن نور از شکاف دستگاه در روی صفحه فتوگراف ثبت می شود. این وسیله اولین بار برای تعیین غلظت سرب در خون و ادرار به وسیله الکترودهای گرافیت مورد استفاده قرار گرفت.

#### ب - استفاده از پلاروگرافی

این روش بر مبنای نتیجه گیری از منحنی های شدت جریان - پتانسیل از یک الکتروود



قطره‌ای جیوه و محلول موردنظر است. در سطح الکتروود قطره ای، جیوه، اکسید یا احیا می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم عناصر مختلف به کار می‌رود.

### ج - استفاده از اسپکتروفتومتری جذب اتمی (A.A.S)<sup>1</sup>

اساس کار این دستگاه بر مبنای سوختن نمونه در شعله (تجزیه شیمیایی) است. بعد از آن نور ایجاد شده از دستگاه مونوکروماتور عبور داده می‌شود و سپس توسط دستگاه ثبات مقدار نور جذب شده اندازه‌گیری می‌شود. در این روش نیازی به اتم‌های تحریک شده نیست و نوری که از لامپ مخصوص فلز موردنظر با لامپ کاتدی هال<sup>2</sup> خارج می‌شود در اثر عبور مکرر از لایه‌های شعله‌ای که اتم‌های فلزی در آن پراکنده‌اند، جذب ذرات فاز مزبور می‌شود. به این ترتیب مقدار نور جذب شده متناسب با تعداد اتم‌های پراکنده در شعله خواهد بود و براساس شدت جذب آنالیز کمی هر عنصر طبق رابطه بیر - لامبرت انجام می‌شود.

$$A = \epsilon b.c \quad 6-9 \quad \text{رابطه بیر لامبرت}$$

که  $A$  درصد جذب اشعه توسط نمونه،  $\epsilon$  ضریب جذب مولار،  $b$  ضخامت ظرف (مسافتی که اشعه داخل نمونه طی می‌کند) و  $c$  غلظت مولار نمونه است.

در این روش برای تبدیل به حالت اتمی از انرژی حرارتی شعله استفاده می‌شود تا پیوند بین اتم‌ها شکسته شود.

برای دستیابی به روش حساس‌تر از دستگاه جذب اتمی بدون شعله<sup>3</sup> استفاده می‌شود. با استفاده از این دستگاه می‌توان غلظت بسیار کم سرب را تعیین کرد. این عمل به وسیله کوره وودرید<sup>4</sup> به عنوان پخش کننده و کلاهی‌های مخصوص از جنس گرافیت متخلخل انجام می‌شود.

برای تعیین غلظت عناصر در نمونه‌های مورد آزمایش باید محلول‌های استاندارد از عنصری که باید تعیین مقدار شود، تهیه گردد و با استفاده از آنها منحنی کالیبراسیون رسم شود و از روی آن غلظت نمونه‌های مجهول به دست آید.

### نمونه‌برداری و کنترل آلودگی هوا در منبع

- 1- کنترل آلودگی هوا به اطلاعاتی بستگی دارد که از وضعیت دودکش به دست می‌آید
- 2- یک نمونه که نماینده کل باشد و انجام آزمایش‌های صحیح بر روی آن از بسیاری

---

<sup>1</sup> - Atomic Absorbtion Spectrophotometry

<sup>2</sup> - Hollowlamp

<sup>3</sup> - Carbon rod

<sup>4</sup> - Woodriff

مشکلات احتمالی که در پی خواهد آمد، پیشگیری می‌کند.

#### مقدمه

باتوجه به تأکید بر حذف و یا کاهش آلاینده‌ها در منابع، نمونه‌برداری که از صحت و دقت لازم برخوردار باشد بسیار مهم است. صحت داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های بعدی منوط به انجام صحیح نمونه‌برداری است. داده‌های نمونه‌برداری و آزمایش آلاینده‌ها در موارد زیادی کاربرد دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: طراحی تجهیزات کنترل، انتخاب وسایل مورد نیاز برای کنترل، تطابق با قوانین و مقررات استانداردهای انتشار، ارزیابی تجهیزات کنترل، تعیین وضعیت احتراق، محاسبات مدل انتشار و پیش‌بینی محل و مقدار حداکثر آلودگی در پایین‌دست حرک ستون دود. درضمن چون وسایل و روش‌های نمونه‌برداری و آزمایش در تغییر هستند، کارشناسان این رشته باید با مطالعه، اطلاعات خود را به‌روز نگه دارند تا همیشه از مناسب‌ترین روش‌ها استفاده کنند. در اینجا روش‌هایی که بیشتر رایج و اصولی هستند شرح داده خواهد شد.

#### اندازه‌گیری گذر گاز

انتخاب محل نمونه‌برداری و تعداد نمونه در سطح مقطع دودکش یا کانال باید طوری صورت گیرد تا نمونه، نماینده کل باشد. محل نمونه‌برداری باید حدود 10-5 (ترجیحاً 8) برابر قطر کانال یا دودکش از محل هر تغییر در سیستم و در جهت پایین‌دست جریان باشد. برای کانال‌های مستطیل می‌توان از قطر معادل که از تقسیم دو برابر حاصل ضرب طول در عرض بر مجموع طول و عرض به‌دست می‌آید استفاده کرد.

$$2(ab)/(a+b)$$

وقتی مکان نمونه‌برداری مشخص شد باید تمهیدات لازم برای تعداد نمونه در سطح مقطع انجام گیرد. در نمونه‌برداری صحیح چندین نقطه روی دو قطر عمود بر هم باید انتخاب شوند، شاید در بسیاری از موارد نه امکان دستیابی مناسب‌ترین مکان برای ورود به‌داخل کانال فراهم باشد و نه استفاده از دو قطر در سطح مقطع مقدور باشد. به‌هر حال باید سعی کرد تا حد امکان این دستورالعمل انجام گیرد. تعدد نمونه در سطح مقطع، به‌علت گرایان زیاد غلظت و سرعت جریان گاز در داخل دودکش یا کانال است. اغلب حتی غلظت گازهای خنثی مانند CO<sub>2</sub> از تغییرات گذر گاز که ناشی از ناهمگونی بودن سرعت در سطح مقطع است نیز محاسبه جرمی غلظت را مشکل و غیرواقعی می‌کند.

تعداد نقاط نمونه‌برداری روی هر یک از قطرهای دودکش برای فاصله‌های مختلف از محل

تغییر در کانال یا دودکش (شعله قابل رؤیت، تبدیل، زانو، سه راه و غیره) در جدول 2-4 داده شده است.

جدول 2-6- انتخاب تعداد محل‌های نمونه‌برداری

| تعداد قطر در پایین دست | تعداد قطر در بالادست | تعداد نقاط روی هر قطر سطح مقطع |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 8                      | 2                    | 6                              |
| 7/3                    | 1/8                  | 8                              |
| 6/7                    | 1/7                  | 10                             |
| 6                      | 1/5                  | 12                             |
| 5/3                    | 1/3                  | 14                             |
| 4/4                    | 1/2                  | 16                             |
| 4/0                    | 1/0                  | 18                             |
| 3/3                    | 0/8                  | 20                             |
| 2/6                    | 0/6                  | 22                             |
| 2                      | 1/5                  | 24                             |

جدول 3-6 محل نقاط نمونه‌برداری را در قطرهای سطح مقطع برحسب درصد قطر نشان می‌دهد و در شکل 16-6 در یک مقطع دایره محل نقاط نمونه‌برداری برحسب ضریبی از شعاع داده شده است.

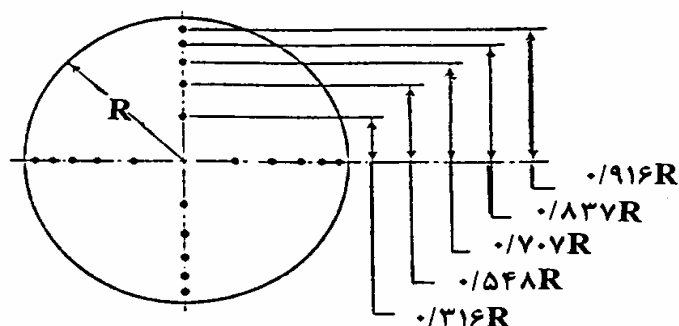
جدول 3-6- محل نقاط نمونه برداری روی قطر ( تعداد نقاط روی یک قطر )

| شماره نقطه<br>نمونه برداری روی<br>یک قطر | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   |
|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                                        | 4/4  | 3/3  | 4/2  | 2/1  | 1/8  | 1/6  | 1/4  | 1/3  | 1/1  | 1/1  |
| 2                                        | 14/7 | 10/5 | 8/2  | 6/7  | 5/7  | 4/6  | 4/4  | 3/9  | 3/5  | 3/2  |
| 3                                        | 29/5 | 19/4 | 14/6 | 11/8 | 9/9  | 8/5  | 7/5  | 6/7  | 6/0  | 5/5  |
| 4                                        | 70/5 | 32/3 | 22/6 | 17/7 | 14/6 | 12/5 | 10/9 | 9/7  | 8/7  | 7/9  |
| 5                                        | 85/3 | 67/7 | 34/2 | 25/0 | 20/1 | 16/9 | 14/6 | 12/9 | 11/6 | 10/5 |
| 6                                        | 95/6 | 80/6 | 65/8 | 35/5 | 26/9 | 22/0 | 18/8 | 16/5 | 14/6 | 13/2 |
| 7                                        |      | 89/5 | 77/4 | 64/5 | 36/6 | 28/3 | 23/6 | 20/4 | 18/0 | 16/1 |
| 8                                        |      | 95/8 | 85/4 | 75/0 | 63/4 | 37/5 | 29/6 | 25/0 | 21/8 | 19/4 |
| 9                                        |      |      | 91/8 | 82/3 | 73/1 | 62/5 | 38/2 | 30/6 | 26/1 | 23/0 |
| 10                                       |      |      | 97/5 | 88/2 | 79/9 | 71/7 | 61/8 | 38/8 | 31/5 | 27/2 |
| 11                                       |      |      |      | 93/3 | 85/4 | 78/0 | 70/4 | 61/2 | 39/3 | 32/3 |
| 12                                       |      |      |      | 97/9 | 90/1 | 83/1 | 76/4 | 69/4 | 60/7 | 39/8 |
| 13                                       |      |      |      |      | 94/3 | 87/5 | 81/2 | 75/0 | 68/5 | 60/2 |
| 14                                       |      |      |      |      | 98/2 | 91/5 | 85/4 | 79/6 | 73/9 | 67/7 |
| 15                                       |      |      |      |      |      | 95/1 | 89/1 | 83/5 | 78/2 | 72/8 |
| 16                                       |      |      |      |      |      | 98/4 | 92/5 | 87/1 | 82/0 | 77/0 |
| 17                                       |      |      |      |      |      |      | 95/6 | 90/3 | 85/4 | 80/6 |
| 18                                       |      |      |      |      |      |      | 98/6 | 93/3 | 88/4 | 83/9 |
| 19                                       |      |      |      |      |      |      |      | 96/1 | 91/3 | 86/8 |
| 20                                       |      |      |      |      |      |      |      | 98/7 | 94/0 | 89/5 |
| 21                                       |      |      |      |      |      |      |      |      | 96/5 | 92/1 |
| 22                                       |      |      |      |      |      |      |      |      | 98/9 | 94/5 |
| 23                                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 96/8 |
| 24                                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 98/9 |

ملاحظات: اعداد متن جدول درصد قطر دودکش از دیوار داخلی تا نقطه نمونه برداری است.

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |

**دودکش با مقطع مستطیل  
(سنجش در مرکز ۹ واحد مساوی)**



**دودکش گرد  
(۱۰ نقطه فرعی)**

شکل 6-16: نقاط نمونه برداری و تعیین سرعت در قطر سیستم دایره ای و یا در مقطع مستطیل

برای محاسبه نقطه نمونه برداری در روی قطر دودکش می توان از رابطه 6-10 استفاده کرد:

$$r_n = D_s \sqrt{\frac{2n-1}{4N}} \quad 6-10$$

$D_s$  = قطر داخلی دودکش

$r_n$  = فاصله از مرکز دودکش تا نقطه n ام

$n$  = نقطه n ام از مرکز دودکش

$N$  = تعداد نقاط روی قطر

برای مثال در مورد نقطه اول از مرکز  $n=1$  و تعداد نقاط روی قطر 10 است.

$$r_n = D_s \sqrt{\frac{(2 \times 1) - 1}{4 \times 10}} = 0.158 D_s$$

$$0.158 \times 2 = 0.316 R$$

و این فاصله روی شکل 6-16 نیز مشاهده می‌شود. برای سایر نقاط نیز می‌توان به همین ترتیب محاسبه کرد.

### اندازه‌گیری جریان گاز

وقتی نقاط سطح مقطع مشخص شدند، برای تعیین جریان گاز، اندازه‌گیری سرعت جریان در داخل دودکش باید صورت گیرد. اندازه‌گیری سرعت گاز معمولاً به کمک لوله پیتو که فشار سرعت را تعیین می‌کند مقدور است. معادله 6-11 رابطه بین سرعت حرکت گاز و فشار سرعت گاز را برای شرایط استاندارد نشان می‌دهد:

$$V = 4005 \sqrt{V_p} \quad 6-11$$

که در آن اگر  $V_p$  برحسب اینچ آب باشد،  $V$  سرعت برحسب فوت در ثانیه به دست می‌آید. در دستگاه‌های جدید به‌طور مستقیم فشار سرعت و سرعت داده می‌شود.

پس از تعیین سرعت با استفاده از فرمول استمرار  $Q=AV$  گذر گاز در سطح مقطع دودکش محاسبه می‌شود. دو نوع لوله پیتو بکار می‌رود یکی نوع  $S$  و دیگری پیتوی استاندارد. در شکل 6-20 هر دو نوع لوله دیده می‌شود. نوع  $S$  برای سنجش راحت‌تر وارد سوراخ ایجاد شده می‌شود و نیاز به سوراخ بزرگ ندارد و همچنین چون دهانه‌های آن گشاد است به وسیله ذرات گرد و غبار یا سایر مواد موجود در گاز بسته نمی‌شود، ولی چون به‌طور مستقیم فشار سرعت را تعیین نمی‌کند نیاز به یک ضریب تصحیح دارد. از طرف دیگر پیتوی استاندارد به‌طور مستقیم فشار سرعت را تعیین می‌کند.

### راهبرد نمونه‌برداری

منابع آلودگی از نظر تداوم به انواع چرخه‌ای و مداوم و از نظر جریان گاز به یکنواخت و متغیر در سطح مقطع تقسیم شده‌اند. بنابراین می‌توان آنها را به چهار گروه تقسیم کرد (جدول 4-4).

**گروه اول:** در این گروه در طول زمان، جریان تغییر نمی‌کند و انتشار آلودگی تقریباً در تمام نقاط سطح مقطع یکنواخت است. در این حالت فقط یک‌بار اندازه‌گیری غلظت کافی است.

**گروه دوم:** در این گروه تولید آلودگی یکنواخت است، ولی به علت شکل هندسی کانال‌ها یا دودکش و سایر عوامل مؤثر جریان در سطح مقطع نمونه‌گیری یکنواخت نیست. در این صورت نقاط مختلفی در طول قطر باید نمونه‌گیری شوند. ترجیحاً نقاط نمونه‌برداری همان نقاطی‌اند که سرعت در آنها تعیین شده است.

**گروه سوم:** در این حالت تولید دوره‌ای است، ولی در هر دوره حرکت جریان و غلظت

آلودگی در سطح مقطع موردنظر یکنواخت است. چون فرایند با زمان تغییر می‌کند یک نمونه با زمان طولانی کافی است.

**گروه چهارم:** این مورد زمانی است که هم جریان و هم غلظت در مسیر حرکت و در سطح مقطع موردنظر، غیریکنواخت است که در نتیجه پیچیده‌ترین نوع منبع به‌شمار می‌آید. در این حالت اگر فرایند دوره‌ای قابل سنجش وجود داشته باشد، به‌طور هم‌زمان یک نمونه به‌عنوان رفرانس و نمونه‌های دیگر از نقاط تعیین شده در سطح مقطع برداشت می‌شود. نتیجه باتوجه به غلظت‌های نقطه رفرانس به‌عنوان معیار تغییرات زمان تصحیح می‌شود.

جدول 4-6- ویژگی‌های منبع

| وضعیت متغیر سرعت در سطح مقطع | زمان    | گروه‌بندی |
|------------------------------|---------|-----------|
| یکنواخت                      | منظم    | 1         |
| غیریکنواخت                   | منظم    | 2         |
| یکنواخت                      | غیرمنظم | 3         |
| غیریکنواخت                   | غیرمنظم | 4         |

#### نمونه‌برداری گازها در منبع

وقتی نمونه‌برداری گازها لازم باشد تغییرات دما در طول قطر سطح مقطع باید بررسی شود. اگر دما نسبتاً ثابت باشد یک نمونه کافی است. اگر تغییرات دما بیش از 5 درصد باشد نمونه‌های متعدد بنابه آنچه پیشتر بحث شده باید برداشت شود. در نمونه‌برداری گازها، باید پیشتر ذرات توسط یک صافی مناسب از جریان گاز نمونه جدا شوند. گاز آلاینده را همان‌طور که در مورد هوای آزاد گفته شد می‌توان در جاذب مخصوص آن جمع‌آوری و برای آزمایش‌های بعدی به آزمایشگاه ارسال کرد.

روش قرائت مستقیم یا روش نمونه‌برداری استخراجی<sup>1</sup> در بیشتر آنالیزورهای گاز استفاده می‌شود. محلی مناسب همان‌طور که پیش از این شرح داده شده برای نمونه‌برداری انتخاب و نمونه از گاز بوسیله پروب نمونه‌برداری برداشت می‌شود. این نمونه پس از عبور از واحدی که شرایط آن را از نظر دما، رطوبت، نقطه شبنم، حذف ذرات و غیره، مناسب سنجش می‌کند وارد آنالیزور می‌شود. شکل 17-6 به‌طور شماتیک نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> - Extractive Sampling

مزایای نمونه بردار استخراجی عبارتند از:

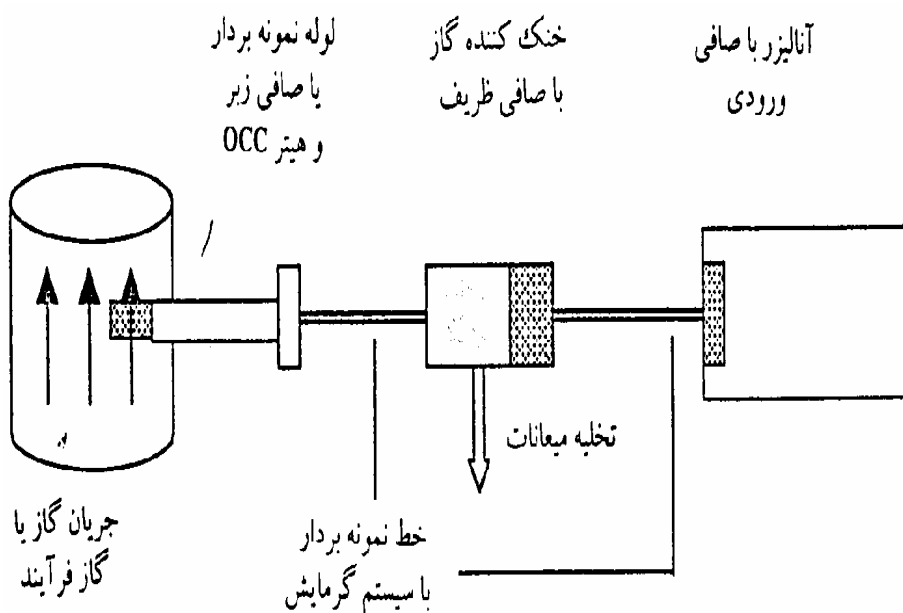
- آنالیزور خارج از محل فرایند قرار گرفته و در برابر وضعیت نامساعد محیطی حفاظت می شود.

- گاز نمونه پس از عبور از واحد آماده سازی در وضعیت تعریف شده برای آنالیز در می آید.

- با یک واحد نمونه بردار امکان آنالیز چندین شاخص فیزیکی و ترکیب شیمیایی وجود دارد.

- پروب نمونه برداری در مسیر حرکت گاز دودکش یا کانال قرار می گیرد و دارای اشکال مختلف و همچنین مقاومت های مختلف در برابر حرارت است (تا 1200 درجه سلسیوس و حتی بیشتر) معمولاً در نوک پروب یک فیلتر سرامیکی تعبیه شده است که از ورود ذرات درشت و در نتیجه گرفتگی آن جلوگیری می کند. استخراج نمونه به وسیله یک پمپ که در آنالیزور به کار رفته انجام می گیرد.

- وجود سردکننده گاز که دمای گاز را تا 4 درجه سلسیوس کاهش می دهد سبب حذف رطوبت گاز می شود. وجود رطوبت می تواند موجب اختلال در آنالیز شده و همچنین به علت وجود گازهای اسیدی به دستگاه خسارت وارد کند.



شکل 17-6: تصویر شماتیک عمل نمونه برداری



## تجزیه‌گر (آنالیزور)

قلب تجزیه‌گر، حسگر مخصوص نوع گاز مورد آزمایش است. عملکرد حسگر می‌تواند فیزیکی و یا براساس اصول فیزیکوشیمیایی مانند جذب عمقی، جذب سطحی، انتقال نشانه‌ها، یونیزه کردن، هدایت‌سنجی، مگنتیزه کردن و غیره باشد. حسگر با خواص نمونه واکنش نشان می‌دهد (افزایش جذب نور - کاهش هدایت الکتریکی) که سبب ارسال نشانه‌هایی می‌شود که متناسب با غلظت آلاینده‌اند.

آنالیزورها، باتوجه به نوع طراحی، به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- آنالیزورهای قابل حمل که می‌توان آنها را حمل و در جاهای لازم، برای مدت معینی نصب کرد.

- آنالیزورهای درمدار<sup>1</sup> که در محل مشخص به‌طور ثابت نصب می‌شوند و به‌طور مستقیم وضعیت فرایند را نشان می‌دهند.

- استخراجی که همان‌طور که پیش از این اشاره شد در محل محفوظ نگهداری می‌شوند و نمونه برای سنجش آلودگی به‌وسیلهٔ پروب به حسگرها انتقال می‌یابد.

## کاربرد آنالیزورها

کنترل احتراق

کنترل فرایند

کنترل انتشار و سایر مواردی که در سنجش‌های قبلی به آن اشاره شده است.

## تعریف حسگر

حسگر وسیله‌ای است که کمیت‌های فیزیکی و یا تغییرات آنها مثل حرارت، فشار، غلظت گاز و غیره را اندازه‌گیری می‌کند. یک حسگر شامل عنصر اصلی حساس و انتقال‌دهندهٔ علائم است. المان حسگر باید دارای خواصی چون هدایت، جذب نور و غیره باشد و با مادهٔ مورد سنجش تغییر کند. این واکنش تبدیل به‌علائمی می‌شود که آنچه را موردنظر است می‌سنجد.

حسگرها برای اندازه‌گیری دما، فشار، جریان گاز و غلظت و ویژگی مواد به‌کار می‌روند. انواع

حسگرها عبارتند از:

الکتروکاتالیتیک

---

<sup>1</sup> - In situ

پولاروگرافیک

اپتیک

کالری متریک

فتومتریک

پارامگنتیک

شرکت‌های مختلف، آنالیزورهای دودکش<sup>1</sup> با کارایی‌های متفاوت ساخته‌اند که اساس کار آنها برای گازها بیشتر برپایه حسگرهای الکتروشیمیایی است. حسگرهای الکتروشیمیایی برای سنجش بسیاری از گازها از جمله اکسیژن،  $CO_2$  و  $NO_x$  به کار می‌رود.

هریک از حسگرها برای کار مخصوصی که باید انجام دهند با محلول الکتrolیت ویژه آن پر می‌شوند. دو یا سه الکتروود، بسته به نیاز آن گاز در مدار قرار می‌گیرند و جریان برق برقرار می‌شود. قسمت خارج حسگرها با یک غشای قابل نفوذ برای گاز بسته می‌شود. شکل‌های 6-18 و 19-6 دو نوع از این حسگرها را نشان می‌دهد. عملکرد و طراحی آنها برای نوع گازی که باید سنجش شود فرق می‌کند. دو مثال زیر تا حدودی طرز کار حسگرها را نشان می‌دهد.

#### مثال 1- حسگر برای سنجش اکسیژن (2 الکتروود)

مولکول اکسیژن موجود در گاز از غشای تراوا عبور می‌کند و به کاتد حسگر می‌رسد. به علت مواد تشکیل‌دهنده کاتدیک واکنشی شیمیایی صورت می‌گیرد که نتیجه این واکنش ترخیص یون  $OH^-$  از کاتد است. یون آزاد شده از داخل الکتروود مایع به طرف آند حسگر می‌رود و با این حرکت جریانی الکتریکی در مدار خارجی به وجود می‌آید که متناسب با غلظت اکسیژن است. این جریان موجب کاهش ولتاژ در رزیستور  $R$  می‌شود که قابل اندازه‌گیری است. حسگرهای اکسیژن سه سال کار می‌کنند.

#### مثال 2- حسگر $CO$ ، $SO_2$ و $NO_x$ (حسگر 3 الکتروودی)

برای اندازه‌گیری این گازها، حسگر سه الکتروودی به کار می‌رود. عملکرد آن برای  $CO$  شرح داده می‌شود.

در اینجا نیز مولکول مونوکسید کربن از غشای تراوا عبور می‌کند و به الکتروود حساس می‌رسد. این واکنش شیمیایی ایجاد یون  $H^+$  می‌کند که به سوی الکتروود مخالف می‌رود. در الکتروود دوم واکنشی دیگر با اکسیژن هوای تازه صورت می‌گیرد. این واکنش دوم جریانی را در مدار خارجی به وجود می‌آورد که با غلظت مونوکسید کربن متناسب است. الکتروود شاهد برای

---

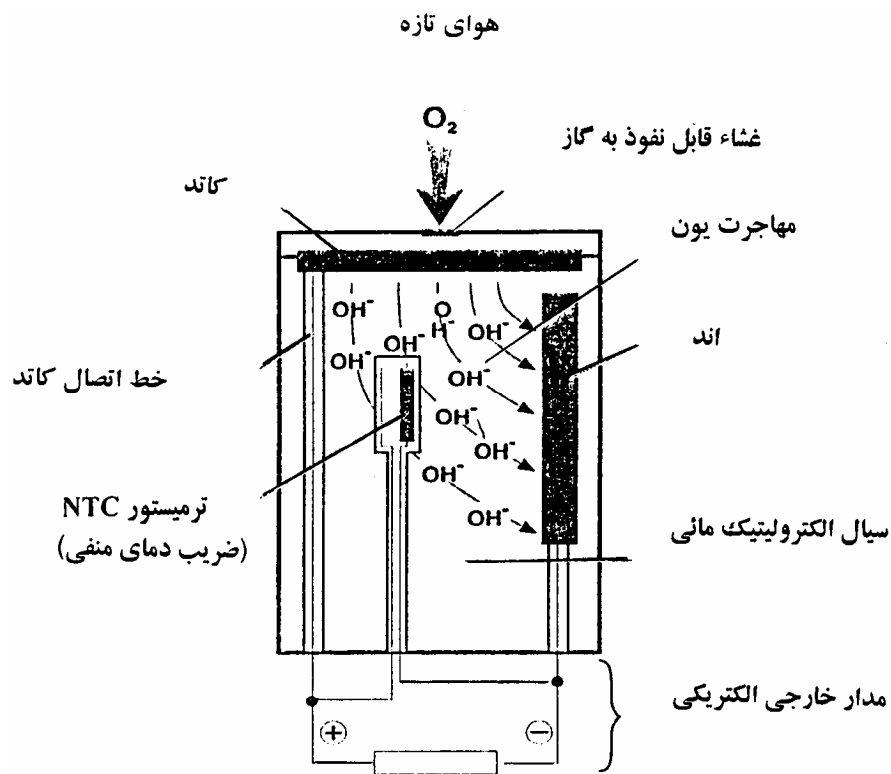
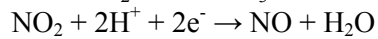
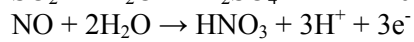
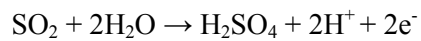
<sup>1</sup> - Stack Analyzer

تثبیت نشانه‌های حسگر به کار می‌رود. این نوع حسگر حدود دو سال کار می‌کند.

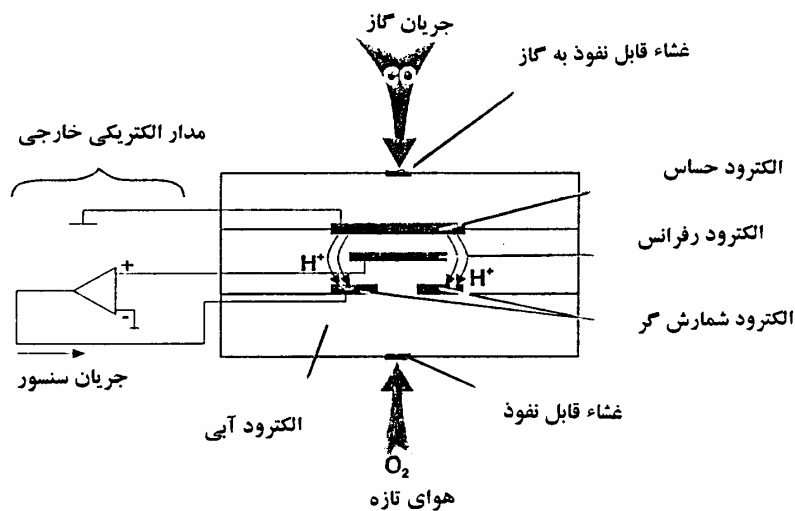
واکنش‌ها به شرح زیر است:



برای  $\text{SO}_2$ ،  $\text{NO}$  و  $\text{NO}_2$  واکنش‌ها به شرح زیر است:



شکل 18-6: حسگر برای سنجش اکسیژن (دو الکترود)



شکل 19-6: سنسور برای سنجش CO (سه الکتروود)  
شکل های 18-6 و 19-6 از کتابچه Testo اقتباس شده اند.

### نمونه برداری ذرات در منبع

در نمونه برداری از ذرات نسبت به نمونه برداری از گازها به جزییات بیشتری درباره سرعت نمونه برداری نیازمندیم. براساس دلایل موجود، تنوع و گوناگونی وسایلی که برای نمونه برداری استفاده می شوند بسیار زیاد است. برای مثال وقتی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی هواویزها اندازه گیری می شوند، ممکن است وسایل متعدد یا حتی چندین روش نمونه برداری لازم باشد. از طرف دیگر، اگر بار جرمی به تنهایی اندازه گیری می شود، وسایل کمتری مورد نیاز خواهد بود. همان گونه که در شکل 21-6 می توان دید، نمونه برداری معرف، زمانی است که سرعت جریان گاز دودکش که به داخل نازل پروب وارد می شود، برابر با سرعت جریان عبوری از نازل باشد. اگر سرعت نمونه برداری خیلی زیاد باشد (نمونه برداری فوق ایزوکینتیک) غلظت کمتری از ذرات جمع آوری خواهند شد (به علت این که اینرسی ذرات بزرگتر، مانع از این می شود که همراه با خطوط جریان به داخل نازل وارد شوند). به طور متناوب در نمونه برداری زیر ایزوکینتیک<sup>1</sup>، جایی که سرعت نمونه برداری کمتر از جریان گاز جاری است، نمونه های گاز شامل تجمعی از ذرات بزرگتر از حد واقعی است (به علت آنکه ذرات هواویز سنگین تر، وارد نازل می شوند، اما ذرات سبک منحرف می گردند).

<sup>1</sup> - Sub Isokineties

مشخص شده که تأثیر اینرسی، زمانی که قطر ذرات بیش از 3 میکرون باشد، بارزتر می‌شود. بنابراین اگر بخش زیادی از این ذرات از این اندازه تجاوز کنند، نمونه‌برداری ایزوکینتیک لازم می‌شود.

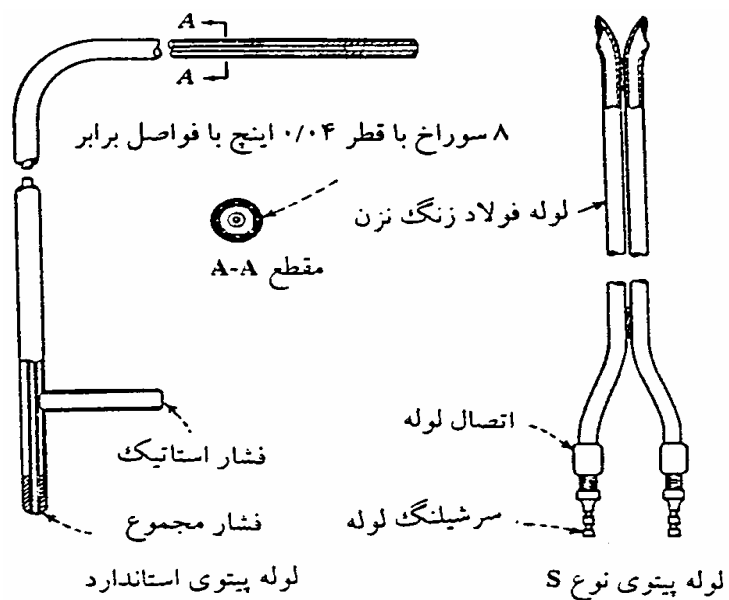
آژانس حفاظت محیط زیست<sup>1</sup> (EPA) معتقد است نمونه‌هایی که بیش از حدود 20 درصد از ایزوکینتیک باشند - یعنی (سرعت در داخل دودکش)/(سرعت در نازل) بین 0/82 و 1/2 نباشد - باید کنار گذاشته شوند و نمونه‌برداری تکرار شود. آنها می‌گویند حتی نمونه‌های موجود در این محدوده نیز باید با معادلات پیچیده تصحیح شوند. در شکل ساده شده، این معادله به صورت 6-12 قابل بیان است:

$$6-12 \quad \frac{\text{سرعت در نازل}}{\text{سرعت در دودکش}} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\text{غلظت واقعی}}{\text{غلظت نمونه‌برداری شده}} \right)$$

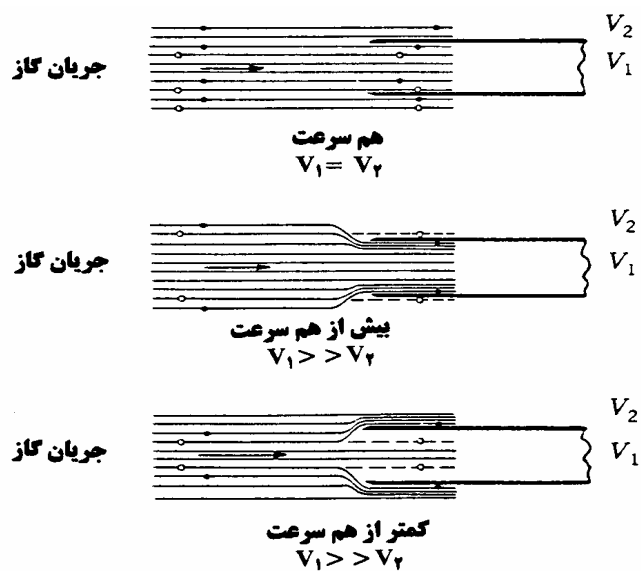
به‌طور طبیعی فاکتورهای تصحیحی مانند این، براساس فرضیه توزیع " نرمال " اندازه ذرات هستند. اگر یک منبع شامل توزیعی غیرمعمول باشد، فاکتورهای تصحیح باید کنار گذاشته شوند. در بسیاری از موارد، نمونه‌برداری ایزوکینتیک (با یا بدون فاکتور تصحیح) بدون داده‌های اندازه ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدین صورت حالت‌های ایزوکینتیک نیازمند به‌دست آوردن نمونه‌های معتبر برای ارزیابی‌های توزیع اندازه ذرات است.

---

<sup>1</sup> - Environmental Protection Agency

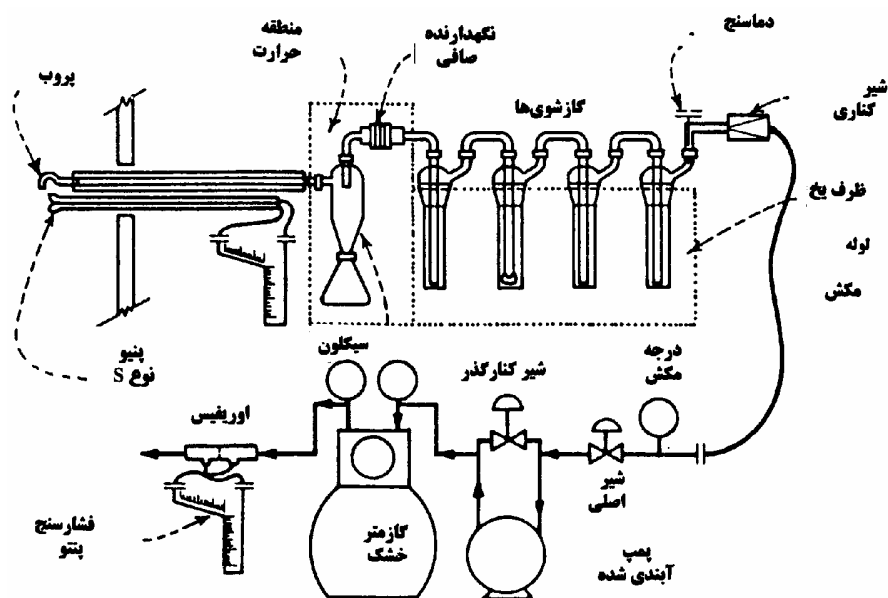


شکل 20-6: انواع لوله‌های پیتو



شکل 21-6: اثر سرعت نمونه برداری بر ذرات

اقتباس از کتاب مجله مهندسی شیمی انتشار مهندسی آلودگی هوای صنعتی



ترتیب نمونه برداری ذرات (EPA)

شکل 22-6: نمونه برداری آلاینده‌ها از دودکش

اقتباس از کتاب مجله مهندسی شیمی انتشار مهندسی آلودگی هوای صنعتی

## کالیبره کردن

### کلیات

نمونه برداری هوا برای تعیین غلظت آلاینده‌های موجود در آن است و چون غلظت، مقداری از آلاینده است که در واحد حجم هوا وجود دارد، بنابراین تعیین حجم هوای نمونه برای محاسبات بعدی و بیان غلظت آلودگی یا آلودگی‌های موردنظر مهم است. شایان یادآوری است که در بعضی موارد شاید حجم هوای نمونه مهم نباشد. برای مثال در آشکارساز بخار جیوه که در آن اتم‌های جیوه، اشعه فرابنفش را جذب و از شدت آن می‌کاهند، غلظت جیوه متناسب با کاهش شدت اشعه تابیده شده است. از این رو غلظت جیوه در این دستگاه به‌طور مستقیم تعیین می‌شود.

در بیشتر موارد آلاینده یا آلاینده‌ها از جریان گاز جدا می‌شوند تا در مراحل بعدی، اعم از قرائت مستقیم یا غیرمستقیم تعیین مقدار شوند و یا آنکه به‌صورت ترکیب دیگری درآیند تا با

اندازه‌گیری ماده جدید غلظت آلاینده محاسبه شود. در این‌گونه موارد باید گذر هوا و مدت نمونه‌برداری برای تعیین حجم هوا و محاسبه میانگین غلظت در مدت نمونه‌گیری محاسبه شود. در اینجا برای تعیین حجم دقیق هوای نمونه باید وسیله سنجش گذر هوا کالیبره شده باشد. تجهیزات قرائت مستقیم خود دستگاه نیز باید کالیبره شود. یادآوری می‌شود که باید برای کالیبره کردن‌های بعدی و دوره‌ای در فواصل زمانی معین برنامه کالیبره کردن تنظیم شود، زیرا گرد و غبار، سایش، خوردگی و غیره در وسایل سنجش هوا و یا تغییرات پیش‌آمده در حسگرها و آشکارسازها در قسمت تجزیه شیمیایی یا فیزیکی کالیبره کردن‌های مکرر را ضروری می‌سازد.

## روش‌های کالیبره کردن

### حجم هوای نمونه

اگر آلاینده مورد نظر به‌طور کمی از هوای نمونه جدا و در جمع‌آورنده باقی بماند و در تمام مدت نمونه‌برداری این فرایند صورت گیرد و همچنین جریان هوا یکنواخت باشد، شاخص‌هایی که باید یادداشت شود سرعت جریان و مدت نمونه‌برداری است تا به‌این ترتیب حجم نمونه مشخص شود. در این مورد دستگاه گازسنج باید به‌روشی که بعداً شرح داده می‌شود کالیبره شود تا حجم صحیح با دقت لازم به‌دست آید. در بعضی از روش‌های قرائت مستقیم، جواب به‌سرعت جریان بستگی دارد و مجموع حجم نمونه مطرح نیست.

بعضی از گازسنج‌ها کل حجم نمونه را نشان می‌دهند. این وسایل اگر دقیق باشند به‌سرعت‌سنج‌ها برتری دارند، زیرا اگر در مدت نمونه‌برداری جریان برق قطع شود و نمونه‌برداری انجام نگیرد گازسنج نیز عددی ثبت نخواهد کرد.

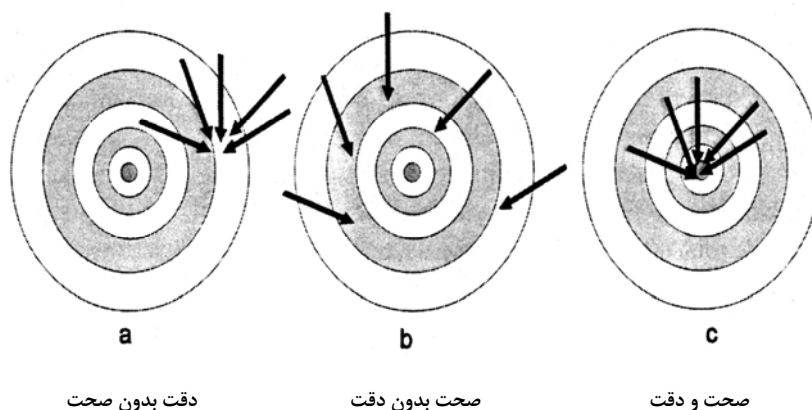
گازسنج‌ها به‌سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از 1- تعیین‌کننده حجم کل نمونه 2- سرعت‌سنج هوا 3- سنجش گذر هوا. دستگاه‌های حجم‌سنج و سنجش گذر هوا مانند گازمترتر و روتامتر، کل حجم نمونه را نشان می‌دهند که البته در مورد دومی زمان نمونه‌برداری باید دانسته شود. در حالی که سرعت‌سنج مثل لوله پیتو و یا سرعت‌سنج پره‌ای و حرارتی سرعت حرکت را در نقطه‌ای خاص در سطح مقطع اندازه می‌گیرد. اگر الگوی جریان در کل سطح مقطع یکنواخت باشد به‌کمک اندازه سطح مقطع، گذر هوا محاسبه می‌شود و در غیر این‌صورت همان‌طور که در بخش کار با پیتو گفته شده است باید نقاطی را در سطح مقطع برای میانگین سرعت جریان انتخاب کرد و در آنها اندازه‌گیری را انجام داد. فرایند کالیبره کردن معمولاً شامل مقایسه وسیله مورد استفاده با یک گازسنج مأخذ است.



در بسیاری از گازسنج‌هایی که به‌عنوان مأخذ در آزمایشگاه استفاده می‌شوند مثل گازمترتر خطا وجود دارد که خود قبل از کاربرد باید با وسایل دقیق کالیبره شود و ضریب خطای آنها تعیین و در محاسبه منظور گردد.

### خطای نمونه‌برداری

اختلاف بین غلظت آلودگی هوا که براساس حجم نمونه و آزمایش‌های شیمیایی آن گزارش می‌شود، و با غلظت واقعی آن آلاینده در زمان و مکان معین معرف خطای اندازه‌گیری است. خطا معمولاً دارای یک منبع نیست و شامل مقادیر کوچک در جریان نمونه‌برداری و آزمایش است. برای کاهش خطا باید به‌تمام اجزای فرایند نمونه‌برداری توجه شود و به‌آن قسمت که احتمال خطای بزرگ‌تر می‌رود توجه بیشتری معطوف گردد. کاهش خطا از 10 درصد به 1 درصد معمولاً مقدور نیست و برای اندازه‌گیری حجم نمونه ممکن است تا  $\pm 15$  درصد خطا وجود داشته باشد. خطاها به‌دو گروه سیستماتیک و راندوم تقسیم می‌شوند. خطای سیستماتیک با تکرار همان آزمایش تکرار می‌شود، زیرا علت آن کالیبره نبودن وسایل، ناخالصی معرف‌ها و مواد مصرفی در آزمایشگاه و حتی کهنه یا آلوده بودن مواد شیمیایی است. خطای راندوم بیشتر به‌دقت انسان بستگی دارد که ممکن است در اثر بی‌دقتی در قرائت درجات، لرزش دست هنگام جابه‌جایی مواد، تمیز نبودن وسایل و شست‌وشوی نادرست، پیش آید. به‌هرحال نمونه‌برداری و آزمایش باید هر دو عامل صحت و دقت را داشته باشد. در شکل 23-6 که در آن شلیک به‌یک هدف نشان داده شده است مفهوم دقت و صحت به‌خوبی دیده می‌شود.



شکل 23-6: نمایش صحت و دقت

باتوجه به آنچه گفته شد باید به نکات زیر که هرکدام ممکن است منشأ خطا باشند توجه کرد:

- الف- میزان هواگذر و حجم نمونه؛
- ب- بهره‌وری جمع‌آوری؛
- ج- پایداری نمونه در مدت نگهداری تا زمان آزمایش؛
- د- بهره‌وری بازیافت آلاینده از نمونه جمع‌آوری شده؛
- ه- وجود مداخله‌کننده‌ها؛
- و- اثر همزمان آلاینده‌های دیگر بر آلاینده‌های مورد نظر در جریان نمونه‌برداری.

### خطای تجمعی

بیشترین خطای تجمعی احتمالی ( $E_c$ ) را می‌توان از رابطه 6-13 محاسبه کرد:

$$E_c = [E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots + E_n^2]^{1/2} \quad 6-13$$

برای مثال اگر دقت اندازه‌گیری هواگذر، مدت نمونه‌برداری، بازیافت و آزمایش به ترتیب  $\pm 15\%$ ،  $2\%$ ،  $10\%$  و  $10\%$  درصد باشد و خطای مشخص دیگری وجود نداشته باشد، خواهیم داشت:

$$E_c = [15^2 + 2^2 + 10^2 + 10^2]^{1/2} = (429)^{1/2} = 20.6\%$$

باید به یاد داشت که این برآوردی از انحراف اندازه‌گیری در زمان و مکان معین از اندازه واقعی است. برای برآورد میانگین خطا باید سایر عوامل عدم اطمینانی که به علت تغییرات مختلف در غلظت آلودگی بوجود می‌آید، مانند عوامل جوی و تغییر در فرایند عمل کرد صنعت موردتوجه قرار گیرد.

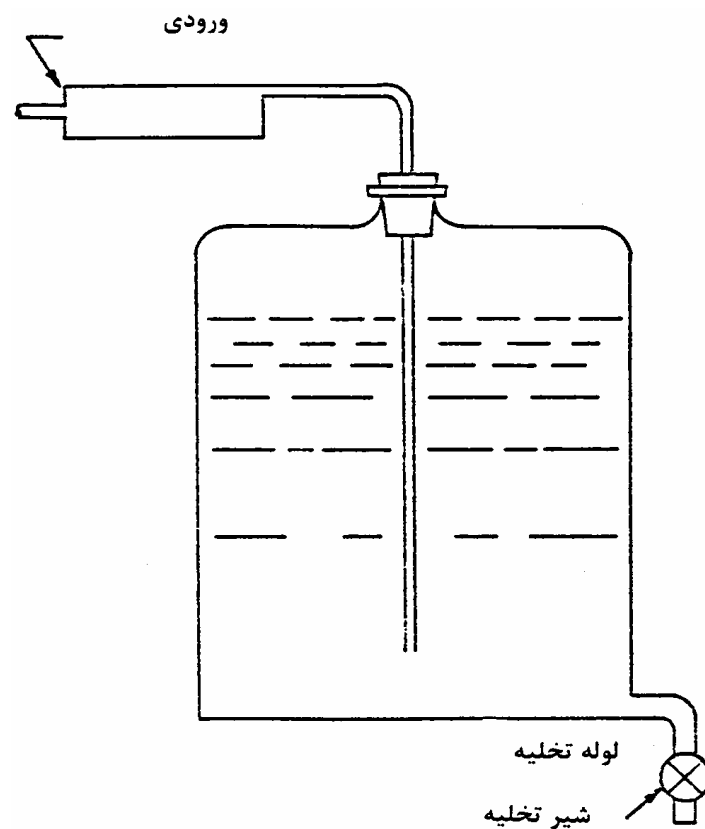
### وسایل و تجهیزات اندازه‌گیری و کالیبره کردن حجم نمونه

در این بخش در مورد فنون و وسایل مختلف که در اندازه‌گیری حجم نمونه و کالیبره کردن وسایل اندازه‌گیری در آزمایشگاه یا میدان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بحث می‌شود. بعضی وسایل استاندارد اولیه‌اند، درحالی‌که بعضی دیگر استاندارد ثانویه‌اند. استاندارد اولیه براساس سنجش مستقیم فیزیکی ابعاد یک ظرف است و لوازم استاندارد ثانویه، شامل وسایل مأخذ و یا سنجش‌اند که به وسیله لوازم استاندارد اولیه کالیبره شده‌اند و می‌توانند دقت لازم را در طول کار حفظ کنند.

## وسایل اندازه‌گیری حجم

### 1- جابه‌جایی آب

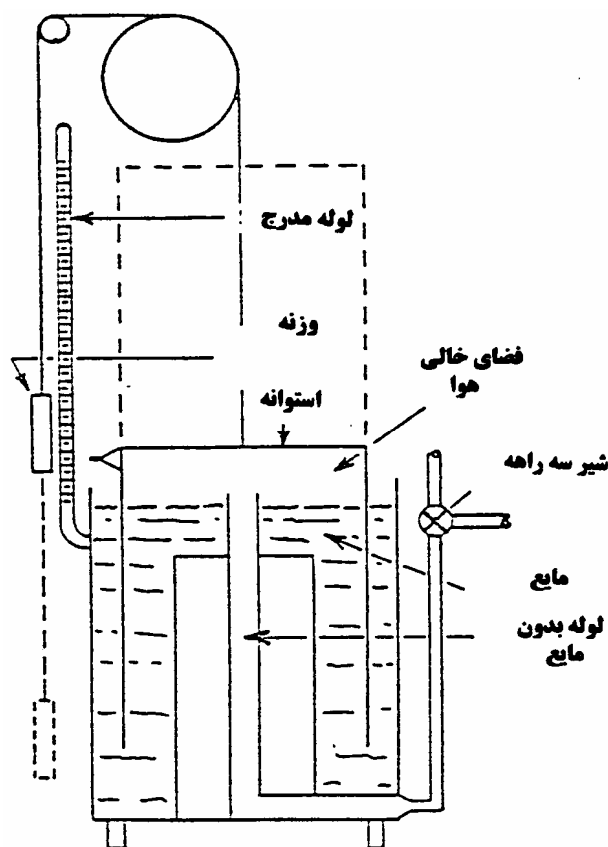
شکل 24-6 تصویر شماتیک بطری ماریوتی را نشان می‌دهد. وقتی شیر زیر بطری باز شود، آب درون بطری با وزن خود خارج می‌شود و هوا از درون یک جمع‌آورنده و یا لوله‌ی بطری وارد می‌شود تا جای خالی آن را پر کند. حجم وارد شده به بطری، معادل حجم آب خارج شده است که می‌توان با وسایل دقیق مانند بالن حجمی یا... از راه وزن‌سنجی با ترازوی دقیق آن را تعیین کرد. گنجایش بطری ماریوتی 5 تا 10 لیتر آب است که برای نمونه‌برداری تا این مقادیر و یا کالیبره کردن وسایل استاندارد ثانویه مانند گازمترتر به کار می‌رود.



شکل 24-6: بطری ماریوتی

## 2- اسپیرومتر یا گازمتر

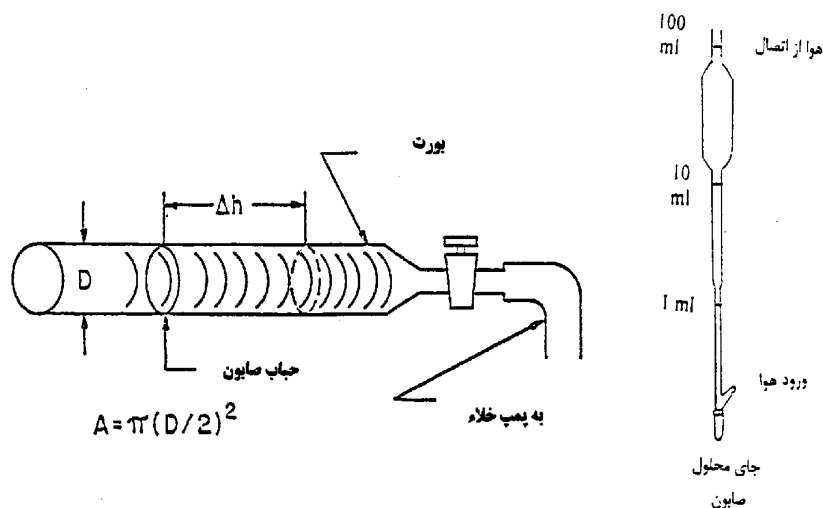
شکل 25-6 یک اسپیرومتر را نشان می‌دهد که شامل یک ظرف استوانه‌ای است و طرف باز آن در محفظه آب قرار گرفته است. در طرف دیگر آن یک وزنه از روی قرقره عبور داده شده و آویزان است و با استوانه‌ای که در آب قرار گرفته، در حالت توازن است و در نتیجه مقاومت آن در برابر هوای ورودی به زیر استوانه و یا خروج از آن ناچیز است. اختلاف این وسیله با بطری ماریوتی در این است که در این وسیله جابه‌جایی هوا اندازه‌گیری می‌شود. وقتی هوا وارد قسمت بالایی استوانه شود شاخصی که در بدنه بالای استوانه قرار گرفته است در برابر یک خط کش مدرج بالا می‌آید و مقدار جابه‌جایی را نشان می‌دهد. به کمک ارتفاع جابه‌جایی و سطح مقطع می‌توان حجم هوا را محاسبه کرد. این وسیله در اندازه‌های مختلف ساخته شده است.



شکل 25-6: نمای شماتیک اسپیرومتر

### 3- پیستون تر بدون اصطکاک

جابه‌جایی هوا در یک پیستون استوانه‌ای تقریباً بدون اصطکاک، به‌عنوان استاندارد اولیه برای کالیبره کردن وسایل اندازه‌گیری هوا به‌کار می‌رود. ساده‌ترین وسیله از این گروه بورت حباب صابون است که در شکل 6-26 نشان داده شده است. اگر یک فیلم از حباب صابون در طرف چپ قرار گیرد و مکش در طرف راست ایجاد گردد، این حباب از چپ به‌راست حرکت می‌کند. حجم هوای جابه‌جا شده توسط حباب صابون در واحد زمان که از روی درجه‌های روی بورت و زمان سنج تعیین می‌شود، گذر هوا را تعیین خواهد کرد. بورت حباب صابون و پیستون آب‌بندی شده توسط جیوه به‌عنوان استاندارد اولیه برای کالیبره کردن به‌کار می‌روند. اوریفیس‌ها به‌ویژه اوریفیس محدودکننده که پس از این شرح داده خواهد شد با بورت حباب صابون به‌سادگی کالیبره می‌شود.

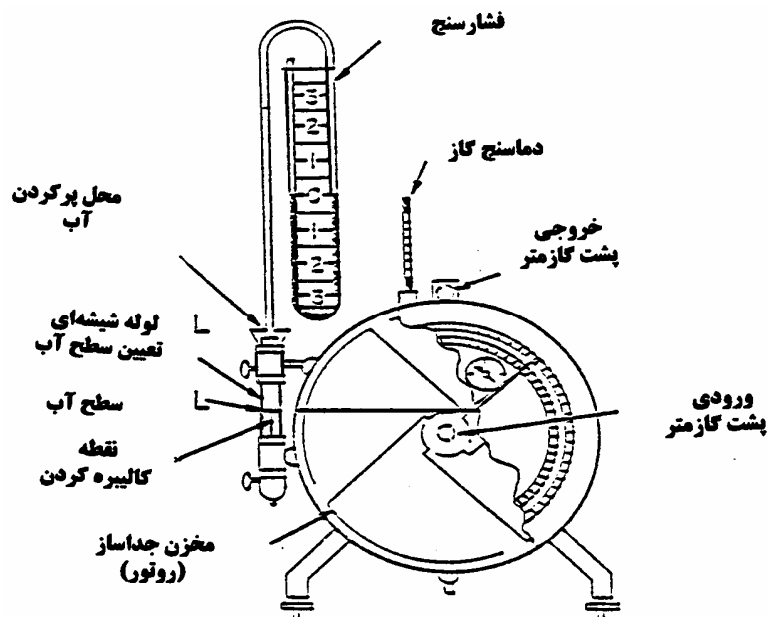


شکل 6-26: دو نوع حباب سنج یا بورت حباب صابون

### 4- گازسنج تر

در شکل 6-27 گازسنج تری که شامل یک محفظه تقسیم شده است، دیده می‌شود. نیمی از محفظه با آب پر شده و نیم دیگر برای هوا، خالی است. در قسمت عقب دستگاه دو سوراخ برای ورود و خروج هوا تعبیه شده است. در داخل این گازمتر بشقابک‌هایی قرار دارند که با ورود هوا به‌داخل محفظه به‌طور دورانی حرکت می‌کنند و این حرکت به‌عقره‌ای که در قسمت جلو و روی یک صفحه مدرج قرار دارد منتقل می‌شود. حرکت این عقره حجم هوای جابه‌جا

شده را نشان می‌دهد. همچنین سه دایره کوچک مدرج دیگر در پایین صفحه مدرج بزرگ قرار گرفته‌اند که می‌توان کل حجم هوا را از روی آنها قرائت کرد.



شکل 27-6: گاز مترتر

یک درجه برای تنظیم سطح آب و یک دماسنج و یک فشارسنج نیز روی دستگاه نصب شده است تا دما و اختلاف فشار نیز یادداشت شود. این وسیله به عنوان استاندارد ثانویه برای کالیبره کردن اوریفیس متر و روتامتر که برای نمونه‌برداری‌های میدانی قابل حمل‌اند به کار برده می‌شود و خود گازمترتر هم با وسایل استاندارد اولیه مثل بورت حباب صابون یا بطری ماریوتی قابل کالیبره کردن است. در این وسیله ممکن است چندین منبع خطا وجود داشته باشد که از آن جمله خوردگی و سایش قطعه‌های متحرک است که به علت استفاده نادرست پیش می‌آید. بلبرینگ‌ها و قطعه‌های مکانیکی متصل به عقربه‌ها و شمارش‌گرهایی که کل حجم هوا را نشان می‌دهند در معرض سایش‌اند. اگر همه این موارد درست به کار برده شود و بیش از هر بار استفاده همان‌طور که گفته شد با لوازم استاندارد اولیه بازبینی صورت گیرد، خطا از حد 1 درصد بیشتر نخواهد بود.

## 5- گازمتر خشک

این وسیله شبیه گازمترهایی است که برای تعیین مصرف گاز خانگی توسط شرکت گاز در خانه‌ها نصب شده است. در این وسیله دو کیسه که توسط یک شیر مکانیکی به هم متصل شده‌اند قرار دارد. هوا یا گاز یک کیسه را پر می‌کند در حالی که کیسه دیگر خالی است. وقتی گردش دورانی کامل شد کیسه پر شده خالی و کیسه دیگر پر می‌شود. بدین ترتیب با دوران داخلی که در اثر حرکت گاز به وجود می‌آید، حجم عبوری توسط شمارش‌گر که در صفحه جلویی قرار دارد برای زمان معین خوانده می‌شود. این وسیله برای حجم و فشار زیاد مناسب و خطای آن هم کمتر است.

## وسایل اندازه‌گیری بده (دبی) حجمی

حجم‌سنج‌هایی که در بالا مورد بحث قرار گرفتند، براساس اصل بقای جرم، به‌ویژه انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر ساخته شده‌اند، درحالی که اساس کار بده سنج‌ها که در این قسمت بررسی می‌شوند، اصل بقای انرژی است، به‌طور دقیق‌تر در آنها نظریهٔ برنولی، یعنی تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی و حرارت ناشی از اصطکاک استفاده شده است. این وسایل دارای یک گلوگاه یا تنگنا در داخل یک لوله‌اند. این گلوگاه سبب افزایش سرعت سیال و افزایش انرژی جنبشی است که لازمهٔ آن کاهش انرژی پتانسیل یا به عبارت دیگر فشار استاتیکی است. بده حجمی را می‌توان از تعیین افت فشار، سطح مقطع گلوگاه، دانسیتهٔ سیال و ضریب تخلیه محاسبه کرد. ضریب تخلیه نسبت بده واقعی به بده نظری است که به علت همگرایی جریان و اثر اصطکاک، سبب اختلاف بین آنها می‌شود. بده سنج‌هایی که براین اصل کار می‌کنند شامل دو گروه‌اند. یک گروه شامل اوریفیس‌متر و ونتوری‌مترهای است که با تغییر افت فشار کار می‌کنند و در آنها سطح مقطع برای عبور سیال ثابت است. گروه دیگر هم می‌توان روتامترها را نام برد که بر اساس تغییر سطح مقطع جریان طراحی شده‌اند و با تغییر سطح مقطع افت فشار ثابت می‌ماند.

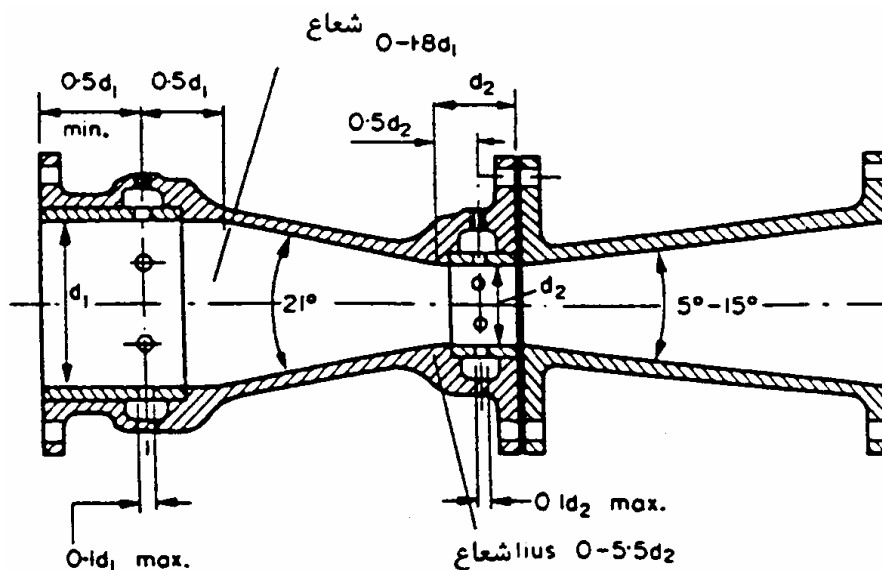
## 1- ونتوری متر

ونتوری متر استاندارد هرشل<sup>1</sup>، شامل دو قطعهٔ مخروطی است که از دهانهٔ باریک به هم متصل شده و گلوگاهی را به وجود آورده است و دهانه‌های گشاد مخروط‌ها به قطعه‌های کوتاه استوانه‌ای متصل شده است. زاویهٔ مخروط در محل اتصال به قطعهٔ کوتاه استوانه‌ای در بالادست  $\alpha_1 = 21 \pm 2$  درجه و زاویهٔ خروجی از گلوگاه، 15 تا  $\alpha_2 = 5$  درجه است. طول گلوگاه برابر قطر

---

<sup>1</sup> - Herschel- type Venturymeter

آن است. دو محل برای نصب فشارسنج در دو طرف گلوگاه در نظر گرفته شده است تا اختلاف فشار بالادست و پایین دست جریان نسبت به گلوگاه اندازه گیری شود. محل اول نصب فشارسنج در بالادست جریان بین 0/25 تا 0/5 برابر قطر لوله از محل اتصال مخروط به طرف ورودی هواست و محل دوم تقریباً در محل گلوگاه ونتوری است. ابعاد و مشخصات قسمت های مختلف یک ونتوری متر در شکل 6-28 آورده شده است.



شکل 6-28: ونتوری متر استاندارد هرشل

معادله عملی برای محاسبه جریان جرمی سیال از ونتوری رابطه 6-14 است:

$$\begin{aligned} \omega = q\rho &= CYA \sqrt{\frac{2g_c(p_1 - p_2)\rho}{1 - \beta^4}} \\ &= KYA \sqrt{2g_c(p_1 - p_2)\rho} \end{aligned} \quad 6-14$$

A = سطح مقطع گلوگاه بر حسب فوت مربع

C = ضریب تخلیه بدون بعد

$g_c$  = ثابت معادل 32/17 (پوند) (فوت) به (پوند نیرو)<sup>2</sup> (ثانیه)

K = در رابطه 6-15 محاسبه می شود.

$$K = C / \sqrt{1 - \beta^4} \quad 6-15$$



$P_1$  و  $P_2$  = به ترتیب فشار بالادست و پایین دست جریان برحسب پوند نیرو به فوت مکعب

$q$  = جریان جرمی در فشار و دمای بالادست، فوت مکعب در ثانیه

$\rho$  = دانسیته در فشار و دمای بالادست جریان، پوند به فوت مکعب

$y$  = ضریب انبساط که از رابطه 6-16 محاسبه می شود

$\beta$  = نسبت قطر گلوگاه به قطر قسمت استوانه ای

ضریب انبساط برای جریان گاز که سبب تغییر دانسیته از  $\rho_1$  و  $\rho_2$  می شود عبارت است از:

$$y = \sqrt{r^2 / k \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( \frac{1-r^{(k-1)/k}}{1-r} \right) \left( \frac{1-\beta^4}{1-\beta^4 r^{2/k}} \right)} \quad 6-16$$

که در آن  $r = \frac{p_2}{p_1}$  و  $k = \frac{C_p}{C_v}$  ضریب ویژه حرارتی،

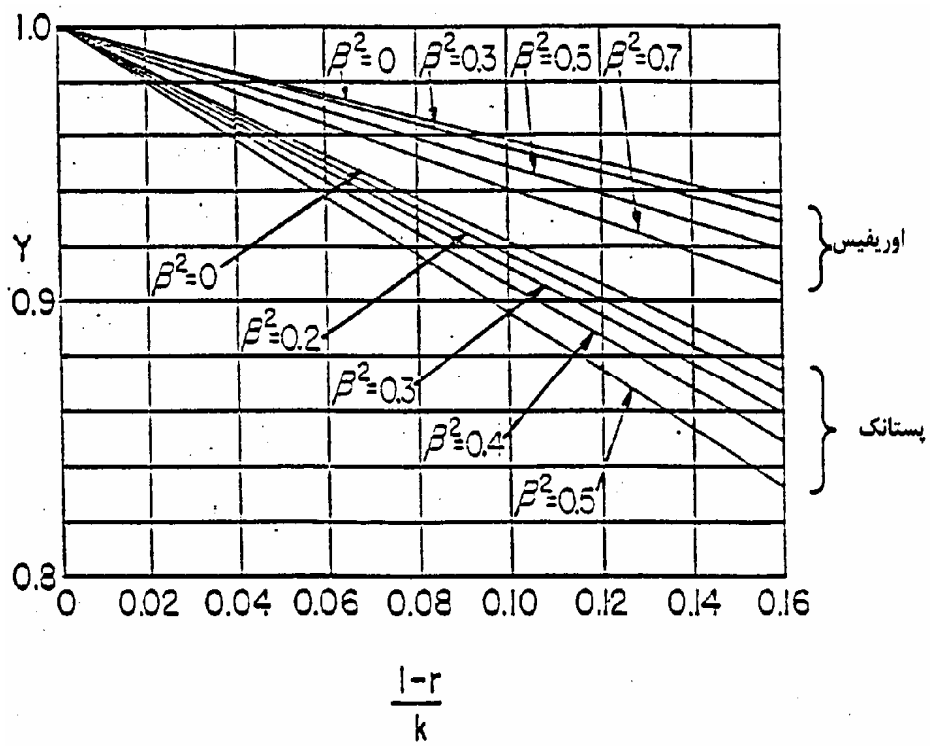
ارزش عددی  $y$  را که از رابطه 6-16 محاسبه می شود، می توان به صورت تابعی از  $r$ ،  $k$  و  $\beta$  از شکل های 6-29 و 6-30 به دست آورد. ضریب تخلیه  $C$  برای ونتوری هرشل به عدد رینولدز و تا حد کمتری به اندازه ونتوری بستگی دارد که با افزایش قطر ونتوری افزایش می یابد. برای عدد رینولدز بیش از 200000 مقدار 0/984 را می توان برای  $C$  به کار برد.

## 2- پستانک جریان<sup>1</sup>

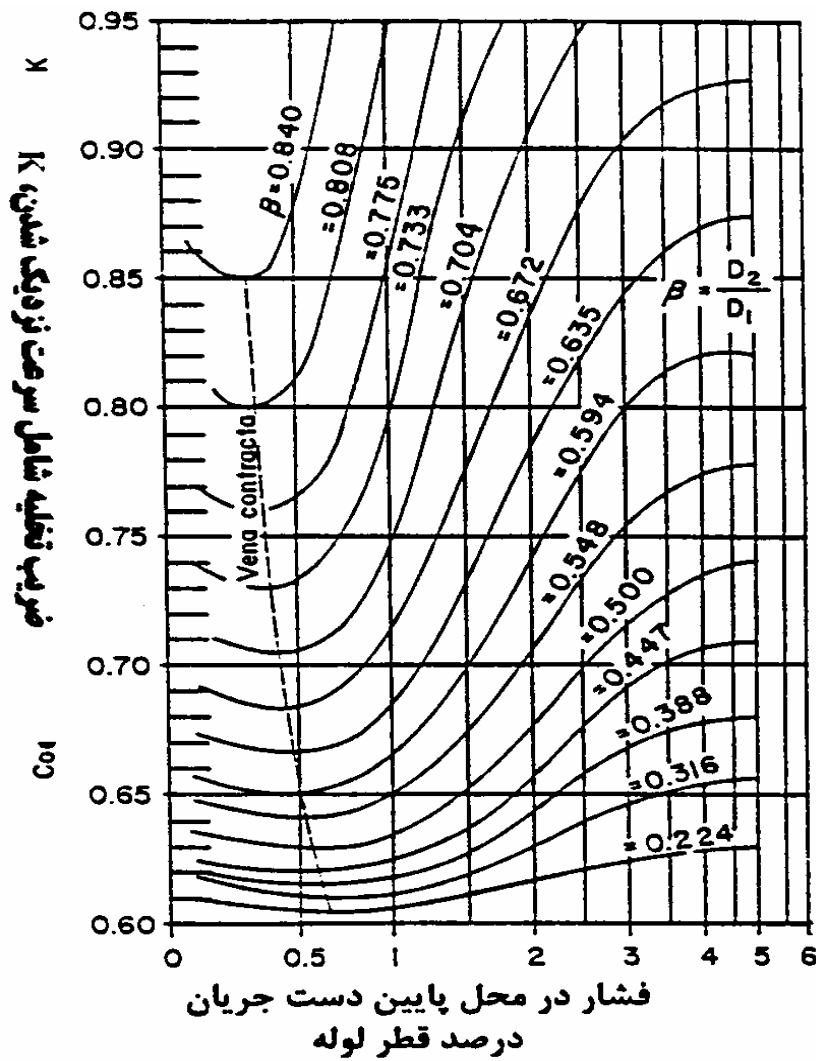
ساده ترین نوع پستانک جریان در شکل 6-31 نشان داده شده است. این وسیله از یک استوانه کوتاه و یک زبانه پیشرفته داخل آن تشکیل شده است. این زبانه بهتر است تخم مرغی باشد ولی نوع مخروطی آن هم وجود دارد. طول قسمت مستقیم گلوگاه به اندازه نصف قطر دهانه پستانک است. دو فشارسنج برای تعیین افت فشار در بالا و پایین دست جریان حرکت گاز نصب می شوند. فشارسنج بالادست به فاصله یک قطر از لوله دهانه پستانک به طرف بالادست نصب می شود و فشارسنج پایین دست به اندازه نیم برابر قطر لوله از دهانه ورودی به طرف پایین دست جریان قرار می گیرد.

---

<sup>1</sup> - Flow nozzle



شکل 29-6: مقادیر ضریب انبساط  $Y$  برای اوریفیس و پستانک



شکل 30-6: ضریب تخلیه برای اوریفیس با سطح مقطع مربع یا دایره و عدد رینولدز بالای 30000

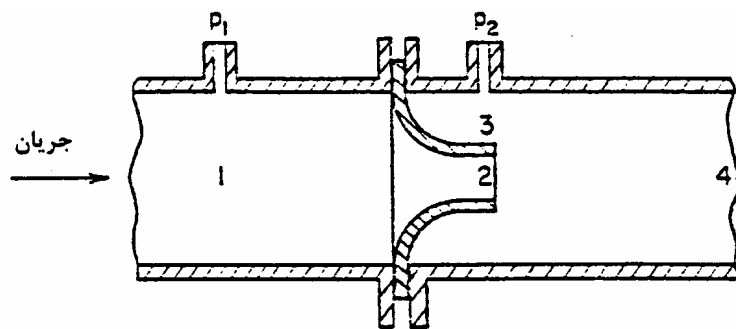
#### مقدار جریان گاز یا سرعت تخلیه

برای پستانکی که هنوز تخلیه آن به حد نهایی یا بحرانی نرسیده باشد همان معادله‌ای که برای ونتوری تعریف شده است کاربرد دارد. ضریب انبساط ( $y$ ) نیز همان است که در مورد ونتوری به کار برده می‌شود. ضریب تخلیه که بیشتر به عدد رینولدز ارتباط دارد بین 0/95 برای

عدد رینولدز 10000 و 0/99 برای عدد رینولدز 1000000 متغیر است.  
افت فشار بین نقطه‌های 1 و 4 از رابطه 6-17 محاسبه می‌شود:

$$P_1 - P_4 = \frac{1-b^2}{1-b^2} (P_1 - P_2) \quad 6-17$$

که در آن  $P_1$ ،  $P_2$  و  $P_4$  فشار در نقاط نشان داده شده در شکل است.



شکل 6-31: شمای پستانک جریان

### 3- پستانک جریان محدود کننده (بحرانی)

برای شرایط معین در بالادست جریان، مقدار تخلیه گاز از یک پستانک در برابر کاهش نسبت فشار مطلق  $P_2/P_1$  افزایش می‌یابد تا زمانی که سرعت حرکت گاز در گلوگاه به سرعت صوت برسد.

نسبت  $P_2$  به  $P_1$  که در آن سرعت صوت به دست می‌آید نسبت فشار بحرانی یا  $r_c$  نامیده می‌شود. در این زمان فشار واقعی در گلوگاه از  $P_1 r_c$  کمتر نخواهد شد، حتی اگر فشار در پایین دست خیلی کمتر باشد.

$$r_c^{(1-k)/k} + \frac{k-1}{2} b^4 r_c^{2/k} = \frac{k+1}{2} \quad 6-18$$

برای  $\beta \leq 0/2$  این رابطه به شکل 6-19 کوچک می‌شود:

$$r_c = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} \quad 6-19$$

$k$  نسبت دمای ویژه  $C_p/C_v$  و با مقادیر کوچک  $\beta$  و  $k$  های مختلف  $r_c$  به شرح زیر است:

$$k = 1.667, r_c = 0.487$$

$$k = 1.40, r_c = 0.528$$

$$k = 1.30, r_c = 0.546$$

$$k = 1.15, r_e = 0.574$$

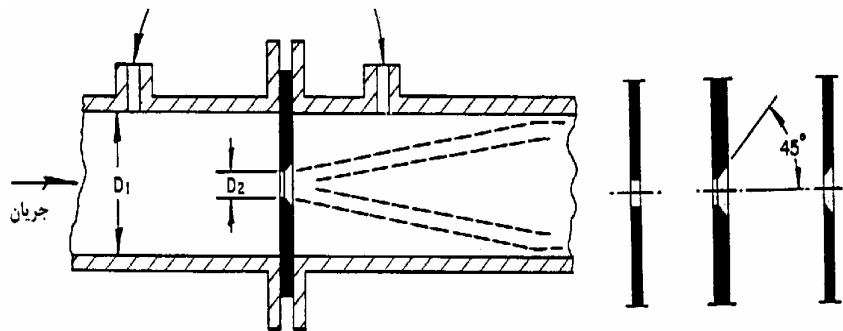
اوریفیس متر با لبه مستطیلی یا تیز در شکل 32-6 نشان داده شده است. یک سوراخ با برش تمیز و دیواره مستقیم عمود بر جهت حرکت جریان در سطح مقطع یک کانال یا لوله قرار داده می‌شود. جریان عبوری از چنین روزنه‌ای کمترین سطح مقطع (وناکتراکتا)<sup>1</sup> را در پایین‌دست جریان خواهد داشت. این همگرایی با ضریب  $\beta$  که نسبت قطر دهانه اوریفیس به لوله است تغییر می‌کند. برای یک اوریفیس دایره‌ای که در مرکز لوله قرار می‌گیرد، تغییر فشار به وسیله فشارسنج‌های بالادست و پایین دست جریان اندازه‌گیری می‌شود ( $\Delta P$ ). محل فشارسنج بالادست به فاصله یک قطر لوله از محل صفحه اوریفیس به طرف بالادست و 0/5 قطر لوله از صفحه به طرف پایین دست است. قطر صفحه یا ورقه‌ای که اوریفیس در آن به وجود آمده است نباید از  $\frac{1}{30}$  قطر لوله‌ای که در آن نصب می‌شود بیشتر باشد.

اوریفیس متر باید قبل از استفاده کالیبره شود. بهترین وسیله برای کالیبره کردن گاز متر تری است که توسط یک وسیله استاندارد اولیه مثل بورت حباب صابون کالیبره شده باشد. به هر حال اوریفیس به علت ارزان بودن و سبک بودن برای اندازه‌گیری حجم هوا در نمونه‌برداری‌های میدانی بسیار مناسب است و چون گذر هوا در آن متناسب با افت فشار ( $\Delta P$ ) است، بنابراین باید از فشارسنج‌هایی که اختلاف فشار بالادست و پایین دست را نشان می‌دهند استفاده شود، مگر آنکه به صورت اوریفیس محدودکننده که حد گذر گاز در آن مشخص شده باشد مورد استفاده قرار گیرد.

---

<sup>1</sup> - Venacontracta

وقتی جریانی عبوری از یک روزنه کوچک‌تر بگذرد، بی‌درنگ بعد از آن همگرایی به وجود می‌آید، به طوری‌که در جداری لوله تا فاصله‌ای از روزنه جریان وجود ندارد. این پدیده را وناکتراکتا گویند.

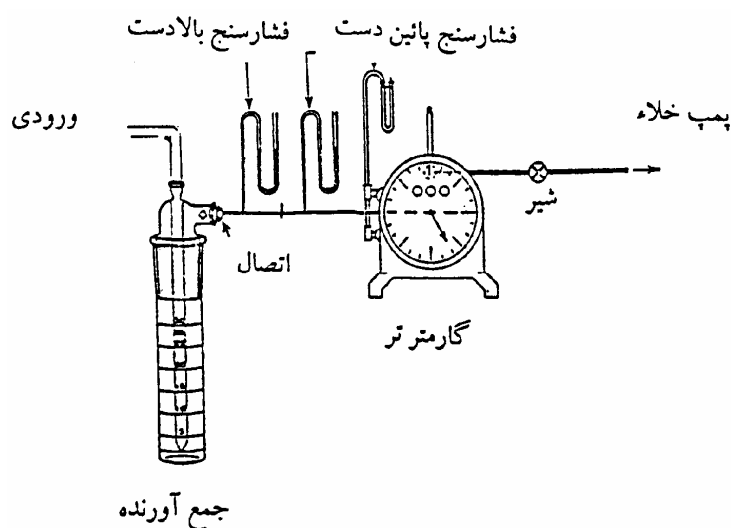


شکل 32-6: قرار گرفتن یک اوریفیس در لوله و صفحه اوریفیس

#### 4- اوریفیس محدودکننده و کالیبره کردن آن

همان‌طور که برای روزنه یا نازل گفته شد، وقتی گذر هوا به تدریج افزایش یابد، افت فشار نیز به‌طور خطی افزایش می‌یابد، ولی زمانی می‌رسد که افت فشار افزایش می‌یابد، ولی گذر هوا دیگر تغییر نمی‌کند و این همان‌طور که پیش از این گفته شد زمانی است که سرعت هوا در روزنه اوریفیس به سرعت صوت برسد. به عبارت دیگر از این پس کل فشار استاتیک صرف اصطکاک و حرارت خواهد شد.

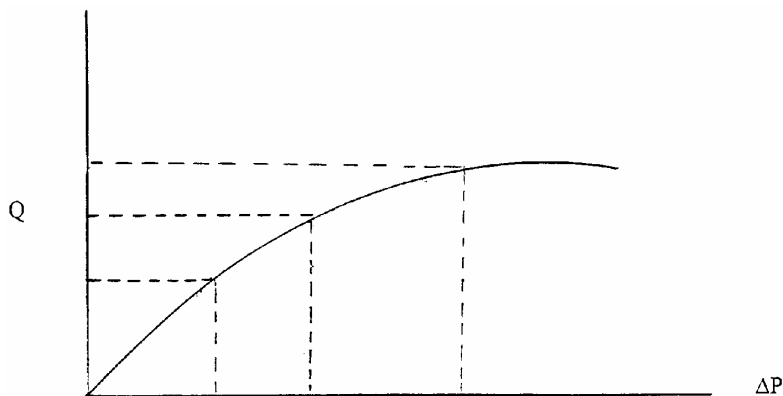
نقطه شروع ثابت ماندن جریان را نقطه بحرانی می‌گویند و چنانچه در این فشار پمپ می‌کنده با اوریفیس در مدار نمونه‌برداری باشد، گذر هوا ثابت خواهد بود. در شکل 33-6 کالیبره کردن اوریفیس با نازل و یا ونتوری نشان داده شده است.



شکل 33-6: مدار کالیبره کردن اوریفیس، روزنه یا ونتوری به وسیله گازمتر تر

#### رسم منحنی کالیبره کردن اوریفیس یا نازل محدودکننده

همان طور که در شکل 33-4 نشان داده شده است، باید به هنگام کالیبره کردن، همه لوازم نمونه برداری در مدار قرار گیرند و سپس با استفاده از پمپ خلأ جریان حرکت هوا برقرار شود. با استفاده از شیر مخصوص که روی پمپ نصب شده است، سرعت گذر هوا به تدریج افزایش داده می شود. در هر مرحله افت فشار (اختلاف فشارسنج بالادست و پایین دست) یادداشت می شود تا زمانی که گازمتر جریان بیشتری را نشان ندهد. سپس با رسم منحنی برای نقاط متناظر گذر (Q) و افت فشار ( $\Delta P$ ) نقطه بحرانی که همان بالاترین گذر هوا برای این اوریفیس خاص می باشد، معلوم می شود. شکل 34-6 یک منحنی کالیبره کردن برای اوریفیس محدودکننده را نشان می دهد.



شکل 34-6: تغییرات گذر هوا در برابر افت فشار و نقطه بحرانی برای اوریفیس محدودکننده

معمولاً اوریفیس‌ها با قطرهای مختلف برای هواگذرهای متفاوت وجود دارند و قاعداً باید از جنس فولاد زنگ نزن سخت تهیه شوند تا در برابر سایش و یا خوردگی مقاوم باشند و در طول نمونه‌برداری کالیبر آنها تغییر نکند. به هر حال برای اطمینان بیشتر بهتر است پس از پایان نمونه‌برداری مجدداً کالیبر آنها کنترل شود تا در صورت نیاز از میانگین اندازه‌گیری اولیه و ثانویه در محاسبه استفاده شود.

بعضی‌ها، از جمله مؤلف از سوزن سرنگ یک‌بار مصرف که با اندازه‌های مختلف وجود دارند با موفقیت استفاده کرده‌اند. با توجه به ارزانی و فراوانی می‌توان پس از یک‌بار مصرف آن‌را رها کرد و از سوزن‌های دیگر که پیشتر در آزمایشگاه برای هواگذر حد کالیبره شده‌اند استفاده کرد.

#### کالیبره کردن دستگاه‌های قرائت مستقیم

این گروه از تجهیزات همان‌طور که پیشتر اشاره شد کلیه کارهای نمونه‌برداری، آنالیز و اعلام نتیجه را انجام می‌دهند. از آنجاکه روش کار بیشتر براساس نورسنجی یا حسگرهای الکتروشمیایی و مانند آن می‌باشد و با توجه به پیچیدگی عمل کرد، همیشه باید کالیبره باشند تا پاسخ‌های دریافتی از صحت و دقت لازم برخوردار، و مورد اعتماد و استناد باشند. کالیبره کردن این گروه وسایل با استفاده از غلظت‌های مختلف گاز آلاینده که در کپسول‌های مخصوص عرضه می‌شوند انجام می‌گیرد. برای اطمینان از خطی بودن منحنی اندازه‌گیری لازم است حداقل از هر گاز سه غلظت مختلف به دستگاه خورانده شود. غلظت‌ها باید هم کمتر از آنچه معمولاً در محیط وجود دارد و هم بالاتر از آن باشند. در بعضی موارد برای گاز سه کپسول که توسط مؤسسات تأیید شده و مأخذ تهیه می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاکه این



گازها جهت کالیبره کردن در ایران تهیه نمی‌شود و لازم است از خارج کشور وارد گردند هم گران می‌باشند و هم اگر تأخیری در دریافت آن رخ دهد و به‌موقع دستگاه‌های سنجش کالیبره نشود، جواب‌های دریافتی مشکوک و غیرقابل اعتماد خواهد بود. یک شرکت سوئیسی به‌نام ال-ان اینداستری اس-آ<sup>۱</sup> سیستمی را برای رقیق کردن گاز موجود در یک کپسول با غلظت‌های موردنظر عرضه نموده است. بدین ترتیب با داشتن یک کپسول با غلظت بیش از حد نیاز می‌توان غلظت‌های موردنظر را برای خوراک به‌دستگاه‌ها تهیه نمود. این وسیله می‌تواند هوای صفر تولید و با نسبت‌های مختلف با گاز مخلوط نماید تا غلظت موردنظر بدست آید و همچنین برای اوزن نیز در صورت نیاز غلظت‌های مختلف را تولید می‌کند. به‌هرحال در نمونه‌برداری همهٔ وسایلی که در مدار قرار می‌گیرند باید کالیبره شوند تا خطای تجمعی به کمترین حد ممکن برسد.

### روتامتر

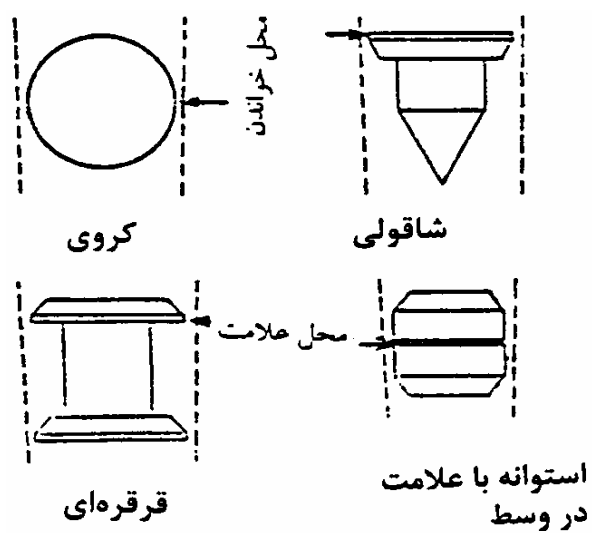
همان‌طور که در مبحث وسایل اندازه‌گیری، در مورد "بده حجمی" اشاره شد، روتامتر از جمله وسایل اندازه‌گیری حجم گاز نمونه است که کاربرد زیادی هم در سنجش، گازها و هم مایعات دارد. این وسیله در فشار ثابت و حجم متغیر کار می‌کند. روتامتر از یک لولهٔ مخروطی شفاف از جنس شیشه یا پلاستیک که سطح مقطع آن با شیب ملایم از پایین به‌بالا افزایش می‌یابد ساخته شده است. بدنهٔ این لوله مدرج است و در داخل آن یک شناور از جنس و شکل متفاوت (شکل 35-6) بسته به‌انتخاب سازنده، قرار دارد. ورودی هوا در پایین و خروجی آن در بالا قرار گرفته است (شکل 36-6).

زمانی که جریان سیال از پایین به‌بالا برقرار می‌شود، شناور نیز به‌سوی قسمت بالای لولهٔ مخروطی حرکت می‌کند و فضای بیشتری در اطراف شناور با بدنهٔ داخلی لوله به‌وجود می‌آید. به‌عبارت دیگر افت فشار با افزایش سطح مقطع جریان با وجود افزایش مقدار گاز ثابت می‌ماند. حرکت شناور تا جایی که افت فشار در فضای بین شناور و دیوارهٔ لوله، برای ثابت ماندن شناور کافی باشد ادامه می‌یابد. پس از ثابت ماندن شناور بده حجمی در واحد زمان (معمولاً دقیقه) از روی درجه‌های حک شده بر روی لوله خوانده می‌شود. با سنجش مدت زمان نمونه‌برداری، حجم کل گاز قابل محاسبه است. این وسیله با توانایی متفاوت در اندازه‌گیری از چند سانتیمتر در دقیقه تا چندین لیتر در دقیقه ساخته شده است. روتامترها باید از استفاده کالیبره شوند، زیرا احتمال خطا در درجه‌بندی یا سایش شناور که به‌خطا در تعیین حجم گاز نمونه منجر

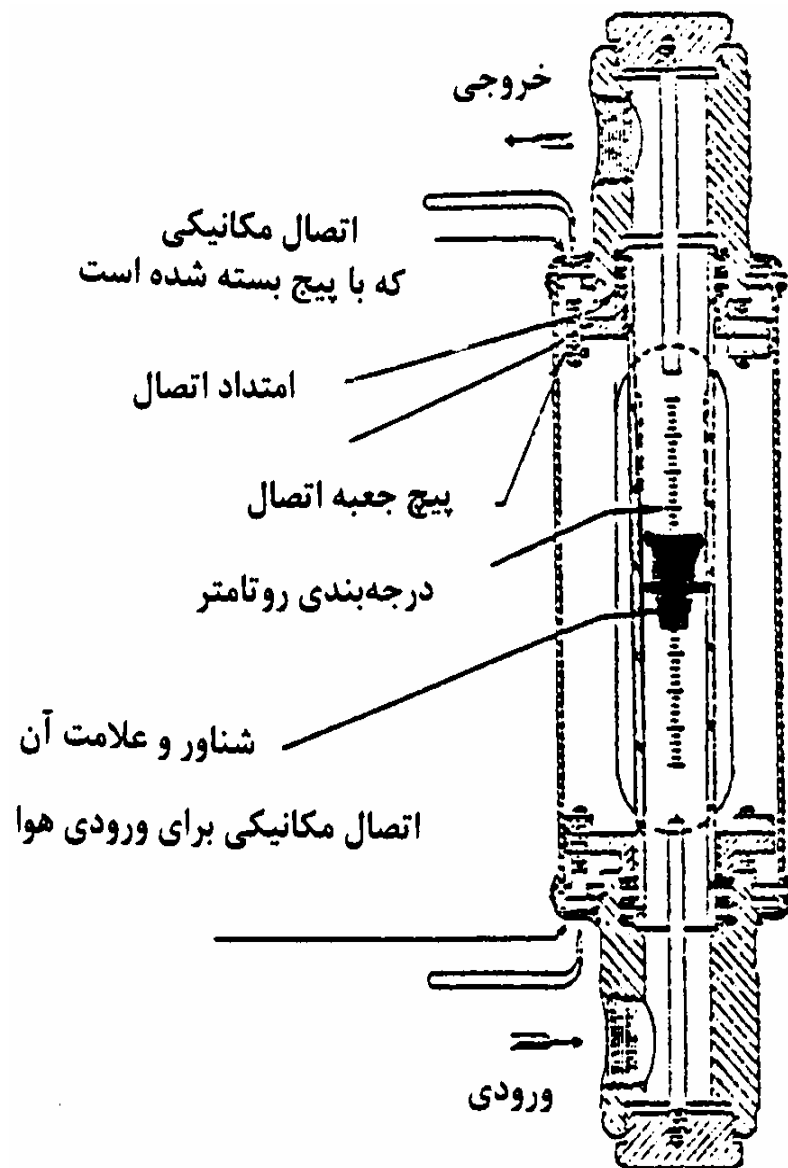
---

<sup>1</sup> - LN Industries SA

می‌شود وجود دارد. گازمترتر کالیبره شده مناسب‌ترین وسیله برای تعیین دقت روتامتر است. چنانچه انحرافی در درجه‌های روی لوله مشاهده شود باید در محاسبه منظور گردد تا مشکلی در محاسبه نهایی پیش نیاید.



شکل 35-6: انواع شناورهای روتامتر



شکل 36-6: روتامتر

## فصل پنجم

# آلودگی هوا و اثرهای آن

### مقدمه

از زمان برپایی آتش، آلودگی هوا با انسان بوده است، ولی در دوران‌ها و مقیاس‌های مختلف به‌جنبه‌های متفاوتی از آلودگی اهمیت داده شده است. در مقیاس کوچک آلودگی‌های محلی که اثرهایی از مزاحمت‌های ساده تا بیماری‌های خطرناک و دیرعلاج را موجب می‌شوند مورد توجه بوده است و در حد جهانی به‌مسائلی مثل تخریب لایهٔ اوزن، باران اسیدی و گرمایش زمین اهمیت داده می‌شود. منشأ آلودگی‌های هوا در اوایل انقلاب صنعتی عمدتاً با صنایع و سوخت زغال سنگ بوده است و در قرن‌های بیستم و بیست‌ویکم حمل و نقل درون شهری علت آلودگی هوا در شهرها بوده است. سوخت‌های فسیلی در حمل و نقل و صنعت از یک طرف و فرایندهای صنعتی با مصرف مواد خام و محصولات تولیدی از طرف دیگر از عوامل عمده آلودگی‌های ساخت دست انسان‌اند. در این قسمت مختصری از تاریخچهٔ حوادث مهم آلودگی هوا، تقسیم‌بندی، اثرها و استانداردهای آلاینده‌های مهم هوا مورد بحث قرار خواهند گرفت.

### تاریخچه و حوادث تاریخی آلودگی هوا

در قرن شانزدهم میلادی، فیلسوفی رومی بنام سنکا<sup>۱</sup> در گزارشی از وضعیت رم می‌گوید: "وقتی من از هوای سنگین رم و بوهای بد دودکش‌ها که می‌چرخید و بخارات بیماری‌زا و دوده را به‌هوا می‌ریخت خارج شدم احساس تغییر در حالت خود نمودم".

وقتی که آلودگی هوا در کاخ تاتبری<sup>۲</sup> در ناکینگهام برای الینور همسر هنری دوم غیرقابل تحمل بود، تغییر مکان داد. ۱۶۰ سال بعد سوخت زغال سنگ در لندن ممنوع شد، به‌طوری‌که در سال ۱۳۰۰ میلادی ادوارد اول فرمانی صادر کرد که در آن گفته بود: "تمام کسانی که صدای مرا می‌شنوند آگاه باشند که اگر به‌علت سوزاندن زغال مقصر شناخته شوند سر خود را از دست خواهند داد". در سال ۱۶۶۱ جان اولین<sup>۳</sup> در بروشوری با عنوان فومی فوجیوم<sup>۴</sup> که در

---

<sup>۱</sup> - Seneca

<sup>۲</sup> - Tutbury Castle

<sup>۳</sup> - John Evelyn

<sup>۴</sup> - Fomifugium

سال 1772 منتشر شد راه حل‌هایی را برای کاهش آلودگی‌های هوا پیشنهاد کرد که بسیاری از آنها هنوز کاربرد دارند.

مسائل و مشکلات آلودگی در دوران انقلاب صنعتی، شروع قرن بیستم تا 1925 و از 1925 به بعد متفاوت بوده است. در دوره بعد از 1925 جهان شاهد چند حادثه مهم در رابطه با آلودگی هوا بوده است که به عنوان نمونه و برای روشن تر شدن موضوع به برخی از آنها اشاره می‌شود.

### آلاینده‌های مهم هوا و اثر آنها بر سلامت انسان

بدون شک در روزگار قدیم آلودگی‌های هوا در حد محلی ناشی از منابعی مانند آتشفشان‌ها بوده است. همچنین در قرن نوزدهم شهر لندن از حوادث ناشی از آلودگی هوا رنج می‌برد ولی در دوران جدید فاجعه‌های<sup>1</sup> مطالعه شده و مستند وجود دارد که برای نمونه مهم‌ترین آنها در زیر شرح داده می‌شود:

#### دره میوز بلژیک<sup>2</sup>

اولین فاجعه روزگار، جدید در دره میوز بلژیک اتفاق افتاد. این حادثه در روز اول دسامبر سال 1930 شروع شد و به مرگ حدود 60 نفر انجامید. در این دره تعداد زیادی از منابع آلودگی صنعتی از جمله واحدهای تولید فولاد، کارخانه تولید اسید سولفوریک، شیشه‌سازی (که معمولاً فلوئور منتشر می‌کند) و تهیه روی وجود داشت. به علت برقراری وارونگی دما انواع مختلفی از آلودگیها در قسمت پایین دره محبوس شدند. مرگ افراد در چهارم و پنجم دسامبر اتفاق افتاد و افراد مسن با سابقه بیماری قلبی و تنفسی بیشترین مرگ و میر را داشتند. گله‌های گاو و گوسفند هم از بین رفت. مقدار  $SO_2$  بین 9 تا 38 قسمت در میلیون برآورد شد که اگر درست باشد، بسیار زیاد است (فریکت، 1941). میست اسید سولفوریک و احتمالاً فلوئور و اسید فلوئوریدریک هم احتمالاً دخالت داشتند. جالب توجه است که در زمان وقوع مصیبت دونورا<sup>3</sup> در آنجا هم کارخانه تهیه روی وجود داشت. بنابراین ذرات روی نیز که احتمالاً به صورت سولفات مضاعف روی و آمونیم بوده‌اند، ممکن است مهم بوده باشند. بی‌گمان دستاورد طعنه‌آمیز این فاجعه اظهار فریکت در 1936 بود که: "اگر چنین پدیده‌ای در لندن پیش آید، سرویسهای خدمات عمومی آن ممکن است با مسئولیت مرگ ناگهانی 3200 نفر مواجه شوند".

---

<sup>1</sup> - Episodes

<sup>2</sup> - Meuse Valley

<sup>3</sup> - Donora

## دونورا

دونورای پنسیلوانیا در 43 کیلومتری جنوب پیتسبورگ در یک دره نعل اسبی در کنار رودخانه مانانگاهلا<sup>1</sup> قرار گرفته است. در 26 اکتبر 1948 زمانی که وارونگی دما ایجاد شد، مهی در روی شهر قرار گرفت و تا 31 اکتبر که 20 نفر مردند هوا صاف نشد. شرح بازدید بوئن (1970)<sup>2</sup> از دونورا که از طرز تلقی مردم نسبت به آلودگی هوا بحث می کند برای خواننده جالب توجه می باشد. از دید او مردم دونورا هنوز هم طبق معمول به کار اشتغال دارند. دونورا در سال 1948 دارای چهار کارخانه ذوب آهن، یک کارخانه تولید روی و یک کارخانه تولید اسید سولفوریک بود. از جمعیت 14100 نفری آن روزگار 43 درصد مریض شدند و 10 درصد شدت صدمه دیدند (شرنک، 1949)<sup>3</sup>. نشانه های کلینیکی شامل تحریک چشم ها، بینی و گلو، سرفه، تحریک مجاری تنفسی، سردرد و استفراغ بود. فوت شدگان بین 52 تا 84 و به طور متوسط 65 سال داشتند. بیشتر مرگ و میرها در روز سوم رخ دادند. جواب معقول و جالبی که در مقاله بوئن دیده می شود نقل قولی است از دکتر شهر که: "همه چیز با گاز و دوده سیاه شده بود و شما حتی می توانستید مزه آن را حس کنید، عجیب این بود که دو روز بعد وقتی بعضی از مردم را که به سستی نفس می کشیدند معالجه می کردم منکر بیماری سابقه داری بودند" و در اینجا نیز در زمان حادثه اندازه گیری صورت نگرفت، ولی بعدها غلظت SO<sub>2</sub> را بین 0/5 تا 2 قسمت در میلیون تخمین زدند و ذرات معلق نیز با غلظت زیادی وجود داشتند.

آمدور و کرن (1963)<sup>4</sup>، تأثیر غلظتی از آلودگی هوا را که در زمان وقوع حادثه بدون شک وجود داشت مورد مطالعه قرار دادند. آنها اثر دو قسمت در میلیون انیدرید سولفور، همراه با 0/25 میلیگرم در مترمکعب ذرات سولفات مضاعف روی و آمونیم با قطر میانه جرمی حدود 0/29 میکرون را در افزایش مقاومت (در مقابل ورود هوا) ریه خو کچه هندی بررسی کردند. اثر همزمان این دو ماده، تشدیدکننده نشان داده شد. به عبارت دیگر اثر همزمان آنها بیش از اثر مجموع غلظت هر دو برای یک آلوده کننده واحد بود. هواویز اسید سولفوریک نیز با احتمال زیاد در زمان مصیبت دونورا وجود داشت.

## لندن

مه دود 5 تا 9 دسامبر 1952 لندن، معروف ترین حادثه آلودگی هوا در انگلیس است.

---

<sup>1</sup> - Monongahela

<sup>2</sup> - Bowen آلودگی هوا - غیاث الدین (1970)

<sup>3</sup> - Schrenk آلودگی هوا - غیاث الدین (1949)

<sup>4</sup> - Amdur and Corn آلودگی هوا - غیاث الدین (1963)

جدول 1 نشان می‌دهد که چندین حادثه دیگر نیز بعد از آن در لندن اتفاق افتاده است. باید توجه داشت که این جدول که از آپ - 50<sup>1</sup> اقتباس شده برحسب تقدم و تأخر تاریخ‌ها تنظیم نشده، بلکه برحسب تعداد اضافه مرگ و میر در مدت حادثه منظم شده است. مرگ و میر اضافی به معنی تعداد مرگ و میرهایی است که بیش از میزان معمول آن موقع سال که براساس آمارهای چندین ساله به دست آمده است، باشد.

"مه دود کشنده" در پنجشنبه چهارم دسامبر زمانی که یک توده هوا با فشار زیاد موجب وارونگی دما (وارونگی به سبب نشست توده هوا) بر فراز قسمت جنوبی انگلستان شده بود، شروع شد. مه سفیدی در منطقه لندن تشکیل شد و بتدریج که غلظت ذرات و انیدرید سولفورو به علت مصرف زیاد زغال سنگ برای تأمین گرمای منازل و تولید برق افزایش یافت، به مه سیاه تبدیل شد. در همین موقع توده فشار زیاد از حرکت ایستاد و ثابت ماند. افزایش آلودگی همراه با مه موجب شد که دامنه دید به صفر برسد. در روز شنبه غلظت آلودگی‌ها آن قدر زیاد شد که به مرگ و میر انجامید. وولف (1969)<sup>2</sup> اوضاع را این طور شرح می‌دهد. "شما می‌توانستید دست یکی را جلوی صورت دیگری ببینید. یقه یک پیراهن تقریباً در 20 دقیقه سیاه می‌شد. مه دود به شدت چشم، بینی و حلق را تحریک می‌کرد، سرفه‌هایی شروع شد که ماهها با من باقی ماند".

در آغاز کهنسالان و بیماران تنفسی مردند. افراد جوانی که به مقتضای شغل خود با هوای خارج در تماس بودند، صدمه دیدند. در نهم دسامبر مه برطرف شد.

شکل 1-11 مرگ و میرها، غلظت انیدرید سولفورو و مقدار دوده را در مدت حادثه نشان می‌دهد. حداکثر غلظت روزانه SO<sub>2</sub> حدود 1/34 پی‌پی‌ام (معادل 4000 میکروگرم در مترمکعب بود و مقدار دوده به 4/46 میلیگرم در مترمکعب رسید. این ارقام با آنچه براسر و همکاران (1967)<sup>3</sup> داده‌اند، مطابقت دارند، ولی از ارقام جدول خیلی بیشترند. ممکن است این بدان علت باشد که در نقاط مختلف لندن غلظت متفاوت بوده است. آپ - 49 اشاره می‌کند که دو اصطلاح "مه دود" انگلیسی و "ذرات معلق" امریکایی کاملاً یکی نیستند. در گزارش اشاره شده که "اطلاعات محدود نشان می‌دهد که ممکن است در شرایط مساوی مقادیر امریکایی بیشتر باشند" (غیاث‌الدین 1382).

در حادثه لندن به 4000 مورد مرگ و میر دیگر نیز به این حادثه نسبت داده شد. بعد از سال 1952 وارونگی‌های مشابهی شکل گرفت. به‌ویژه در سال 1962 شرایط جوی مشابه سال

<sup>1</sup> - Ap-50

<sup>2</sup> - آلودگی هوا - غیاث الدین (1969) Woolf

<sup>3</sup> - آلودگی هوا - غیاث الدین (1967) Brasser et al

1952 و با غلظت زیاد دی‌اکسید گوگرد روی داد، ولی غلظت دود و ذرات معلق باتوجه به مقررات هوای پاک خیلی کمتر بود و در نتیجه مرگ و میر به مراتب کمتری را در پی داشت (جدول 1-11)، البته معلوم نیست که کاهش مرگ و میرها به علت غلظت کمتر ذرات و دود بوده است و یا این که در حادثه 1962 تعداد افراد در معرض آلودگی کمتر بوده‌اند. با توجه به اثر تشدیدکنندگی ذرات در حضور دی‌اکسید گوگرد و این که به تازگی مشخص شده است که خود گرد و غبار عامل مرگ و میر زیادی است (بخش ذرات ر.ک.)، به احتمال زیاد مرگ و میر کمتر با غلظت کمتر ذرات رابطه داشته است.

### نیویورک

نیویورک نیز چندین حادثه آلودگی هوا داشته که هرکدام موجب مرگ و میر شده‌اند، برای مثال حادثه‌های نوامبر 1953 (گرینبرگ<sup>1</sup>)، نوامبر 1962 (مک کارول و برادلی<sup>2</sup>)، و واقعه تعطیلات شکرگزاری سال 1966 شاید از همه معروف‌تر باشد. هواشناسی روزهای بروز حادثه در فصل هواشناسی شرح داده شده است. در اندازه‌گیری‌های انجام شده، حداکثر میانگین ساعتی  $SO_2$  در 24 ساعت روز 23 نوامبر 0/51 پی‌پی‌ام بود (آزمایش با روش هدایت الکتریکی). این مقدار در بیست و چهارم به 0/47 و در بیست و پنجم نوامبر به 0/41 پی‌پی‌ام رسید. در روز 25 نوامبر حداکثر غلظت ساعتی  $SO_2$  معادل 1/02 پی‌پی‌ام و غلظت ذرات سیاه‌کننده<sup>3</sup> 5 "که" یا بیشتر (متوسط روزانه) بود. حداکثر ساعتی ذرات سیاه‌کننده در روز 2 نوامبر 8/2 "که"<sup>4</sup> بوده است. گلاسر و همکاران (1967)<sup>5</sup> مرگ و میر این ایام را در مقایسه با ایام مشابه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که 168 مورد اضافه مرگ و میر رخ داده است. اضافه مرگ و میرها بیشتر در بین سالخوردگان گزارش شد، ولی در هر سه گروه سنی مورد مطالعه، زیر 45 سال، بین 45 تا 65 و بالای 65 سال مشاهده گردید. آنها همچنین مرگ و میرها را از نظر علت بررسی کردند و نشان دادند که حرارت در این ایام به طور غیرعادی زیاد بوده و حداکثر بین 60 تا 70 درجه فارنهایت قرار داشته است. در این بررسی نشان داده شد که مرگ و میرها به سبب اثرات حرارت نبوده است (آلودگی هوا، غیاث‌الدین). نتیجه مطالعه پیشامدهای آلودگی هوا این است که این مطالعات به طور وضوح، غلظتی از آلودگی را که موجب بروز اثرهای فوری بهداشتی می‌شود، نشان می‌دهد حتی اگر این غلظت‌ها

<sup>1</sup> - Greenburg (1962)

<sup>2</sup> - Mc Carol and Bradley (1966)

<sup>3</sup> - Smoke Shade Value

<sup>4</sup> - Glasser et al (1967)

<sup>5</sup> - Cohs



در مدت کوتاهی مانند چند روز وجود داشته باشد. از مطالعه این حادثه و سایر پیشامدهای ناشی از آلودگی هوا نتیجه می‌گیریم:

- 1- اگر غلظت  $SO_2$  به‌طور ناگهانی به‌نزدیک 715 میکروگرم در مترمکعب (تقریباً 0/25 پی‌پی‌ام) و همزمان با آن غلظت دود هم به 750 میکروگرم در مترمکعب برسد، اضافه مرگ و میر در جمعیت‌های بزرگ دیده می‌شود (لوتر 1963)<sup>1</sup>.
- 2- با غلظت متوسط 24 ساعته 0/19 پی‌پی‌ام  $SO_2$  و غلظت کم ذرات، افزایش مرگ و میر ممکن است اتفاق بیفتد (براسر، 1967)<sup>2</sup> پس استانداردهای آلودگی هوای آزاد باید کاملاً پایین‌تر از این حد قرار گیرند (آلودگی هوا، غیاث‌الدین).

جدول 1-11- بررسی انتخاب شده، از حوادث حاد آلودگی هوای لندن

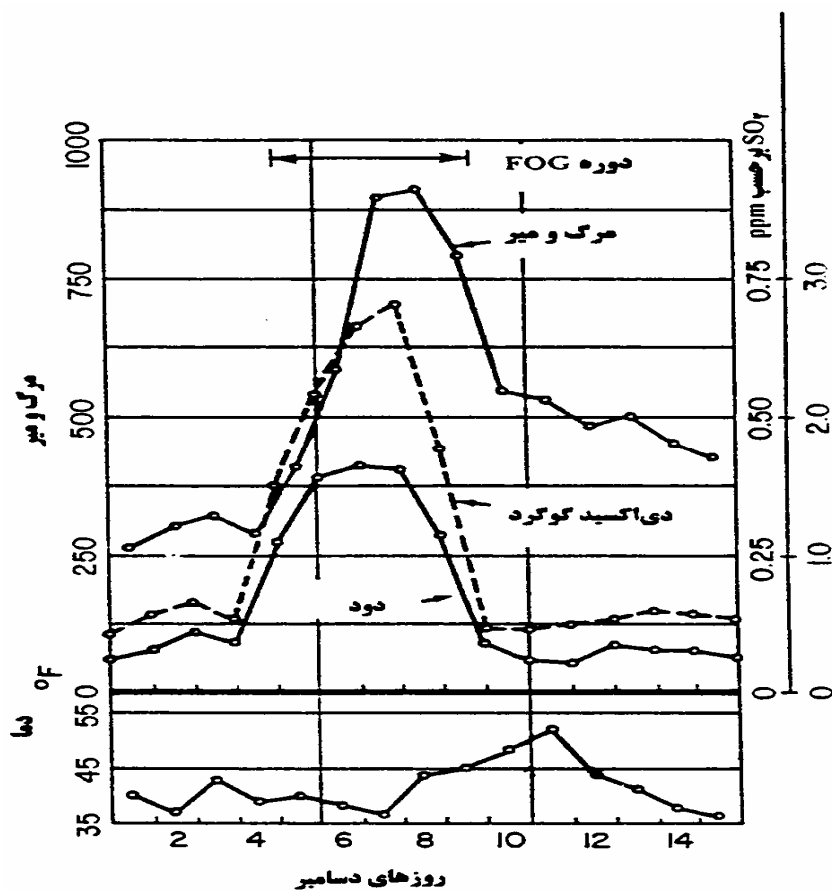
| ژانویه 1959 | ژانویه 1955 | دسامبر 1956 | دسامبر 1957 | دسامبر 1962 | ژانویه 1956 | دسامبر 1952 |                                                                           |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 5           | 11          | 10          | 5           | 5           | 5           | 5           | مدت تراکم بر حسب روز                                                      |
| 1           | 1×3*        | 5           | 1           | 1           | 2           | 2           | تعداد روز با حداکثر آلودگی                                                |
| 300         | 300         | 300         | 300         | 400         | 300         | 500         | میزان $SO_2$ قبل از حادثه                                                 |
| 800         | 1200        | 1100        | 1600        | 3300        | 1500        | 4000        | حداکثر $SO_2$                                                             |
| 250         | 450         | 400         | 325         | 1000        | 500         | 1200        | افزایش $SO_2$ بر حسب روز                                                  |
| 400         | 500         | 400         | 400         | 200         | 500         | 400         | میزان دوده قبل از حادثه                                                   |
| 1200        | 1750        | 1200        | 2300        | 2000        | 3250        | 4000        | حداکثر دوده                                                               |
| 400         | 600         | 400         | 500         | 600         | 1300        | 1200        | افزایش دوده در روز                                                        |
| 200         | 240         | 400         | 800         | 850         | 1000        | 3900        | تعداد اضافه مرگ و میر                                                     |
| 6           | 6           | 6           | 10          | 13          | 10          | 18          | تعداد روزهایی که اضافه مرگ و میر داشته‌اند                                |
| 325         | 320         | 270         | 300         | 310         | 3300        | 300         | تعداد مرگ و میر روزانه در شرایط عادی                                      |
| 110         | 112         | 125         | 125         | 120         | 130         | 170         | متوسط مرگ و میر روزانه در مدت حادثه<br>(اضافه مرگ و میر بر حسب درصد عادی) |

تیسره: مقدار  $SO_2$  و دوده متوسط 24 ساعته بر حسب میکروگرم در مترمکعب است.

\* مقدار حداکثری که سه بار در یک روز اتفاق افتاد.

<sup>1</sup> - Lawther 1963

<sup>2</sup> - Brasser 1967



شکل 1-11- تلفات، آلودگی هوا و درجۀ حرارت در دسامبر 1952 در لندن (با اجازه "کمیتة موقتی تهیة گزارش آلودگی هوا" چاپ شده است) کتاب آلودگی هوا، ترجمه غیاث الدین

### تأثیر آلودگی هوا بر سلامت انسان

از آنجا که مهم‌ترین راه نفوذ آلودگی‌های هوا به بدن انسان، ریه‌ها هستند، در این فصل ابتدا به ساختمان و مختصری از فیزیولوژی دستگاه تنفس پرداخته می‌شود. سطح وسیع ریه و حبابچه‌های ریوی و نیز غشای نازکی که هوای داخل حبابچه‌ها را از عروق موئینه جدا می‌کند، نه تنها تبادل هوای تنفسی را با دی‌اکسید کربن موجود در خون انجام می‌دهد، بلکه محل ورود مواد سمی به داخل بدن و اعضای آن است. کارشناسانی که به بررسی آلودگی هوا علاقه دارند، باید از اعمال ریه و اصول سم‌شناسی آگاهی داشته باشند. به همین علت توصیه می‌شود

دانشجویان، کتابهای مربوط به دستگاه تنفسی را مطالعه کنند. به هر حال همانطور که اشاره شد در اینجا سعی خواهد شد تا به اختصار اطلاعاتی در اختیار خوانندگانی که با فیزیولوژی و آناتومی ریه آشنایی ندارند، قرار داده شود.

### بعضی از اصطلاحات مورد نیاز

|                                                                                                                                                                           |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| کیسه‌های کوچک در انتهای راه‌های هوایی که در دیواره آنها تبادل گازی انجام می‌گیرد.                                                                                         | حبابچه‌های هوایی <sup>۱</sup> |
| یکی از راه‌های هوایی بزرگ                                                                                                                                                 | نایژه <sup>۲</sup>            |
| تقسیمات کوچک‌تر نایژه                                                                                                                                                     | نایزک <sup>۳</sup>            |
| حنجره                                                                                                                                                                     | لارنکس <sup>۴</sup>           |
| گلو                                                                                                                                                                       | فارنژ <sup>۵</sup>            |
| برجستگی‌های کوچک موی‌مانندی که در سطح آزاد سلول قرار گرفته‌اند و قادر به انجام حرکات منظم هستند.                                                                          | تاژک <sup>۶</sup>             |
| تنگی نفس، حالتی است که فضاهاى هوا بیش از حد منبسط می‌شوند و در نتیجه کیسه‌های هوایی صدمه می‌بینند و در نهایت بافت‌های ریه از کار می‌افتند.                                | امفیزم <sup>۷</sup>           |
| حجم هوا (در شرایط استاندارد) که در یک تنفس وارد ریه می‌شود (دم). این حجم حدود 500 میلی‌لیتر هواست.                                                                        | حجم تنفس معمولی <sup>۸</sup>  |
| حداکثر هوایی که یک فرد پس از تنفس عمیق با وارد کردن بیشترین مقدار هوا به ریه‌ها می‌تواند با فشار از ریه‌ها خارج کند.                                                      | ظرفیت حیاتی <sup>۹</sup>      |
| مقدار هوایی است که پس از خارج کردن بیشترین مقدار ممکن هوا، در ریه باقی می‌ماند. این مقدار حدود 200 میلی‌لیتر است که برای جلوگیری از چسبیدن دیواره حبابچه‌ها باقی می‌ماند. | حجم باقی‌مانده <sup>۱۰</sup>  |

<sup>1</sup> - Alveoli

<sup>2</sup> - Bronchi (bronchus)

<sup>3</sup> - Bronchiole

<sup>4</sup> - Larynx

<sup>5</sup> - Pharynx

<sup>6</sup> - Bronchial Cilia

<sup>7</sup> - Emphysema

<sup>8</sup> - Tidal Volume

<sup>9</sup> - Vital Capacity

<sup>10</sup> - Residual Volume

فضای مرده<sup>۱</sup> تشریحی حجم آن قسمت از دستگاه تنفسی از بینی تا ریه که در آن تبادل گازی کمی صورت می‌گیرد. این حجم بین 144 تا 260 میلی‌لیتر بسته به میزان اتساع ریه‌هاست.

حجم ریه<sup>۲</sup> کل حجمی که به وسیله هوا قابل اشغال است، این مقدار حدود 5800 میلی‌لیتر است که در زن‌ها 20 تا 25 درصد کمتر و در ورزشکاران از این مقدار بیشتر است.

میزان تهویه حبابچه‌ها<sup>۳</sup> مقدار هوای تازه‌ای که برای تبادل گاز به حبابچه‌ها می‌رسد و آن برابر است با حجم هوای تنفسی منهای فضای مرده، ضرب در تعداد تنفس در دقیقه که اگر 12 بار باشد:

میلی‌لیتر در دقیقه  $4200 = (12) (150-500)$  = میزان تهویه حبابچه

(برای 12 تنفس در دقیقه)

سینرژیسم (تشدید)<sup>۴</sup> حالتی که در آن عمل دو یا چند ماده همراه با هم، بیش از اثر هریک از آن مواد اگر به تنهایی با مقدار مجموع همه آنها داده شود، باشد.

محیط غیرزنده<sup>۵</sup> محیط مصنوعی، محیط لوله آزمایش

محیط زنده<sup>۶</sup> بدن موجود زنده

## دستگاه تنفسی

کار دستگاه تنفسی انسان، رساندن اکسیژن مورد نیاز مراحل متابولیسم به بدن و خارج کردن انیدرید کربنیک تولیدشده از بدن است. تبادل این دو گاز در ریه‌ها صورت می‌گیرد. خون به عنوان حامل اکسیژن را به بافت‌ها می‌برد و انیدرید کربنیک را به ریه‌ها برمی‌گرداند. انسان در حال استراحت 10 تا 18 بار در دقیقه نفس می‌کشد و در هر تنفس 0/5 لیتر هوا وارد ریه‌ها می‌کند. بیشتر این هوا با هوایی که از قبل در ریه باقی مانده مخلوط می‌شود و قسمتی هم در فضای مرده باقی می‌ماند. فضای مرده نامی است که به فضاهای وسیع در دستگاه تنفسی داده شده که در آن فضاها تبادل گازی صورت نمی‌گیرد.

<sup>1</sup> - Anatomical dead space

<sup>2</sup> - Lungvolume

<sup>3</sup> - Alveolar Ventilation rate

<sup>4</sup> - Synergism

<sup>5</sup> - Invitro

<sup>6</sup> - Invivo

بیشتر اکسیژن و انیدرید کربنیک که به وسیله خون حمل و نقل می شود به صورت مخلوط با پلاسما نیست. بلکه به صورت ترکیب با هموگلوبین درمی آید و به قسمت های مختلف بدن می رود. به هموگلوبینی که اکسیژن به آن متصل شده است، اکسی هموگلوبین و به هموگلوبینی که با گاز کربنیک CO ترکیب شده باشد، کربوکسی هموگلوبین COHb می گویند، از آنجا که میل ترکیبی CO با هموگلوبین 200 برابر O<sub>2</sub> با هموگلوبین است مقدار کمی CO می تواند مقادیر زیادی COHb تولید کند.

### فیزیولوژی

ریه ها با حرکت دیافراگم و قفسه سینه باز و بسته می شوند که در اثر آن دم و بازدم انجام می گیرد. اختلاف فشار هوا در ریه ها با جو در تنفس عادی  $1 \pm$  میلیمتر جیوه می باشد. در شکل 2-11 قسمت های مختلف سیستم تنفسی نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود کل دستگاه تنفس از سه قسمت بینی و حلق، تراشه و برونش و ریه تشکیل شده است. لوله های بینی از طریق حلق به نای و نایژه ها هدایت و نایژه ها به انشعابات کوچک تر به نام نایژک تقسیم می شوند. این انشعابات پس از این به کیسه های هوایی ختم می شوند. در این کیسه ها تبادل اکسیژن و انیدرید کربنیک بین هوا و خون صورت می گیرد (شکل 2-11).

### ناحیه بینی و حلق

این ناحیه، از بینی شروع می شود و تا لارنکس<sup>1</sup> ادامه دارد. لوله های بینی، دارای مخاط و مایع مخاطی اند که انرژی و بخار آب را به هوای تازه منتقل می کنند. در این قسمت گازهای آلاینده قابل حل در آب جذب مایع مخاط بینی می شوند. میزان متوسط تنفس در این بخش 34/5 لیتر در دقیقه است. حجم قسمت فوقانی راه های هوایی تقریباً 50 میلی لیتر است. فاصله بین لب ها تا زبان کوچک، 17 سانتیمتر و از بینی تا زبان کوچک 22 سانتیمتر است.

بعد از لارنکس، فارنکس<sup>2</sup> قرار دارد که به علت تنگ شدن آن سرعت هوا افزایش یافته و یک همگرایی<sup>3</sup> بوجود می آید که انسان را قادر به ایجاد صدا می کند.

سطح مقطع تراشه انسان بالغ تقریباً 2/54 سانتیمتر مربع است. در حالیکه سطح مقطع لارنکس با سرعت هوا تغییر می کند، به طوریکه اگر سرعت هوا: 1-15 لیتر در دقیقه باشد سطح مقطع آن 0/88 Cm<sup>2</sup>؛

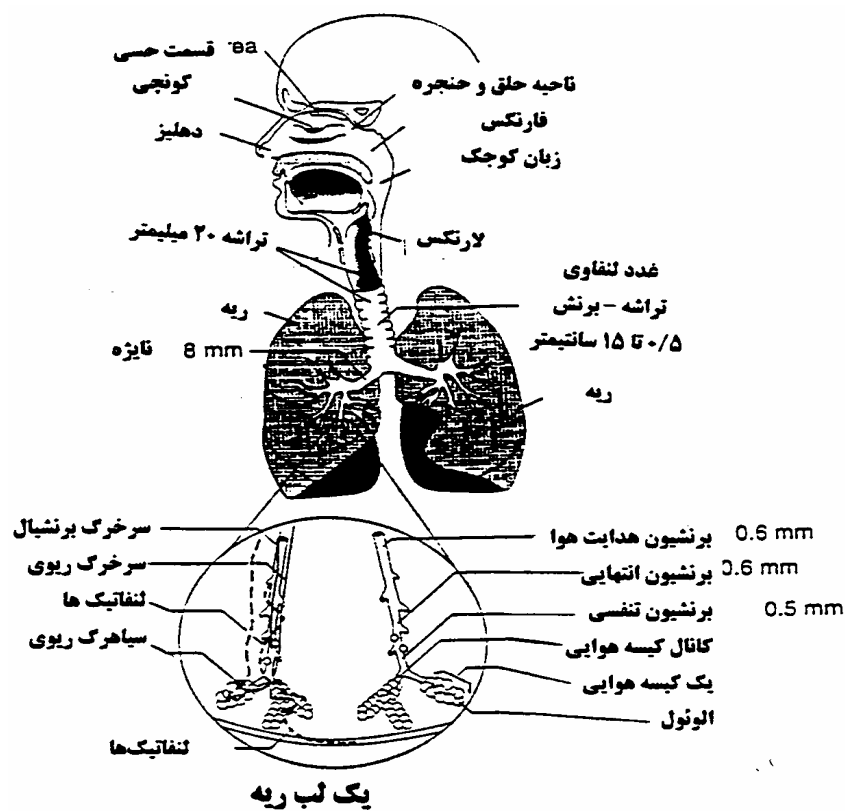
---

<sup>1</sup> - Larynx

<sup>2</sup> - Pharynx

<sup>3</sup> - Vena Contracta

2- 30 لیتر در دقیقه باشد سطح مقطع آن  $1/40 \text{ Cm}^2$ ؛  
 3- 60 لیتر در دقیقه باشد سطح مقطع آن  $1/42 \text{ Cm}^2$ ؛ خواهد بود.  
 رسوب ذرات در لارنکس زیاد است که ممکن است منجر به غده بدخیم گردد (مارتونن).  
 تنگ شدن مجاری تنفسی در بخش‌های مختلف دستگاه تنفس موجب افزایش سرعت هوا و  
 توزیع رسوب ذرات برحسب اینرسی آنها می‌شود.



شکل 2-11- اجزاء مختلف دستگاه تنفس

### ناحیه تراشئوبرنشیال<sup>1</sup>

همان‌طور که در شکل 2-11 نشان داده شده است، این ناحیه شامل تراشه<sup>1</sup>، آ، نایژه‌های

<sup>1</sup> - Tracheobronchial region

اولیه<sup>۱</sup> و ثانویه و نایژک<sup>۲</sup> انتهایی است، طول تراشه آن 12 سانتیمتر و قطر آن 1/8 سانتیمتر است. طول و قطر نایژه‌های اصلی چپ و راست به ترتیب 4/76 و 1/22 سانتیمتر است. نایژه‌های راست و چپ با زاویه 70 درجه از یکدیگر جدا می‌شوند. تمام مسیر حرکت هوا از بین نایژه‌ها تا نایژک از سلول‌های سیلیاته (موماند) و مایع مخاط پوشیده شده است. تولید مخاط حدود 10 میلی‌لیتر در 24 ساعت است. سیلیاها عضو موئی شکلی هستند که 3 تا 4 میکرون از سطح سلول بیرون آمده‌اند. هر سلول حدود 200 سیلیا دارد. این موماند‌ها حرکت دودی دارند که موجب حذف و بیرون راندن ذرات موجود در هوای تنفسی می‌شوند. حرکت رو به جلو موماند‌ها سریع و برگشت آنها کند است. با این سازوکار تا حدودی پاکسازی مجاری هوا انجام می‌گیرد. قسمت فوقانی و لوله‌های هدایت هوا که نسبتاً سخت هم هستند حدود 150 تا 200 میلی‌لیتر حجم دارند. قسمت بالایی عبور هوا را فضای مرده می‌گویند، زیرا تبادل گازی بسیار کمی در آن صورت می‌گیرد.

### ناحیه ریه

این قسمت از تعداد زیادی کیسه هوایی یا آلئول<sup>۳</sup> تشکیل شده است. آلئول‌ها دیواره نازک چندضلعی کیسه‌ای دارند. عرض آنها 250 تا 350 میکرومتر است که دست کم یک‌طرف آنها به وسیله کانال حبابچه به نایژک‌ها باز می‌شود. عمل حبابچه‌ها تأمین سطح لازم برای تبادل اکسیژن و دی‌اکسید کربن بین هوا و خون مویرگ‌هاست. سلول‌های متحرک فاگوسیت و ماکروفاژ در دیواره داخلی حبابچه وجود دارند. ماکروفاژها، گلبول‌های سفید با قطر 10 تا 70 میکرومتر هستند که ذرات، اسپرها، باکتری‌ها و... را متابولیزه می‌کنند. این فرایند را فاگوسیتوز می‌نامند. حدود 90 تا 95 درصد از سطح حبابچه‌ها را مویرگ‌ها پوشانده‌اند. مجموع سطح حبابچه‌ها در انسان، حدود 35 متر مربع در زمان بازدم و 100 مترمربع در هنگام دم است. انسان در هر دقیقه 15 تا 18 بار نفس می‌کشد و در هر تنفس 0/5 لیتر هوا وارد ریه‌ها می‌کند. هوای تازه با هوای باقی‌مانده در فضای مرده مخلوط شده به حبابچه‌ها می‌رود.

---

<sup>1</sup>- Primary bronchus

<sup>2</sup>- Bronchiole

<sup>3</sup>- Alveoli

## هوای مورد نیاز انسان

انسان در حالت‌های مختلف به مقدار متفاوتی از هوا برای تأمین نیاز اکسیژن بدن نیازمند است. جدول 2-11 مقدار هوای تنفسی روزانه انسان را در حالت استراحت و کار نشان می‌دهد.

جدول 2-11- هوای مورد نیاز بیولوژیکی انسان در روز

|           |            |            |
|-----------|------------|------------|
| استراحت   | 10600 لیتر | 12 کیلوگرم |
| کار سبک   | 40400 لیتر | 45 کیلوگرم |
| کار سنگین | 62000 لیتر | 69 کیلوگرم |

اگر اکسیژن کافی در هوا وجود نداشته باشد (این حالت بیشتر در محیط‌های بسته اتفاق می‌افتد) موجب هیپوکسی می‌شود و آن حالتی است که اکسیژن کافی به کیسه‌های هوایی نمی‌رسد. به این حالت هیپوکسی هیپوتیک گفته می‌شود. مقدار اکسیژن در هوای تنفسی نباید کمتر از 19/5 درصد باشد. برای مثال اگر در محیطی نسبت مولی اکسیژن به ازت به 0/25 و جزء بخار آب به 0/039 و غلظت CO<sub>2</sub> به 250000 پی‌پی‌ام برسد درصد اکسیژن هوا را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد.

$$y_{O_2} + y_{N_2} + y_{H_2O} + y_{CO_2} = 1$$

$$\frac{y_{N_2}}{y_{O_2}} = 4$$

$$y_{O_2} + 4y_{O_2} + 0.039H_2O + 0.25CO_2 = 1$$

$$O_2 = \frac{1 - 0.039 - 0.25}{5} = 0.1422 \quad 14.22\%$$

غلظت بالای CO<sub>2</sub> جانشین اکسیژن و ازت شده است و با آنکه نسبت اکسیژن به ازت ثابت مانده است، کاهش غلظت اکسیژن مشکل تنفس را برای ساکنان چنین محیطی به وجود خواهد آورد.

## تأثیر آلاینده‌های مختلف هوا

اثرهای مضر آلودگی هوا بر سلامت انسان، حیوانات و گیاهان و همچنین تخریب مواد و آثار فرهنگی موضوع بررسی و مطالعات زیادی بوده است. طی چند دهه گذشته، موضوع باران‌های اسیدی، لایه اوزن و گرمایش زمین و پیامدهای آن بر اکوسیستم و در نهایت انسان نیز مورد مطالعه و بحث دانشمندان قرار گرفته است.



به قول آ.و.نیز<sup>۱</sup> "در باره آلودگی هوا، تقریباً در همان وضعی هستیم که ماهی‌ها در آب آلوده". از آنجاکه عوامل زیادی بر ارتباط بین آلودگی هوا و سلامت انسان مؤثرند، بررسی تأثیر آلودگی خاص هوا بر سلامت انسان مشکل خواهد بود. با این حال اطلاعات زیادی وجود دارد که می‌توان به آنها استناد کرد. مطالعات اپیدمیولوژی در جریان حوادث ناگوار لندن، دونورا و غیره، مطالعات انجام شده در محیط‌های کار و مطالعات در باره حیوانات آزمایشگاهی بسیاری از اثرهای نامساعد آلودگی هوا را بر سلامت انسان به‌خوبی نشان داده است. البته در این موارد، اغلب غلظت‌های غیرمعمول آلودگی مطرح بوده‌اند. در سال‌های اخیر نیز پژوهش‌هایی در بعضی از شهرهای بزرگ و آلوده انجام گرفته و به‌روابطی بین غلظت آلودگی به‌ویژه در مورد ذرات معلق و میزان مرگ و میر دست یافته‌اند که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

### مونوکسید کربن و اثرهای آن

مونوکسید کربن با فرمول CO، وزن مولکولی 28/01، نقطه ذوب 207- درجه سلسیوس و نقطه جوش 192- درجه سلسیوس گازی است بی‌رنگ و بی‌بو که حاصل احتراق ناقص زغال و سوخت‌های فسیلی است.

حد طبیعی آن در هوا 0/01 تا 0/2 قسمت در میلیون (حجمی) است. در مناطق شهری معمولاً زیر 17 قسمت در میلیون است، ولی در تهران به‌هنگام ترافیک سنگین و در بعضی مناطق برای کوتاه‌مدت تا 50 پی‌پی‌ام و حتی بیشتر هم گزارش شده است. این مقدار در محیط‌های بسته و کارگاه‌ها اغلب از 100 پی‌پی‌ام هم بیشتر می‌شود. مونوکسید کربن چهار نوع اثر مهم بر اعمال فیزیولوژیکی انسان دارد:

1- تأثیر بر قلب و عروق

2- تأثیر بر رفتارهای عصبی

3- اثر فیبریونولیز<sup>۲</sup>

4- اثر بر جنین

هیپوکسی که به‌وسیله مونوکسید کربن ایجاد می‌شود به‌نارسایی در اعمال حسی و اندام‌هایی چون مغز و قلب، دیواره داخلی رگ‌های خونی و پلاکت‌ها می‌انجامد.

باتوجه به این که میل ترکیبی مونوکسید کربن با هموگلوبین خون حدود 220 برابر بیشتر از اکسیژن است، در محیط‌های آلوده کربوکسی هموگلوبین خون به‌سرعت افزایش می‌یابد. در جوانان با رسیدن کربوکسی هموگلوبین خون به 5 درصد ظرفیت اکسیژن‌گیری بدن کاهش

---

1- A.V.kneese, (WHO 1987).

2- Fibrinolysis

می‌یابد و تأثیر آن بر قلب به‌وضوح دیده می‌شود. جدول‌های 3-11 و 4-11 تأثیر بر سلامت انسان را که در اثر تماس با غلظت‌های مختلف CO و افزایش کربوکسی هموگلوبین پدید می‌آید، نشان می‌دهند.

جدول 3-11- اثرهای بهداشتی مونوکسید کربن

| مقدار و مدت تماس  | اثرات                             |
|-------------------|-----------------------------------|
| 9 پی‌پی‌ام        | حد استاندارد ملی                  |
| 50 پی‌پی‌ام       | تغییر در ساختار قلب و مغز حیوانات |
| 50 پی‌پی‌ام       | تغییر در دید و شفافیت نسبی        |
| 50 پی‌پی‌ام       | اختلالات عصبی                     |
| 8 تا 12 ساعت تماس |                                   |

جدول 4-11- تأثیر افزایش کربوکسی هموگلوبین خون

| غلظت %COHb | اثرات                                                |
|------------|------------------------------------------------------|
| <1         | بدون اثر محسوس                                       |
| 1-2        | بعضی شواهد در رفتار                                  |
| 2-5        | اثر بر اعصاب مرکزی و اختلال در تشخیص فاصله‌های زمانی |
| 5-10       | عدم تشخیص روشن و سایر اعمال سایکوموتور <sup>1</sup>  |
| 10-80      | سر درد شدید، خستگی، گیجی، کما، قطع تنفس و مرگ        |

درمورد ارتباط بین غلظت مونوکسید کربن هوا و کربوکسی هموگلوبین خون مدل‌های زیادی ارائه شده است. رابطه هولدن<sup>2</sup> غلظت کربوکسی هموگلوبین خون را با غلظت CO در هوا نشان می‌دهد.

$$\frac{[\text{COHb}]}{[\text{O}_2 \text{ Hb}]} = M \times \frac{\text{PCO}}{\text{PO}_2}$$

COHb و O<sub>2</sub>Hb غلظت‌های کربوکسی هموگلوبین و اکسی هموگلوبین هستند که معمولاً به‌صورت درصد نسبت به‌اشباع بیان می‌شوند و M عدد ثابت، معمولاً برابر 210 است که نشان می‌دهد میل ترکیبی CO حدود 210 برابر O<sub>2</sub> است و PCO و PO<sub>2</sub> فشار جزئی یا غلظت CO و O<sub>2</sub> در هواست، برای مثال اگر غلظت CO در هوا به 100 پی‌پی‌ام برسد، نسبت COHb به O<sub>2</sub>Hb معادل 0/1 یا 10 درصد خواهد رسید. در فرمول تغییر یافته شوین<sup>3</sup> که به‌صورت

1- Psychomotor

2- Holdane in

3- Chovin in

درصد داده شده است:

$$\%COHb = (0.096 \times C) - 0.28$$

اگر میانگین غلظت چهارساعته CO برابر 100 پی پی ام باشد، کربوکسی هموگلوبین خون به 9/32 خواهد رسید که نزدیک به عدد قبلی است.

در مدل های بالا زمان تماس هشت ساعت در نظر گرفته شده است. در ضمن پیترسون و استوارت<sup>1</sup> بررسی ای روی چند جوان داوطلب با غلظت های متفاوت CO (> 1, 25, 50, 100, 500 و 1000 پی پی ام) برای زمانی از 30 دقیقه تا 24 ساعت (کمتر از زمان لازم برای رسیدن به تعادل) انجام دادند و COHb خون افراد را به طور مرتب اندازه گیری کردند و در نتیجه به فرمول زیر رسیدند:

$$\text{Log}\%COHb = 0.85753 \text{ Log}C + 0.62995 \text{ Log}t - 2.29519$$

که در آن CO بر حسب پی پی ام و t مدت تماس بر حسب دقیقه است. همان طور که در این معادله دیده می شود، زمان تماس به عنوان عامل مؤثر در جذب CO و تشکیل کربوکسی هموگلوبین مورد توجه قرار گرفته است.

سازمان بهداشت جهانی ارتباط بین مونوکسید کربن هوا و کربوکسی هموگلوبین خون را برای زمان های تماس یک ساعته، هشت ساعته و حالت تعادل برای کسانی که کار سبک انجام می دهند ارائه کرده که در جدول 5-11 نشان داده شده است. اگر انسان در حال استراحت باشد این مقادیر تا نصف کاهش می یابند و با کار سنگین انجام دهد تقریباً دو برابر خواهند شد. همان طور که دیده می شود اگر انسان به مدت یک ساعت با غلظت 30 پی پی ام مونوکسید کربن و یا به مدت هشت ساعت با غلظت 9 پی پی ام از این آلاینده در تماس باشد، کربوکسی هموگلوبین خون او به 1/3 درصد می رسد که سردرد محسوس و کاهش عملکرد مغزی را در پی خواهد داشت.

جدول 5-11- رابطه غلظت مونوکسید کربن هوا و کربوکسی هموگلوبین خون

| درصد کربوکسی هموگلوبین بعد از مدت تماس به ساعت |   |   | CO هوا<br>PPM |
|------------------------------------------------|---|---|---------------|
| تعادل                                          | 8 | 1 |               |

|     |      |     |     |
|-----|------|-----|-----|
| 15  | 12/9 | 3/6 | 100 |
| 10  | 8/7  | 2/5 | 60  |
| 5   | 4/5  | 1/3 | 30  |
| 3/3 | 2/8  | 0/8 | 20  |
| 1/7 | 1/4  | 0/4 | 10  |

### اکسیدهای ازت NO<sub>x</sub>

از بین هفت اکسید مختلف نیتروژن، آنچه در آلودگی هوا اهمیت دارد NO و NO<sub>2</sub> از نظر سلامت انسان و N<sub>2</sub>O بعنوان گاز گلخانه در گرمایش زمین است.

NO گازی ست بی‌رنگ و بی‌بوست، درحالی‌که NO<sub>2</sub> به‌رنگ قرمز مایل به‌نارنجی نزدیک به‌قهوه‌ای و دارای نقطهٔ جوش 21/2 درجه سلسیوس و فشار جزئی کم است که آن را در حالت گازی نگه می‌دارد. این گاز خورنده اکسیدان قوی و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تنفسی و سمی است. سمیت آن چندین برابر NO است.

NO<sub>x</sub> ابتدا به‌صورت NO در جریان احتراق از ترکیب ازت و اکسیژن هوا در دمای زیاد و به‌ویژه در موتورهای احتراق داخلی تشکیل شده و پس از ورود به‌هوا به‌سرعت به‌NO<sub>2</sub> تبدیل می‌شود.

### اثرها

**افزایش مت هموگلوبین** - مقدار مت هموگلوبین در خون به‌طور طبیعی بین صفر تا 8 درصد هموگلوبین است وقتی در اثر تماس در محیط آلوده غلظت آن در خون به 10 تا 15 درصد هموگلوبین برسد (به این غلظت در هوای آزاد نمی‌رسد) نشانه‌هایی مانند سختی تنفس<sup>۱</sup> که به‌نارسایی اکسیژن و یا هیپوکسی می‌انجامد، ظاهر می‌شود. البته غلظت بیشتر که به‌سیانوز و مرگ در حیوانات منجر می‌شود نیز، مشاهده شده است. (بین 1200 تا 1500 پی‌پی‌بی NO<sub>2</sub>)

### بازدارندگی فعالیت آنزیم

غلظت 20 پی‌پی‌ام NO<sub>2</sub> سبب توقف فعالیت هیدروژناز با کتری‌های پروتئوس و لگاریس شده است.

## اثر بر مجاری تنفسی

تغییرات در عمل کرد ریه‌ها در تماس با غلظت تا 50 پی‌پی‌ام در کوتاه‌مدت یا غلظت‌های کم (0/8 پی‌پی‌ام) در مدت طولانی‌تر همراه با افزایش تعداد تنفس و کاهش ظرفیت ریه‌ها بوده است.

## تأثیر عمومی پاتولژیک

مطالعه روی حیوانات نشان داده که تغییرات پاتولژیکی مشابه در بیشتر حیوانات مورد بررسی به‌وجود می‌آید. واکنش‌های تورمی با هجوم ماکروفاژها، از بین رفتن سلول‌های اپیتلیال و تورم ریه‌ها در خرگوش‌هایی که با غلظت 100 پی‌پی‌ام به‌مدت 24 ساعت تماس داشته‌اند مشاهده شده است. سایر عوارض پاتولژیکی شامل تغییرات سلولی، هیپرپلازیا و جراحات آمفیومی است که با غلظت‌های 0/5 تا 25 پی‌پی‌ام بروز می‌کند.

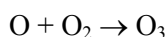
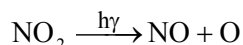
اثرهای سیستمیک شامل تغییر بافت‌های کلیه و کبد و قلب است. پس از 2 ساعت تماس با غلظت 15 پی‌پی‌ام، کاهش وزن، کاهش مصنوعیت در برابر بیماری‌های عفونی و حساسیت در برابر باکتری‌ها و احتمالاً عفونت‌های ویروسی از عوارض آلودگی هوا به‌دای اکسیداز است. به‌طور خلاصه تأثیرهای حاد کوتاه‌مدت (یک ساعته) با غلظت‌های کم در حیوانات دیده نشده است.

## پژوهش‌های اپیدمیولوژی

از سال 1970 به‌بعد پژوهش‌هایی در هلند، انگلیس و آمریکا انجام شده است. این پژوهش‌ها در هوای آزاد انجام گرفته است، ولی داده‌های به‌دست آمده حتی برای تهیه یک راهنمای استاندارد کافی نبوده‌اند. مهم‌ترین پژوهش در آمریکا روی بچه‌های 6 تا 10 ساله مدارس در 6 شهر انجام گرفت و چنین نتیجه‌گیری شد که بچه‌هایی که در منزلشان برای پخت و پز از گاز استفاده می‌شود بیشتر در معرض بیماری‌های ریوی هستند. چهار سال بعد پژوهش مشابهی در همین مدارس، ولی با بچه‌های دیگر انجام گرفت که نشان داد رابطه بین پخت و پز با گاز و بیماری‌های ریوی بچه‌ها ضعیف‌تر است و وقتی اثر سایر عوامل مداخله‌کننده در ایجاد بیماری را حذف کردند رابطه از نظر آماری معنی‌دار نبود. پژوهش بزرگسالان هم رابطه بین پخت و پز با گاز و بیماری‌های ریوی را نشان نداد. به‌طور کلی از پژوهش‌های اپیدمیولوژی چنین نتیجه گرفته شده است که استفاده از گاز در خانه‌ها اثر کمی روی بچه‌ها دارد و این اثر پس از رشد بیشتر از بین می‌رود. (EPA 1971)

## چرخه اوزن و اسماگ فوتوشیمیایی

اثر غیرمستقیم اکسیدهای ازت را می‌توان تولید ترکیبات فوتوشیمیایی اوزن و اسماگ دانست:



و این اوزن علاوه بر اثرهای بهداشتی، در حضور رادیکال‌های OH و هیدروکربورها وارد یک رشته واکنش‌های زنجیره‌ای می‌شود که حاصل آن تولید آلایندۀ جدیدی بنام پراکسی استیل نیترات (PAN) است (در فصل شیمی هوا در این مورد بحث شده است).

## تولید دی‌اکسید ازت

تولید  $\text{NO}_x$  همان‌طور که اشاره شد بیشتر با ترکیب ازت و اکسیژن هوا در دمای زیاد (حدود 1700 درجۀ فارنهایت) انجام می‌گیرد. در شهرها مهم‌ترین منبع انتشار آن حمل و نقل شهری است در تهران 29/3 درصد اکسیدهای ازت از طریق فعالیت حمل و نقل وارد هوا می‌شود و در صنایع، بیشتر نیروگاه‌ها، اعم از نفت‌سوز یا گازسوز و صنایعی چون صنعت تولید اسید نیتریک که به‌نحوی با ترکیبات نیتروژن سروکار دارند در انتشار آن مؤثرند. علاوه بر منابع انسان‌ساخت اکسیدهای ازت توسط باکتری‌ها، آتشفشان‌ها و رعد و برق نیز تولید می‌شود. روند تغییرات دی‌اکسید ازت در تهران، در سال 1375 بین 10/2 تا 86/4 پی‌پی‌بی بوده است (معاونت پژوهشی وزارت بهداشت).

جدول‌های 11-6 و 11-7 انتشار  $\text{NO}_x$  در انگلیس و جهان را به‌ترتیب برای سال‌های 1970 و 1998 به‌همراه منابع انتشار نشان می‌دهد (کالز، 2002).

جدول 6-11- انتشار اکسیدهای ازت در 1970 و 1998 انگلیس برحسب منابع

| منبع                      | انتشار 1970<br>کیلو تن ازت | انتشار 1998<br>کیلو تن ازت | درصد از کل سال<br>1998 |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| سوخت برای انرژی برق       | 247                        | 111                        | 21                     |
| پالایش نفت                | 13                         | 16                         | 3                      |
| سایر مصارف                | 19                         | 16                         | 3                      |
| سوخت تجاری - خانگی        | 19                         | 22                         | 4                      |
| خانگی                     | 22                         | 10                         | 2                      |
| تجاری                     |                            |                            |                        |
| مصرف سوخت در صنایع        | 23                         | 7                          | 1                      |
| آهن و فولاد               | 98                         | 47                         | 9                      |
| سایر صنایع                | 4                          | 2                          | 0                      |
| فرایندهای تولید           | 0                          | 0                          | 0                      |
| استخراج و توزیع سوخت      | 234                        | 243                        | 46                     |
| حمل و نقل جاده ای         | 76                         | 60                         | 11                     |
| سایر حمل و نقل و ماشین ها | 760                        | 534                        | 100                    |
| جمع                       |                            |                            |                        |

جدول 7-11- انتشار جهانی اکسیدهای ازت بر حسب نوع منبع

| درصد کل | مقدار تولید کیلوتن $\text{NO}_2$ در سال | ویژگی منبع         |
|---------|-----------------------------------------|--------------------|
|         |                                         | احتراق سوخت        |
| 13/7    | 21000                                   | زغال               |
| 6/6     | 10200                                   | نفت                |
| 4/9     | 7600                                    | گاز                |
| 17/1    | 26300                                   | حمل و نقل          |
| 2/6     | 4000                                    | صنعت               |
| 11/8    | 18100                                   | خاک                |
|         |                                         | زیست توده          |
| 6/6     | 10200                                   | مراتع              |
| 4/5     | 6900                                    | برداشت جنگل‌ها     |
| 4/3     | 6600                                    | سوخت چوب           |
| 8/5     | 13100                                   | زباله کشاورزی      |
|         |                                         | منابع جوی          |
| 6/6     | 10200                                   | اکسیداسیون آمونیاک |
| 10/7    | 16400                                   | رعدوبرق            |
| 0/7     | 1000                                    | هواپیماها          |
| 1/4     | 2000                                    | از استراتوسفر      |
| 100     | 153600                                  | جمع انتشار         |

### اوزن و سایر اکسیدان‌های فوتوشیمیایی

اوزن اکسید کننده بسیار قوی است که به عنوان آلودگی ثانویه تحت تأثیر اشعه خورشید بر دی اکسید ازت و تولید اکسیژن اتمی رادیکال در هوا به وجود می آید. حداکثر غلظت 24 ساعته این اوزن که آن را اوزن ترپوسفر می نامند به طور طبیعی 0/06 پی پی ام است که در فراز اقیانوس اطلس و در ارتفاع 3000 متری اندازه گیری شده است. در بعضی شهرهای اروپایی غلظت یک ساعته بیشتر از 0/18 پی پی ام بوده است. غلظت اوزن در شهر تهران بسیار متغیر و وابسته به اشعه خورشید و غلظت  $\text{NO}_2$  است. بیشترین غلظت 38 پی پی بی در فرودگاه مهرآباد در مهر



سال 1384 و کمترین غلظت 5 پی پی بی در آبان 1379 در ایسنگاه فاطمی گزارش شده است. این اوزن با اوزن استراتوسفر که جذب کننده اشعه فرابنفش خورشید و محافظ زندگی در کره زمین است، تفاوت دارد. حدود 40 درصد اوزن در بینی و حنجره جذب می شود و 60 درصد آن به عمق ریه می رسد.

راه ورود اوزن به بدن بیشتر از طریق تنفس است و راهی جز این نیز انتظار نمی رود. به طور کلی طبق نظر میلر<sup>1</sup> برداشت اوزن به شرح زیر است:

1- اوزن می تواند در هر قسمت از بافت ریه نفوذ کند و این امر به غلظت اولیه آن بستگی دارد.

2- بیشترین مقدار در سطوح بافت در منطقه بین برنشیول و آلئول ها است.

3- اندکی از اوزن وارد خون می شود.

4- کمی افزایش در مقدار برداشت، بر ترانشو برونشیاال اثر کمی دارد، ولی تأثیر آن بر قسمت اصلی ریه محسوس است (هانسون، 1999).<sup>2</sup>

### اثرات بهداشتی

همانطور که پیشتر اشاره شده است اوزن اکسیدانی بسیار قوی است و بنابراین می تواند روی هر ماده بیولوژیکی اثر داشته باشد. به طور کلی اوزن اثر خود را با دو سازوکار وارد می کند: الف - اکسیداسیون گروه سولفیدریل، امینواسیدها، آنزیم ها، کوانزیم ها، پروتئین ها و پیتیدها؛

ب - اکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده<sup>3</sup> به پراکسیدهای اسید چرب. غشاها هم از پروتئین و هم چربی تشکیل شده اند و به همین دلیل هدف مناسبی برای حمله اوزن هستند.

علاوه بر آزمایش های انجام شده روی حیوانات، در پژوهش های انجام شده روی تعداد زیادی انسان در معرض اوزن عوارض و نارسایی های مشخص ریوی مشاهده شده است. در بسیاری از مطالعات، انسان بین 1 تا 3 ساعت در معرض غلظت هایی بین 200 تا 2000 میکروگرم در مترمکعب اوزن قرار گرفته است (هانسون، 1999). غلظت حدود 4000 میکروگرم در مترمکعب سبب ضایعات سلول های برنش و اپیتلیال الوئول های ریوی و در نهایت تغییرات بیوشیمی ریه بوده است (WHO، 1987).

---

1- Miler Ref. 11

2- Heinsohn

3- Polyunsaturated

جدول 8- 11- اثر غلظت‌های مختلف اوزن

| غلظت اوزن PPM | اثرات کوتاه‌مدت                              |
|---------------|----------------------------------------------|
| 0-0/2         | بی اثر                                       |
| 0/1-0/2       | بوی آن احساس می‌شود                          |
| 0/2-1         | اثرهای قابل کشف متابولیک                     |
| 1-2           | تغییر در تنفس و احتمال افزایش عفونت‌های ریوی |
| 2-5           | تخریب بافت‌های ریه                           |
| 5 <           | ضایعات شدید بافت ریه و آمفیزم                |

پژوهش‌های اپیدمیولوژی روی کودکان کاهش عملکرد ریه‌ها را در غلظت‌های 200 میکروگرم در مترمکعب و کمتر نشان داده است. سایر بررسی‌ها تغییرات عملکرد ریه‌ها و حالت‌های آسمی را در تماس با غلظت‌های 160 تا 340 میکروگرم در مترمکعب نشان داده است. این تغییرات با حرارت و وجود سایر آلاینده‌ها تشدید می‌شده است. در کودکان نشانه‌هایی مانند سرفه و سردرد با غلظت‌های 160 تا 300 میکروگرم در مترمکعب رابطه داشته است. تنفس اوزن بدون سایر اکسیدان‌ها نیز سبب بروز ناراحتی‌های ریوی حتی در غلظت‌های کم بوده است. به‌علاوه خستگی زودرس و کاهش رکوردهای ورزشی در مناطقی با اوزن زیاده

(لوس آنجلس) گزارش شده است.

واکنش‌های فیزیولوژیکی با تکرار تماس کاهش می‌یابد. به‌طور کلی همه برای این باورند که اوزن و سایر اکسیدان‌های فوتوشیمیایی، بر سلامت انسان اعم از بزرگسالان و کودکان و به‌ویژه بیماران آسمی اثر دارد.

آمارهای موجود در انگلیس در این باره نشان می‌دهد که بستری شدن آسمی‌ها از 40000 نفر در سال 1980 به 100000 نفر در سال 1989 رسیده است و بروز آسم هم در مردم عادی همین روند را داشته است.

مطالعات زیادی روی حیواناتی که از چند ساعت تا چند روز با اوزن تماس داده شده بودند انجام شد و مشخص گردید که کمترین اثر با غلظت‌های بین 160-400 میکروگرم در مترمکعب (0/08-0/2 پی‌پی‌ام) بروز می‌کند. مرگ و میر موشهایی که عفونت استرپتوکوک داشتند و به‌مدت 3 ساعت با غلظت 160 میکروگرم در مترمکعب اوزن تماس داده شدند

افزایش یافت.

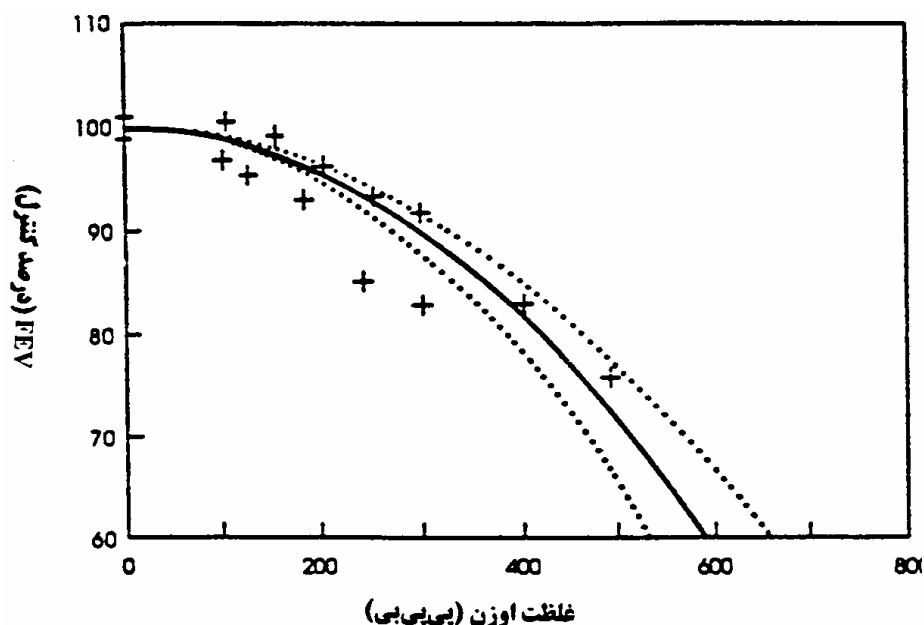
در جدول 9-11 غلظت‌های اوزن که سبب 5 درصد کاهش FEV<sup>1</sup> می‌شود، نشان داده شده است.

جدول 9-11- غلظت‌های اوزن بر حسب ppb که سبب 5 درصد کاهش FEV بعد از زمان‌های مختلف و شدت تمرینات ورزشی می‌شود

| وضع انسان | 2 ساعت ملایم | 2 ساعت شدید | 6/6 ساعت ملایم | 2/5 ساعت خیلی شدید |
|-----------|--------------|-------------|----------------|--------------------|
| معمولی    | 300          | 250         | 70             | 160                |
| حساس      | 150-100      | 120-80      | ---            | ---                |

اثرهای اوزن را به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد:

- 1- تغییرات بافت‌شناسی شامل نایژه - نایژک، تنگی نفس و فیبری شدن جدار ریه در تماس طولانی مدت با غلظت بین 0/2 تا 1 قسمت در میلیون؛
- 2- تغییر در عملکرد ریه‌ها در تماس با غلظت 0/3 پی‌پی‌ام اوزن در مدت 2 ساعت که با قطع تماس قابل برگشت است، کاهش حجم حیاتی ریه، افزایش تعداد تنفس و افزایش مقاومت در برابر جریان تنفس؛
- 3- تغییر در ساختمان پروتئین ریه بعد از یک ساعت تماس با غلظت 1 پی‌پی‌ام مشاهده شد؛
- 4- افزایش مرگ و میر در نتیجه هیستامین - عفونت باکتریایی، سن زیاد و ورزش در هوای آلوده در غلظت‌هایی بین 1 تا 5 پی‌پی‌ام به مدت 2 تا 6 ساعت؛
- 5- تغییرات بیوشیمیایی ریه و سایر اعضا پس از 4 ساعت تماس با غلظت 3 تا 6 پی‌پی‌ام؛
- 6- حساسیت در برابر عفونت‌های باکتریایی در مواجهه 3 ساعته با 0/08 پی‌پی‌ام اوزن؛
- 7- تأثیر بر حجم هوای خروجی که با فشار بر ریه‌ها خارج می‌شود (FEV) که در شکل 3-11 نشان داده شده است.



شکل 3-11- اثر اوزن بر حجم هوای خروجی بعد از یک ثانیه (منبع Colls)

عکس‌العمل با تکرار تماس کاهش می‌یابد. به‌طور کلی همه برای این باورند که اوزن و سایر اکسیدان‌های فوتوشیمیایی بر سلامت انسان اعم از بزرگسالان و کودکان و به‌ویژه بیماران آسمی اثر دارد.

### دی‌اکسید گوگرد

دی‌اکسید گوگرد که به‌طور عمده از مصرف سوخت‌های فسیلی وارد جو می‌شود در بسیاری از شهرهای بزرگ مهم‌ترین آلاینده به‌شمار می‌آید. حوادث ناگوار آلودگی هوا در شهرهای میوز در بلژیک، دونورا در پنسیلوانیا، لندن و... به‌علت غلظت زیاد دی‌اکسید گوگرد همراه با ذرات معلق بوده است.

دی‌اکسید گوگرد گازی است بی‌رنگ که بر روی سطوح بسیاری از مواد جامد و ذرات هوا واکنش انجام می‌دهد. در آب و نیز قطره‌های باران حل می‌شود. در هوا به‌تری اکسید گوگرد و سرانجام اسید سولفوریک تبدیل می‌گردد.

## تأثیر بر سلامت

پس از 10 دقیقه در غلظت‌های 1 تا 5 پی‌پی‌ام، در بعضی از افراد آسمی نشانه‌های مشخص داسپنویا<sup>۱</sup> بروز می‌کند که به‌معالجهٔ برونکودیلاتاسیون<sup>۲</sup> نیاز خواهد داشت. با غلظت 1 تا 5 پی‌پی‌ام در 10 دقیقه فرد عادی دچار خس خس و اشکال در تنفس می‌شود. در غلظت 0/25 تا 0/5 پی‌پی‌ام در مدت 60 دقیقه تغییرات معنی‌دار آماری در FVC<sup>۳</sup> یا SRaw<sup>۴</sup> افراد آسمی دیده نمی‌شود. در غلظت 0/3 پی‌پی‌ام در 120 دقیقه علائم ریوی مشاهده نمی‌شود (WHO, 1987).

در مطالعات انجام شده در هلند چنین نتیجه گرفته شد که عملکرد کمتر ریه در مناطق شهری در مقایسه با مناطق روستایی ممکن است به‌علت تماس درازمدت با آلودگی‌های شهری باشد. پژوهشی دیگر در سوئد دلهره و کج خلقی در مناطق شهری آلوده پدیده‌ای معمولی است. طی مطالعاتی که در دانشگاه آریزونا انجام شده نشان داد که در کشت خون میزان DNA به‌وسیله SO<sub>2</sub> کاهش می‌یابد و در کروموزوم‌ها تغییراتی پدید می‌آید. همچنین دیده شده که لنفوسیت‌ها از بین می‌روند و مقاومت بدن در برابر بیماری‌های عفونی کاهش می‌یابد. دی‌اکسید گوگرد همراه با ذرات معلق اثر تشدیدکنندگی دارد، زیرا با میزان حلالیتی که دی‌اکسید گوگرد با آب و در نتیجه مایعات مخاط حلق و حنجره دارد اثر آن بیشتر بر دستگاه فوقانی تنفسی است، ولی در حضور ذرات به‌ویژه حدود 180 میکروگرم در مترمکعب ذره به‌علت جذب سطحی و یا واکنش‌هایی که با ذرات می‌دهد تا اعماق ریه نفوذ می‌کند و ضایعات ریوی و سایر عوارض یاد شده را تشدید می‌نماید. به‌طور کلی بررسی‌های WHO برای تعیین آستانهٔ اثر نشان داده است که با 1000 میکروگرم در مدت 10 دقیقه اولین اثر ظاهر می‌شود و با توجه به‌ضرب ایمنی تماس بیش از 500 میکروگرم، در مدت 10 دقیقه توصیه نشده است. در غلظت‌های کمتر اولین اثر SO<sub>2</sub> انقباض برونش‌هاست که به‌خس خس سینه می‌انجامد. در تماس یک ساعته با غلظت 1 پی‌پی‌ام راه‌های هوایی ریه‌ها در برابر تنفس مقاومت نشان می‌دهند. در افراد آسمی و برونشیتی با 0/1 پی‌پی‌ام SO<sub>2</sub> نشانه‌ها ظاهر می‌شود. در جدول 10-11 اثر SO<sub>2</sub> بر سلامت خلاصه شده است.

---

1- Dyspnoea = نفس تنگی

2- Bronchodilatation

3- Forced Vital Capacity

4- Specific Airway Resistance

جدول 10-11- اثرهای بهداشتی دی اکسید گوگرد بر حسب پی پی ام

| غلظت    | مدت      | نوع اثر                                          |
|---------|----------|--------------------------------------------------|
| 0/03-5  | مداوم    | بر بیماران برونشی مؤثر است                       |
| 0/5-1/4 | یک دقیقه | بوی آن استشمام می شود                            |
| 0/3-1/5 | 15 دقیقه | چشمها تحریک می شوند                              |
| 1-5     | 30 دقیقه | افزایش مقاومت راههای هوایی و از دست دادن حس شامه |
| 5-20    | < 6 ساعت | ضایعات قابل برگشت ریه                            |
| 20<     | < 6 ساعت | آب آوردن ریه ها                                  |

### ذرات معلق

به هر نوع ماده پراکنده اعم از جامد یا مایع که از یک مولکول بزرگتر و از 500 میکرون کوچکتر باشد، ذره گفته می شود. برای ذرات با توجه به نوع و منشأ آنها نامهای مختلف مانند دود- دوده، میست، فیوم و غیره داده شده است. مجموع ذرات را TSP، ذرات کوچکتر از 10 میکرون را  $PM_{10}$  و ذرات کوچکتر از 2/5 میکرون را  $PM_{2.5}$  می گویند. ذرات کوچکتر از 10 میکرون به قسمت های پایینی ریه وارد می شوند و بیشتر ذرات رسوب کننده در حبابچه ها یا ذراتی که از جدار ریه عبور می کنند و وارد جریان خون می شوند کوچکتر از 2/5 میکرون هستند. این دو گروه از نظر بهداشتی اهمیت خاصی دارند. به طور کلی ذرات با توجه به قطر در قسمت های مختلف مجاری تنفسی رسوب می کنند و از جریان هوای تنفسی حذف می شوند. نمودار 4-11 الف و ب وضعیت رسوب ذرات در قسمت های مختلف ریه را نشان می دهد.

### عملکرد ذرات

ذراتی که در قسمت گلو و حلق گرفته می شوند، وارد دستگاه هاضمه شده و در مدت نسبتاً کوتاهی دفع می گردند، مگر آنکه وارد خون شوند. ذراتی که وارد نای می شوند به وسیله موی ماندها و مخاط از جریان هوای تنفسی جدا می شوند و در نهایت به دستگاه هاضمه راه می یابند. ذراتی که به برونش ها می رسند خیلی کندتر حذف می شوند.

این که چه ذراتی در چه جاهایی از سیستم تنفسی رسوب می کنند، تابع قطر ذره، سرعت تنفس و حجم تنفس است. بنابراین کسانی که در یک منطقه صنعتی پر از گرد و خاک کار

سنگین انجام می‌دهند، ذرات بیشتری را نسبت به کسانی که در حال استراحت هستند وارد ریه‌های خود می‌کنند. برای الیافی مانند ازیست، پنبه، کتان و غیره، رسوب را باتوجه به شکل غیرمتعارف آنها باید در نظر گرفت.

بنابر تعریف سازمان محیط زیست آمریکا به ذراتی که قطر کمتر از 10 میکرون داشته باشند ذرات قابل تنفس<sup>۱</sup> می‌گویند، در حالی که ACGIH<sup>۲</sup> ذرات کوچک‌تر از 2/5 میکرون را ذرات تنفسی<sup>۳</sup> می‌داند. معمولاً ذرات تنفسی را با قطر آئرو دینامیکی آنها که قطر کره‌ای با دانسیته واحد و سرعت سقوط ذره مورد بحث است، تعریف می‌کنند. به‌طور تقریبی قطر آئرو دینامیک را می‌توان با رابطه زیر محاسبه کرد.

$$D_a = D_m \sqrt{\rho}$$

که در آن  $D_a$  و  $D_m$  قطرهای آئرو دینامیک و اندازه‌گیری شده‌اند و  $\rho$  دانسیته ذره اندازه‌گیری شده بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب است.

ذراتی که به کیسه‌های هوایی می‌رسند با یک فرایند یا مجموعی از فرایندهای زیر عمل می‌کنند:

- 1- توسط موی‌مانندهای سلول‌های برنش به خارج رانده می‌شوند.
- 2- فاگوسیت‌ها آنها را می‌خورند و به سیستم لنف منتقل می‌کنند.
- 3- حل شده و وارد جریان خون یا لنف می‌شوند.
- 4- در داخل کیسه‌های هوایی به‌طور دائم باقی می‌مانند.

## تأثیر ذرات

درمورد تأثیر ذرات بررسی‌های زیادی انجام گرفته است. در یک بررسی اپیدمیولوژی که توسط وینکلشتین و همکاران<sup>۴</sup> در شهرهای بافالو واریه از ایالت نیویورک آمریکا صورت گرفته میانگین دوساله ذرات در چهار سطح آلودگی به شرح زیر است:

سطح 1 کمتر از 80، سطح 2 بین 80 تا 100، سطح 3 از 100 تا 135 و سطح 4 بیش از 135 میکروگرم در مترمکعب بررسی شده است. هریک از این مناطق آلوده به پنج طبقه اقتصادی اجتماعی تقسیم شدند. میزان مرگ و میر به سبب تمام علل کشنده مثل بیماری‌های تنفسی و سرطان معده با افزایش غلظت ذرات افزایش یافته و نتیجه، مستقل از وضعیت

---

1- Inhalable

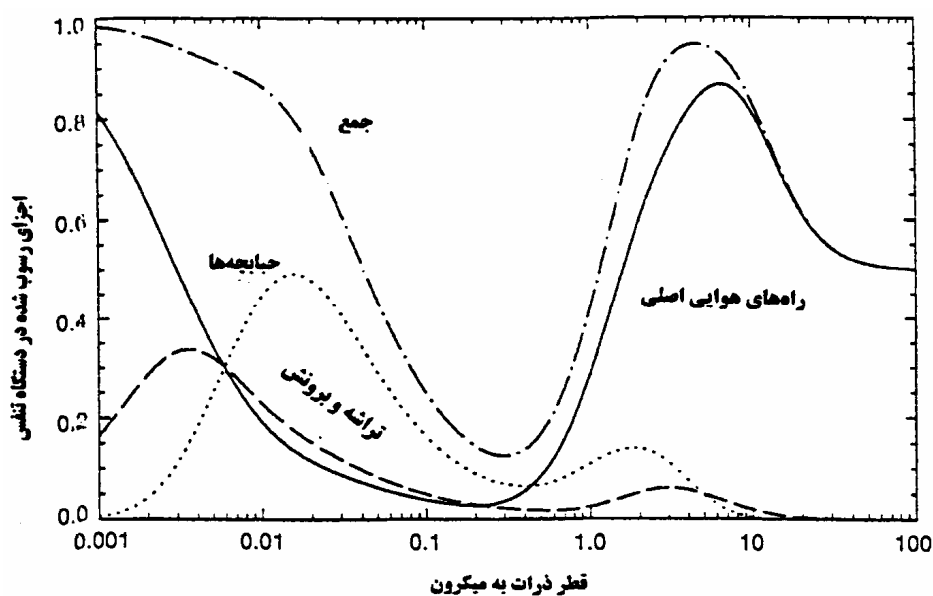
2- American Conference Gornmental Industrial Hygienists

3- Respirable

4- Winkelstein 1968

اقتصادی جامعه تحت مطالعه بوده است. در پژوهشی دیگر، دوگلاس و والر<sup>1</sup> در سال 1946 کودکان تازه متولد شده را تا 15 سالگی مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که ذرات در غلظت حدود 130 میکروگرم در مترمکعب با عفونت در دستگاه تحتانی تنفسی رابطه دارد و لان و همکاران نیز پژوهش مشابهی را در انگلیس انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که عفونت دستگاه‌های فوقانی و تحتانی ریه هر دو با افزایش غلظت آلودگی هوا با ذرات معلق و  $SO_2$  رابطه معنی‌داری دارند. (غیاث‌الدین، 1378)

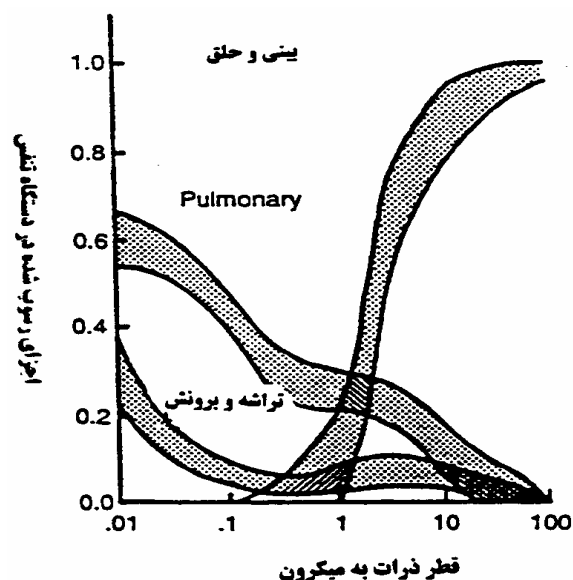
به شرح جدول 11-11 به دست آمده  $PM_{10}$  در پنج شهر آمریکا رابطه مرگ و میر با ذرات است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مرگ در هر صد هزار نفر در شهر لوس آنجلس که بیشترین را دارد از سایر شهرها بیشتر است و به‌طور کلی 35 میکروگرم ذرات  $PM_{10}$  غلظت ذرات کوچک‌تر از 10 میکرون در مترمکعب عامل 55 مورد مرگ در هر صد هزار نفر بوده است (AQC, 1997)



شکل 4-11 (الف) - تغییرات بازده جزء به جزء قطر ذرات که در قسمت‌های مختلف سیستم تنفسی جمع شده‌اند (کالز، 1999)

1- آلودگی هوا - غیاث‌الدین، Douglas J.W and wholer





شکل 4-11 (ب) - رسوب ذرات در قسمت‌های مختلف دستگاه تنفس (کالز، 2002)

جدول 11-11 رابطه مرگ و میر ناشی از ذرات در پنج شهر آلوده آمریکا

| نام شهر   | میانگین غلظت سالانه $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | مرگ و میر در هر صد هزار نفر |
|-----------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| لوس آنجلس | 44                                           | 79                          |
| نیویورک   | 29                                           | 44                          |
| شیکاگو    | 34                                           | 49                          |
| فیلادلفیا | 33                                           | 55                          |
| دیترویت   | 33                                           | 45                          |
| میانگین   | 35                                           | 55                          |

مأخذ: ترپ<sup>1</sup> 1997

طبق بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی هر 10 میکروگرم افزایش ذرات معلق موجب 1 تا 3 درصد افزایش مرگ و میر خواهد شد. حال با توجه به این مطالعه وضعیت آلودگی هوا به ذرات معلق، در پنج ایستگاه مختلف در شهر تهران به طور متوسط 96 میکروگرم در مترمکعب بر حسب ذرات زیر 10 میکرون است یعنی اگر به طور متوسط برای هر 10 میکروگرم

1- Terp

اضافه غلظت 2 نفر به تعداد تلفات در هر 100 هزار نفر اضافه شود، در تهران برای هر صد هزار نفر 63 مورد مرگ و میر و برای 8 میلیون نفر جمعیت فعلی تهران حدود 5000 مورد فوت در اثر ذرات معلق هوا پیش‌بینی می‌شود. بسیاری از مطالعات نشان داده است که وقتی غلظت ذرات معلق با قطر 10 میکرون و کمتر، از 20 میکروگرم در مترمکعب تجاوز می‌کند افزایش مرگ و میر معنی‌دار می‌شود (همیکی، 1994).<sup>1</sup>

علاوه بر آنچه ذکر شد دانشگاه هاروارد در دهه 1970، در شش شهر آمریکا گروه‌های جوانی را انتخاب و وضعیت سلامت و مرگ و میر آنها را تا دو دهه بعد مورد بررسی قرار داد. نتیجه این تحقیق در سال 1993 چاپ و منتشر شد. در این نتیجه‌گیری ابتدا تصحیح لازم برای حذف تأثیر عواملی چون سن، وزن بدن، درآمد و مصرف دخانیات انجام گرفت و سپس گروه‌های مورد مطالعه با گروه‌های کنترل مقایسه و مرگ و میرهای نسبی ثبت شد. نتیجه این بررسی، ارتباط تنگاتنگی را بین مرگ و میر و غلظت ذرات  $PM_{10}$  نشان داد (شکل 5-11). وقتی این رابطه با ذرات  $PM_{2.5}$  مورد آزمایش قرار گرفت، ارتباط مرگ و میر با این ذرات بسیار قوی‌تر بود. به‌طور کلی این مطالعه و سایر پژوهش‌های انجام شده در اروپا نشان می‌دهد که ذرات معلق تا 26 درصد مرگ و میرها را در نقاط آلوده افزایش و عمر را، دو تا سه سال کاهش می‌دهد (کالز، 1997).

به‌طور کلی سهم ذرات در افزایش بیماری‌های مزمن ریوی 3/3 درصد، بیماری‌های قلبی 2/1 درصد و ذات‌الریه 4 درصد گزارش شده است (شوارتز 1996).<sup>2</sup> ذرات بسته به جنس شیمیایی عوارض ریوی متفاوتی از جمله فیبروز و سیلیکوز به‌وجود می‌آورند که در جای خود شرح داده خواهد شد.

## هیدروکربن‌ها

### ترکیب آلی فرار (VOC)<sup>3</sup>

این ترکیبات از دو جنبه اهمیت دارند، نخست اینکه، پیش‌نیاز تشکیل اکسیدان‌های فوتوشیمیایی‌اند و دوم این‌که گونه‌هایی از این ترکیبات سرطان‌زاهای شناخته شده‌اند. در این گروه چند صد ترکیب وجود دارد که سمی‌ترین آنها بنزن است. معمولاً غلظت این گروه را بدون متان ذکر می‌کنند، زیرا با آنکه متان با غلظت بیشتری در هوا وجود دارد، ولی در حد

---

1- Hemmiki 1994

2- Schwartz and Andreae 1996

3- Volatile Organic Compounds

موجود در هوا سمی نیست، اما در تشکیل اکسیدان‌های فوتوشیمیایی مؤثر است. از نظر تأثیر بر سلامت، بنزن نقش مهم‌تری دارد که استاندارد آن را 5 قسمت در بیلیون تعیین کرده‌اند و قرار است در آینده به 1 قسمت در بیلیون کاهش داده شود. بنابر گزارش‌های موجود حدود 5 درصد بنزن در بنزین وجود دارد که در ایران اخیراً به 1 تا 1/5 درصد کاهش داده شده است. علت ده درصد از موارد لوکیمیا را در انگلیس بنزن هوا می‌دانند (کالز، 2002).

بنزن با فرمول  $C_6H_6$  مایعی است شفاف و بی‌رنگ با دانسیته 0/87 و نقطه جوش 80 درجه سلسیوس، فشار بخار آن 9/95 کیلو پاسکال در دمای 20 درجه سلسیوس است. در گذشته این ماده به‌عنوان حلال مصرف زیادی داشته است که به‌علت خطرهایش، در حال حاضر ممنوع است. برداشت روزانه انسان از منابع مختلف در جدول شماره 11-12 آمده است. به‌طور کلی در انگلیس 78 درصد بنزن هوا از آگزوز اتومبیل‌های بنزینی و 9 درصد از اتومبیل‌های دیزلی، 7 درصد از راه تبخیر و بقیه از منابعی مثل پالایشگاه‌های نفت و غیره منتشر می‌شود (کالز، 1997). برداشت بنزن از منابع مختلف در جدول 11-12 آمده است.

جدول 11-12- برآورد برداشت روزانه بنزن از منابع عمده بر حسب میکروگرم

| کل        | تنفسی                                                               | غذا و آشامیدنی                          |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|           | هوای آزاد <sup>(b)</sup><br>سیگار <sup>(c)</sup><br>(تعداد یا کمتر) | غذا <sup>(a)</sup><br>آب <sup>(a)</sup> |
| 130-550   | 0 (0)                                                               | 1-5                                     |
| 700-1200  | 600 (1)                                                             | 100-250                                 |
| 1300-1800 | 1200 (2)                                                            |                                         |

(منبع WHO, 1978)

a - با فرض جذب کامل

b - فرض 50 درصد جذب و 20 مترمکعب تنفس در روز

c - هر پاکت محتوی 20 سیگار و ارقام داخل پرانتز تعداد پاکت است.

گروه IARC موارد زیادی از لوکیمیای میلو بلاستیک<sup>1</sup> و اریترو بلاستیک<sup>2</sup> مرتبط با بنزن را در مقاله‌های گوناگون گزارش کرده‌اند. موارد پراکنده لوکیمیا میلوئید و بیماری‌های دیگر مشاهده شده است. بررسی کارگران در معرض تماس با بنزن، رابطه معنی‌دار آماری را بین لوکیمیای حاد و بنزن به‌اثبات رسانده است. در یک بررسی شش ساله از 44 مورد بنزن

1- Myeloblastic

2- Erythroblastic

(پانسیتوپنیا)<sup>۱</sup> شش مورد (14 درصد) تبدیل به لوکیما شده است. در بررسی های دیگر به ترتیب 11 و 13 مورد لوکیما از 66 و 135 مورد بررسی شده دیده شده است (ویجیلیانی، 1997)<sup>۲</sup>.

سایر هیدروکربن های سمی و خطرناک شامل پلی کلرینیتدی فنیل ها<sup>۳</sup> (PCB)، دی اکسین ها<sup>۴</sup> (PCDD)، فوران ها<sup>۵</sup> PCDF و هیدروکربن های چند هسته و آروماتیک ها (PAH) است که PCB ها با نام اسکارل در ترانسفورماتورها مصرف دارند و دی اکسین و فوران از سوزاندن زباله های شهری وارد هوا می شود.

### آلودگی هوا و سرطان

جدول 11-13 برآورد مواد سرطان زا را در تهران با توجه به اندازه گیری غلظت هیدروکربن ها که توسط دانشگاه صنعتی شریف انجام گرفته، نشان می دهد.

جدول 11-13 - برآورد مواد سرطان زا در تهران

| هیدروکربورهای عطری چند هسته ای | 158 نانوگرم در مترمکعب |
|--------------------------------|------------------------|
| اتان                           | 15                     |
| پروپان                         | 18                     |
| بنزن                           | 31                     |
| بوتادین                        | 5                      |
| فرمالدئید                      | 10                     |
| استالدئید                      | 7                      |

این مواد حاصل احتراق سوخت های فسیلی اند که در اثر مصرف بنزین یا گازوئیل در خودروها وارد هوا می شوند. البته هزاران ترکیب پیچیده وجود دارد که سرطان زاها شناخته شده ای اند و یا سلامت انسان را با ابتلا به بیماری های مزمن مثل آسم و یا حساسیت ها به خطر می اندازند.

1- Pancytopenia

بیماری که در آن تعداد گلوبول های، سفیدها قرمز و پلاکت ها کاهش می یابند و مغز استخوان نیز آسیب می بیند که ممکن است به میلوپروز سمی و کم خونی آپلاستیک بینجامد.

2- Vigliani 1979

3- Poly Chlorinated Biphenyls

4- Poly chlorinated dibenzodioxins

5- Ploy chlorinated dibenzofurans

برآورد رابطه آلودگی هوا با سرطان بسیار مشکل است زیرا بسیاری از ترکیبات شناخته شده نیستند و در ضمن عوامل زیاد دیگری نیز در ابتلا به سرطان مؤثرند. به هر حال تحقیقات اپیدمیولوژی خطر بروز سرطان را در افرادی که در معرض آلودگی هوا بوده اند نشان داده است شاید موثق ترین شواهد از مطالعات مواجهه شغلی بدست آمده باشد که در آن یک آلاینده مشخص مورد بررسی قرار گرفته است. بیشترین بروز سرطان در ریه بوده است، ولی سایر اعضا مثل مثانه، معده و کبد نیز مورد حمله سرطان ناشی از آلودگی هوا بوده اند (غیاث الدین 1378). همچنین مرگ و میر ناشی از سرطان ریه در افراد سیگاری مقیم شهرها 1/5 برابر افراد سیگاری مناطق روستایی است که نشان می دهد یک سوم از موارد سرطان در افراد سیگاری به دلیل آلودگی هواست. در جدول 11-13 برآورد مواد سرطان زا در تهران با توجه به اندازه گیری غلظت هیدروکربن ها که توسط دانشگاه صنعتی شریف انجام شده و اثر هریک از آلاینده ها که از جدول صفحه 4-15-2 گزارش TERP دسامبر 1997 (AQC, 1997) دریافت گردیده است، محاسبه شده است. طبق این برآورد 70 درصد از موارد سرطان ریه در افراد غیرسیگاری به دلیل آلودگی هواست. همچنین باید یادآور شد که در این برآوردها عدم اطمینان هم وجود دارد، زیرا خطر ابتلا به سرطان تابع تجمع مواد سرطان زا در طول زندگی است. از این رو نمی توان آن را کاملاً به دریافت روزانه نسبت داد. در جدول 11-14 خطر ابتلا به سرطان به علت ترکیبات مختلف نشان داده شده است.

جدول 11-14- خطر ابتلاء به سرطان ریه ناشی از ترکیبات مختلف حاصل از احتراق (17)

| نوع ترکیب                   | تعداد بیمار در سال در هر 100 هزار نفر |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| PAH به صورت ذره از راه تنفس | 10                                    |
| PAH از راه غذا              | 29                                    |
| PAH گازی                    | ؟                                     |
| اتن <sup>1</sup>            | 2/9                                   |
| اتان <sup>2</sup>           | 1/1                                   |
| بوتادین <sup>3</sup>        | 4/8                                   |
| بنزن <sup>4</sup>           | 1/5                                   |
| فورمالدئید <sup>5</sup>     | 2/4                                   |

1- Ethen

2- Ethan

3- Butadine

4- Benzene

5- Formaldehyde

با این برآورد، سالانه 51 نفر از هر 100 هزار شهروند تهرانی در معرض خطر ابتلاء به سرطان قرار دارند و برای حدود 8 میلیون نفر جمعیت تهران، متجاوز از 4000 مورد احتمال وقوع سرطان وجود دارد.

### سرب و تأثیرهای آن

سرب فلزی است به رنگ آبی یا نقره‌ای مایل به خاکستری، نرم با نقطه ذوب  $327/5$  و نقطه جوش  $1740$  درجه سلسیوس که چهار ایزوتوپ طبیعی دارد (208-206-207 و 204). بیشتر نمک‌های دوظرفیتی آن حلالیت کمی در آب دارند. سرب آلی به صورت تترااتیل و تتراامتیل برای خوش‌سوزی بنزین مصرف می‌شده است که در حال حاضر در بسیاری از کشورهای جهان از آن جمله ایران ممنوع شده است.

### منابع

تا قبل از حذف سرب از بنزین 80 تا 90 درصد سرب هوا توسط خودروهای بنزین‌سوز وارد هوا می‌شد که خوشبختانه این رقم در شهرهای ایران تقریباً به صفر نزدیک شده است. از آنجاکه سرب از طریق آب، غذا، ظروف و بعضی صنایع وارد بدن انسان می‌شود، به‌طور خلاصه به تأثیرهای آن بر سلامت انسان اشاره خواهد شد.

### اثرهای بهداشتی سرب

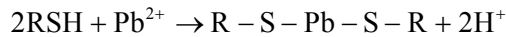
هر شخص روزانه بین 20 تا 400 میلی‌گرم سرب برداشت می‌کند. کمیته خبرگان FAO/WHO حد تحمل انسان را 3000 میلی‌گرم در هفته و یا 500 میلی‌گرم در روز تعیین کرده است. به نظر می‌رسد فقط نیمی از این مقدار برای کودکان قابل قبول باشد. از سرب وارد شده به بدن حدود 5 تا 15 درصد جذب می‌شود که در درازمدت به صورت تجمعی بار سرب بدن را افزایش می‌دهد و اگر انسان با غلظت‌های زیاد مواجه شده باشد، امکان دارد به حد آستانه اثر برسد و عوارض آن ظاهر گردد.

مسمومیت سرب با اختلال در سیستم آنزیم‌های بدن توضیح داده می‌شود، زیرا سرب سمی سیستمیک است که پس از جذب، بیشتر اعضا و ارگان‌های بدن را مورد حمله قرار می‌دهد. سازوکارهای جذب و اثر سرب به شرح زیر است:

**اول -** سرب به عنوان یک عنصر الکتروپوزیتیو میل ترکیبی زیادی با گروه سولفیدریل (SH) دارد. فعالیت آنزیم‌های وابسته به این گروه، تحت تأثیر سرب متوقف می‌شود یا کاهش می‌یابد. سازوکار عمل بدین صورت است که سرب با SH پروتئین آنزیم ترکیب می‌شود و

تشکیل مرکاپتید می‌دهد که به‌غیرفعال شدن آنزیم می‌انجامد.

واکنش انجام شده به‌شرح زیر است:



آنزیم‌هایی که به‌سولفیدریل وابسته‌اند و سرب، بازدارندهٔ فعالیت آنهاست، آدنیل سیکلاز<sup>۱</sup> و آمینو ترانسفراز<sup>۲</sup> هستند. آدنیل سیکلاز کاتالیزور تبدیل ATP<sup>۳</sup> به AMP<sup>۴</sup> که در انتقالات عصبی مغز لازم است و آمینوترانسفراز در متابولیسم آمینواسیدها نقش دارد.

**دوم -** سرب دوظرفیتی از بسیاری جهات به‌کلسیم شباهت دارد و ممکن است به‌صورت رقیب کلسیم در فرایند بدن عمل کند، مانند تنفس میتوکندریال و عملکرد اعصاب. شباهت زیاد کلسیم و سرب موجب می‌شود که به‌جای "هم" در سیستم بیولوژیکی بدن عمل کنند، به‌طوری‌که 90 درصد سرب یا بیشتر در اسکلت انسان تجمع پیدا می‌کند.

**سوم -** سرب با نوکلئیک اسید واکنش می‌دهد که به‌افزایش یا کاهش پروتئین منجر خواهد شد. سرب توان چسبیدن t-RNA را به‌ریبوزم‌ها کاهش می‌دهد.

اثر سرب روی اسیدنوکلئیک اهمیت بیولوژیکی زیادی دارد.

**چهارم -** سرب بر بیوسنتز "هم" تأثیر دارد که بسیار شناخته شده است. این اثر با بازدارندگی دلتا آمینولولینیک اسید دهیدراتاز<sup>۵</sup> (ALA-D) و فروچلاتاز<sup>۶</sup> صورت می‌گیرد. این دو ماده آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز هم (Haem) هستند.

دلتا ALA-D موجب کاتالیز کردن دلتا آمینولولینیک به‌پورفوبی لینوژن<sup>۷</sup> (PBG) می‌شود. فروچلاتاز مسئول کاتالیز آهن دوظرفیتی به‌پروتوپورفیرین<sup>۸</sup> هم می‌باشد. بازدارندگی این دو آنزیم به‌ظاهر به‌علت واکنش سرب با روی و آهن است که برای فرایند لازم‌اند.

### اثر بر سیستم عصبی

در بزرگ‌سالانی که غلظت سرب در خونشان بیش از 1/2 میکروگرم در هر میلی‌لیتر خون است، آنسفالوپاتی مشاهده شده است. همین عارضه در کودکان، با 0/1 تا 0/8 میکروگرم در میلی‌لیتر خون بروز کرده است. این عارضه در کودکان کشنده است و اگر زنده بمانند از

---

1- Adenyl Cyclase

2- Amino transferase

3- Adenyl three phosphate

4- Adenyl mono phosphate

5- δ - aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D)

6- Ferrochelataase

7- Porphobilinogen (PBG)

8- Protoporphyrin IX

ناراحتی عصبی و یا عصبی - روانی رنج خواهند برد. (WHO, 1987)

کودکان بیشتر در معرض خطر تأثیر سرب بر سلسله اعصاب مرکزی‌اند و توجه بیشتری به آنها شده است. پژوهش در باره بیماری‌های اعصاب و روان نشان داده که سرب خون به مقدار 0/15 تا 0/7 میکروگرم در مترمکعب به‌عوارض نامطلوبی مثل کاهش ضریب هوشی، اختلال دید و ناهماهنگی در حرکت دست‌ها و بی‌توجهی می‌انجامد و به‌علاوه بعضی رفتارها مثل حرکت غیرعادی نیز به‌این عامل نسبت داده شده است. در ضمن باید اشاره کرد که در مورد حرکات غیرعادی شواهد قانع کننده‌ای با غلظت کمتر از 0/4 میکروگرم سرب در میلی‌لیتر خون وجود ندارد.

### اثر بر فشار خون

بررسی‌های اپیدمیولوژی و مطالعه روی حیوانات افزایش فشار خون را بعلت تماس با سرب نشان داده است. بنا بر مطالعات انجام شده در امریکا و انگلیس، ممکن است بین سرب و افزایش فشارخون در مردان 40 تا 59 ساله رابطه وجود داشته باشد.

در جدول 11-15 کمترین اثرهای مشاهده شده به‌علت وجود سرب در خون بزرگسالان آمده است (WHO, 1987).

جدول 11-15- کمترین اثرات مشاهده شده با غلظت‌های مختلف سرب

| غلظت سرب در خون میکروگرم در میلی‌لیتر | سنتز هم و اثرات همتولژیک                                            | اثر بر سیستم عصبی  |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1 تا 2                                | ---                                                                 | علائم انسفالوپاتی  |
| 0/8                                   | کم خونی فرانک <sup>1</sup>                                          | ↑                  |
| 0/6                                   |                                                                     |                    |
| 0/5                                   | کاهش تولید هموگلوبین                                                | علائم عصبی         |
| 0/4                                   | افزایش ALA <sup>2</sup> در ادرار و افزایش کوپروپروفرین <sup>3</sup> | ↓                  |
| 0/3                                   |                                                                     | ↑                  |
| 0/2-0/3                               | افزایش پرتوپروفرین <sup>4</sup> در مردان                            | کندی انتقالات عصبی |
| 0/15-2                                | و زنان                                                              | ↓                  |
| 0/1                                   | بازدارندگی ALAD                                                     | ؟                  |

1- Frank anaemia

2- ALA-Aminolevulinic Acid

3- Coproporphyrin

4- Protoporphyrin



## استاندارد

آخرین TLV برای سرب غیرآلی 0/05 میلی گرم بر مترمکعب (ACGIH, 2002) و میانگین سالانه در هوای آزاد 0/5 میکروگرم در مترمکعب است (WHO, 1998)

## ذرات و الیاف فیبروزنیک

### الف: سیلیکا $\text{SiO}_2$

کریستال‌های سیلیکا ( $\text{SiO}_2$ ) از اجزای عمده پوسته زمین است. بنابر این مواجهه با آن در بسیاری از موارد مثل کار در معادن، سنگ شکنی، آسیاب کردن سنگ، سندبلاست ریخته‌گری، سرامیک سازی، بتن، رنگ، لاستیک و... پیش می‌آید. تعداد بیماران سیلیکوزی در آمریکا بین 30 تا 100 هزار نفر برآورد شده است. در ایران آمار درستی در دست نیست، ولی بی‌گمان در بین کارگران شاغل در این کارها مواردی وجود دارد.

### نشانه‌های کلینیکی

اصولاً دو نوع فیبروز اصلی وجود دارد، یکی موضعی و دیگر گره مانند<sup>1</sup>، معمولاً فیبروز حوالی برونش‌ها<sup>2</sup> مانند سیلیکوز و فیبروز پخش بین بافتی<sup>3</sup> مثل ازبستوز. نشانه‌های کلینیکی تمام پنومونی‌های مرتبط با ذرات و الیاف کم و بیش شبیه است هم که عبارتند از: سرفه‌های همراه با خلط، تنگی نفس که شدت آن افزایش می‌یابد، خس‌خس سینه و نشانه‌های نارسایی قلب از علائم سیلیکوز است. هرچند به‌طور کامل شناخته نشده است، پنومونی مربوط به گرفتگی راه‌های هوایی ریه هم اغلب با همین مواد ارتباط دارد. بیماری سیلیکوز بیشتر در حفره‌های فوقانی ریه با گره‌های قابل مشاهده با قطر حدود 6 میلیمتر اتفاق می‌افتد. در موارد شدید این گره‌ها با هم جمع می‌شوند و اجسام فیبروتیک را به‌اندازه‌های چندین سانتیمتر به‌وجود می‌آورند. گره‌ها کامل و سفت بوده و به‌ندرت حفره‌دار هستند. شدت فیبروز به‌مقدار سیلیکای آزاد و مدت زمان تماس ارتباط دارد. یکی از ویژگی‌های این بیماری پیشرفت و توسعه آن حتی بعد از قطع تماس است. به‌غیر از موارد حاد، نشانه‌های بیماری معمولاً قبل از 10 تا 20 سال بروز نمی‌کند.

---

1- Nodular

2- Peribronchial

3- Diffused interstitial

نشانه‌های پاتولوژیکی تماس با سیلیکا قبل از پیدایش علائم بیماری وجود دارد. بررسی کارگرانی که در معرض سیلیکا قرار داشته‌اند، نشان‌دهنده کاهش حجم هوایی است که می‌توان با فشار از ریه خارج کرد یا مجموع ظرفیت ریه بوده است و این همراه با دو عامل الگوی انسداد و گرفتگی است. در رادیوگرافی معمولاً وضعیت ریه غیرعادی است و نیز کاهش اشباع اکسیژن هموگلوبین در جریان حرکات ورزشی از علائم سیلیکوز است. با پیشرفت بیماری سطح اشباع اکسیژن کاهش می‌یابد و ظرفیت ریه کمتر می‌شود. سیلیکوز مزمن به سادگی و پیچیده (مختلط) طبقه‌بندی می‌شود هرچند پیوستگی هم بین این دو وجود دارد. شکل ساده آن در فیلم رادیوگرافی به صورت تیرگی‌های متعدد گرد در ناحیه بالایی ریه دیده می‌شود. با آنکه سیلیکوز ساده علت معمولی ناتوانی نیست، ولی می‌تواند به ناتوان شدن انسان بینجامد. در فیبروز توده‌ای پیش‌رونده، چندین گره به هم می‌پیوندند و یک توده فیبروزی نسبتاً بزرگ‌تری را بوجود می‌آورند که به طرف بستر مویرگ‌ها و راه‌های هوایی تجاوز می‌کند. نارسایی تنفسی کاملاً متناسب با اندازه توده فیبروز است که در رادیوگرافی ریه دیده می‌شود.

یکی از عوارض مهم سیلیکوز سل است که امروزه به عنوان خطر برای این قبیل بیماران پنومونیایی<sup>1</sup> محسوب می‌شود. ارتباط بین سیلیکوز و سل ریوی از چند دهه پیش شناخته شده است.

مطالعات جدیدتر شیوع سل ریوی را در بین کارگران معدن، سنگ‌شکن، تونل و ریخته‌گری آهن و فولاد نشان داده است.

مطالعات اپیدمیولوژی نشان داده است که کارگران فعال در صنایع و کارهای مرتبط با سیلیکا حتی اگر نشانه‌های رادیولوژی سیلیکوز هم نداشته باشند در معرض خطر بیماری سل هستند.

جلوگیری از بیماری سیلیکوز از راه عدم مواجهه با ذرات سیلیس امکان پذیر است. در این مورد استفاده از فرایندهای تر، تهویه موضعی خوب، استفاده از ماسک و سایر ابزار کنترلی می‌تواند به جلوگیری و کاهش بیماری کمک کند. همچنین آزمایش PPD و در صورت مثبت بودن، رادیوگرافی ریه برای اطمینان انجام می‌گیرد. بیماران مبتلا به سل باید از محیط کار دور باشند.

سیلیکوز حاد در اثر مواجهه با غلظت زیادی ذرات سیلیکای 1 تا 2 میکرونی ایجاد می‌شود. این تماس بیشتر در کارگران قسمت‌های سندبلاست و آسیاب سیلیکا که غلظت ذرات زیاد و اندازه ذرات نیز کوچک است دیده می‌شود. نشانه‌های نارسایی تنفسی طی چند هفته

---

1- Pneumoconiosis

شدید می‌شود. سیلیکوز حاد اغلب، پس از یک سال به مرگ می‌انجامد.

#### عوامل مؤثر در ایجاد و تسریع بیماری سیلیکوز

- غلظت گردوغبار در محیط؛
- درصد سیلیکای آزاد؛
- مدت تماس؛
- اندازه ذرات؛
- وجود سایر ذرات در محیط؛
- حساسیت افراد؛
- عمر ذرات پس از تولید؛

#### نظریه‌های مختلف در مورد نحوه ایجاد بیماری و پیشرفت آن

##### الف - نظریه مکانیکی

در این نظریه برخورد مکانیکی ذرات برنده سیلیکا را با جداره الوئول‌ها باعث ایجاد فیبروز می‌دانند، ولی در صحت این نظریه تردید است، زیرا ذرات برنده غیراز سیلیس، مانند ذرات الماس چنین تحریک و حالتی به وجود نیاورده‌اند.

##### ب - نظریه شیمیایی

اکسید سیلیس در مایعات سلولی حل می‌شود و سیلیس آزاد ایجاد می‌کند. این ماده در جداره حباب‌های ریوی ایجاد جراحت و در نتیجه فیبروز می‌کند.

##### ج - نظریه ایمنولوژی

ذرات سیلیس با مواد پروتئینی بدن ترکیب می‌شود و جسم جدیدی تولید می‌کند که در مقابل سیستم ایمن‌سازی بدن خاصیت آنتی ژنی از خود نشان می‌دهد.

##### د - نظریه فسفولیپید فیبروژنیک

ماکروفاژها در اثر بلعیدن ذرات سیلیس از بین می‌روند و فسفولیپید آزاد می‌شود که سبب واکنش بافت و ایجاد فیبروز می‌شود.

#### معالجه و پیشگیری

کسانی که در معرض تماس با ذرات سیلیس هستند، باید پیوسته از آنها معاینات پزشکی

به عمل آید تا به محض پیدا شدن علایم سیلیکوز از آن محیط دور شوند. استفاده از ماسک‌های مخصوص برای کسانی که در محیط آلوده کار می‌کنند ضروری است. از نظر معالجه، محققان کانادایی ملاحظه کرده‌اند که پودر فلز آلومینیوم موجب رسوب محلول سیلیس می‌شود. آنها از این خاصیت استفاده کردند و پودر آلومینیوم را برای معالجه به صورت استنشاق به مدت 20 دقیقه در روز بکار بردند. در سال 1945 در مجله طب صنعتی مقاله‌ای منتشر شد که اظهار داشت آلومینیوم از جایگزینی سیلیس در فاکوسیت‌ها جلوگیری می‌کند و تا یک سال در بافت ریه باقی می‌ماند و آن را محافظت می‌کند.

- انجمن مشورتی بهداشت صنعتی آمریکا وابسته به انجمن پزشکی آمریکا در سال 1946 در زمینه آلومینیوم تراپی مطالعات زیر را منتشر کرده است:
- 1- تأثیر آلومینیوم تراپی در افراد مختلف متغیر است؛
  - 2- استفاده از آب و هوای گرم و خشک بسیار مؤثر است؛
  - 3- بهترین درمان جدا کردن افراد بیمار در ابتدای بیماری است و استفاده از آنتی بیوتیک‌ها در صورت بروز عفونت مفید است؛
  - 4- باید تا حد امکان از گرد و غبار جلوگیری کرد.

#### استاندارد

میانگین ذرات تنفسی سیلیکا (کوارتز) 0/05 میلی گرم در مترمکعب برای مدت هشت ساعت است (ACGIH, 2002).

#### الیاف فیبروزنیک

این گروه آلاینده از فیبروز ریه که در نهایت به کاهش حجم حیاتی ریه و تنگی نفس می‌انجامد تا سرطان ریه را در افرادی که در درازمدت در معرض آلودگی با غلظت‌های بیش از استاندارد قرار دارند به وجود می‌آورد.

#### ب - آزبست

در دو دهه اخیر آزبست بیش از هر ماده دیگر مورد توجه بهداشت و محیط زیست قرار داشته است. در کشورهای مختلف دعاوی زیادی در مورد پیامدهای استفاده از آزبست در سلامت انسان به ویژه کارگران این صنعت مطرح شده که شرکت‌های بیمه را با مشکل روبرو کرده است. بیشترین موارد و توجه مربوط به وجود مواد آزبست‌دار در ساختمان‌های مدارس آمریکا بوده است که منجر به تصویب قانون 1986 کنگره آمریکا شد. به موجب این قانون

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) مکلف شد تا مقرراتی را برای بازرسی و مدیریت آزبست در مدارس تدوین و اجرا کند. به دنبال این آیین نامه جمع آوری مواد آزبست دار ابتدا در مدارس و سپس در ساختمان های دولتی شروع شد.

#### طبقه بندی آزبست از نظر معدن شناسی

واژه آزبست نامی تجارتي برای الياف سيليكاته طبیعی است که به دو گروه سرپنتين ها<sup>۱</sup> و آمفيبول ها<sup>۲</sup> تقسيم شده اند. فراوان ترين آزبست يا پنبه کوهی، کريزوتایل<sup>۳</sup> است که تنها عضو گروه سرپانتين است. کريزوتایل از الياف مجعد که دور الياف کوچک تر می پیچند تشکیل شده است. آمفيبول ها برخلاف کريزوتایل از کريستال های راست که ساختمان سوزنی شکل دارند تشکیل شده اند. انواع آزبست در جدول 16- 11 نشان داده شده است.

جدول 16-11- تقسيم بندی معدن شناسی انواع آزبست

| گروه معدنی | نام                     | ترکیب شیمیایی                                                 |
|------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| سرپانتین   | کریزوتایل               | $(\text{Mg,Fe})_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$       |
| آمفیبول    | اکتینولایت <sup>۴</sup> | $\text{Ca}_2\text{Fe}_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$ |
| آمفیبول    | ترمولایت <sup>۵</sup>   | $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$ |
| آمفیبول    | آموزایت <sup>۶</sup>    | $\text{Mg}_7(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$            |
| آمفیبول    | آنتوفیلایت <sup>۷</sup> | $(\text{Mg,Fe})_7(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$       |

اقتباس از صفحه 389 Patty

#### منابع

مواد معدنی آزبست در سطح وسیعی از پوسته زمین پراکنده اند و به چند معدن محدود نمی شوند. کریزوتایل در تشکیل بیشتر صخره های مارسنگ نقش دارد. انتشار به علت پدیده های جوی است که توسط انسان تشدید می شود. از این که چه مقدار به وسیله پدیده های جوی پراکنده می شود اطلاع چندانی در دست نیست. آنچه را از فعالیت های انسان انتشار می یابد می توان در پنج گروه ذکر کرد:

- 
- 1- Serpentes
  - 2- Amphibols
  - 3- Chrsotile
  - 4- Actinolite
  - 5- Termolite
  - 6- Amosite
  - 7- Anthophyllite

- 1- استخراج و آسیاب کردن؛
- 2- تولید محصولات؛
- 3- فعالیت‌های ساختمانی؛
- 4- حمل و نقل و استفاده از محصولات آزبست دار مثل لنت ترمز؛
- 5- دفع زایدات؛

طی صد سال گذشته همیشه محصولات آزبست‌دار روبه افزایش بوده است، ولی به‌علت مشکلات بهداشتی و خطرهایی که برای سلامت انسان داشته است، مصرف آن محدود شده و رو به کاهش گذاشته است و در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورها ممنوع اعلام شده است. در ایران از اواسط سال 1381 استفاده از آزبست، ممنوع شده است.

#### پراکندگی الیاف آزبست

الیاف آزبست پس از ورود به‌هوا به‌علت خاصیت آئرو‌دینامیکی مسافت زیادی را طی می‌کنند. از آنجاکه دارای ترکیب پایدار و غیرقابل تجزیه شیمیایی یا بیوشیمیایی هستند، فقط به‌وسیله برف و باران شسته شده و از هوا جدا می‌شوند.

باید توجه داشت که هر ذره رشته‌ای در هوا آزبست نیست، بلکه رشته‌های آزبست فقط جزء کوچکی از الیاف معلق در هوا را تشکیل می‌دهند. به‌طور کلی الیافی با قطر کوچک‌تر از میکرون و با استاندارد AIA<sup>1</sup>، نسبت طول به قطر 3 به 1 و از نظر استاندارد ASTM نسبت طول به قطر 5 به 1، از نظر بهداشتی اهمیت دارند. به‌عبارت دیگر رشته‌های آزبست با طول بیش از 5 میکرون می‌توانند تا اعماق ریه وارد شوند. سازمان جهانی بهداشت در کتاب راهنمای آلودگی هوا در اروپا توزیع الیاف آزبست در مناطق مختلف را به‌شرح زیر بیان داشته است:

در مناطق روستایی و دور از منابع تولید کمتر از 100 رشته در مترمکعب، در مناطق شهری بین 100 تا 1000 رشته در مترمکعب و در نزدیکی منابع مختلف در پایین دست جریان باد یک کارخانه آزبست سیمان در فاصله 300 متری 2200، در فاصله 700 متری 800 و در فاصله 1000 متری 600 رشته در هر مترمکعب هوا گزارش شده است. در خیابان‌هایی با ترافیک سنگین 900 و در بزرگراه‌ها تا 3300 رشته در هر مترمکعب اندازه‌گیری شده است. در داخل خانه‌هایی که در آنها از محصولات آزبست سیمان و یا سایر مواد آزبست‌دار استفاده شود، غلظت الیاف معمولاً 1000 رشته یا کمتر در هر مترمکعب است. در یک کارخانه تولید محصولات آزبست سیمان در تهران در سالن‌های مختلف 100000 تا

---

1- AIA Asbestos international Association

600000 رشته در مترمکعب اندازه‌گیری شده و این تعداد در هوای تنفسی کارگران همین کارخانه در محل برش خشک 2 میلیون و در آسیاب مواد 4/7 میلیون رشته در مترمکعب بوده است. (خردپیر، غیاث‌الدین، 1376). در جدول 11-17 غلظت الیاف ورودی به بدن انسان در طول زندگی و در جوامع مختلف کشورهای صنعتی نشان داده شده است.

جدول 11-17- بار الیاف ورودی به بدن در طول زندگی

| درصد توزیع جمعیت (1) | محل زندگی                | غلظت ذرات لیف در مترمکعب (2) | مدت در معرض سال | حجم هوای تنفسی مترمکعب در سال | تجمع ذرات با طول بیش از 5 میکرون طول در بدن |
|----------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 70                   | جمعیت شهری با تماس متوسط | 30                           | 70              | 7300                          | $1/5 \times 10^7$                           |
| 25                   | جمعیت روستایی            | 10                           | 70              | 7300                          | $10^5 - 10^6$                               |
| 5                    | جمعیت شهری با تماس زیاد  | 200                          | 70              | 7300                          | $10^8$                                      |
| 1-2                  | کارگران ساختمانی         | $10^3 - 10^5$                | 50              | 2000                          | $10^8 - 10^{10}$                            |
| 0/1                  | کارگران صنایع آزبست      | $10^5 - 10^6$                | 50              | 2000                          | $10^{10} - 10^{11}$                         |
|                      | افراد با تماس نامنظم     | $10^4$                       | 0/7             | 73000                         | $5 \times 10^7$                             |

منبع Air Quality Guideling for Europe-WHO

1- این توزیع فرضی جمعیت است.

2- الیاف  $F > 5\mu m$

### اثرات آزبست بر سلامت انسان

بررسی‌ها نشان داده است که تنفس هوای آلوده به الیاف آزبست خطر ابتلاء به بیماری‌های تنفسی مثل آزیستوزیس<sup>۱</sup>، سرطان ریه و مزوتلیوما<sup>۲</sup> را افزایش می‌دهد.

### آزیستوزیس

از اوایل قرن بیستم پزشکان متوجه شدند که کارگران صنایع وابسته به آزبست که مقدار زیادی از الیاف وارد ریه آنها می‌شود، به عوارض ناتوانی تنفسی و یا فیبروز کشنده ریه مبتلا می‌شوند. این وضعیت را معمولاً آزیستوز می‌نامند. آزیستوزیس نوعی بیماری فیبروتیک التهاب ریه یا فیبروز پراکنده در ریه‌ها که در بین کارگرانی که در معرض آلودگی مزمن الیاف آزبست قرار دارند اتفاق می‌افتد. این بیماری پس از 15 سال یا بیشتر بروز می‌کند و پیش‌رونده است

1- Asbestosis

2- Mesothelioma

که در نهایت موجب نارسایی ریه و کاهش ظرفیت و عملکرد سیستم تنفسی می‌شود.

### سرطان ریه

اولین بار در سال 1935، رابطه بین آربست و سرطان ریه مورد توجه قرار گرفت ولی در سال 1974 با مطالعات اپیدمیولوژی این ارتباط قطعی شد و از آن پس پژوهش‌های زیادی صورت گرفت و رابطه بین سرطان ریه و آربست قطعیت یافت و موارد نسبتاً زیادی در بین کارگرانی که در معرض آن بودند، کشف شد. این نوع سرطان معمولاً 20 تا 30 سال پس از آلوده شدن بروز می‌کند. پیشرفت بیماری با مصرف سیگار تشدید می‌شود. به عبارت دیگر سیگار و آربست اثر سینرژی برهم دارند.

### مزوتلیوما

نخستین رابطه بین آربست و مزوتلیوما که نوعی سرطان پوشش ریه است در سال 1943 گزارش شد ولی ارتباط محکم تا قبل از سال 1960، زمانی که 31 نفر از 33 کارگر معدن کروسیدولایت افریقای جنوبی مبتلا به مزوتلیوما شناسایی شدند، قطعیت نیافت. این نوع کارسینوما که برای افراد معمولی شناخته شده نیست، در 5 تا 10 درصد از کارگران صنایع آربست یا تولید آن دیده شده است. در سال 1980 حدود 1600 مورد در امریکا گزارش شد. این بیماری دو سال بعد از اولین تشخیص بیمار را از پا درمی‌آورد. خطر این بیماری مستقل از مصرف سیگار است. بیماری نه تنها در بین کارگران آربست گزارش شده، بلکه در افرادی که نزدیک معادن یا کارخانه‌هایی که کنترل درست بر روی جمع‌آوری ذرات آربست ندارند، نیز مشاهده شده است.

علاوه بر آنچه ذکر شد، عوارضی چون کلسیفیه شدن سطح داخلی قفسه سینه نیز در بین کسانی که در معرض بوده‌اند دیده شده است. هرچند این عارضه در اعمال ریه تأثیر نامطلوبی ندارد، ولی وجود آن نشان‌دهنده آلودگی شخص به آربست است.

در یک مطالعه کلینیکی در کارگران کارخانه آربست سیمان در ایران وجود نشانه‌های مختلف در 80 نفر کارگر بالای 35 سال سن با بیش از 5 سال سابقه کار از این قرار بود که وجود خلط صبحگاهی، خلط خونی، تنگی نفس و تپش قلب به ترتیب 60، 16، 56 و 3 درصد بوده است. همین نشانه‌ها در گروه سنی بین 18 تا 35 سال که بیش از 5 سال سابقه کار داشتند، به ترتیب 62، 10، 71 و 28 درصد تعیین شد.

به هر حال آربست با وجود دارا بودن خواص فیزیکی و مکانیکی منحصر به فرد در صنعت ماده‌ای خطرناک برای سلامت انسان به‌ویژه کارگران این صنعت است که امید است طی



سال‌های آینده مصرف آن به‌کلی ممنوع و جانشین مناسب برای آن تعیین شود.

#### حد مجاز

غلظت مجاز برای محیط کار با هشت ساعت کار روزانه و 40 ساعت در هفته (TLV-TWA) 0/1 رشته در هر میلی‌مترمکعب هوا تعیین شده است (AGGIH, 2002) و در هوای آزاد طبق راهنمای WHO 500 رشته یا حدود 1 میکروگرم در مترمکعب هواست. چندین گروه در مطالعات خود خطر ابتلاء به سرطان ریه را در اثر استنشاق الیاف آزبست تا 1000 رشته در مترمکعب برآورد کرده‌اند و اگر اندازه‌گیری به‌وسیله میکروسکوپ چشمی انجام شده باشد، این تعداد را 500 رشته در مترمکعب هوا گفته‌اند. در جمعیتی که 30 درصد آنها سیگاری باشند افزایش خطر ابتلاء به سرطان ریه  $10^{-6}$  یا  $10^{-5}$  و خطر مزوتلیوما در طول دوران زندگی در جمعیت عادی  $10^{-5}$  تا  $10^{-4}$  است.

#### آلودگی هوا و استرس اکسیداتیو<sup>1</sup>

اصطلاح استرس اکسیداتیو عبارت است از اختلال در توازن بین پرواکسیدان و آنتی اکسیدان که این عدم توازن، موجب افزایش اکسیدان و کاهش آنتی اکسیدان در سلول‌ها و بافت‌ها می‌شود و نتیجه افزایش اکسیدان ضایعات بالقوه بر بافت‌های بدن و تهدید سلامت انسان است. برای توضیح بیشتر باید گفت در عمل جریان الکترون از یک مولکول به‌مولکول دیگر در محیط بیولوژیکی صورت می‌گیرد. اهمیت این فرایند در واکنش‌پذیری مولکول‌های درگیر است. به‌طور معمول الکترون‌ها به‌صورت جفت الکترون در مدار عکس یکدیگر می‌چرخند. وقتی که اتم دارای تک الکترون باشد واکنش‌پذیری آن تا حد زیادی افزایش می‌یابد. در این حالت به آن اتم یا مولکول رادیکال آزاد گفته می‌شود. رادیکال‌های آزاد، در محیط بیولوژیکی خیلی خطرناک‌اند زیرا با هر مولکول مجاور خود وارد واکنش می‌شوند. این فرایند را دزدی الکترون<sup>2</sup> می‌گویند که منجر به اکسیداسیون می‌شود و اغلب به‌غیرفعال شدن مولکول‌های هدف می‌انجامد. شدت ضایعات وارد بر سلول‌ها به‌قدرت خنثی‌سازی و دفاع در برابر اکسیداسیون بستگی دارد. با کاهش آنتی اکسیدان‌ها در برابر اکسیدان‌ها دفاع لازم از بین می‌رود. به‌طور خلاصه ضایعات مخرب رادیکال‌های آزاد را استرس اکسیداتیو می‌گویند (کلی، 2003).

در مطالعات اخیر معلوم شده است که مقادیر کم استرس اکسیداتیو در ارسال نشانه‌های

---

1- Oxidative Stress

2- Electron Stealing

راه‌های عبور<sup>۱</sup> داخل سلول دخالت دارد. به‌ویژه برای آنهایی که درگیر تنظیم پاسخ‌های ایمنی هستند. این اثر بیشتر است.

حال با توجه به‌مقدمه و تعریف فوق ارتباط آلودگی هوا و اثر استرس اکسیداتیو را بررسی می‌کنیم.

هوای آزاد، همان‌طور که در سنجش‌های قبلی هم اشاره شد دارای انواع آلودگی‌هایی است که مقدار آنها از یک میکرومحیط تا میکرومحیط دیگر متفاوت است. بسیاری از این مخلوط که آلودگی هوا را می‌سازد، یا رادیکال‌های آزاد هستند (دی‌اکسید ازت) و یا توان ایجاد رادیکال‌های آزاد را دارند (اوزن و ذرات معلق) (کلی، 2003). تماس با دامنه وسیعی از آلاینده‌های هوا مشکل دسترسی اکسیداتیو را در ریه‌ها به‌وجود می‌آورد. این استرس‌ها به‌ویژه برای افراد آسیب‌پذیر و حساس خطرناک است، زیرا سلول‌های ملتهب ریه هم تعدادی رادیکال آزاد تولید می‌کنند. در غیاب سلول‌های مهاجم برای از بین بردن آنها، این رادیکال‌های آزاد به ترکیبات سلولی حمله می‌کنند و به آنها صدمه می‌زنند. در اینجا باید به آلاینده مهم اوزن، دی‌اکسید ازت و ذرات معلق از دید استرس اکسیداسیون توجه کرد (زلنسکی، 1999 و کلی، 2003).

### اوزن و اثر اکسیداتیو

اوزن گازی بسیار واکنش‌پذیر و از اجزای مهم مه - دود نوری است. تنفس در هوا با غلظت 60 تا 120 پی‌پی‌بی به‌تعدادی از علائم دستگاه تنفسی می‌انجامد که شامل گروهی از افراد جامعه سالم (10 تا 20 درصد) می‌شود. علائم شامل کاهش عملکرد ریه، افزایش واکنش‌پذیری در راه‌های هوایی و التهاب در سامانه تنفسی است.

افرادی که از قبل مشکلاتی مثل آسم یا سایر بیماری‌های مزمن ریوی داشته باشند تحریکات عصبی را تجربه خواهند کرد.

جذب اوزن به‌طور مستقیم به‌مایع لایه مخاط بستگی دارد و فقط به‌غلظت آن مربوط نمی‌شود. وقتی اوزن با این مایع وارد واکنش شود، مصرف می‌شود و به‌سطح ریه انتقال نمی‌یابد. پاسخ سلول‌ها به اوزن تنها نتیجه مستقیم واکنش آن با ترکیبات سطح سلول نیست، بلکه به‌علت رادیکال‌های آزادی است که از محصولات اوزناسیون تولید و آزاد می‌شوند.

---

1- Signaling Pathways

2- Zlenski 1999 , Kelly 2003

## دی اکسید ازت و اثر اکسیداتیو

منبع عمده دی اکسید ازت در مناطق شهری، حمل و نقل درون شهری است. غلظت دی اکسید ازت، از صبح تا شب متغیر است. پخت و پز داخل خانه‌ها با گاز طبیعی و مصرف سیگار از منابع عمده داخلی‌اند. مطالعه روی حیوانات نشان داده است که غلظت‌های زیاد دی اکسید ازت می‌تواند آسیب زیادی به سلول‌های ریه وارد کند. کشت سلول‌ها نشان داده است که نفوذپذیری آنها در برابر دی اکسید ازت زیاد می‌شود که این نیز عاملی برای افزایش آسیب‌هاست.

## ذرات و اثر اکسیداتیو

مطالعات اپیدمیولوژی رابطه بین ذرات معلق هوا به‌ویژه ذرات کوچک‌تر از 10 میکرون ( $PM_{10}$ ) و تأثیرهای نامطلوب بهداشتی شامل بیماری و مرگ و میر را به‌خوبی نشان داده است. به هیچ وجه معلوم نیست که چطور تماس با حدود 30 میکروگرم ذرات در مترمکعب هوا می‌تواند چنین اثرهایی داشته باشد و کدام جزء از ذرات کوچک‌تر از 10 میکرون بیشتر تأثیر دارد. شواهد نشان داده است که جزء ذرات ریز در حد  $PM_{2.5}$  و یا خیلی ریز در حد  $PM_{0.1}$  دارای مواد سمی بیشتری است، هرچند این موضوع مورد توافق همگان نیست (نل<sup>1</sup>، 2001؛ برونکرف<sup>2</sup>، 2002).

تعداد زیادی مطالعات اپیدمیولوژی طی سال‌های اخیر نشان داده است که افزایش غلظت ذرات تولیدی از احتراق گازوئیل در خودروهای دیزلی، بیماری‌های قلب و عروق و مرگ و میرهای ناشی از آن‌را افزایش داده است.

در مورد علت آن فرضیه‌های زیادی مطرح شده است که از آن جمله می‌توان از غلظت جرمی ذرات، قطر آئرودینامیک و سطح ذرات، جذب فلزات بر ذرات، و نیز اسیدها، سولفات، نیترات و کربن عنصری و سایر آلاینده‌های همراه آن نام برد. ولی آنچه بیشتر مسلم است، نقش ترکیبات آلی حاصل از احتراق سوخت در موتورهاست.

ذرات دیزل دارای قطری بین 0/05 تا 1 میکرون و به‌طور متوسط 0/2 میکرون هستند و همان‌طور که در پیشتر اشاره شد بیشترین آسیب را به‌سامانه تنفسی و در نتیجه ارگان‌های دیگر بدن وارد می‌آورند.

---

1- Nel, 2001

2- Brunekref 2002

این ذرات بیش از 400 نوع ماده شیمیایی را در بر دارند. هیدروکربن‌های چندهسته‌ای عطری و مشتقات نیتروژنه و اکسیژنه آنها مثل کتن، کوای نون<sup>۱</sup>، دیون و ترکیبات هتروسکلک مانند الدهیدها و الیفاتیک هیدروکربن از آن جمله‌اند. این گروه ذرات توان ایجاد تورم و آسیب

## فصل ششم

### اثرهای آلودگی هوا بر گیاه

هر یاخته زنده واکنش‌های شیمیایی و فرایندهای فیزیکی زیادی را برای ادامه حیات، رشد و تکثیر انجام می‌دهد. انجام فرایندهای زندگی در محدوده نسبتاً کوچکی از عوامل مانند دما، نور، آب و غذا امکان‌پذیر است. عوامل ناسازگار مانند آلودگی هوا، فشارهای معمولی بر یاخته را آنچنان افزایش می‌دهد که به‌اخلال در فعالیت آن و در نهایت مرگ منجر می‌شود. البته باید توجه داشت که سامانه‌های بیولوژیکی دارای سازوکار دفاعی‌اند که اثر فشارهای وارد را به کمترین حد می‌رساند. سازوکارهای دفاعی می‌تواند بر تأثیر سموم فائق آید و حتی آسیب‌های وارد بر یاخته‌ها را ترمیم کند. حتی اگر تعداد زیادی از یاخته‌ها نابود شوند، میلیون‌ها یاخته دیگر باقی می‌مانند تا اعمال حیاتی را انجام دهند. معمولاً یک نقطه بهینه از عوامل محیطی برای اعمال بیولوژیکی وجود دارد که اگر از آن تجاوز نکند یاخته تعادل خود را حفظ می‌کند. یاخته‌های گیاهی نیز از فشارهای محیطی به‌ویژه آلودگی هوا مستثنی نیستند. به‌ویژه گونه‌های مختلف هرکدام در برابر آلودگی خاصی حساس‌اند و واکنش نشان می‌دهند. به‌همین علت در این فصل تأثیر آلودگی هوا بر گیاهان و محصولات کشاورزی موردتوجه قرار می‌گیرد.

### اثر آلودگی هوا بر گیاه

گیاه از هوا تنفس می‌کند و در برابر اشعه خورشید مولکول‌های پیچیده ترکیب‌های آلی را از مواد ساده معدنی، هوا، خاک و آب می‌سازد. از آنجا که برگ تنفس و فوتوسنتز را برای کل گیاه انجام می‌دهد، بیش از سایر اعضا در معرض گازها و ذرات موجود در هواست. به‌همین علت به‌اثرهای وارد بر این عضو تأکید می‌شود. بدیهی است شرایط زندگی برگ به‌شرایط زندگی کل گیاه شامل دانه، ساقه، ریشه و گل، وابسته است.

1- Qwinone

2- Stress.

کوای نون ترکیبی بلورین با بوی زننده می‌باشد

## ساختمان برگ

ساختمان عمومی برگ در شکل 1-12 نشان داده شده است. یک برگ معمولی را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد: روپوست<sup>1</sup> و کوتین که بصورت یک لایه محافظ تمام سطح برگ را تا دمبرگ می‌پوشاند؛ مزوفیل<sup>2</sup> که قسمت بین روپوست فوقانی و زیرین برگ است و دمبرگ از یاخته‌های پارانشیم چوبی محتوی سبزینه، یاخته‌های پارانشیمی اسفنجی، رگبرگ‌ها (که دربرگیرنده وازیکول‌ها برای انتقال مواد خام از ریشه و شیره پرورده به‌اعضای گیاه‌اند) و فضاهای خالی<sup>3</sup> تشکیل شده است.

هوا، گازها، بخارها و ذرات معلق کوچک از روزنه<sup>4</sup>هایی که در سطح زیرین برگ قرار دارند وارد برگ شده و از طریق فضاهای خالی در مزوفیل پخش می‌شوند. قطر یاخته‌ها از 0/01 تا 0/1 میلی‌متر متغیر است. یاخته‌ها دارای دیوار یاخته<sup>5</sup> که نگه‌دارنده کل محتویات یاخته است و پروتوپلاست<sup>6</sup> که دارای سیتوپلاسم<sup>7</sup>، هسته<sup>8</sup> و سبز ریشه<sup>9</sup> است، تشکیل شده‌اند. سبز ریشه هم محتوی سبزینه<sup>10</sup> است که انرژی نور را برای فرایند فوتوسنتز جذب می‌کند. دو مورد از مهم‌ترین کارهای برگ فوتوسنتز و تنفس است. جدول 1-12 اعمال فوتوسنتز و تنفس را نشان می‌دهد. سومین عمل برگ به حرکت در آوردن مایعات در گیاه است. فوتوسنتز فرآیندی انرژی‌زاست که دی‌اکسید کربن و آب را به کربوهیدرات‌ها تبدیل می‌کند و نیز انرژی لازم را برای سنتز ترکیبات چربی، پروتئین و اسید نوکلئیک تأمین می‌نماید. گیاه قسمتی از مواد تولیدی را برای تأمین انرژی و فرایندهای زندگی خود ذخیره می‌کند. قسمتی دیگر از مواد انرژی ذخیره شده گیاه به مصرف تغذیه انسان و حیوان برای ادامه زندگی می‌رسد. آنچه باقی می‌ماند در نهایت به CO<sub>2</sub> و بخار آب تجزیه می‌شود. متابولیسم‌های گیاه و حیوان تا حد زیادی شبیه یکدیگرند.

---

1- Epidermis

2- Mesophyle

3- Vacuole

4- Stomata طول روزنه 10 تا 20 میکرون است (Gard cell) محافظت می‌شود. و بوسیله دو یاخته و محافظ

5- Cell Wall

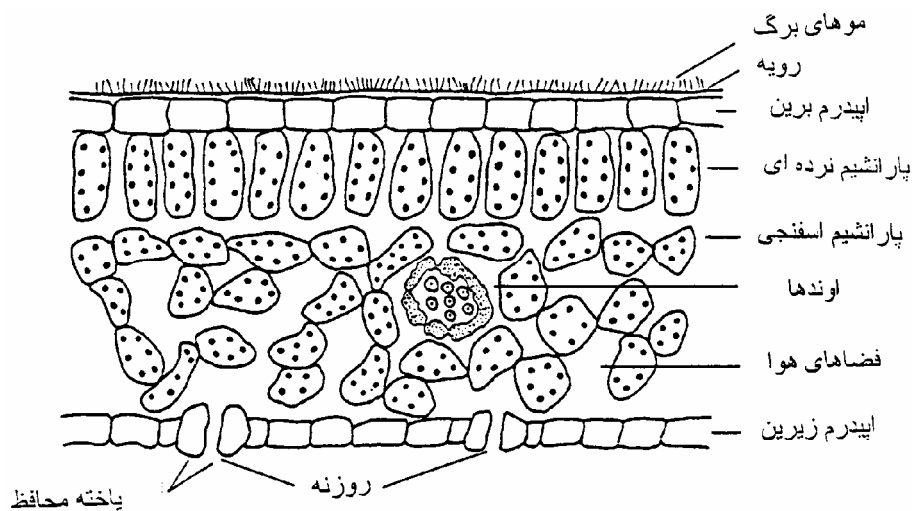
6- Protoplast

7- Cytoplasm

8- Nucleus

9- Chloroplast

10- Chlorophyll



شکل 1-12- کالبدشناسی برگ

جدول 1-12- فتوسنتز و تنفس



| فتوسنتز                                                     | تنفس                                                   |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1- اکسیژن آزاد می کند.                                      | 1- دی اکسید کربن آزاد می شود.                          |
| 2- $\text{CO}_2$ و $\text{H}_2\text{O}$ مواد خام اند.       | 2- قند و $\text{O}_2$ مواد خام اند.                    |
| 3- کربوهیدرات ها سنتز می شوند.                              | 3- کربوهیدرات ها مصرف می شوند.                         |
| 4- انرژی ذخیره می شود.                                      | 4- انرژی منتقل می گردد.                                |
| 5- وزن اضافه می شود.                                        | 5- وزن کاهش می یابد.                                   |
| 6- فقط در یاخته های سبزینه دار و در حضور نور انجام می گیرد. | 6- در تمام مدت و در تمام یاخته های زنده ادامه می یابد. |

### فشارهای مؤثر بر فیزیولوژی یاخته

گیاهان برای رشد بهینه به نور کافی، دما، رطوبت، غذا و شرایط مناسب خاک نیاز دارند. در شرایط صحرایی کمتر اتفاق می افتد که کلیه عوامل مورد نیاز در مناسب ترین شرایط باشند. بنابراین می توان تصور کرد که فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه در شرایط فشار قرار دارد. اثر این

فشارها ممکن است قابل مشاهده باشد و یا این که مخفی بوده و دیده نشود و این بستگی به بزرگی عوامل فشار دارد.

همان طور که پیش از این اشاره شد، آلودگی هوا هم عامل فشار بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه، علاوه بر سایر فشارهاست. گیاهانی که در بهترین شرایط زندگی خود رشد می کنند، بیشترین حساسیت را نسبت به آلودگی هوا دارند. اثر سمی آلاینده تقریباً به طور مستقیم به عملکرد روزنه های برگ بستگی دارد. در شرایط رشد فعال، روزنه ها کاملاً بازند و ورود هوا همراه با آلاینده های موجود در آن به آسانی صورت می گیرد. باز بودن روزنه ها به فعالیت فیزیولوژیکی گیاه وابسته است و تبادل گازها را تنظیم می کند. به علاوه همبستگی بین اثر آلودگی هوا و باز یا بسته بودن روزنه وجود دارد. به عبارت دیگر روزنه ها در برابر گازهای سمی واکنش نشان می دهند و تا حدودی از ورود بعضی گازهای سمی به داخل برگ جلوگیری می کنند. در شکل 2-12 عوامل مؤثر بر فیزیولوژی گیاه و فشارهای وارد نشان داده شده است. مواد غذایی، دما، رطوبت، تغییرات فصلی و روزانه، رطوبت نسبی هوا، نور و عامل تماس و نوع آلاینده از جمله عوامل مؤثر فشار بر فعالیت های فیزیولوژیکی گیاه هستند.

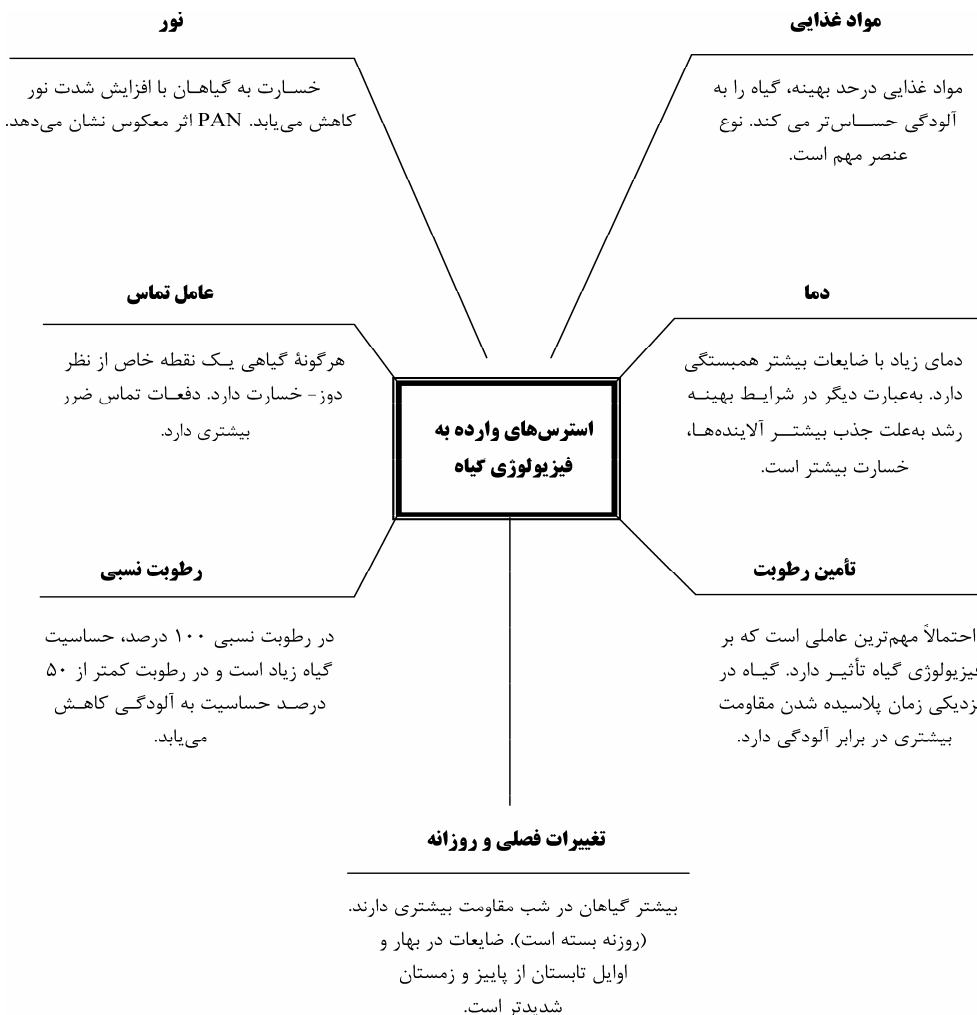
در اثر آلودگی هوا، علائم قابل مشاهده در برگ به وجود می آید. علائم روی برگ تا حدودی ما را به ویژگی و نوع آلاینده هدایت می کند. " ترشو " (1970) چهار گروه علامت را که در اثر آلاینده های مختلف در برگ به وجود می آید، شرح داده است.

- 1- بافت میری<sup>۲</sup> سفیدی<sup>۳</sup> بین رگ برگ یا حاشیه؛
- 2- درخشندگی<sup>۴</sup> یا نقره ای شدن سطح برگ به ویژه در رویه زیرین؛
- 3- زرد و یا بی سبزینه شدن<sup>۵</sup>؛
- 4- برفکی<sup>۶</sup> یا نقطه نقطه شدن رویه فوقانی برگ؛

نشانه های عمومی ممکن است در اثر عواملی چون دمای غیرعادی، کم آبی، کمبود مواد معدنی، بادهای شدید یا بیماری های گیاهی نیز به وجود آیند که باید در قضاوت مورد توجه باشد. به هر حال این نشانه ها، توسط یک کارشناس خبره به عنوان گمان اولیه در مورد آلودگی هوا به کار برده می شود.

---

1- Treshow  
2- Necrosis  
3- Bleaching  
4- Glazing  
5- Chlorosis  
6- Flecking



شکل 2-12- عوامل فشار آلاینده که بر فیزیولوژی گیاه اثر دارند

## ورود آلودگی‌های هوا به‌داخل گیاه

گازهای آلاینده از طریق روزنه‌ها وارد برگ و سپس وارد محیط مزوفیل که یک محیط آبی است می‌شوند. اثر این آلاینده به‌حلالیت آن در آب و سرعت واکنش بستگی دارد. آب 90 درصد از بافت فعال گیاه را تشکیل می‌دهد. هر آلاینده پس از انجام واکنش علائم مخصوص به‌خود را که مشخصه آن آلودگی است به‌وجود می‌آورد. در اینجا برای چند آلودگی مهم و عمده هوا، سازوکار و الگوی نقش‌های روی برگ شرح داده می‌شود. ولی پیش از آن باید به‌این



نکته اشاره کرد که آسیب‌های وارد بر گیاه به دو صورت است:

- (1) آسیب‌های آشکار قابل مشاهده که همان علائم روی برگ یا احتمالاً میوه است. این علائم معمولاً زمانی ظاهر می‌شوند که گیاه در معرض غلظت‌های نسبتاً زیاد آلودگی قرار گیرد، به طوری که یک یا چند نقش گفته شده توسط "ترشو"<sup>1</sup> دیده می‌شود.
- (2) آسیب‌های مخفی که معمولاً به علت اختلال در اعمال فیزیولوژیکی گیاه به وجود می‌آید. این گونه آسیب‌ها شامل کاهش رشد، کاهش محصول، کاهش ارزش غذایی و اقتصادی و گاهی عوارض ژنتیکی است.

### 1- دی‌اکسید گوگرد $SO_2$

دی‌اکسید گوگرد پس از ورود در بافت گیاه به سولفید، بی‌سولفید و سپس سولفات اکسیده می‌شود. در این تغییرات پی در پی رادیکال‌های آزاد فعال تشکیل می‌شوند. در نهایت تأثیر از هم‌گسستگی مانند اکسیداسیون اسیدهای چرب دوباندی را بهبود می‌بخشد. واکنش‌ها به‌آزاد شدن یون  $H^+$  که PH را تغییر می‌دهد، می‌انجامد. ثابت سرعت واکنش‌ها هنوز معلوم نیست به همین علت تعیین کمیت عملکرد هم مقدور نیست. تأثیر کلی گوگرد برگ‌ها به‌حضور سایر عوامل گیاه روی محیط گوگردی بستگی دارد. از آنجاکه گوگرد یکی از عناصر اصلی رشد گیاه است غلظت اندک آن یعنی زمانی که سولفیت به‌طور کامل به سولفات تبدیل شود و سولفات هم از حد استاندارد تجاوز نکنند، محرک رشد در خاک‌های ضعیف است.

از طرف دیگر، گوگرد برای گیاهانی که در خاک غنی از ترکیبات گوگرد رشد می‌کنند نه تنها نفعی ندارد، بلکه به علت تشکیل رادیکال‌های آزاد اثر منفی خواهد داشت.

از آنجاکه سمی بودن سولفیت چندین برابر سولفات است، در غلظت‌های زیاد دی‌اکسید گوگرد که با همان سرعت تشکیل سولفیت به سولفات اکسیده نمی‌شود، ضایعاتی در مزوفیل برگ به صورت لکه‌های برفکی در فاصله بین رگبرگ‌ها به وجود می‌آید که منجر به کلروز و بافت‌میری می‌شود. بعضی مواقع آفات نباتی هم تصاویر مشابهی را در روی برگ به وجود می‌آورند که نباید با آلودگی  $SO_2$  اشتباه شود. آستانه اثر کوتاه مدت 0/3 پی‌پی‌ام برای تماس هشت ساعته است، ولی سطح بحرانی<sup>2</sup> برای تماس طولانی مدت 30 میکروگرم در مترمکعب و یا 11 پی‌پی‌بی برای محصولات کشاورزی و 20 میکروگرم در مترمکعب معادل 8 پی‌پی‌بی برای

---

1- Treshow 1970

2- سطح بحرانی غلظتی از آلودگی هواست که بیش از آن ممکن است اثرهای نامطلوب بر گیاه، اکوسیستم و یا مواد (باتوجه به اطلاعات موجود) داشته باشد.

جنگل و اکوسیستم‌های طبیعی ذکر شده است. همچنین گفته شده که در نقاط سردسیر غلظت  $\text{SO}_2$  نباید از 15 میکروگرم در مترمکعب و یا 6 پی‌پی‌بی بیشتر شود.

## 2- اوزن $\text{O}_3$

یک اکسیدان است که واکنش گیاه نسبت به آن یا حالت دفاعی، مثل بسته شدن روزنه و یا حالت جبرانی مثل بی‌اثر کردن اکسید کنندگی آن در اثر واکنش‌های شیمیایی، رسیدن به تعادل به وسیله تنظیم‌کننده‌های بیوشیمیایی و ترمیم بافت خسارت‌دیده است. به‌طور کلی اثر اوزن شامل موارد زیر است:

- کاهش فتوسنتز؛
- کاهش سطح برگ؛
- کاهش امکان بهره‌وری کافی از آب؛
- کاهش گل، میوه و محصول؛
- افزایش حساسیت به خشکی و فشارهای غذایی؛
- افزایش و یا در بعضی موارد کاهش حساسیت به بیماری‌ها.

نوع و درجه واکنش به شدت و مدت تماس با اوزن، عوامل محیطی، گونه گیاه و نوع کشت بستگی دارد. برای مثال تماس با اوزن معمولاً در رطوبت زیاد، اثر بیشتری نسبت به رطوبت کم دارد. زیرا در رطوبت زیاد روزنه‌ها بیشتر باز هستند و تبادل گازها به آسانی صورت می‌گیرد. به‌طور کلی ممکن است غلظت‌های کم اوزن در اواخر روز خسارت بیشتری وارد کنند و آن به این دلیل است که سازوکار دفاعی برگ در میانه روز که غلظت اوزن بیشتر است به تدریج مختل شده است.

اثرهای مشهود اوزن ابتدا در سطح بالایی برگ به صورت لکه‌های پراکنده و نقطه‌نقطه که حاشیه لکه‌ها تیره‌تر است دیده می‌شود. لکه‌ها با رنگدانه‌های برنزه در یاخته‌های چوبی و یا در پارانشیم اسفنجی و برای برگ‌های بدون یاخته چوبی است. در گیاه خانواده کونیفر رنگ برگ قهوه‌ای می‌شود. گیاهان پیرتر نسبت به گیاهان جوان حساس‌ترند. این که چرا لکه‌های پراکنده یا یاخته‌های مرده در سطح برگ به وجود می‌آید، درست شناخته نشده است. یک نظریه پرتعداد این است که واکنش اوزن با مواد داخل برگ، اتیلن تولید می‌کند و این اتیلن با اوزن داخل برگ وارد واکنش می‌شود و رادیکال‌های آزاد یا هیدروپراکسید تولید می‌کند که عمل بیوشیمیایی یاخته‌ها را متوقف می‌سازد. هم اوزن و هم دی‌اکسید گوگرد با کاهش فتوسنتز نسبت رویش شاخه به ریشه را کاهش می‌دهند. آستانه اثر اوزن 0/03 پی‌پی‌ام حجمی برای مدت 4 ساعت تماس ذکر شده است. در کارگاه‌های بین‌المللی که در سال‌های 1988، 1992

و 1993 تشکیل شده بود اطلاعاتی در مورد واکنش‌های اوزن، دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن جمع‌آوری و حد بحرانی برای این آلاینده‌ها تعریف شد که در مورد دی‌اکسید گوگرد در بحث مربوط ذکر شده است. این حد بحرانی براساس دوز تراکمی (برحسب پی‌پی‌بی. ساعت بیان می‌شود) بالای آستانه غلظت 40 پی‌پی‌بی (AOT 40)<sup>1</sup> است. بنابراین یک ساعت غلظت 55 پی‌پی‌بی اوزن معادل 15 پی‌پی‌بی - ساعت به AOT40 اضافه می‌کند. AOT40‌های تا 20000 پی‌پی‌بی ساعت در قسمت‌هایی از اروپا که غلظت اوزن زیاد است ثبت شده است. در کشاورزی، 6000 پی‌پی‌بی - ساعت AOT 40 موجب کاهش 10 درصدی محصول می‌شود.

### 3- دی‌اکسید ازت NO<sub>2</sub>

نیتروژن نیز از عناصر اصلی رشد گیاه است که معمولاً به‌صورت نیترات از طریق خاک و توسط ریشه جذب می‌شود و نیاز گیاه را تأمین می‌کند و زمانی که غلظت دی‌اکسید نیتروژن در هوا به‌قدر کافی باشد توسط برگ جذب می‌شود. نیتروژنی که توسط ریشه جذب می‌شود، یا به‌وسیلهٔ احیا کننده‌ها به نیتريت تبدیل می‌شود و یا این که به برگ انتقال می‌یابد. اما دی‌اکسید نیتروژن هم مثل سایر گازها از طریق روزنه وارد برگ می‌شود و چنین به‌نظر می‌رسد که در عمل احیای نیترات و نیتريت اختلال می‌کند. با آنکه به‌طور دقیق عمل دی‌اکسید نیتروژن هوا و خسارت هنوز روشن نیست، چنین به‌نظر می‌رسد که اثر اصلی آن جلوگیری از متابولیسم نیتروژن (N) به‌وسیلهٔ نیتريت اضافی باشد. مونوکسید نیتروژن (NO) به‌شکل کاملاً متفاوتی از دی‌اکسید نیتروژن عمل می‌کند از این‌رو این دو گاز را در مورد اثر بر گیاه نباید به‌صورت NO<sub>x</sub> جمع و بیان کرد. NO خیلی کم در آب حل می‌شود، درحالی‌که NO<sub>2</sub> با آب واکنش می‌دهد و حلالیت آن را زیاد می‌کند.

اثر دی‌اکسید نیتروژن روی برگ، به‌صورت آسیب‌های نامنظم سفید یا قهوه‌ای که به‌مرگ بافت‌های بین رگ‌برگ‌ها و نزدیک حاشیه برگ منجر می‌شود، دیده می‌شود. گیاه در میان‌سالی حساس‌تر است. آستانهٔ اثر کوتاه‌مدت برای چهار ساعت 2/5 پی‌پی‌ام است. در محیط خاکی که با کمبود نیتروژن مواجه است، اثر شدیدتر است.

حد بحرانی برای گیاه با غلظت میانگین سالانه 30 میکروگرم در مترمکعب (16 پی‌پی‌بی) ذکر شده است و به‌علت عدم وجود اطلاعات تجربی تفاوتی بین گیاهان بوته‌ای و درخت از نظر غلظت بحرانی داده نشده است. فقط به‌نظر می‌رسد که گیاه‌های طبیعی حساسیت بیشتری

---

1- Accumulated dose over a threshold concentration of Zero.

دارند.

#### 4- پراکسی استیل نیترات PAN

پراکسی استیل نیترات هم مانند اوزن و  $\text{NO}_2$  یک اکسیدان است و تقریباً همان طور عمل می کند. بیشتر در رویه زیرین برگ حالت درخشندگی، نقره ای یا برنزه شدن دیده می شود. آسیب ها بیشتر متوجه بافت اسفنجی است. در گیاهان جوان لکه ها بیشتر در سطح زیرین، نوک برگ و در برگ های مسن تر از طرف دیگر برگ هم دیده می شود. در برگ گوجه فرنگی حالت شفاف لعابی در نوک سطح زیرین برگ قابل مشاهده است. در برگ توتون، درخشندگی همراه با لکه های سفیدک در رویه زیرین برگ دیده می شود. آستانه خسارت 0/01 پی پی ام حجمی در مدت شش ساعت است.

#### 5- فلوراید HF

فلوراید از آلاینده های معمولی هوا در محیط های شهری و یا روستایی نیست. زیرا این آلاینده فقط در اطراف صنایعی که با این ماده یا مواد خام محتوی فلوئور کار می کنند انتشار می یابد. صنایع عمده انتشار دهنده فلوراید عبارتند از:

تولید کود شیمیایی؛

آلومینیوم؛

آجر، سفال و سرامیک سازی؛

شیشه سازی؛

فولاد؛

نفت (پالایشگاه ها)؛

تولید هگزا فلورید اورانیم؛

پتروشیمی؛

تولید حشره کش ها.

#### راه ورود به گیاه

هیچکاک و زیمرمن<sup>۱</sup> روزنه را راه اصلی ورود فلوراید نمی دانند. ولی توماس<sup>۲</sup>، هندریک<sup>۳</sup> و تعداد دیگری از محققان با این نظر موافق نیستند و عقیده دارند بیشتر فلوراید از طریق روزنه ها

---

1- Hitchcock and Zimmerman

2- Thomas

3- Hendric

وارد گیاه شده و سپس وارد فضاهای خالی بین یاخته‌ها می‌شود و از آنجا به وسیله مزوفیل جذب می‌گردد. سپس از مزوفیل یا با دیفیوژن و یا با سامانه آوندی به سایر قسمت‌های گیاه می‌رود. فلوراید یک سم گیاهی تراکمی است و بیشتر در نوک و حاشیه برگ جمع می‌شود، به طوری که غلظت آن در این قسمت‌ها چندین برابر متوسط کل برگ است. واکنش فیزیولوژیکی گیاهان مختلف در برابر فلوراید متفاوت است. بعضی بسیار حساس‌اند و بعضی پس از آنکه در مدت طولانی مقدار کافی فلوراید در خود جمع کردند، آثار ضایعات را نشان می‌دهند. در جدول 2-12 اثرهای فلوراید که در سطوح مختلف آلودگی به قسمت‌های مختلف برگ وارد می‌شود، ملاحظه می‌گردد. در سطح 1 کمترین غلظت تجمع و در سطح 4 بیشترین تراکم وجود دارد.

جدول 2-12- اثر فلوراید در چهار سطح مختلف برای اعضای گیاه

| سطح | یاخته                                        | بافت ، اعضا                        | کل گیاه       | اکوسیستم               |
|-----|----------------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------------|
| 1   | اثر بر آنزیم و متابولیسم                     | بی‌اثر                             | بی‌اثر        | افزایش F در اکوسیستم   |
| 2   | تغییرات در سبزینه                            | کاهش جذب مواد غذایی<br>اخلال تنفسی | تغییر رشد     | افزایش F در حیوانات    |
| 3   | گسیختگی مسیر بیوشیمی،<br>عمدتاً در متابولیسم | سوختگی‌های سبزینه                  | کاهش در تکثیر | ایجاد فلورز در حیوانات |
| 4   |                                              | مرگ و قطع برگ                      | مرگ کل گیاه   | مخروبه کردن            |

آثار سوختگی فلوراید کاملاً مشخص است و الگوی خاص خود را دارد. از نوک برگ و حاشیه شروع می‌شود و به طرف دم‌برگ تا خشک شدن کامل برگ ادامه می‌یابد. در فاصله بین قسمت سبز و سوختگی یک خط باریک قهوه‌ای دیده می‌شود. بیماری‌های قارچی، سرما و گرمای شدید، خشکی هوا و باد ممکن است علائم مشابهی به وجود آورند که باید مورد توجه باشد. همان‌طور که اشاره شد آستانه اثر در گیاهان مختلف متفاوت است. آثار خسارت در مدت هشت هفته با غلظت 0/1 پی‌پی‌بی حجمی یا 0/08 میکروگرم در مترمکعب در بسیاری از گیاهان ظاهر می‌شود. بعضی از گیاهان مثل چای، حبوبات و پنبه پس از متراکم کردن چندین پی‌پی‌ام وزنی نسبت به وزن برگ خشک واکنش نشان می‌دهند و بعضی دیگر مثل گلایل در

غلظت‌های بسیار کم پس از چند ساعت پژمرده می‌شوند.

#### 6- اتیلن Ethylene

اتیلن نیز از آلاینده‌های معمولی هوا نیست و فقط در محیط‌های صنعتی امکان انتشار آن وجود دارد. عمل آن مثل اکسیدان‌هاست. پژمردگی کاسبرگ‌ها، نکروزه شدن گل، بی‌رنگ شدن برگ و گاهی ساقه، اختلال در باز شدن کامل برگ و ریزش برگ از جمله اثرهای وارد بر گیاه به‌وسیلهٔ اتیلن است. خسارت در تمام قسمت‌های گیاه دیده می‌شود. اگر تماس قطع شود برگ‌های جوان بهبود می‌یابند، ولی برگ‌های کهنه ترمیم نمی‌شوند. گیاه ارکیده با 0/1 پی‌پی‌ام در مدت شش ساعت خشک می‌شود. 0/05 پی‌پی‌ام به‌عنوان آستانهٔ اثر برای مدت شش ساعت ذکر شده است. گوجه فرنگی، فلفل و میخک هم مثل ارکیده خیلی حساس اند و در چند ساعت خشک می‌شوند.

#### 7- آمونیاک $\text{NH}_3$

رنگ سبز غیرطبیعی یا لکه‌های سیاه در کل برگ به‌وجود می‌آید. گیاه رسیده حساس‌تر است. آستانه اثر 20 پی‌پی‌ام حجمی در مدت چهار ساعت است، ولی به‌صورت هیدروکلریک اسید در غلظت بسیار کم حدود 7 پی‌پی‌ام به‌گیاهانی مثل خیار و گیلان پس از چهار ساعت صدمه می‌زند.

در پایان این فصل به‌تصویر تعدادی از گونه‌های گیاهی که تحت تأثیر آلاینده‌های مختلف بوده‌اند توجه کنید.

#### نمونه‌ای از پژوهش‌های انجام شده روی گیاهان

اهمیت اقتصادی آلودگی هوا روی محصولات کشاورزی همراه با سادگی پژوهش بر گونه‌ای معین، در مقایسه با مجموعه‌ای از انواع گونه‌های گیاهی در طبیعت، موجب شده که مطالعات زیادی در زمینهٔ آلودگی هوا و گیاه صورت گیرد. بررسی‌ها، در هوای آزاد، هوای آزاد تصفیه شده، هوای آزاد هدایت شده به‌داخل اتاقک و یا تزریق غلظت‌های کنترل شده آلاینده معین به‌داخل اتاقک‌های کشت گیاه، انجام گرفته است.

### تجربه<sup>1</sup> NF/CF

در اروپا و آمریکا از اتاقک با سقف باز برای این پژوهش استفاده شده است. در بررسی سه نوع پژوهش صورت گرفته است: (1) آزمایش AA که در آن گیاه بدون وجود اتاقک به طور مستقیم در معرض هوای آزاد قرار می گیرد؛ (2) NF، گیاه در اتاقک قرار می گیرد، ولی هوا بدون تصفیه در آن جاری می شود و (3) گیاه در اتاقکی قرار داده می شود که هوایش از صافی زغال سنگ عبور داده شده است.

---

1- CF = Chamber with Charcoal Filtered air, NF= Chamber with non filtered ambient air

## فصل هفتم

### سایر اثرهای آلودگی هوا

#### 1- اثر بر اموال و متعلقات انسان

آلودگی هوا رنگ بر و فرساینده ساختمان‌هاست (فوبه<sup>۱</sup>، 1992-نورد<sup>۲</sup>، 1994-سابیونی<sup>۳</sup>، 1992-زاپیا و همکاران<sup>۴</sup>، 1993). کلیساها، مساجد، بناهای مذهبی، تاریخی و هنری، آثار باستانی و املاک خصوصی از آثار مخرب آلودگی هوا درمان نیستند. تجهیز لوازم شخصی، نظافت ساختمان‌های تاریخی و اماکن عمومی در نهایت برای فرد افراد جامعه هزینه‌براست. گاهی کثیف شدن و خاک گرفتگی کارهای هنری آن‌قدر شدید است که غیرقابل جبران است. تمام این عوارض و ضایعات ممکن است به علت ذرات معلق هوا، گازها و بخارات باشد. اشعه فرابنفش که از آثار غیرمستقیم آلودگی هواست، به تمام مواد و سطوح ساختمانی صدمه می‌زند. فلز، سنگ، سطوح رنگ شده، پارچه، چرم و امثال آن، وقتی با آلودگی هوا همراه با عوامل طبیعی مثل، دما، رطوبت، جریان‌های جوی و اشعه خورشید مواجه شوند، فاسد می‌شوند. ذرات جامد یا مایع وقتی روی سطوح رسوب می‌کنند، موجب کاهش انعکاس‌پذیری می‌شوند و حرارت بیشتری جذب می‌کنند که با توجه به واکنش‌پذیری بعضی از آلاینده‌ها با سطوح، فرایند واکنش تسریع و تخریب شدیدتر می‌شود. املاح و ذرات فلزی یا غبار محتوی فلز که روی سطوح رسوب می‌کنند، موجب خوردگی الکتروشیمیایی می‌شوند. آلودگی مؤثر بر سطوح شامل دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید کربن،

---

1- Fobe

2- Nord

3- Sabbioni

4- Zappia



سولفات‌ها، نیترات‌ها، کلریدها و اوزن است (باتلین<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱). خسارت بر مواد در اثر رسوب‌های اسیدی خشک و تر که در فصل نهم شرح داده شد، نیز به‌وقوع می‌پیوندد. زیان ناشی از ذرات معلق هوا به‌ویژه، آنچه توسط خودروهای دیزلی انتشار می‌یابد، رو به‌اهمیت است. ساختمان‌هایی که کتاب، آثار هنری و آثار تاریخی در آنها نگهداری می‌شود، در اثر آلودگی‌هایی که از خارج وارد ساختمان می‌شود و یا در داخل تولید می‌گردد (فصل چهاردهم) خسارت بسیاری می‌بینند (هیشام<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱). از مصالح ساختمانی بسیار حساس به آلودگی هوا، می‌توان از سنگ‌های آهکی<sup>۳</sup> و فلزات نام برد.

فرسایش و خاک شدن مواد به‌کاهش جرم، تغییر خلل و فرج، تغییر رنگ، تردی و کاهش مقاومت مکانیکی آن می‌انجامد. در دیوارهای داخلی ساختمان که نقاشی‌های آب و رنگی وجود دارد و یا نقاشی شده‌اند، با تغییرات دمای روزانه یک چرخه هیگرومتریک<sup>۴</sup> به‌وجود می‌آید که طی آن رطوبت آزاد، و یا جذب دیوارها می‌شود. این فرایند موجب تخریب و فساد آثار هنری می‌شود.

### سطوح نقاشی شده

اکسیدان‌ها و ذرات، اعم از این که یک ماده واحد و یا چند گونه شیمیایی باشند در تماس سطوح نقاشی شده، رنگ و رو رفتگی شدیدی را به‌وجود می‌آورند (گروژان<sup>۵</sup>، ۱۹۹۳). بیش از ۵۰ درصد ذراتی که موجب کثیف شدن نقاشی‌های روی سطوح می‌شوند، ذرات درشت بزرگ‌تر از ۱۰ میکرون هستند. با اندازه‌گیری تغییرات انعکاس‌پذیری سطوح می‌توان از نظر کمی مقدار کثیف شدن را تعیین کرد. برای بسیاری از مردم وقتی که انعکاس‌پذیری ۳۰ درصد کاهش یابد، نقاشی ساختمان باید تجدید شود. هامیلتون و مانسفلد ۱۹۹۳ در نبود باران، تغییرات انعکاس‌پذیری (R) را به‌صورت رابطه ۱-۱۳ تعریف کرده‌اند:

$$R(\%) = 1.431 (t C_{tsp})^{0.5} \quad 13-1$$

در این رابطه t مدت تماس برحسب سال و  $C_{tsp}$  غلظت کل ذرات معلق هوا برحسب میکروگرم در مترمکعب است.

چنانچه ریزش باران هم به‌حساب آورده شود، آنها رابطه ۲-۱۳ را پیشنهاد کرده‌اند:

- 
- 1- Butlin
  - 2- Hisham
  - 3- Calcareous
  - 4- Hygrometric
  - 5- Grosjean
  - 6- Hamilton and Mansfeld

$$R (\%) = 100 [1 - \exp^{(-kt)}] \quad 13-2$$

در اینجا  $k$  تابع نوع و غلظت ذرات است برای کل ذرات معلق (TSP) و ذرات کربن عنصری (PEC)<sup>۱</sup> روابط  $a$  و  $b$ ، 13-3 داده شده است:

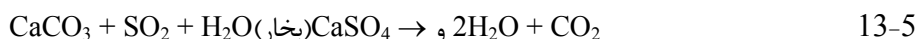
$$k_{\text{TSP}} (\text{yr}^{-1}) = 0.0085 C_{\text{TSP}} (\mu\text{g m}^{-3})^a \quad 13-3$$

$$k_{\text{PEC}} (\text{yr}^{-1}) = 0.095 C_{\text{PEC}} (\mu\text{g m}^{-3})^b$$

### اثر بر سطوح سنگی

بر روی آثار باستانی ساخته شده از سنگ آهک، سنگ ماسه<sup>۲</sup> و مرمر، جرم یا زنگار تشکیل می‌شود (فوبه<sup>۳</sup>، 1995) که ممکن است دارای موادی در رسوبات باشد تا موجب فساد سنگ‌ها شود. سنگ‌ها ممکن است نمای خود را حفظ کنند، ولی سیاه شوند و یا سفید بمانند، اما به‌علت فرسایش نمای خود را از دست بدهند. تصاویر کنده‌کاری شده بر روی سنگ‌ها ممکن است در اثر باران شسته و پاک شوند و چیزی که به آن گچ - پوسته<sup>۴</sup> سیاه گفته شده است در قسمت‌هایی از سنگ باقی بماند.

سنگ‌های آثار باستانی (کلسیت) به‌صورت کریستالین‌های شش ضلعی از جنس  $\text{CaCO}_3$  هستند. در حضور هواویزهای آهکی،  $\text{SO}_2$  و ترکیبات اسیدی در واکنش با کلسیت تولید گچ می‌کند (نورد، 1994).



به نظر می‌رسد ذرات کربنی به‌ویژه اگر محتوی فلز هم باشند، عمل کاتالیست را برای اکسیداسیون  $\text{SO}_2$  انجام می‌دهند (هاچینسون<sup>۵</sup>، 1992). وقتی بخار  $\text{HCl}$  و گاز  $\text{SO}_2$  هم زمان وجود داشته باشند  $\text{HCl}$ ، 20 بار از  $\text{SO}_2$  واکنش‌پذیرتر است. بر روی سنگ‌های آهکی ساختمان، اکسیداسیون  $\text{SO}_2$  خیلی مشخص‌تر از اکسیداسیون  $\text{NO}_2$  و  $\text{NO}$  است. اسید کربنیک که به‌علت دی‌اکسید کربن هوا به‌وجود می‌آید، پیش‌نیاز خوبی برای تخریب بتون، پل‌ها و سازه‌های ساختمان و سنگ‌هاست. همچنین شواهدی وجود دارد که خسارت به‌علت  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_2$  نیز وارد

1- Particles elemental carbon

2- Sandston

3- Fobe

4- Black gypsum crust

5- Hutchinson

می‌شود. مجموع کربن در جرم و زنگار روی سنگ‌ها با رابطه 6-13 بیان می‌شود:

$$[C]_t \rightarrow [C]_c + [C]_{nc} \quad 13-6$$

$C_c$  کربن طبیعی موجود در سنگ است و  $C_{nc}$  کربنی است که در اثر آلودگی هوا پدید می‌آید. اندازه‌گیری کربن روی زنگارها نشان می‌دهد که کربن  $C_{nc}$  به مراتب بیش از کربن طبیعی است. این موضوع می‌رساند که بیشتر خسارت وارد بر سنگ‌های ساختمانی یا مجسمه‌ها و غیره به علت آلودگی هواست. تجزیه آزمایشگاهی نشان داده که زنگ سیاه روی سنگ‌ها که به آن گچ سیاه گفته می‌شود دارای 56 تا 86 درصد گچ است که از گچ صخره‌های طبیعی به مراتب بیشتر است.

گرد سفیدی که به علت آلودگی هوا و فساد سنگ‌های آثار باستانی تشکیل می‌شود بوسیله باران شسته می‌شود و به تدریج موجب تخریب می‌گردد. گچ موجود در آثار باستانی فرسایش یافته خیلی کمتر از گچ قسمت‌های سیاه است، ولی از قسمت‌های زیرین سنگ طبیعی بیشتر است. تجزیه بیشتر زنگار سیاه وجود مواد معدنی در گرد و غبار باد آورده را نشان می‌دهد. به طور خلاصه اسید کربنیک که از ترکیب  $CO_2$  و بخار آب بوجود می‌آید کربنات کلسیم را که تقریباً نامحلول است به بی کربنات محلول تبدیل می‌کند که بعداً به وسیله باران شسته می‌شود و از بین می‌رود.

### اثر بر سطوح فلزی

اثر اصلی آلودگی هوا بر فلزات، خوردگی سطح فلز است که در نهایت به کاهش وزن و مقاومت مکانیکی آن منجر می‌شود. فلزات را به دو گروه تقسیم می‌کنند: فلزات آهنی<sup>۱</sup> و فلزات غیرآهنی<sup>۲</sup>.

فلزات آهنی از انواع مواد آهن دار مثل آهن و فولاد درست شده‌اند و فلزات غیرآهنی را سایر فلزات مثل مس، آلومینیوم، نقره و... تشکیل می‌دهند.

سه عامل عمده مؤثر بر خوردگی فلز، رطوبت، نوع آلودگی و دماست. پژوهشی که توسط هادسون<sup>۳</sup> انجام گرفته تأثیر این سه عامل را تأیید می‌کند. نمونه‌هایی را که او از مناطق سرد و خشک آزمایش کرده کمترین خوردگی را داشتند. در مناطق صنعتی انگلیس خوردگی فلزات 100 بار بیش از مناطق صحرایی و غیرقابل کشت آفریقا بوده است. چندین پژوهش برای تعیین رابطه بین آلودگی هوا و خوردگی فلزات در مناطق مختلف شهری انجام گرفته و این رابطه را تأیید کرده است.

1- Ferrous Metals

2- Non Ferrous metals

3- Hudson 1943

در تولسا<sup>1</sup> از ایالت اوکلاهما صفحات آهنی پرداخت شده را در نقاط مختلف شهر در معرض آلودگی هوا قرار دادند و کاهش وزن را به عنوان معیار سنجش به کار بردند تا خوردگی ناشی از آلودگی هوا را بسنجند. نتیجه نشان داد که بیشترین مقدار خوردگی در نزدیکی مراکز صنعتی بوده است. در این محیط های صنعتی، پالایشگاه نفت، واحدهای تولید کود کشاورزی و مراکز تولید اسید سولفوریک فعالیت داشته است (گالینگار، 1961).

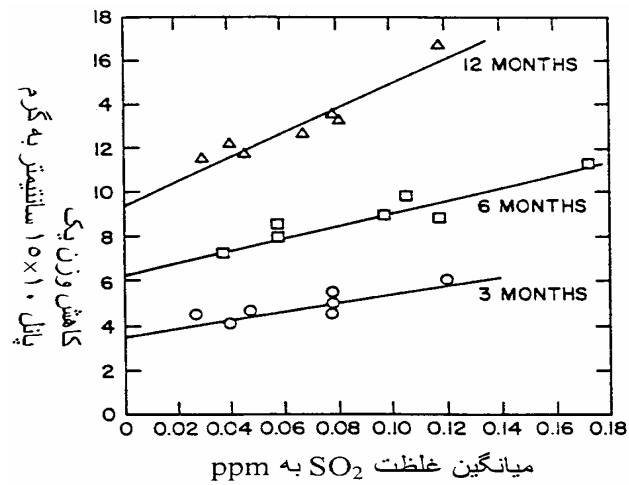
یوفام<sup>2</sup> یک طرح پژوهشی برای بررسی خوردگی را در شیکاگو انجام داد. او صفحات آهنی وزن شده را در 20 نقطه شهر قرار داد و در طول پژوهش غلظت  $SO_2$  را نیز اندازه گیری کرد. نتیجه پژوهش های یوفام در شکل 1-13 ملاحظه می شود که در آن رابطه بین کاهش وزن صفحات آهنی پس از زمان های 306 و 12 ماه در برابر میانگین غلظت  $SO_2$  نشان داده شده است. در این بررسی نیز مقدار خوردگی در مرکز شهر خیلی بیشتر از اطراف شهر بوده است. فلزات غیرآهنی نیز در اثر آلودگی هوا خورده می شوند، ولی این فرایند در غیرآهنی ها به مراتب کمتر و کندتر از آهن است. جدول 1-13 خوردگی فلزات غیرآهنی را در مدت 20 سال نشان می دهد. نتیجه با نوع فلز و نوع تماس و آلاینده فرق می کند. پوشش روی به عنوان حافظ آهن به کار برده می شود (آهن گالوانیزه). در مناطق صنعتی و مرطوب پوشش روی هم به تدریج از بین می رود. هاینی و یوفام<sup>3</sup> مطالعه ای را به منظور تعیین میزان مفید بودن پوشش روی در حفاظت از آهن در برابر آلودگی هوا، در محیط های مختلف انجام دادند که در جدول 2-13 نتیجه آن آمده است و نشان می دهد که طول عمر مفید این پوشش تابع غلظت  $SO_2$  است.

---

1- Tulsa

2- Upham 1967

3- Haynie and upham 1970



شکل 1-13- رابطه بین خوردگی فولاد نرم با میانگین غلظت SO<sub>2</sub> در هفت مکان مختلف شیکاگو  
(مأخذ یوفام)

جدول 1-13- کاهش وزن فلزات مختلف در مناطق متفاوت

| میانگین کاهش وزن پانل‌های فلزات پس از 20 سال تماس با هوا، (درصد) |                           |                   |                          |                         |                             | منطقه تماس | شهر                  |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------|----------------------|
| روی<br>Zn %99<br>Pb %085                                         | سرب<br>Pb %99/9<br>Cu 0/6 | نیکل<br>%99<br>Ni | ورشو<br>CU %85<br>Zn %15 | آلومینیوم<br>99 درصد Al | مس صنعتی<br>99/9 درصد<br>CU |            |                      |
| 30/7                                                             | 1/8                       | 25/2              | 8/5                      |                         | 6/1                         | صنعتی      | التونا <sup>1</sup>  |
| 25/1                                                             | ---                       | 16/6              | 8/7                      | 3/4                     | 6/4                         | صنعتی      | نیویورک <sup>2</sup> |
| 6/9                                                              | 2/1                       | 0/6               | 1/3                      | 2/6                     | 5/4                         | ساحل دریا  | لایولا <sup>3</sup>  |
| 2/9                                                              | ---                       | 0/5               | 2/5                      | ---                     | 2/4                         | ساحل دریا  | کی‌وست <sup>4</sup>  |
| 0/8                                                              | 0/4                       | 0/2               | 0/5                      | 0/3                     | 0/6                         | روستایی    | فونیکس <sup>5</sup>  |

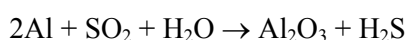
توجه:

الف: پانل‌ها 0/089 × 30/48 × 22/86 سانتی متر بوده‌اند

ب: داده‌ها از H.R.Copson، گزارش ASTM کمیته فرعی 6 از کمیته B<sub>3</sub> خوردگی جوی

مأخذ: Yocom J.E

به نظر می‌رسد آلومینیوم در برابر SO<sub>2</sub> با غلظت‌هایی که در هوای آزاد وجود دارد مقاوم‌تر است. بررسی‌های آزمایشگاهی در غلظت‌های بیشتر (280 پی‌پی‌ام) خوردگی آلومینیوم را در رطوبت بالای 70 درصد نشان داده است. در فساد آلومینیوم پودر سفید سولفات آلومینیوم تولید می‌شود.



مس و نقره به دلیل هدایت الکتریکی خوبی که دارند به مقدار زیادی در صنعت الکترونیک به کار می‌روند. در برابر اکسیژن یک پوشش اکسید، روی این فلزات بوجود می‌آید که فلز را از خوردگی بیشتر حفظ می‌کند. وقتی این فلزات در برابر H<sub>2</sub>S قرار گیرند یک پوشش سولفید، روی آنها تولید می‌شود که در تماس کلیدهای برق مقاومت به وجود می‌آورد. یکی از فرایندهای مهم خوردگی فلزات فرایند الکتروشیمیایی است که به‌ویژه در حضور نمک‌ها و رطوبت و ذرات

- 
- 1- Altoona, PA  
2- New York, NY  
3- La Jolla, CA  
4- Key West, FL  
5- Phoenix, AZ

محتوی فلز با تشکیل الکترولیت و پیل الکتریکی، فرایند الکتروشیمیایی، فلز را فاسد می‌کند و از بین می‌برد.

در جدول 2-13 عمر پیش‌بینی شده ورق آهن گالوانیزه با 53 میکرومتر پوشش در رطوبت نسبی 70 درصد داده شده است.

جدول 2-13- عمر مفید ورق گالوانیزه (به سال)

| غلظت SO <sub>2</sub> میکروگرم در مترمکعب | نوع محیط     | بهترین برآورد پیش‌بینی شده | برد پیش‌بینی شده | برد مشاهده شده |
|------------------------------------------|--------------|----------------------------|------------------|----------------|
| 13                                       | روستایی      | 244                        | 41               | 30-35          |
| 130                                      | شهری         | 24                         | 16-49            |                |
| 260                                      | نیمه صنعتی   | 12                         | 10-16            | 15-20          |
| 250                                      | صنعتی        | 6                          | 5/5-7            |                |
| 1040                                     | به شدت صنعتی | 3                          | 2/5-3/5          | 3-5            |

### اثر بر چوب

به غیر از فساد توسط میکروب‌ها و یا حشرات، رطوبت، اشعهٔ فرابنفش و اوزن از عوامل عمدهٔ فساد چوب است. مواد اسیدی هم ترکیبات سلولزی را هیدرولیز می‌کند و تا حدودی باعث فساد چوب می‌شود. دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن هم ساختمان سلولزی را اکسیده می‌کند که در مقاومت مکانیکی چوب مؤثر است.

### اثر بر روی پارچه و رنگ

مهم‌ترین اثر آلودگی هوا بر پارچه، کاهش دوام و کشش‌پذیری آن است. دی‌اکسید گوگرد بیشترین اثر را بر کشش‌پذیری پارچه دارد. بارزترین مثال در این زمینه خسارتی است که به‌جوراب‌های نایلونی در اثر آلودگی هوا وارد می‌شود. درحالی‌که سازوکار اثر به‌خوبی شناخته نشده است، به‌نظر می‌رسد برخورد قطرات هواویز اسیدسولفوریک با نایلون نازک، موجب از بین رفتن کشش‌پذیری و در نهایت پارگی آن می‌شود. پنبه، کتان، ریون هم از آلایندهٔ SO<sub>2</sub> خسارت می‌بینند.

بریسون<sup>۱</sup> و همکاران پروژه‌ای را در سن‌لویی از ایالت میسوری در مورد بررسی آلودگی هوای شهر بر کشش‌پذیری پارچه‌های پنبه‌ای اجرا کردند. نمونه‌های پارچه به مدت یک سال در هفت مکان مختلف در معرض آلودگی هوا قرار گرفتند. شکل 2-13 رابطه بین قدرت کشش‌پذیری و مدت تماس با  $SO_3$  را نشان می‌دهد. برای دو سطح مختلف آلودگی پس از یک سال، قدرت کشش‌پذیری پارچه‌ها به کمتر از نصف قدرت اولیه آن رسید. ذرات معلق هوا نیز در فساد پارچه نقش دارند. پارچه تحت تأثیر ذرات معلق کثیف می‌شود و به شست‌وشوی بیشتر نیاز پیدا می‌کند که نتیجه آن استهلاک و از بین رفتن آن می‌باشد. علاوه بر خود پارچه، رنگی که در پارچه‌ها به کار برده می‌شود نیز در اثر آلودگی هوا از بین می‌رود. از اوایل قرن بیستم زوال رنگ پارچه یک مشکل دائمی بوده است. ترکیب و نوع رنگ‌های به کار برده شده در نساجی بارها تغییر کرده است تا بتوان مشکل زوال رنگ را حل کرد. قبل از جنگ جهانی اول رنگ‌های نساجی برای پارچه‌های پشمی از گروه امینواسیدهایی بود که نسبت به  $NO_2$  حساس بودند.

در دهه 1920 که الیاف مصنوعی برای ساخت پارچه به بازار آمد از رنگ‌هایی که به آنها رنگزاهای دیسپرس<sup>۲</sup> گفته می‌شد استفاده گردید. هنوز زمانی از مصرف این رنگ‌ها نگذشته بود که متوجه شدند دی‌اکسید نیتروژن رنگ‌های سبز، آبی و بنفش را از بین می‌برد (سالوین<sup>۳</sup>). اوزن هم موجب از بین رفتن رنگ پارچه می‌شود. به این موضوع زمانی پی برده شد که متوجه شدند پارچه‌های سفید زرد می‌شوند. طی بررسی‌ای که بر روی مواد شیمیایی به کار برده شده در پارچه مانند شفاف کننده مواد، مواد ضد الکتریسیته ساکن، مقاوم کننده در برابر تخریب و نرم کننده صورت گرفت، دیده شد که فرایند بسیار پیچیده‌ای اتفاق می‌افتاد که طی آن رنگ وارد نرم کننده می‌شود. این نرم کننده‌ها که جذب کننده خوبی برای گازها بودند موجب تسریع در زوال رنگ می‌شدند. زوال رنگ به علت ترکیب آلاینده‌هایی مثل اوزن و دی‌اکسید نیتروژن با نرم کننده در رطوبت‌های زیاد روی می‌دهد. کوشش زیادی برای پیدا کردن رنگ‌های مقاوم به آلودگی هوا انجام گرفته و ترکیبات جدیدی هم تولید شده‌اند که هم گران هستند و هم ویژگی رنگ آنها قدری ضعیف است.

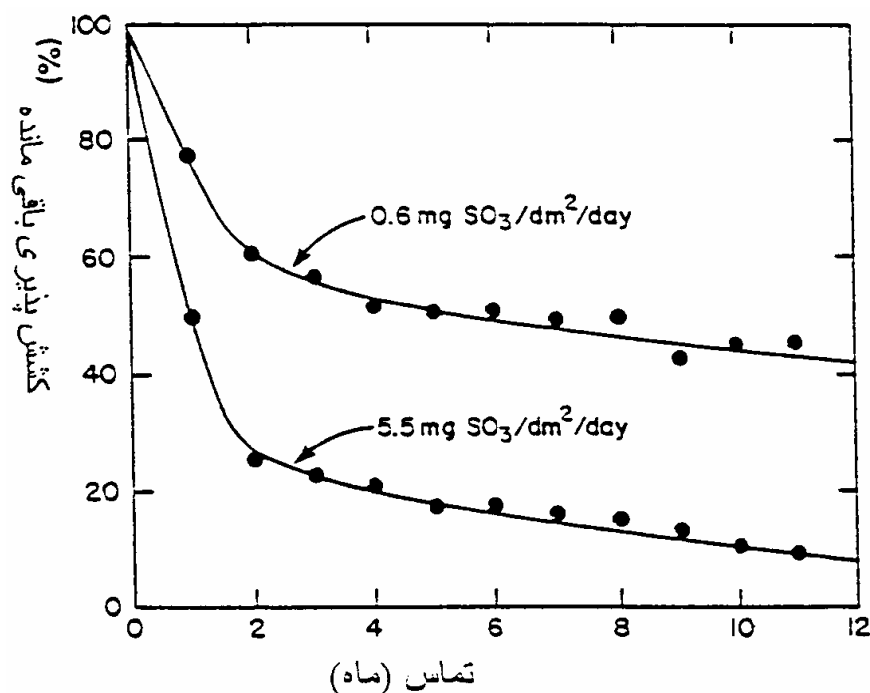
---

1- Brysson 1967

2- Dispersive Dyes

3- Salvin 1969





شکل 2-13- اثر سولفات‌ها شدن بر کنش‌پذیری پارچه پنبه‌ای به صورت تابعی از زمان.  
(مأخذ بریسون)

### اثر بر چرم و نقاشی

دی‌اکسید گوگرد به‌طور مشخصی بر چرم و کاغذ اثر می‌گذارد و موجب فساد آنها می‌شود. بزرگ‌ترین نگرانی، تخریب شیرازه‌های چرمی کتاب در کتابخانه‌های جهان است. SO<sub>2</sub> توسط چرم جذب و به‌اسید سولفوریک تبدیل می‌شود و به‌ساختمان چرم حمله می‌کند. ابتدا شیرازه یا جلد چرمی کتاب در محل تا شدن ترک برمی‌دارد و به‌تدریج ترک‌ها بیشتر می‌شود تا آنکه جلد به‌کلی جدا می‌شود. برای پیشگیری، باید کتاب‌ها را در محل‌های عاری از دی‌اکسید گوگرد نگهداری کرد.

الیاف سلولزی کاغذ هم مورد حمله دی‌اکسید گوگرد قرار می‌گیرد. کاغذهایی که قبل از سال 1750 ساخته شده‌اند مورد حمله SO<sub>2</sub> قرار نمی‌گیرند، ولی از آن زمان کاغذسازان موادی را برای شکستن فوری چوب در تولید کاغذ به‌کار بردند که ردی از فلزات دارد و این فلزات در تبدیل SO<sub>2</sub> به‌اسید سولفوریک به‌صورت کاتالیزور عمل می‌کنند و در تخریب کاغذ مؤثرند.

رنگ‌ها برای زیبایی و نگهداری سطوح به کار می‌روند. رنگ سخت شده در برابر جذب گازهای آلاینده مقاومت می‌کند. وجود غلظت‌های زیاد SO<sub>2</sub> مثلاً در حد 1 تا 2 پی‌پی‌ام (2620-5240 µg/m<sup>3</sup>) مدت زمان لازم برای خشک شدن سطوح تازه رنگ شده را افزایش می‌دهد. سولفید هیدروژن با رنگ‌هایی که سرب دارند وارد واکنش می‌شود:



و رنگ سفید را سیاه می‌کند. وهلر<sup>1</sup> و همکار او ضمن آزمایش‌هایی نتیجه گرفتند که رنگ‌های سرب‌دار در مواجهه با 70 میکروگرم H<sub>2</sub>S در مترمکعب در چند ساعت بی‌رنگ می‌شوند، ولی پس از مدتی به رنگ اصلی بر می‌گردند. رنگ‌هایی که با تیتانیوم و یا روی ساخته شده‌اند رسوب سیاه تشکیل نمی‌دهند. سطوح نقاشی شده با ذرات معلق هوا نیز کثیف می‌شوند.

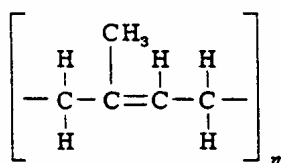
### اثر بر لاستیک

از مدتها پیش کشف شده بود که اوزن موجب ترک خوردگی لاستیک در حال کشش می‌شود ولی این فرایند را با آلودگی هوا مرتبط نمی‌دانستند. در دهه 1940 کشف شد که لاستیک‌های اتومبیل که در انبارهای لوس آنجلس نگهداری می‌شود ترک‌های شدیدی بر می‌دارند. با انجام مطالعات زیاد و فشرده، اوزن را به عنوان عامل مؤثر در این ترک خوردن‌ها تشخیص دادند. اوزن همان‌طور که پیش از این اشاره شده است از واکنش‌های جوی دی‌اکسید نیتروژن و بعضی ترکیبات آلی در حضور نور خورشید در طیف (4600°A تا 3000) به وجود می‌آید که بعداً تولید آلودگی‌های نورشیمی می‌کند. لاستیک طبیعی از واحدهای ایزوپرن<sup>2</sup> پلی‌مریزه شده تولید می‌شود. وقتی لاستیک در حال کشش است، اوزن به باندهای دوگانه کربن = کربن حمله می‌کند و این باند را می‌شکند. باند شکسته شده باند مجاور C=C را زیر فشار بیشتر قرار می‌دهد که در نهایت این باند هم شکسته می‌شود و لاستیک بیشتر و بیشتر در فشار قرار می‌گیرد. در شکل 3-13 می‌توان این فرایند را در فرمول لاستیک‌های مختلف مشاهده کرد. تعداد و عمق ترک‌ها با غلظت آلودگی هوا ارتباط دارد.

1- Wohlers 1966

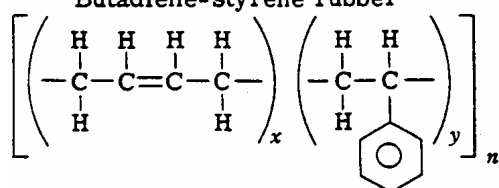
2- Isoprene

#### Natural rubber



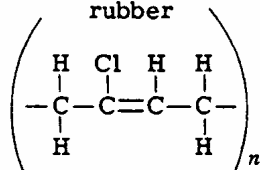
ا وزن به باند C=C حمله  
می‌کند.  
فرمول لاستیک طبیعی

#### Butadiene-styrene rubber



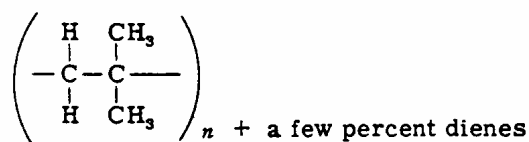
این لاستیک مصنوعی است که  
مقاومت آن در برابر اوزن  
به همان اندازه لاستیک طبیعی

#### Polychloroprene rubber



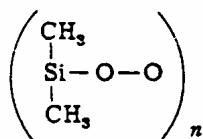
با آنکه این یک لاستیک اشباع  
نشده است، اتم‌های کلر در  
جاورت C=C مولکول‌ها را نسبت  
به اوزن مقاوم می‌کند.

#### Isobutylene-diolefin rubber



از آنجاکه لاستیک باند C=C  
کمتری دارد، مقاومت آن بیشتر  
است.

#### Silicon rubber



این لاستیک باند C=C  
ندارد، بنابراین در  
برابر اوزن مقاوم است.

شکل 3-13- حساسیت لاستیک‌های طبیعی و مصنوعی در برابر حمله اوزن و شکسته شدن باند  
دوگانه

### تأثیر آلودگی هوا بر جو

مهم‌ترین اثر آلودگی هوا بر جو کاهش دید است. بنابراین ابتدا به فیزیک دید اشاره‌ای

خواهد شد و سپس رابطه گرد و غبار هوا با میزان دید مورد بحث قرار خواهد گرفت.

## فیزیک دید<sup>۱</sup>

مفهوم کاهش دید، از بین بردن قدرت مشاهده محیط است. در تعیین مشاهده جو چندین عامل مؤثر است (شکل 4-13): ویژگی نور منبع روشنایی، هدف موردنظر، جو بین هدف و بیننده و ویژگی قدرت بینایی مشاهده کننده.

برای این که جسم یا هدفی دیده شود باید تضاد رنگ بین آن جسم و محیط اطراف آن وجود داشته باشد. در جو به دلایل متعدد ممکن است دید کاهش یابد. برای مثال ممکن است فاصله تا موضوع زیاد باشد، (یک هواپیما در حال پرواز از ما دور می شود تا محو گردد)، زاویه تابش نور در طی روز تغییر می کند که در دید اثر دارد. اگر آلودگی هوا افزایش یابد و یا تضاد رنگ ها کم باشد یا کاهش یابد، قدرت دید هم کاهش می یابد.

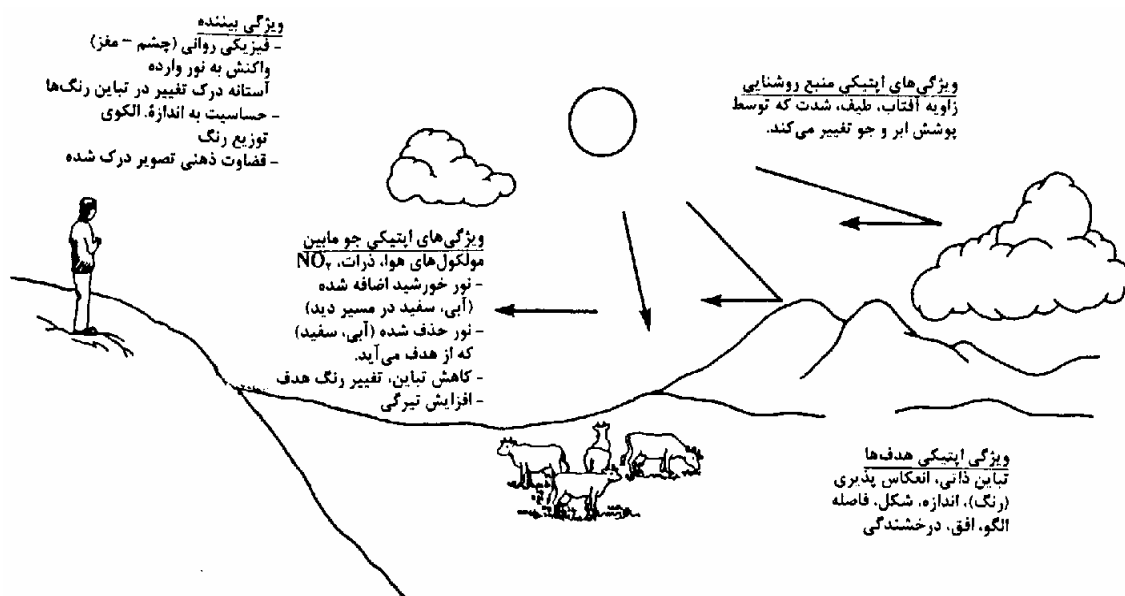
شیئی که نزدیک ماست به راحتی دیده می شود، ولی وقتی از آن دور شویم به تدریج تضاد بین شیئی و زمینه پشت آن کاهش می یابد (تا جایی که دیگر دیده، یا تشخیص داده نمی شود). کمترین حد تضاد رنگ برای انسان، آستانه تضاد<sup>۲</sup> گفته می شود و این از آن نظر مهم است که بر حداکثر فاصله ای که می توان اشیای مختلف را دید تأثیر می گذارد.

بنابراین استاندارد تضاد کاملاً به فهم ما درباره دید خوب یا بد در شرایط محیطی خاص تأثیر می گذارد. آستانه تضاد در شکل 5-13 به تصویر درآمده است.

---

1- Visibility

2- Threshold Contrast



شکل 4-13- عوامل مؤثر بر دید در جو (مأخذ: EPA)

در این تصویر  $I$  شدت نور جسم مورد هدف که به چشم می رسد  $I + \Delta I$  معرف شدت نور رسیده از اطراف (آسمان) است. آستانه تضاد در کمترین حد  $0/03$  تا  $0/18$  است، ولی هنوز شی قابل دیدن است. عامل مؤثر دیگر اندازه فیزیکی تصویر در رتینای چشم و پاسخ مغز درمورد رنگ جسم است.

حال اثر گازها و ذرات هوا را در خواص بینایی جو مورد توجه قرار می دهیم. کاهش دید در جو به علت مداخله عوامل زیر است: 1) پراکندگی نور<sup>1</sup> به وسیله مولکول های گاز و ذرات معلق هوا؛ 2) جذب نور<sup>2</sup> توسط گازها و ذرات. فرایند پراکندگی شامل کنش متقابل نور با گازها و یا ذرات است که در نتیجه آن مسیر حرکت و یا فرکانس نور تغییر می کند. جذب موقعی اتفاق می افتد که تشعشعات الکترومغناطیسی با گازها یا ذرات کنش متقابل داشته باشند و به داخل گاز یا ذرات انتقال یابند.

پراکندگی نور توسط گازها<sup>3</sup> وابسته به طول موج پرتو برخوردی است و به همین علت هم آسمان آبی است. این فرایند در فضای نسبتاً عاری از هواویزها و یا گازهای جذب کننده نور

1- Mie Scattering  
2- Absorption  
3- Rayleigh Scattering

غالب است. پراکندگی نور توسط ذرات مهم‌ترین عامل کاهش دید است. این پدیده تابع اندازه ذرات معلق در جو است.

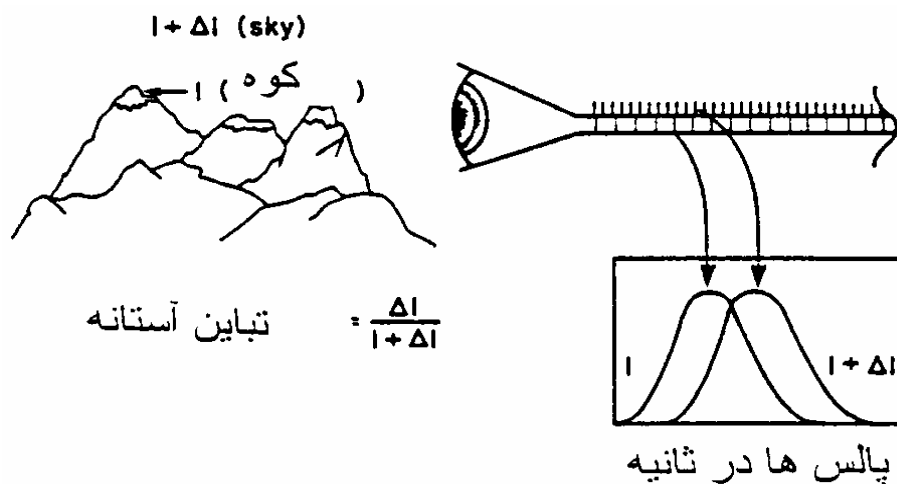
جذب نور توسط گازها در جو پایین به‌ویژه توسط دی‌اکسید نیتروژن محدود می‌شود. این ماده امواج قابل رؤیت با طول موج کوتاه یا آبی را جذب می‌کند. بنابراین ما رنگ زرد یا قهوه‌ای مایل به قرمز را در جوی که مقدار زیادی  $\text{NO}_2$  دارد، مشاهده می‌کنیم. جذب نور توسط ذرات اصولاً با ذرات کربنی و یا دوده سیاه در جو ارتباط دارد. سایر ذرات کوچک مثل سولفات با آنکه جذب کننده خوبی برای نور نیستند، ولی به‌خوبی نور را پراکنده می‌کنند.

### خاموش‌سازی نور در جو<sup>1</sup>

کنش متقابل نور در جو به‌صورت ریاضی بیان شده است: (در پایان این بخش مدل ریاضی اثر ذرات بر دید شرح داده می‌شود)

$$-dI = b_{\text{ext}} I dx \quad 13-8$$

$dI$  - کاهش شدت نور،  $b_{\text{ext}}$  ضریب خاموشی،  $I$  شدت اصلی اشعه نور و  $dx$  فاصله‌ای است که اشعه نور طی می‌کند تا به‌بیننده برسد.



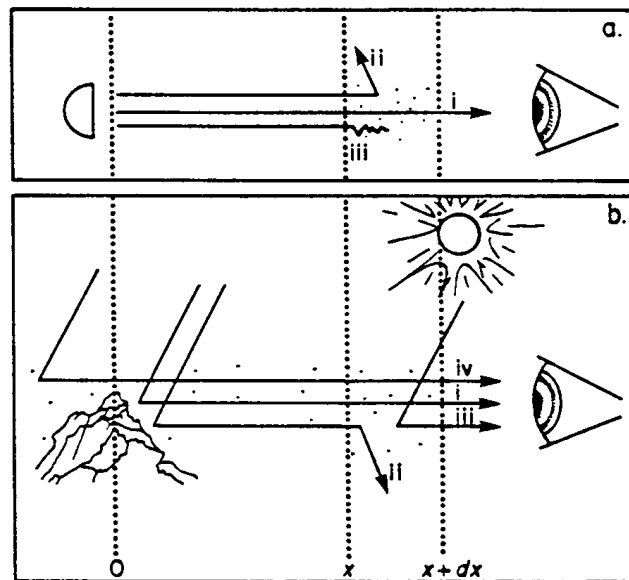
شکل 5-13 - آستانه تضاد برای تشخیص شیء نسبت به محیط اطراف چشم

با افزایش تعداد پالس‌هایی که به‌مغز فرستاده می‌شود، حتی مقدار بسیار جزیی نور رسیده

از جسم تشخیص داده می‌شود.

شکل 6-13 (الف) اشعه نوری را که از جو عبور می‌کند نشان می‌دهد. شدت این شعاع نوری با عبور از فاصله منبع تا چشم بیننده به علت جذب و یا پراکندگی کاهش می‌یابد. در مدتی کوتاه شدت این اشعه با فاصله از منبع نورانی به علت جذب و پراکندگی شدن کاهش می‌یابد. کاهش متناسب با درجه پراکندگی و فاصله‌ای که طی می‌کند، است. در اینجا  $b_{ext}$  ضریب خاموشی یا تحلیل نور است که متناسب با گازها و ذراتی است که در مسیر عبور پرتو نورانی وجود دارند و موجب پراکندگی و جذب نور می‌شوند.

شکل 6-13 (ب) وضعیت کمی پیچیده‌تری را نشان می‌دهد، ولی دارای یک کاربرد دیگر دید در جو است.



شکل 6-13- یک دیاگرام خاموشی نور از یک منبع مثل لامپ برق با حباب منعکس کننده ii نور که از هدف می‌آید پراکنده شده و از دید بیننده دور شده است. iii قسمتی که جذب مولکول‌های هوا شده است. iv نور هوا که آسمان افق را تشکیل می‌دهد. i مقدار نور باقی مانده که به بیننده می‌رسد (EPA 1979).

در این مثال بیننده هنوز به توان مشاهده نوری که از جسم هدف به او می‌رسد و آنچه در مسیر پراکنده و جذب می‌شود وابسته است. علاوه بر این بیننده باید نور منحرف شده به زوایای

اطراف که خارج از شعاع دید است نیز توجه کند. این نورهای فرعی را گاهی نور هوا<sup>۱</sup> می‌گویند. رابطه 8-13 برای لحاظ کردن این پدیده بازنگری شده است.

$$-dI = dI (\text{extinction}) + dI (\text{air light}) \quad 13-8$$

نور هوا در کاهش دید که تیرگی<sup>۲</sup> نامیده شده است کمک می‌کند. رابطه ساده‌شده توسط کوشمیدر<sup>۳</sup> توسعه یافته است که فاصله دید و ضریب خاموشی را با رابطه 9-13 تعریف کرده است:

$$L_v = 3.92 / b_{\text{ext}} \quad 13-9$$

$L_v$  فاصله‌ای است که یک جسم سیاه عریان قابل دیدن است. رابطه 9-13 بر پایه فرضیه‌های زیر طرح شده است:

1- زمینه پشت جسم یکنواخت است؛

2- هدف سیاه است؛

3- بیننده می‌تواند تضاد 0/02 را تشخیص دهد؛

4- نسبت نور هوا به خاموشی در طول مسیر ثابت است.

درحالی که رابطه کوشمیدر برای برآورد اولیه فاصله دید مفید است، وضعیت‌های متعددی وجود دارد که نتیجه را بیشتر کیفی می‌کند. ضریب خاموشی  $b_{\text{ext}}$  وابسته به حضور گازها و ذراتی است که نور را در جو جذب و یا پراکنده می‌کنند. ضریب خاموشی را می‌توان حاصل جمع پراکندگی و جذب نور توسط آلودگی هوا در نظر گرفت (رابطه 10-13).

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{rg}} + b_{\text{ag}} + b_{\text{scat}} + b_{\text{ap}} \quad 13-10$$

در این رابطه،  $b_{\text{rg}}$  پراکندگی به وسیله مولکول‌های گاز (پراکندگی رالی)<sup>۴</sup>  $b_{\text{ag}}$  جذب به وسیله گاز  $\text{NO}_2$ ،  $b_{\text{scat}}$ ، پراکندگی به وسیله ذرات و  $b_{\text{ap}}$  جذب توسط ذرات است. تمام این اجزای ضرایب خاموشی برای طول موج‌های مختلف نور فرق می‌کنند. هرچه ضریب‌های خاموشی افزایش یابد، دید کاهش می‌یابد.

---

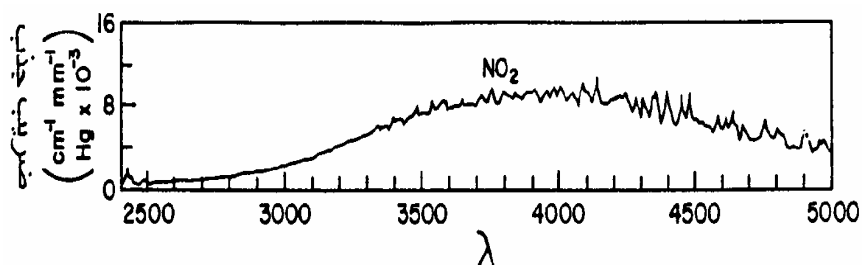
1- Air Light

2- Haze

3- Koschmieder

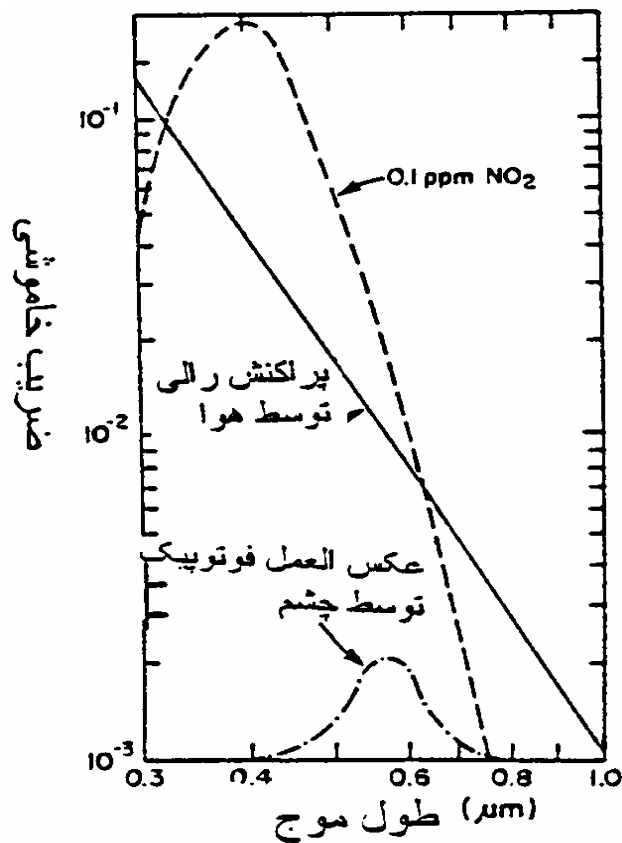
4- Rayleigh Scattering





شکل 7-13- جذب طیف نوری توسط  $\text{NO}_2$  (مأخذ: Hall)

ضریب پراکندگی رالی در هوای بدون ذرات،  $0/012$  در کیلومتر برای نور سبز ( $\lambda = 0.05 \mu\text{m}$ ) در کنار دریاست. این شرایط به‌طور تقریب فاصله دیدی معادل 230 کیلومتر را اجازه می‌دهد. هوای بدون ذرات معلق یا پراکندگی رالی مثل مورد بالا امکان بهترین دید را در جو روی زمین می‌دهد. طیف جذبی  $\text{NO}_2$  جذب زیادی در فاصله دید دارد (شکل 8-13).  $\text{NO}_2$  به‌عنوان جذب کننده قوی نور آبی دود ستون<sup>۱</sup> را قرمز، قهوه‌ای یا زرد نشان می‌دهد. شکل 8-13 مقایسه بین ضریب خاموشی در اثر  $0/1$  پی‌پی‌ام  $\text{NO}_2$  و پراکندگی رالی است.



شکل 8-13- مقایسه  $b_{ext}$  برای 0/1 پی پی ام  $\text{NO}_2$  و پراکندگی رالی در هوا پاسخ فوتوپیک<sup>1</sup> چشم معرف حدود طیف نوری است که چشم قادر به کشف است.

در مناطق شهری، بعضی از موارد بی رنگ شدن ها را می توان به دلیل آلودگی  $\text{NO}_2$  دانست. در مناطق روستایی بزرگ ترین مشکل  $\text{NO}_2$  بی رنگ کردن دود ستون های نیروگاه هاست. ذرات معلق مهم ترین عامل کاهش دید به شمار می آیند. در بیشتر موارد کیفیت دید در هوا با پراکندگی نور به وسیله ذرات کنترل می شود که با ضریب خاموشی  $b_{scat}$  مشخص می گردد. اندازه ذرات نقش اساسی در مداخله نور دارد. سایر عوامل مؤثر، خاصیت درخشندگی و شکل ذرات هستند، با آنکه اندازه گیری اثر عوامل اخیر مشکل است و این عوامل کمتر شناخته شده اند، اگر می شد آنها را در نظر گرفت امکان تعیین مقدار پراکندگی و جذب وجود داشت.

1- Photopic

ضریب خاموشی مربوط به هواویزها را می‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. نور و ذرات معلق به‌چهار روش اصلی بر هم اثر می‌گذارند. این تأثیرها در شکل 9-13 نشان داده شده است. این چهار روش عبارتند از انحراف<sup>۱</sup>، شکست<sup>۲</sup>، تغییر فاز<sup>۳</sup> جذب برای ذرات بین 0/1 تا 1 میکرومتر پراکندگی و جذب "مای"<sup>۴</sup> را می‌توان با معادله 11-13 محاسبه کرد.

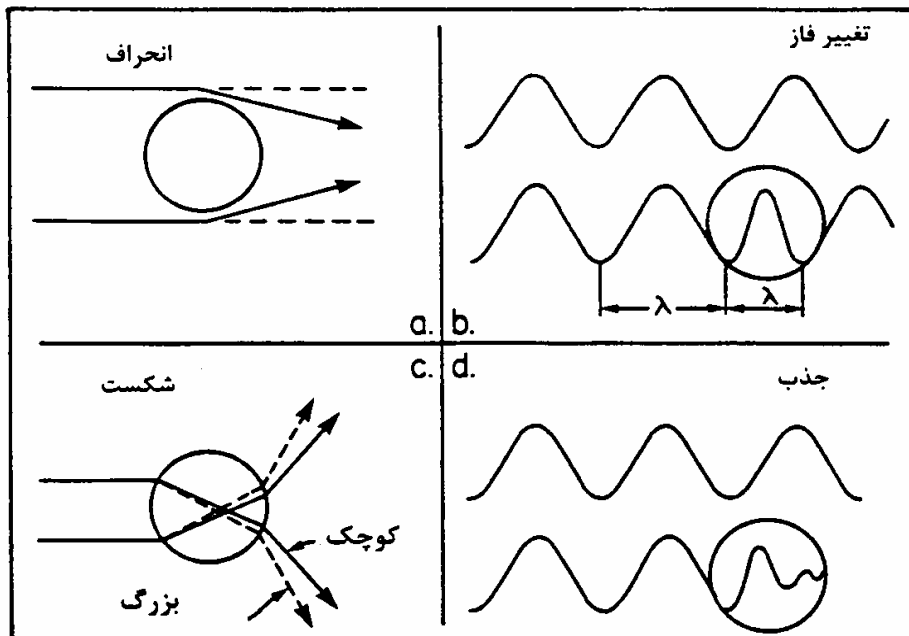
$$b_{\text{Mie}} = NKRI^2 \quad 11-13$$

شکل 10-13 پراکندگی نسبی و بازده جذب به‌واحد حجم ذرات را برای هواویزهای معمولی که محتوی قدری دود جاذب نور هستند، نشان می‌دهد. این شکل اهمیت ذرات با قطر 0/1 تا 1 میکرومتر را در پراکندگی نور نشان می‌دهد. ذرات کوچک‌تر و بزرگ‌تر از این محدوده کمتر نور را پراکنده می‌کند. فرایند جذب معمولاً کمتر از پراکندگی در ضریب خاموشی مؤثر است. ترکیب شیمیایی ذرات نیز در پراکندگی نور تأثیر دارند و این به‌علت انعکاس‌پذیری متفاوت آنها است.

شکل 11-13 نسبت پراکندگی به‌جرم چهار مادهٔ مختلف را برای قطر ذرات آنها نشان می‌دهد. به‌طوری که دیده می‌شود این نسبت برای ذرات کربن و ذرات محتوی آب که قطر برابر دارند دارای بازده پراکندگی متفاوت است.

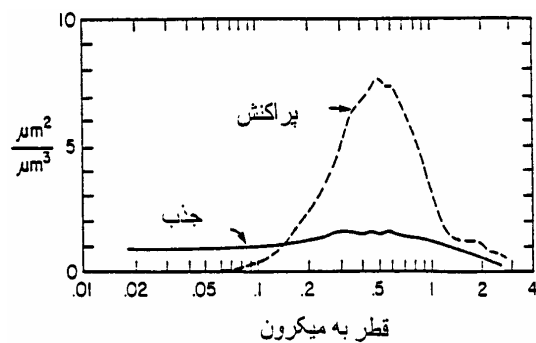
---

1- Diffraction  
2- Refraction  
3- Phase Shift  
4- Mie

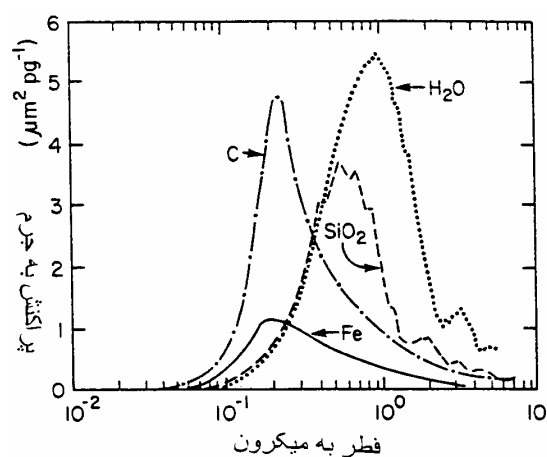


شکل 9-13- چهار شکل مختلف برخورد نور با ذرات. پراکندگی نور توسط ذرات درشت ( $>2$  میکرون) مجموع اثر شکست و بازتاب است (a) شکست اثر کناره‌های ذرات است که نور بسوی قسمت سایه پشت ذره منحرف می‌شود. (b) سرعت جبهه موجی<sup>1</sup> که وارد یک ذره‌ای که اندیس انعکاس‌پذیری آن  $n > 1$  (برای آب  $n = 1.33$ ) است کاهش یافته است (c) شکست اثر کمتری دارد. زاویه پراکندگی که در اثر خم شدن اشعه ورودی به وجود می‌آید با  $n$  افزایش می‌یابد. (d) برای محیط‌های جذب‌کننده، اشعه در داخل ذره تحلیل می‌رود. وقتی اندازه ذره با طول موج قابل قیاس باشد ( $0.1 - 1/0$  میکرون) برخورد متقابل در حالت‌های d-a پیچیده و بزرگنمایی بیشتری دارد (EPA1979).

دید با تغییر اندازه ذرات جذب‌کننده رطوبت نیز تغییر می‌کند، زیرا این گونه ذرات در محیط مرطوب بزرگ‌تر می‌شوند. این نوع ذرات در محیط‌های ساحلی وجود دارند، زیرا با پخش شدن و پراکندگی آب دریا بر اثر امواج به وجود می‌آیند. در رطوبت بیش از 67 درصد دید به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد.



شکل 10-13- پراکندگی و جذب سطح به حجم ذره به صورت تابعی از قطر ذره (چارلسون، 1979)



شکل 11-13- نسبت پراکندگی یک ذره به جرم برای چهار ماده مختلف. ذره کربن جاذب خوبی هم می باشد (منبع EPA 1979)

## دید<sup>۱</sup>

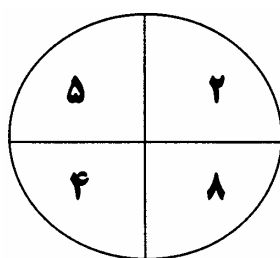
اداره هواشناسی آمریکا دید را، حداکثر فاصله‌ای که بیننده در جهت معین بتواند بدون چشم مسلح:

- 1- در روز یک هدف تیره رنگ را در زمینه آسمان ببیند و تشخیص دهد.
- 2- در شب یک مربع نورانی باشدت نور متوسط را به طور غیرمتمرکز ببیند و تشخیص دهد.

تعریف کرده است.

### دید غالب<sup>۱</sup>

حداکثر دیدی که دست کم نیمی از قطعات افق اطراف بیننده به آن اندازه یا بیشتر باشد. در شکل 12-13 دید غالب پنج کیلومتر است.



شکل 12-13- نمایش فاصله دید در اطراف بیننده

### اثر عوامل جوی بر میدان دید

به غیر از آلودگی هوا عوامل جوی متعددی که موجب تغییر میزان دید می‌شوند. ارتفاع، وارونگی و سرعت باد، مقدار و نوع ذرات معلق موجود در هوا و حجم هوایی که این ذرات با آن مخلوط و در نتیجه رقیق می‌شوند در دید مؤثرند. یکی از عوامل مشخص‌کننده حجم هوا ارتفاع وارونگی است. در شکل شماره 13-13 تغییرات - دید با ارتفاع وارونگی در دو ساعت مختلف مشخص شده است. این مطالعه که در شهر پاسادنا ایالت کالیفرنیا انجام شده است نشان می‌دهد که ساعت 7 صبح فاصله دید با افزایش ارتفاع - وارونگی رابطه مستقیم و خطی دارد که قاعدتاً باید همین‌طور هم باشد ولی در ساعت یک بعد از ظهر با افزایش ارتفاع وارونگی ابتدا فاصله دید زیاد شده و سپس برعکس با کاهش ارتفاع وارونگی فاصله دید بیشتر می‌شود.

پژوهشگران در این مورد توضیحی نداده‌اند، ولی آن‌طور که از روش مطالعه استنباط می‌شود، ارتفاع وارونگی در منطقه ساحلی اندازه‌گیری شده است، ولی دید در حدود 35 کیلومتر دور از ساحل در منطقه پاسادنا تعیین گردیده است.

## فصل هشتم

### آلودگی هوا در داخل ساختمان‌ها

در نواحی‌ای که بیشترین آلودگی شهری جهان وجود دارد 90 درصد مردم اوقات خود را در داخل ساختمان‌ها می‌گذرانند. درصد کمی در داخل خودروها و فقط 6 درصد مردم در بیرون ساختمان و در هوای آزاد هستند. به‌همین علت این فصل به آلودگی هوای داخل ساختمان‌ها اختصاص داده شده است. این موضوع با وجود پیچیدگی و اهمیت بسیار زیاد، نسبت به هوای آزاد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تصور عمومی این است که محیط داخل منازل از نظر آلودگی‌های هوا ایمن‌تر از هوای آزاد است و آنها که نگران مواجهه با اکسیدهای ازت ناشی از وسایل حمل و نقل هستند نمی‌دانند پخت و پز با گاز طبیعی که در داخل منزل صورت می‌گیرد بیشتر از هوای آزاد آنها را در معرض اکسیدهای ازت قرار می‌دهد. به‌طور کلی غلظت بعضی از آلودگی‌های هوا در داخل ساختمان کمتر از بیرون است، زیرا مقدار زیادی از آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات معلق در داخل ساختمان جذب سطوح و وسایل منزل و ادارات می‌شوند. از طرف دیگر منابع دیگری در داخل ساختمان وجود دارد که کسری آلودگی نسبت به بیرون را جبران می‌کند و آلودگی را تا سطح غیرقابل قبول افزایش می‌دهد. علاوه بر این، گونه‌های آلودگی داخل هم تنها همان‌هایی که از بیرون به داخل نفوذ می‌کنند نیستند، بلکه تعداد زیادی از آلودگی‌های جدید که منبع آنها در داخل ساختمان است محیط داخل را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این منابع خود ساکنان، حیوانات، سیگار، پخت و پز و گرمایش، ساختمان و تزئینات آن، افشانه‌ها (حشره‌کش‌ها، لوازم آرایش، رنگها)، میکروارگانیسم‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و ویروس‌ها هستند. غلظت آلودگی هوای داخل ساختمان در هر زمان از مجموع آلودگی‌های نفوذی از خارج و منابع داخل تشکیل شده است. مشکل کیفیت هوای فضاهای بسته زمانی مطرح و جدی شد که ساکنان بعضی فضاها از ناراحتی‌هایی مثل ریزش مو، خارش پوست و چشم، حساسیت، خستگی، سردرد و سرگیجه شکایت داشتند.

اندازه‌گیری صحیح مواجهه انسان با آلودگی‌های داخل ساختمان خود یک علم است.

آلودگی‌ها در فضاهای داخل و در زمان‌های متفاوت به‌طور یکنواخت توزیع نمی‌شوند. بسیاری از تجهیزات که برای پایش آلاینده‌های محیط آزاد استفاده می‌شود برای اندازه‌گیری در داخل ساختمان مناسب نیستند. بسیاری از تجهیزات دقیق قابل حمل و جابه‌جایی نیستند. بنابراین به‌وسایل قابل حمل و در عین حال دقیق برای بررسی آلودگی‌های داخل ساختمان نیاز است.

### تهویه ساختمان

تهویه ساختمان مبادله هوای داخل و خارج را کنترل می‌کند. تبادل هوا نه تنها آلودگی‌های خارج را وارد می‌کند بلکه آلودگی‌های داخل ساختمان را هم در خارج رها می‌سازد. تهویه ساختمان تعادلی بین هزینه انرژی، حفظ آسایش و کیفیت هوا است. اگر ساختمان چندان نفوذپذیر نباشد، تلفات انرژی کم می‌شود، ولی در برابر کیفیت هوای داخل ساختمان، به‌سرعت غیرقابل قبول می‌گردد. در بسیاری از ساختمان‌ها راه‌های زیادی برای نفوذ هوا علاوه بر در و پنجره وجود دارد (کانال کولرها و تهویه). نفوذ هوا یا آدوکتیو<sup>۱</sup> و یا کنوکتیو<sup>۲</sup> است. جریان آدوکتیو به‌علت اختلاف فشار بین داخل و خارج ساختمان است بنابراین با سرعت باد رابطه مستقیم دارد. جریان کنوکتیو به‌علت اختلاف دانسیته بین هوای داخل و خارج ساختمان اتفاق می‌افتد.

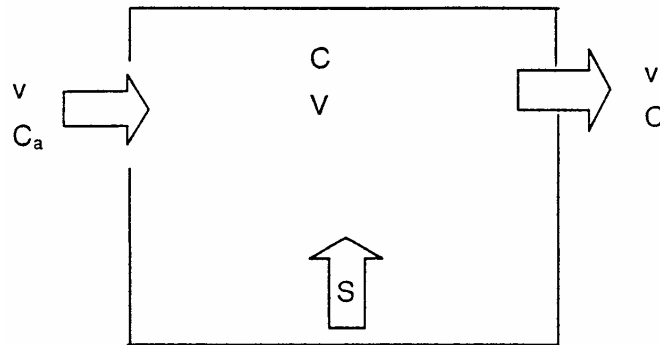
اساسی‌ترین مدل مبادله هوا در ساختمان‌ها را می‌توان به‌صورت یک محفظه بسته با دو تهویه در نظر گرفت این محفظه در شکل 14-1 نشان داده شده است. یکی از این تهویه‌ها معرف کل سطوحی است که در هر زمان هوا یا از طریق تهویه و یا از فضاهای در و پنجره به‌داخل نفوذ می‌کند. دیگری مربوط به فضاهایی است که هوای داخل از آنها خارج می‌شود. هوای ورودی ویژگی هوای بیرون را از نظر دما، رطوبت، غلظت آلودگی و غیره دارد. هوای خروجی دارای ویژگی‌های مربوط به هوای داخل است. جرم و سرعت جریان ورودی و خروجی باید برابر باشد، در غیراین‌صورت هوای داخل اتاق‌ها تحت فشار هوای خارج قرار می‌گیرد. در فاصله زمانی کوتاهی،  $dt$  جرم آلودگی در اتاق به مقدار  $dm$  افزایش می‌یابد.  $dm$  برابر است با جریان جرمی هوای ورودی به‌اضافه تولید آلودگی‌های داخلی منهای تهویه خروجی. بنابراین:

$$dm = Vdc = vC_a dt + Sdt - vCdt \quad 14-1$$

که در آن  $V$  حجم اتاق،  $dc$  تغییرات غلظت  $C$  در مدت  $dt$  و  $v$  مقدار تهویه،  $C_a$  غلظت آلودگی هوای خارج و  $S$  گذر حجمی منبع آلودگی هوا داخل است.

1- حرکت افقی توده هوا به‌علت اختلاف دما با فشار Advective  
2- انتقال Convective





شکل 14-1- اساس تهویه ساختمان

فرض بر این است که ترکیب ماده مورد نظر ثابت است، به عبارت دیگر تجزیه نمی شود و وارد واکنش هم نمی گردد و همچنین روی سطوح رسوب نمی کند و نیز هوای داخل اتاق خوب مخلوط شده و در نتیجه غلظت در همه جا C است.  
از این رو:

$$\frac{dC}{C_a + \frac{S}{v} - C} = \frac{v}{V} dt \quad 14-2$$

که با انتگرال گیری از معادله 11-2 رابطه 11-3 بدست می آید:

$$C_t = C_a + \frac{S}{v} - (C_a + \frac{S}{v} - C_0) e^{-vt/V} \quad 14-3$$

که در آن  $C_t$  غلظت در زمان  $t$  و  $C_0$  غلظت اولیه در زمان  $t=0$  است. با بررسی معادله 14-13 چنانچه  $C_a=S=0$  (اگر از غلظت محیط خارج صرف نظر شود و در داخل اتاق هم منبعی وجود نداشته باشد) برای آلودگی موجود در داخل خواهیم داشت:

$$C_t = C_0 e^{-vt/V} \quad 14-4$$

معادله 14-4 نشان می دهد غلظت آلودگی در داخل به صورت توانی نابود می شود. اگر قبول کنیم که هوا خوب مخلوط می شود، این معادله برای اندازه گیری میزان تهویه اتاق بکار می رود. برای مثال با رها کردن مقداری از یک ماده ردیاب خنثی مانند  $CO_2$  یا  $N_2O$  در داخل اتاق، غلظت آن تا زمانی که رهاسازی ادامه دارد افزایش می یابد و زوال آن پس از توقف رهاسازی شروع می شود و غلظت پس از یک ساعت یا بیشتر تابع رابطه 14-5 خواهد بود، چون:

$$\text{Ln}C_t = \text{Ln}C_o - (v/V)t \quad 14-5$$

منحنی  $\text{Ln}C_t$  در برابر زمان یک گرادیان  $-v/V$  خواهد داشت که از آن می‌توان  $v$  را اندازه‌گیری کرد. در واقع اغلب نتیجه به صورت  $v/V$  که واحد  $s^{-1}$  دارد نشان داده می‌شود. این معرف مقدار تعویض هوا در اتاق می‌باشد و معمولاً به صورت تعداد تعویض هوا در ساعت (ACH)<sup>1</sup> بیان می‌شود.

اگر  $S \neq 0$  باشد، در معادله تهویه، غلظت تعادل  $C_{\text{equ}}$  به دست خواهد آمد که در آن آلودگی هوای خارج شده با تهویه همان قدر است که وارد می‌شود و در داخل تولید می‌گردد، بنابراین:

$$C_{\text{equ}} = C_a + S/v \quad 14-6$$

توجه داشته باشید که این تعادل مستقل از حجم اتاق است. برای ویژگی‌های دیگری که بعضی آلاینده‌ها دارند باید شاخص‌های لازم در مدل اصلی در نظر گرفته شود. اگر گازی مثل اوزن موردنظر باشد که باید به جذب آن بر سطوح، فرش، رنگ در و دیوار و سایر مواد توجه شود، باید جمله‌ای برای سرعت حذف یا جذب بر سطوح و مواد مورد توجه قرار گیرد. اگر ذرات درشت وارد و یا تولید شوند و سرعت رسوب آنها مقداری باشد که سریع رسوب کنند، باید سرعت حذف آنها منظور گردد. برای مثال اگر یک ذره به قطر  $d$  سرعت رسوب  $v_{dt}$  و غلظت  $C_{dt}$  را در زمان  $t$  داشته باشد، در زمان ثابت کاهش غلظتی معادل  $(v + Av_{dt})/v$  خواهد داشت که در آن  $A$  سطحی است که بر روی آن رسوب صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان سرعت از بین رفتن ذرات یا گاز را برای اندازه‌گیری میزان تهویه  $v$  تعیین کرد.

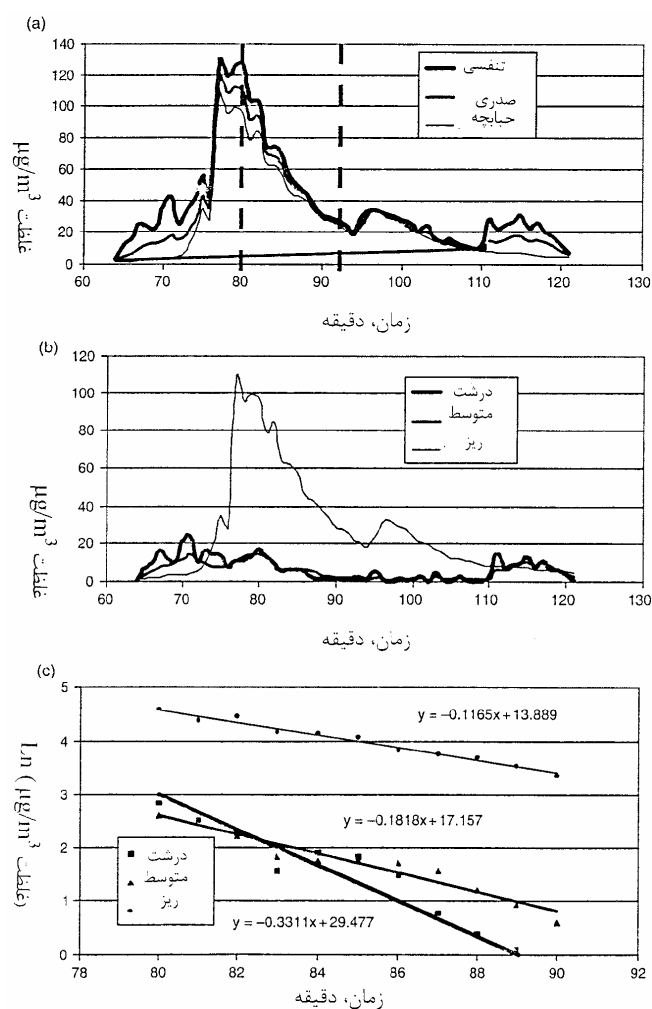
شکل 2-14 نتایج آزمون غیررسمی این روابط را نشان می‌دهد. غلظت ذرات در آشپزخانه به علت سوزاندن مواد غذایی مانند برشته کردن نان به طور مصنوعی افزایش می‌یابد (به طور عمد برای یک بار) سپس آهنگ تهویه به طور ثابت در حد بالا تنظیم گردیده و آنگاه غلظت ذرات به وسیله یک شمارشگر نوری ذرات اندازه‌گیری شده است. این دستگاه توزیع اندازه ذرات را به صورت میانگین‌های یک دقیقه‌ای تعیین می‌کند.

در شکل (2-14-a) غلظت ذرات تنفسی (تمام ذرات کمتر از 50 میکرون) قسمت صدی (قفسه سینه) (تقریباً  $PM_{10}$ ) و ذرات حبابچه‌ها ( $PM_4$ ) در زمان‌های 65 تا 120 دقیقه دیده می‌شود. غلظت با شیب تند در دقیقه 78 به بیشترین حد رسید و از آن پس زوال ذرات با شیب تند شروع شد. یک قله کوچک قبل از حداکثر و یکی هم بعد از 110 دقیقه دیده می‌شود که

---

1- Air Exchange per Hour

به علت حرکات داخل آشپزخانه است و ربطی به سوزاندن نان ندارد. این فرایند مکانیکی در تولید ذرات قفسه سینه و تنفسی مؤثر بوده و ذرات حبابچه‌ای را خیلی کم تولید کرده است. ذرات تنفسی، کل ذرات وارد به دستگاه تنفسی را دربر می‌گیرد. ولی ذرات سینه یا صدري<sup>۱</sup> شامل ریه فوقانی است و ذرات حبابچه آنهایی‌اند که تا عمق ریه نفوذ کرده و در حبابچه‌های هوای ریه رسوب می‌کنند.



شکل 2-14- زوال غلظت ذرات در آزمایش برشته کردن نان

باتوجه به محل رسوب ذرات در منحنی (b-14-2) ذرات به سه گروه جداگانه شامل ذرات درشت (تنفسی به غیر از صدری) متوسط (صدری به غیر از حبابچه‌ای) و ریز (ذرات حبابچه‌ای) تقسیم شده‌اند و برای هر کدام کاهش غلظت نسبت به زمان ملاحظه می‌شود. در شکل (C-14-2) دوره زوال نهایی ذرات در مقیاس لگاریتم طبیعی برای سه اندازه ذکر شده، رسم شده است.

گرادیان این منحنی‌ها طوری است که انتظار می‌رود اگر رسوب افزایش یابد حذف ذرات بزرگ‌تر بیش از آن مقداری خواهد بود که تهویه به‌تنهایی انجام می‌دهد. با سطح اتاق 16 مترمربع و حجم 40 مترمکعب سرعت رسوب برای ذرات متوسط و درشت به ترتیب 2/7 و 8/9 میلی‌متر در ثانیه است.

غلظت آلودگی‌های داخل ساختمان بیشتر به علت نفوذ آلودگی‌های بیرون و سپس رسوب کردن یا جذب آن بر سطوح داخلی است. برای سایر آلاینده‌ها منابع مشخص داخلی وجود دارد و غلظت آنها تابع مقدار هوایی است که از خارج برای تهویه وارد اتاق می‌شود. مؤثرترین تهویه با شرایط ساختمان تعیین می‌شود. تهویه شدید از افزایش غلظت VOCها به علت نقاشی تازه و یا فرش جلوگیری می‌کند، ولی در عوض سبب ورود ذرات معلق به داخل ساختمان می‌شود. تماس یک شخص به صورت جمع تماس‌ها در محیط‌های مختلف میکرو که هر کدام از آنها غلظت ویژه‌ای برای آلاینده یا آلاینده‌ها دارند، محاسبه می‌شود:

$$E_i = \sum_{j=1}^m E_{ij} = \sum_{j=1}^m f_{ij} \times C_{ij} \quad 14-7$$

در معادله 14-7،  $E_{ij}$  تماس یک فرد (i) است که قسمتی از وقت خود  $f_{ij}$  را در محیط میکروی j گذرانده است و در مدت توقف او غلظت آلودگی در آنجا  $C_{ij}$  بوده است. بعضی محیط‌های میکروی شدید به‌طور نامتناسب به‌مواجهه افراد با آلودگی‌ها کمک می‌کنند. برای مثال اگر یک نفر در اتاق سیگار بکشد، یا پخت و پز صورت گیرد و یا اگر ساختمان تازه رنگ آمیزی شده باشد و یا VOC منتشر شود، تعداد محیط‌های میکرو باید در کمترین حد نگه داشته شوند، مشروط بر این که به قدر کافی معرف تماس فرد باشد.

مطالعات نشان داده است که در مناطق صنعتی شهرهای بعضی از کشورها مانند انگلستان 87 درصد مردم در محیط‌های داخلی به سر می‌برند، 7 درصد در رفت و آمد هستند و فقط 6 درصد بیشترین وقت خود را در هوای آزاد می‌گذرانند. بنابراین معرفی کامل محیط‌های داخلی برای برآورد میزان مواجهه افراد حیاتی است. در آمریکا برای مطالعه روش ارزیابی مجموع تماس با ذرات، غلظت ذرات داخل ساختمان به صورت تابعی از شاخص‌های تهویه و مشارکت از هوای خارج، مصرف سیگار در محیط، پخت و پز و سایر منابع محاسبه شده است.

$$C_{in} = \frac{p \times a}{a+k} C_{out} + \frac{N_{cig} S_{smoke} + t_{cook} S_{cook}}{(a+k) V t_{sample}} + \frac{S_{other}}{(a+k) V} \quad 14-8$$

$C_{in}$  = غلظت آلودگی داخل (میکروگرم در مترمکعب)

$C_{out}$  = غلظت آلودگی هوای آزاد (میکروگرم در مترمکعب)

$P$  = جزء نفوذ (بدون مقیاس)

$a$  = تبادل هوا (تعداد در ساعت)

$k$  = رسوب یا از بین رفتن آلودگی (در ساعت)

$N_{cig}$  = تعداد سیگار دود شده در دوره زمانی

$V$  = حجم اتاق

$t_{sample}$  = مدت نمونه برداری (ساعت)

$t_{cook}$  = مدت پخت و پز (ساعت)

$S_{smoke}$  = شدت منبع برای سیگار کشیدن (میکروگرم به سیگار)

$S_{cook}$  = شدت منبع پخت و پز (میکروگرم در ساعت)

$S_{other}$  = شدت منبع برای سایر منابع داخلی به انضمام تنفس (میکروگرم در ساعت)

توجه داشته باشید که اگر بخواهیم سه جمله طرف راست معادله را باهم جمع کنیم واحد آنها برحسب میکروگرم در مترمکعب است. عوامل صورت کسر، مثل شدت منبع و نفوذ روی افزایش غلظت عمل می کنند. تعداد تعویض هوای تهویه موجب افزایش غلظت ذرات به علت نفوذ هوای بیرون می شود، ولی موجب کاهش غلظت آلودگی داخلی در صورت وجود منبع است. هر قدر مقدار رسوب ( $k$ ) و حجم اتاق ( $V$ ) بیشتر باشد غلظت آلودگی کمتر خواهد بود.

این رابطه نشان داده است که نسبت داخل به خارج برای ذرات  $PM_{10}$  حدود 0/5 است و برای  $PM_{2.5}$  تا 0/7 افزایش می یابد. مقدار عددی  $PM_{2.5}$  به علت کندی رسوب بیشتر است. برای مثال در داخل اتاق رسوب ذرات  $PM_{2.5}$  معادل 0/04 سانتیمتر در ساعت و برای  $PM_{10}$  معادل 0/65 سانتیمتر در ساعت است. غلظت  $NO_2$  در داخل ساختمان به پیلوت گاز بستگی دارد که اگر روشن باشد به طور متوسط 5 تا 10 قسمت در بیلیون به میانگین غلظت اتاق اضافه می شود.  $NO_2$  گاز چندان واکنش پذیری نیست. اگر منبع داخلی نباشد، غلظت آن در داخل حدود 0/6 غلظت آن در خارج از ساختمان است. برعکس غلظت اوزن در داخل اتاق ها به مقدار زیادی کاهش می یابد. زیرا به سرعت جذب سطوح می شود. سرعت زوال اوزن در داخل اتاق 2/8 ppb در ساعت و چنانچه در و پنجره ها بسته باشند بین 0/1 تا 0/2 غلظت آن در خارج از ساختمان است. از طرف دیگر غلظت VOC بستگی به آن دارد که کدام VOC ها را شامل شود. در داخل ساختمان های جدید که تازه رنگ شده اند و چسب موکت به کار رفته است منبع VOC شدید

است. در این صورت غلظت VOC ممکن است صدها برابر محیط خارج باشد. بسیاری از منابع دیگر در افزایش غلظت VOC ها مشارکت دارند، مصرف سیگار، لباسهای تازه خشکشویی شده، خوشبوکننده های هوا، تمیز کننده ها، کلر آب، رنگ، چسب و بوزداها از آن جمله اند.

برای کمترین تعداد تعویض در ساعت مقررات ساختمان وضع شده است که معمولاً حدود 0/35 تا 0/7 بار در ساعت است که این براساس حجم هوا به نفر در حدود 12 لیتر در ثانیه، اگر کشیدن سیگار اجازه داده شده باشد، است و در غیراین صورت تا 2/5 لیتر در ثانیه کاهش می یابد. این مقدار در عمل معادل 0/1 تعویض در ساعت برای ساختمان های اداری خوب عایق بندی شده و تا 3 تعویض در ساعت برای ساختمان های قدیمی تر که در و پنجره ها درز دارند و یا دارای شومینه باز هستند، است. برای ساختمان هایی که انسان و یا سایر حیوانات در آنها زندگی می کنند غلظت دی اکسید کربن معیار خوبی برای تهویه است. معمولاً غلظت CO<sub>2</sub> خارج بین 300 تا 600 پی پی ام است. شخصی که کار سبک انجام می دهد 0/5 تا 1 لیتر هوا در ثانیه تنفس می کند که با بازدم 25 لیتر دی اکسید کربن در ساعت تطابق دارد. در چنین محیطی نیاز تهویه 10 تا 30 لیتر در ثانیه به نفر است تا آنکه غلظت CO<sub>2</sub> را به 500 تا 1000 پی پی ام کاهش دهد. البته تهویه می تواند واردکننده آلودگی خارج به داخل یا خارج کننده آلودگی از داخل به خارج باشد و این به موازنه بین غلظت آلودگی های داخل و خارج بستگی دارد. در ضمن به منظور جلوگیری از هدر رفتن انرژی محدودیت هایی در سرعت تهویه وجود دارد.

در تمام ساختمان هایی که بادقت نفوذناپذیر شده اند هم تبادل هوا با خارج صورت می گیرد. قرار گرفتن نسبت به جهت باد و نیز سرعت باد نیز در نفوذ هوای خارج تأثیر دارد. به منظور صرفه جویی، انرژی عمده هوای داخل ساختمان در جریان گردش مجدد قرار می گیرد و فقط جزیی از هوای آزاد به آن اضافه می شود. در ساختمان های بزرگ این پدیده موجب انتقال آلودگی ها از یک قسمت ساختمان یا یک واحد مسکونی به واحدهای دیگر می شود.

در جدول 1-14 غلظت آلودگی های داخل ساختمان در مناطق غیرصنعتی داده شده است.

جدول 14-1- غلظت‌های گزارش شده و غلظت نگران‌کننده بر حسب میلی‌گرم در مترمکعب

| نوع آلودگی                  | غلظت گزارش شده | غلظت حد یا بدون نگرانی | غلظت نگران کننده | ملاحظات                       |
|-----------------------------|----------------|------------------------|------------------|-------------------------------|
| دود سیگار برای غیرسیگاری‌ها | 0/1-1          | 0                      | الف              | استاندارد ژاپن 0.15           |
| NO <sub>2</sub>             | 0/05-1         | <0/19                  | 0/32             | WHO                           |
| CO                          | 1-100          | <11                    | >30              | مداوم                         |
| SO <sub>2</sub>             | 0/02-1         | <0/5                   | >1/35            | فقط SO <sub>2</sub> کوتاه‌مدت |
| CO <sub>2</sub>             | 600-9000       | <4500                  | >12000           | استاندارد ژاپن 1800           |
| اوزن                        | 0/04-0/4       | <0/12                  | >0/15            | WHO                           |
| فرمالدئید                   | 0/06-1/3       | <0/06                  | >0/12            | برای کوتاه و درازمدت          |
| مواد آلی                    | الف            | الف                    | الف              |                               |

الف: به علت پیچیدگی خواص این مواد غلظت معنی‌داری نمی‌توان داد

مأخذ: سازمان جهانی بهداشت 1982

## سیگار

تعداد زیادی از آلاینده‌های گازی و ذرات طی سوختن توتون تولید می‌شوند. البته تماس سیگاری‌ها خیلی بیشتر از غیرسیگاری‌ها در محیط است، ولی سیگاری‌ها داوطلبانه خود را آلوده می‌کنند و غیرسیگاری‌ها ناخواسته در برابر آلودگی دود سیگار قرار می‌گیرند. از 4500 ترکیبی که در دود سیگار یافت می‌شود، 50 ترکیب از سرطان‌زاها شناخته شده یا مشکوک است (کالر، 2002) انتشار دود سیگار به‌طور معمول به‌سه گروه تقسیم می‌شود: جریان اصلی، جریان جانبی و محیطی.

**جریان اصلی** مربوط به‌دود مستقیم سیگار است که از انتهای سیگار وارد مجاری تنفسی می‌شود. دمای احتراق سیگار حدود 1000 درجه سلسیوس است، بنابراین NO<sub>x</sub> حرارتی همراه با HCN (سیانید هیدروژن) و N نیتروزامین که سرطان‌زاست وارد ریه‌ها می‌شود. بیشتر مواد با ترکیبی از پیرولیز و تقطیر در جو کم اکسیژن تولید می‌شوند. ذرات با قطر مد 0/5 میکرون با غلظت 10<sup>10</sup> ذره در هر سانتیمتر مکعب گاز منتشر شده وجود دارند. این ذرات هرچند تا اعماق ریه نفوذ می‌کنند، ولی فقط توسط فرد سیگاری استنشاق می‌شوند.

**جریان کناری**، دود برخاسته از سیگار در زمانی که سیگار روشن است ولی استفاده نمی‌شود، است. در این حالت دمای احتراق به 400 درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. در این حرارت مواد سمی بیشتری نسبت به‌زمان سیگار کشیدن تولید می‌شود. غلظت آلودگی‌ها مثل فرمالدئید قبل از آنکه دود با هوای محیط مخلوط و رقیق شود، تولید می‌شود.

بعضی مواد سرطان‌زا مانند N-نیتروزودی متیل آمین با شدت بیشتری نسبت به‌حالت

سیگار کشیدن تولید می‌شود، بنابراین غیرسیگاری‌های مجاور در مواجهه غلظت بیشتری از این مواد در مقایسه با شخص سیگاری قرار دارند. در حدود نیمی از توتون هر سیگار در زمان سیگار کشیدن و نیمی دیگر در مرحله تولید دود بدون کشیدن سیگار سوخته می‌شود، ولی یک زدن به سیگار فقط 4 درصد از عمر یک سیگار را می‌گیرد. به عبارت دیگر نصف توتون سیگار در 4 درصد مدت روشن بودن سیگار می‌سوزد.

**دود محیطی سیگار** مخلوطی از دودهای یادشده است که در اتاق وجود دارد. امکان این که بتوان تمام مواد سمی دود سیگار را مشخص و نسبت آنها را تعیین کرد وجود ندارد، ولی با پژوهش‌های زیاد، بعضی از اجزای دود را شامل منوکسید کربن، نیکوتین، اکسیدهای ازت، هیدروکربن‌ها، اکرولئین، استن، بنزاپیرن (Bap) و ذرات می‌باشند، مشخص کرده‌اند. غلظت ذرات  $PM_{10}$  در دود محیطی تا 1000 میکروگرم در مترمکعب می‌رسد. این عدد باید با 5-1 میکروگرم در مترمکعب در هوای تمیز، تا حدود 100 میکروگرم در مترمکعب هوای شهرهای آلوده‌ای مانند تهران و یا آنچه در جریان فاجعه سال 1952 لندن که بین 1000 تا 3000 میکروگرم در مترمکعب گزارش شده بود، مقایسه شود تا اهمیت آن معلوم گردد. در ساختمان‌های عمومی و کانون‌ها غلظت نیکوتین هوای محیط تا چند صد میکروگرم در مترمکعب می‌رسد. هر یک سیگار در روز، 1 میکروگرم ذرات  $PM_{10}$  به محیط می‌افزاید. در خانه‌هایی که فرد سیگاری وجود دارد، غلظت ذرات معلق سه برابر خانه‌هایی است که کسی سیگار نمی‌کشد. غیرسیگاری‌هایی را که دود سیگار را تنفس می‌کنند، سیگارکش غیرفعال<sup>1</sup> می‌گویند. اثر دود سیگار، بر این افراد از ریزش اشک، سرفه کردن، حساسیت و خلط سینه تا سرطان و مرگ متفاوت است. در کودکان اختلال در اعمال ریه، آسم و افزایش دفعات بستری شدن به علت سینه پهلوی دیده شده است. در مطالعات انجام شده چنین برداشت شده که حدود 17 درصد سرطان‌های ریه در غیرسیگاری‌ها به علت دود سیگار است. در انگلستان هر ساله یکصد هزار نفر به علت بیماری‌های مرتبط با سیگار فوت می‌کنند. مهم‌ترین عوارض مصرف سیگار عبارتند از:

- تورم برونشها؛
- تخریب آنتی اکسیدان داخل سلولی؛
- تحریک افزایش ترشحات ریوی؛
- افزایش نفوذپذیری حبابچه‌های هوا به مولکول‌های بزرگ؛
- کاهش اعمال تاژک‌های نای؛



● کاهش پاسخ‌های ایمنی بدن (کار ماکروفاژهای حبابچه‌ها در کشتن باکتری‌ها مختل می‌شود)؛

● تورم غدد ترشحی در ریه‌ها.

در جوامعی که در چند دهه مصرف سیگار در آنها زیاد بوده است، 90 تا 95 درصد از سرطان‌های ریه، 80 تا 85 درصد برونشیت مزمن و 20 تا 25 درصد مرگ و میرهای ناشی از حمله قلبی به‌سیگار نسبت داده شده است. سایر مخاطراتی که به‌سیگار نسبت داده شده عبارتند از:

● عفونت‌های ریوی؛

● زخم اثنی عشری؛

● سقط جنین در زمان حاملگی؛

● کاهش وزن جنین؛

● زایمان‌های قبل از موعد؛

● آب مروارید.

تعداد تلفات مصرف سیگار در کشورهای در حال توسعه در سال 1950 حدود 2000 نفر و در سال 1994 حدود 2000000 بود. برآورد شده که هر سیگاری، 22 سال از عمر خود را از دست می‌دهد. در حال حاضر (1994) روی هم رفته سه میلیون نفر در جهان قربانی سیگار می‌شوند که اگر روند مصرف آن کاهش نیابد تا سال 2020 یا 2030 این رقم به هفت میلیون افزایش خواهد یافت (WHO, 1994).

## مواد آلی در داخل ساختمان

صدها ماده آلی فرار از طریق فرایندهای مختلف و یا مواد و مصالح ساختمانی وارد محیط زندگی می‌شوند. اینها ترکیباتی‌اند که به‌طور عمده در دما و فشار عادی در فاز بخار وجود دارند. همچنین مواد آلی نیمه فرار که به‌صورت مایع و جامد موجودند نیز تبخیر می‌شوند. بسیاری دیگر از مواد مصنوعی ساختمان که تولید و کاربرد آنها رو به افزایش است گاز افشانی می‌کنند. انواع پلیمرها به‌ویژه PVC که از همه رایج‌تر است دامنۀ وسیعی از انواع گازها از جمله دی‌بوتیل فتالات<sup>1</sup>، ونیل کلراید، مزاتیلن<sup>2</sup>، تولوئن، سیکلوهگزان و بوتیل الکل آزاد می‌کنند. ممکن است یک منبع غالب یا چند منبع جداگانه مثل چسب موکت، رنگ ساختمان، نئوپان و پلاستیک در انتشار گازهای آلی فرار نقش داشته باشند. کف‌پوش‌ها نیز مواد تثبیت‌کننده،

---

1- Dibutylphthalate

2- Mesethylene

حلال‌ها و غیره را دارند. مواد طبیعی چوب و چوب پنبه هم ممکن است دارای مواد فرار باشند. رها شدن گازها از مواد ساختمانی به‌ویژه در کف‌پوش‌ها، چنین است که ابتدا در سطوح نفوذ می‌کنند و سپس از سطوح تبخیر می‌شود و وارد هوا می‌شوند. برعکس بعضی مواد ساختمانی جذب‌کننده گازها هستند. مثل اسفنج پشت موکت که دود سیگار را جذب و به‌تدریج وارد محیط اتاق می‌کند که گاهی هم با بوی ناخوشایند همراه است. مبلمان چوبی رنگ خورده که در رنگ آنها مواد حلال، سخت‌کننده، ضد اکسیداسیون، یا سایر افزودنی‌ها به‌کار رفته است، نیز از منشأ آلودگی داخل ساختمان است.

انتشار تعداد زیادی از مواد و وسایلی که در خانه‌ها و ادارات به‌کار رفته‌اند اندازه‌گیری شده است. در روزنامه، کتاب، لوازم الکترونیک، خوشبوکننده‌های هوا، چسب‌ها، مایعات پاک‌کننده، پولیش مبلمان، واکس و افشانه‌های بهداشتی، VOCهایی یافت شده‌اند که بیشترین آنها تولوئن، بنزن، گزلیل، دکان<sup>1</sup> و اندکان<sup>2</sup> هستند. بازدم انسان دارای 2000 میکروگرم در مترمکعب استن و اتانول و چند میکروگرم در مترمکعب ایزوپرن<sup>3</sup>، متانول و 2- پروپانول است. اینها محصولاتی هستند که در متابولیسم داخل بدن تولید می‌شوند. سیگار غلظت بسیاری از این مواد را در بازدم افزایش می‌دهد. حتی کسی هم که سیگار نمی‌کشد مقداری مواد آلی مثل بنزن را به‌محیط اضافه می‌کند. بعضی مواد آلی مانند 3- اتیل فوران و دی‌متیل دی‌سولفید به‌شدت با فعالیت میکروب‌ها ارتباط دارند. در مطالعه انجام شده در 100 منزل میانگین غلظت 50 تا 300 گونه ترکیب آلی فرار که به‌طور عادی در منازل یافت می‌شود حدود 553 میکروگرم در مترمکعب بوده است و در 2 خانه (2 درصد) غلظت این مواد بیشتر از 1777 میکروگرم در مترمکعب اندازه‌گیری شده است (کالز، 2002). در یک مطالعه دیگر معلوم شده است که حتی در خانه‌های نوساز ممکن است غلظت ترکیبات آلی تا چند هزار میکروگرم در مترمکعب برسد، ولی بعد از 3 ماه به 1000 میکروگرم در مترمکعب کاهش یافته است (کالز، 2002).

در مدت مطالعه میانگین غلظت این گروه در هوای آزاد 32 میکروگرم در مترمکعب بوده است. اتحادیه اروپا (EU) صورت 50 نوع مواد آلی فرار را که به‌هوای داخل ساختمان مرتبط‌اند، منتشر کرده است. به‌طور کلی غلظت آلاینده‌ها در ساختمان‌های نو خیلی زیاد است، ولی به‌سرعت (در چند روز یا هفته) کاهش می‌یابد. دما و رطوبت، اکسیداسیون را تسریع می‌کند.

---

1- Decane  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$

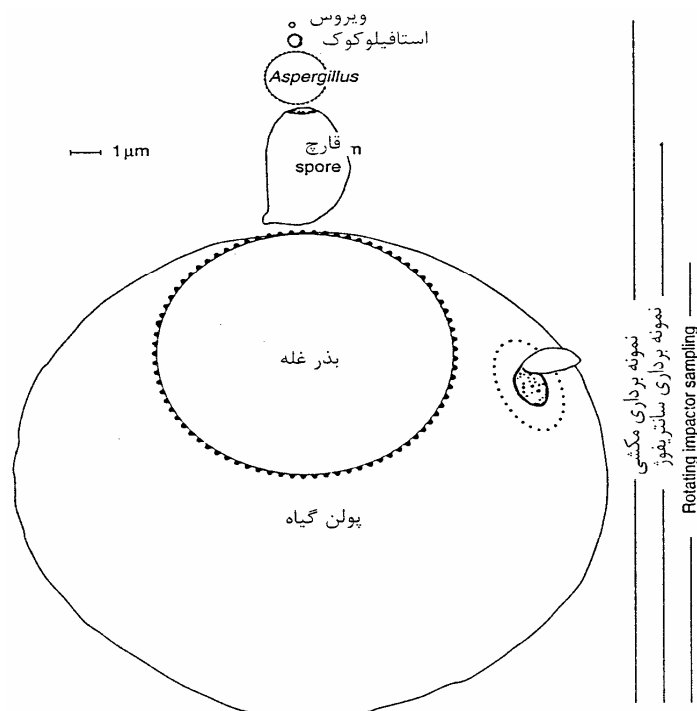
2- Undecane نوعی مایع آتشگیر و بی‌رنگ بصورت میانجی شیمیایی

3- Isopren

در مورد چهار ماده آلی فرار شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن که به اختصار BTEX نامیده می‌شوند و اهمیت زیادی از نظر سلامت انسان دارند در چند ساختمان مسکونی با موقعیت و شرایط مختلف و تعدادی از محل‌های تجاری و ساختمان‌های دفتری شهر تهران برای تعیین مقدار این مواد نمونه‌برداری انجام و آزمایش‌های شیمیایی صورت گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان داده است که تقریباً در تمام محیط‌های بسته مورد مطالعه ترکیبات آلی فرار BTEX وجود داشته است. غلظت بنزن تقریباً در تمام موارد و تولوئن در چند مورد بیش از حد مجاز بوده است. (TLV بنزن برای محیط‌های کاری توسط 2003 ACGIH 0/01 تا 1 پی‌پی‌ام و در هوای تنفسی محیط آزاد توسط "EPA 1993" 0/003 پی‌پی‌ام و برای تولوئن طبق همان منابع که برای بنزن ذکر شده به ترتیب 20 و 0/1 پی‌پی‌ام ذکر شده است) رنگ‌های ساختمانی، وسایل چوبی نو، مواد شوینده و ضد عفونی کننده، فرش‌های دستباف و ماشینی، رنگ‌های مصرف شده در ساختمان از عوامل آلوده ساز درون ساختمان‌ها هستند. از عوامل بیرونی که موجب تراکم این آلاینده‌ها به‌ویژه بنزن می‌شود خودرو را می‌توان ذکر کرد (هما کشاورزی و همکاران).

### بیوآئروسل‌ها (زی‌هواویزها)

بسیاری از مواد بیولوژیکی هرچند به‌عنوان آلودگی ذکر نمی‌شوند ولی ممکن است چندین برابر هوای آزاد تجمع یابند و موجب تحریک یا مسموم شدن ساکنان شوند. این گروه شامل مواد هوازی مثل ذرات، مولکول‌های بزرگ یا ترکیبات فراری‌اند که هم به‌صورت زنده وجود دارند و هم توسط موجودات زنده انتشار می‌یابند. بعضی بیوآئروسل‌ها مثل باکتری‌ها و ویروس‌ها می‌توانند تکثیر پیدا کنند و بعضی دیگر مثل گرده‌های گیاهی و مدفوع "مایت"<sup>۱</sup> ممکن است فقط یک تحریک کننده باشند. در نهایت یک باکتری یا ویروس می‌تواند کشنده باشد. قطر ذرات زنده از 100 نانومتر تا 100 میکرومتر متغیر است (شکل 3-14).  
مثل سایر آلاینده‌ها اندازه‌گیری مستقیم و میزان تماس بیوآئروسل‌ها با انسان بسیار مشکل است. جمع‌آوری و اندازه‌گیری غلظت هوا، جمع‌آوری از فرش و وسایل خواب می‌تواند نشانه‌ای از وجود یا عدم وجود بیوآئروسل‌ها باشد.



برد اندازه های زی هواویزها

Source: Yocom, J. E. and McCarthy, S. M. (1991) *Measuring Indoor Air Quality*, Wiley, Chichester.

شکل 3-14- مقایسه اندازه زی هواویزها

### مهم ترین گروه های زی هواویزها

باکتری ها، موجودات پروکاریوتیک<sup>۱</sup> (بدون هسته سلولی مشخص) هستند که غشای سلولی، DNA و بعضی ترکیبات سلولی دارند. برخی از باکتری ها مثل لژیونلا<sup>۲</sup>، استرپتوکوکوس<sup>۳</sup> و منینگوکوکوس<sup>۴</sup> بیماری های خاصی را ایجاد می کنند، ولی بعضی دیگر مثل ترمواکتینومایسس<sup>۵</sup> و انتروباکترها<sup>۶</sup> بیماری را نیستند. آب آشامیدنی که لژیونلا داشته باشد بیماری لژیونر ایجاد نمی کند، بلکه فقط از راه تنفس بیماری زاست. سایر مواد سمی مثل

- 
- 1- Prokaryotic
  - 2- Legionella Pnemophila
  - 3- Streptococcus
  - 4- Meningococcus
  - 5- Thermuaactinomyces
  - 6- Entrobacter

اندوتوکسین‌ها<sup>۱</sup> و اگزوتوکسین‌ها<sup>۲</sup> از این باکتری‌ها هستند. سرعت رشد آنها به شرایط محیط منزل مانند رطوبت و دما بستگی دارد. اندازه باکتری‌ها از 0/3 تا 30 میکرومتر متغیر است، درحالی‌که اسپر آنها 0/3 تا 10 میکرون است. رشد میکروب‌ها نیاز به رطوبت نسبی بیش از 25 درصد دارد و برای بعضی تا 70 درصد می‌رسد.

### اندوتوکسین

اندوتوکسین‌ها مواد لیپوپلی ساکارید<sup>۳</sup> هستند که در غشای خارجی باکتری‌های گرم منفی وجود دارند. آنها با جزء کوچکی از سیستم ایمنی فرد حساس شباهت دارند. ورود آنها به بدن موجب تب، بی‌حالی، تورم مجاری هوایی ریه‌ها، عفونت‌های ریوی حاد می‌شود. به‌صورت هوازی‌های محیطی معمولاً همراه با ذرات و یا هواویزهای مایع در اندازه مختلف وجود دارند.

### قارچ‌ها<sup>۴</sup>

قارچ‌ها دارای سلول‌های هسته‌دار هستند. بعضی‌ها مثل مخمرها، تک سلولی و بعضی دیگر مثل کپک‌ها چند سلولی‌اند. رشد قارچ‌ها نیازمند رطوبت نسبی 70 درصد است. بنابراین محیط حمام و آشپزخانه برای رشد و تکثیر آنها مناسب‌تر است. با آنکه قارچ‌ها به‌طور معمول روی مایعات و سطوح زندگی می‌کنند، ولی اسپر آنها به‌صورت هوازی درمی‌آید. به‌غیر از بیماری‌های عفونی که توسط بعضی از قارچ‌ها مثل اسپرژیلوس<sup>۵</sup> به‌وجود می‌آید، بیشتر آنها تولیدات متابولیکی ترکیباتی مانند پروتئین‌ها را دارند که پاسخ‌های آنتی‌بادی و علامت حساسیت‌های شدید را موجب می‌شوند. قارچ‌ها همچنین با رها کردن میکوتوکسین<sup>۶</sup> سبب از بین رفتن ارگانیسم‌های رقیب می‌شوند. پنسیلیوم یکی از مواردی است که با از بین بردن باکتری‌های عفونی به‌نفع انسان کار می‌کند، ولی به‌طور کلی وجود میکوتوکسین در هوا خوشایند نیست. عموماً مشکل برای کسانی است که با مواد کپک‌زده سر و کار دارند. بیشترین میکوتوکسین، آفلاتوکسین<sup>۷</sup> نام دارد که یک سرطان‌زای شناخته شده برای انسان است. البته راه عمده ورود

---

1- Endotoxins  
2- Exotoxins  
3- Lipopolysaccharide  
4- Fungi  
5- Aspergillus  
6- Mycotoxins  
7- Aflatoxin

به بدن انسان مواد غذایی کپک زده مثل پسته، گردو، گندم، نان و غیره است و به ندرت از راه تنفس وارد بدن می شود.

## ویروس ها

ویروس ها کوچک ترین موجودات زنده اند که روی سلول های زنده رشد و تکثیر می کنند. اندازه آنها بین 0/03 تا 0/3 میکرون است. ویروس ها بیشتر به ذرات دیگر می چسبند و در هوا به صورت معلق در می آیند و وارد مجاری تنفسی می شوند.

## مواد حساسیت زا

حساسیت عبارت از هر نوع واکنش از مشکلات روبه رشد مصونیت بدن در برابر هر ماده خاصی (حساسیت زا) است. حساسیت از مشکلات روبه رشد امروزی است. مواد هوازی نقش عمده ای در بروز حساسیت های انسان بازی می کنند. مواد حساسیت زا را مولکول های بزرگ که از موجودات زنده به وجود آمده اند تشکیل می دهند. این مواد پاسخی قابل کشف را در سیستم ایمنی انسان به وجود می آورند. نشانه های حساسیت در انسان آبریزش بینی است. تأثیر حساسیت زاها با غلظت هایی در حد نانو گرم در مترمکعب برای افراد حساس ممکن است تا سه برابر آلودگی های معمولی هوا مثل اوزن باشد. مواد حساسیت زا از منابع متعددی مثل قارچ ها، اسپر باکتری ها، مو و پوست جوندگان و گربه ها، ذرات هیله<sup>1</sup> در ساختمان و ترشحات سوسک ها وارد هوا می شوند. پاسخ مواد حساسیت زا در افراد مختلف بسیار متفاوت است. بعضی از مواد مثل موی گربه ها و هیله برای بسیاری از مردم حساسیت زا است. تعداد دیگری از مواد حساسیت زا فقط در تعداد کمی از مردم اثر دارند. شیره درخت کائوچو از این موارد است.

## هیله ها

هر فرد روزانه یک گرم از سلول های پوست بدن خود را دفع می کند، که مواد آلی مورد نیاز میکرو اکولوژیکی خانگی را تشکیل می دهند و این به غیر از موادی است که از حیوانات اهلی مواد غذایی و غیره وارد محیط می شود. پوسته ها روی پوشش مبلمان، فرش و رختخواب جمع می شود و کلنی قارچ های ساپروفیت و هیله ها را تشکیل می دهد. هیله از بندپایان و در اندازه 300 میکرون (200-450) و از گونه درماتوفագوئیدس<sup>2</sup> ها است (به معنای پوست خوار) دمای مناسب برای زندگی آنها 25 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 70 تا 80 درصد و دوره رشد آنها

---

1- Mite

2- Dermatophagoides

از تخم تا موجود بالغ 25 روز است. در طی 50 سال اخیر که از گرمایش مرکزی در خانه‌ها استفاده شده، محیط برای رشد و تکثیر آنها مناسب‌تر و تعداد آنها نیز بیشتر شده است. همچنین کاهش تهویه طبیعی (که رطوبت را افزایش می‌دهد) و استفاده از فرش کامل اتاق (دیوار تا دیوار) با پرز بلند یا موکت که جارو کردن را مشکل‌تر می‌کند در رشد و تکثیر آنها مؤثر است. در هر گرم گرد و غبار کف اتاق‌ها یا تشک‌ها بین 100 تا 1000 "مایت" مرده و زنده وجود دارد. محیط اصلی زندگی هیره‌ها رختخواب است، زیرا غذای لازم از پوسته بدن انسان فراهم است (WHO)<sup>1</sup>. مدفوع "مایت"ها با ذرات چسبناک به قطر 20 میکرون قسمت عمده‌ای از مواد حساسیت‌زای غبار خانگی را تشکیل می‌دهد. آنزیم‌های معده که در مدفوع مایت‌ها به وجود می‌آید یک حساسیت‌زای قوی برای انسان است که وارد هوا می‌شود و در نهایت استنشاق می‌گردد. در خانه‌ای که حمله‌های آسمی وجود داشته غلظت دو تا از پروتئین‌های با منشاء مایت‌ها در غبار منزل بین 2 تا 10 میکروگرم در هر گرم و یا 5 تا 50 نانوگرم در مترمکعب هوا بوده است. حساسیت‌زاهای دیگر از سگ و گربه و سوسک‌هاست. غلظت این مواد با ساختمان‌های بسته‌تر با تهویه کمتر افزایش می‌یابد. پاسخ‌های آلرژیک از آبریزش ملایم بینی که توجه زیادی به آن نمی‌شود تا حمله‌های کشنده آسمی متغیر است. با آنکه غلظت مواد، به‌ویژه به منابع آن بستگی دارد، ولی معمولاً در خانه‌هایی که از گربه نگهداری می‌شود، مواد حساسیت‌زای گربه بیشتر است. در ضمن ممکن است در اماکن و وسایل نقلیه عمومی هم آنقدر مواد آلرژن وجود داشته باشد که به واکنش‌هایی در انسان منجر شود.

مسئله حساسیت‌زایی گرد و غبار تشک و بالش از 1921 شناخته شده بود، ولی در سال 1964 "ورهرست"<sup>2</sup> و همکاران هیره‌ها را علت حساسیت معرفی کردند و متعاقب آن مطالعات زیادی در هلند، انگلستان، ژاپن، آمریکا و بسیاری کشورهای دیگر انجام گرفت، به‌طوری‌که امروزه مسلم شده است که هیره‌ها مسئول حساسیت‌ها و حمله‌های آسمی به‌ویژه در افراد مبتلا به بیماری آسم هستند.

نخستین پژوهش مکتوب در ایران توسط تفضلی در سال 1342 با عنوان "روش تهیه عصاره آلرژن از گرد و غبار" در رساله دکتری داروسازی در دانشگاه تهران تدوین شد. در سال 1353 عاقلی پایان‌نامه دکتری خود را در خصوص آلرژی گرد و غبار تهیه کرد، ولی با روشی که کار کرده بود نتوانست هیچ گونه هیره‌ای مشاهده کند. در سال 1374 کیمیایی مقاله‌ای با نام "شیوع حساسیت به هیره‌های گردوغبار منزل در بیماران آسمی ایران"

---

1- WHO/VBC-89-96/

2- Worhorst

در هشتمین کنگره بین‌المللی پزشکی جغرافیایی و سومین کنگره ایمنولوژی ایران (دانشگاه علوم پزشکی شیراز) ارائه داد. در این بررسی گذشته‌نگر در 7649 بیمار اسماطیک که از مناطق مختلف کشور به کلینیک‌های آلرژی مراجعه کرده بودند، آزمون پوستی و داخل جلدی انجام گرفت که به ترتیب 16 و 17 درصد بیماران نسبت به گونه‌های هیروه‌های پترونی‌سنیوس<sup>1</sup> و فارینا<sup>2</sup> واکنش مثبت نشان دادند. این درصدها در کرانه‌های استان‌های گیلان و مازندران 35 و 36 درصد بوده است. نسبت مثبت در استان اصفهان 19 درصد گزارش شده است.

در سال 1374 علی اصغر صحراگرد برای پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود در دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران بررسی هیروه‌های اماکن مسکونی پنج شهر استان گیلان در رابطه با آلرژی تنفسی را انتخاب و مطالعات خود را در شهرهای انزلی، رشت، صومعه سرا، فومن و ماسال انجام داد که خلاصه‌ای از نتایج این تحقیق در اینجا ذکر می‌شود. روش صحراگرد مشاهده مستقیم و برداشت هیروه‌ها بود. (برای اطلاع بیشتر از این روش و سایر روش‌ها به پایان‌نامه صحراگرد مراجعه شود).

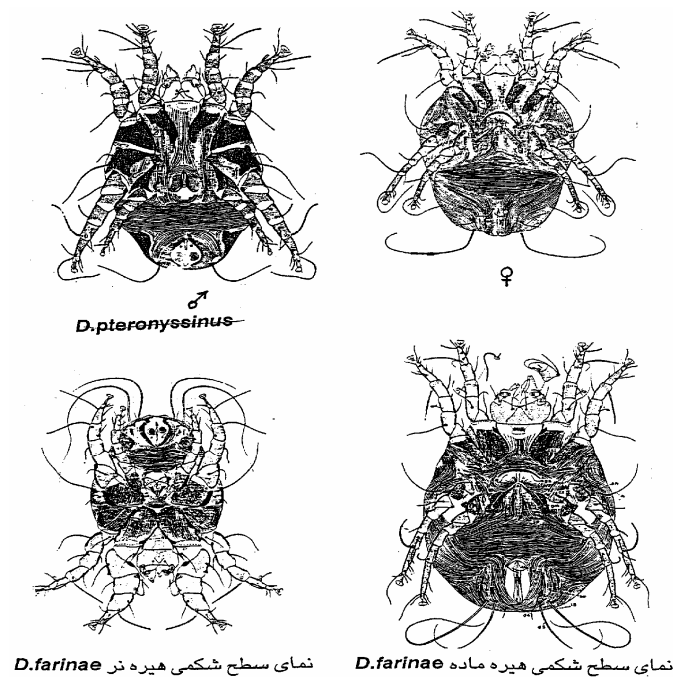
صحراگرد نشان داده در 98 درصد مکان‌های مسکونی این شهرها هیروه وجود داشته است و در 60 درصد موارد تراکم هیروه بیش از اندکس آلرژینیسیته (100 هیروه در هر گرم گرد و غبار) بوده است. در ضمن هیروه‌های جمع‌آوری شده از نظر نوع نیز متنوع بوده‌اند.

---

1- D.Petronyssinus

2- D.Farinae





شکل 4-14- یک " مایت " کوچک ترین عضو Order Acarina, Class Arachnida

#### توصیه های حفاظتی بهداشتی و شیوه های مختلف کنترل هیله ها

فراوانی هیله های آلرژی زا در منطقه مورد مطالعه و شمار فراوان مبتلایان به انواع اختلالات آلرژیک ناشی از هیله های گرد و غبار، اتخاذ شیوه های دقیق کنترل و مبارزه منطقی با این عوامل و پیشگیری لازم برای کاهش بیماری ها را می طلبد.

شیوه های مختلفی که برای کنترل هیله ها در نقاط مختلف جهان ارائه شده. استفاده از روش های فیزیکی و شیمیایی است که به طور مختصر به روش فیزیکی اشاره می شود:

#### روش های فیزیکی کنترل هیله های گرد و غبار

نخستین گام در این زمینه، پاکیزه نگه داشتن محیط خانه و دوری جستن از مواد حساسیت زا است. در حالی که از بین بردن کامل هیله ها ممکن است مشکل باشد، انجام برنامه مخصوص غبارروبی با استفاده از جاروبرقی سبب کاهش تعداد هیله ها و کاهش و بهبود علائم آلرژی خواهد شد.

پژوهشگرانی مانند فورومیزو (1973)<sup>۱</sup>، هیوز<sup>۲</sup> و همکاران (1974، 1973)<sup>۳</sup> و برونسویک<sup>۴</sup> اظهار داشته‌اند که استفاده مداوم از جاروبرقی برای چند ماه، جمعیت هییره‌ها را در حد خیلی کم نگه می‌دارد. شستن لباس‌ها و اثاث منزل با آب 55 درجه سانتیگراد در کشتن هییره‌ها و از بین بردن حساسیت‌زها مؤثر است و توصیه می‌شود که هر دو هفته این کار تکرار شود. به علاوه، حرارت دادن پتو و ملحفه و تشک در دمای 70 درجه سانتیگراد به مدت 12 ساعت هییره‌ها را از بین می‌برد (کنایرد، 1974)<sup>۵</sup>.

آب داغ تقریباً بیشتر حساسیت‌زها را از بین می‌برد، ولی هییره‌ها در بیش از 100 درجه سانتیگراد ساختمان شیمیایی خود را به طور کامل از دست می‌دهند لومباردرو و همکاران، (1990)<sup>۶</sup> آب سرد گرچه حساسیت‌زها را از بین می‌برد، ولی هییره‌ها را از بین نمی‌برد و معمولاً به زودی آنها تجمع می‌یابند. در انگلستان، از نیتروژن مایع در از بین بردن هییره‌ها استفاده شده است. می‌توان آن را در قالی و تشک و یا نیمکت‌های مبلی به کار برد. در مناطق سرد مانند کانادا قراردادن رختخواب و وسایل خانه در دمای 18- درجه سلسیوس به مدت 24 ساعت جمعیت هییره‌ها را کاهش داده است (پل و سینها، 1972)<sup>۷</sup>.

کاهش رطوبت اتاق نیز به عنوان یک شیوه کنترل مناسب هییره‌ها در نظر گرفته شده است، در ژاپن با استفاده از کفپوش تاتامیس<sup>۸</sup> که بسته‌هایی از سیلیکاژل در زیر آن پهن می‌شود، رطوبت اتاق را کاهش می‌دهند. گفته شده اگر 50 کیلوگرم از این ژل، دو بار در سال در ماه‌های اردیبهشت و تیر زیر هر 17 متر مربع کفپوش قرار گیرد، می‌تواند رشد هییره فارینه را مختل کند (اوشیما و همکاران، 1972a)<sup>۹</sup>.

در هوای گرم و مرطوب، ثابت نگه داشتن رطوبت اتاق در حد کمتر از 50 درصد هییره‌های گرد و غبار را از بین می‌برد (اوانس، 1993)<sup>۱۰</sup>. با استفاده از دستگاه‌های تهویه هوا می‌توان چنین شرایطی را فراهم کرد (لائو- شادندوکفس، 1974)<sup>۱۱</sup> و برانسویک و همکاران (1991) گزارش کرده‌اند که استفاده از روکش‌های پلاستیکی زیپ‌دار برای تشک‌ها که به راحتی قابل

---

1- Furumizo

2- Hughes

3- Bronswijk

4- Knnaird

5- Lombardero

6- Paul

7- Sinha

8- Tatamis

9- Oshima

10- Evans

11- Lau- Schadendokfs

تعویض و شست و شو هستند، در کاهش تعداد هییره‌ها خیلی مؤثر است. تار و پود قالی‌ها نیز محل مناسبی برای زاد و ولد هییره‌ها محسوب می‌شود، از این‌رو در صورت امکان نباید از فرش و قالی استفاده کرد و در صورت ضرورت از انواعی استفاده کرد که نازک باشند و تار و پود و فیبرهای آنها کوتاه باشد و نیز می‌توان از گلیم‌های قابل شست و شو استفاده کرد. ولی توصیه در این مورد، استفاده از کفپوش‌های چوبی یا کفپوش‌های از جنس وینیل یا لینولم است که درز و شکاف ندارند و به راحتی هم قابل نظافت هستند (ثمر و فرخ سر، 1373).

لانه پرندگان و حیوانات اهلی و اصطبل چهارپایان محل مناسبی برای رشد و ازدیاد هییره‌هاست. بنابراین، دور نگه داشتن این جانوران از محیط مسکونی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (مرمکوغلو، 1976).<sup>۱</sup>

از شیوه‌های دیگر کنترل فیزیکی، استفاده از اشعه فرابنفش است که (اسپایکسما، 1971)<sup>۲</sup> آن را برای کاهش جمعیت هییره‌ها توصیه کرده است (پایان نامه صحرگرد).

#### **توصیه‌های حفاظتی - بهداشتی برای بیمارانی که به هییره‌های گردوغبار حساس‌اند**

پیشگیری و دوری از مواد حساسیت‌زا و واکنش مناسب و درست افراد حساس در مواجهه با این گونه عوامل، مستلزم آگاهی از یک رشته نکات و اصول بهداشتی است که به تخفیف عوارض ناشی از این عوامل خواهد انجامید که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود.

- جارو زدن مداوم محیط مسکونی با جاروبرقی و گردگیری غبارهای داخل کمد‌ها، قفسه‌ها و کتوها با پارچه مرطوب؛

- استفاده از ماسک به هنگام جارو زدن؛

- عدم استفاده از قالی‌های دست‌بافت که تار و پود بلند دارند؛

- استفاده از کفپوش‌های پلاستیک به جای گلیم و جاجیم؛

- استفاده از پتو و لحاف و تشک ملحفه‌دار که زیپ‌دار بوده و به راحتی قابل تعویض و شست و شو باشند؛

- شستن پتو و ملحفه تشک‌ها و پرده‌ها هر دو هفته یک‌بار با آبی که دست‌کم 58 درجه سلسیوس حرارت داشته باشد، عدم استفاده از پتوهای پشمی و ضخیم؛

- عدم استفاده از بالش‌های محتوی پر و کرک و پشم، در ضمن روپوش بالش‌ها باید تا حد امکان از جنس غیرمخمل بوده و زیپ‌دار و قابل شست و شو باشد؛

- اتاق خواب باید ساده باشد و وسایل اضافی و لوازمی که گرد و غبار را به خود می‌گیرند،

---

1- Mumcuoglu

2- Spieksma

جمع‌آوری شوند؛

- ثابت نگه داشتن رطوبت اتاق خواب و سایر اتاق‌ها در حد کمتر از 50 درصد که با استفاده از دستگاه‌های تهویه و رطوبت زدا و مواد نمگیر حاصل می‌شود؛  
- قرار دادن فرش و رختخواب و اثاث منزل در هوای سرد زمستانی یا دستگاه‌های سردکننده؛

- قرار دادن همه لباس‌ها در چمدان یا کمدهای مخصوص؛  
- عدم استفاده از پرده‌های سنگین و غیرقابل شست و شو؛  
- دور نگه داشتن پرندگان و حیوانات اهلی و خانگی از محیط مسکونی؛  
- استفاده از صندلی‌ها و نیمکت‌های چوبی و پلاستیکی به جای مبلمانهای روپوش دار کتان و پشمی؛  
- استفاده از صافی‌های مکانیکی و الکتریکی به‌ویژه فیلترهای HEPA در سامانه تهویه که کارایی مطلوبی دارند.

جدول 2-14- وفور هیره‌ها در 200 میلی گرم گردوغبار در مکان‌های مسکونی پنج شهر استان گیلان- تابستان 1374

| نوع آلودگی | D. Pteronyssinus |       | D. farinae |       | E. maynei |      | G. domesticus |       | Ch. malayensis |      | Histotoma SP |      | Pronematus SP |      | Orbatida |      |
|------------|------------------|-------|------------|-------|-----------|------|---------------|-------|----------------|------|--------------|------|---------------|------|----------|------|
|            | تعداد            | حجم   | تعداد      | حجم   | تعداد     | حجم  | تعداد         | حجم   | تعداد          | حجم  | تعداد        | حجم  | تعداد         | حجم  | تعداد    | حجم  |
| انزلی      | 295              | 97/29 | 287        | 97/29 |           |      | 4             | 1/35  |                |      |              |      | 2             | 0/68 | 2        | 0/68 |
| رشت        | 175              | 94/86 | 166        | 94/86 | 5         | 2/86 | 3             | 1/71  |                |      | 1            | 0/57 |               |      |          |      |
| صومعه‌سرا  | 180              | 63/89 | 115        | 63/89 | 3         | 1/67 | 62            | 34/44 |                |      |              |      |               |      |          |      |
| فومن       | 266              | 91/35 | 243        | 91/35 |           |      | 23            | 8/65  |                |      |              |      |               |      |          |      |
| ماسال      | 263              | 95/81 | 252        | 95/81 | 2         | 0/77 | 4             | 1/52  | 5              | 1/90 |              |      |               |      |          |      |

جدول 3-14- میزان درصد اماکن مسکونی آلوده به انواع هیبره های گردوغبار در پنج شهر استان گیلان- تابستان 1374

| شهرستان   | تعداد خانه هایی که هیبره شده |      | D.Pteronyssinus |      | D.farinae |      | E.maynei |      | G.domesticus |      | Ch.malayensis |      | Histiotoma SP |      | Pronematus SP |      | Orbatida |      |
|-----------|------------------------------|------|-----------------|------|-----------|------|----------|------|--------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|----------|------|
|           | تعداد                        | درصد | تعداد           | درصد | تعداد     | درصد | تعداد    | درصد | تعداد        | درصد | تعداد         | درصد | تعداد         | درصد | تعداد         | درصد | تعداد    | درصد |
| انزلی     | 10                           | 100  | 10              | 100  |           |      |          |      | 1            | 10   |               |      |               |      | 1             | 10   | 1        | 10   |
| رشت       | 10                           | 90   | 9               | 90   | 2         | 20   |          |      | 2            | 20   |               |      | 1             | 10   |               |      |          |      |
| صومعه سرا | 9                            | 100  | 9               | 100  | 1         | 10   |          |      | 7            | 70   |               |      |               |      |               |      |          |      |
| فومن      | 10                           | 100  | 10              | 100  |           |      |          |      | 4            | 40   |               |      |               |      |               |      |          |      |
| ماسال     | 10                           | 100  | 10              | 100  |           |      | 1        | 10   | 2            | 20   | 2             | 20   |               |      |               |      |          |      |

جدول 4-14- وفور دو گونه هیبره در 200 میلی گرم گرد و غبار بسترهای استراحتی مکان های مسکونی (تشک، بالش، قالی) شهرستان صومعه سرا- تابستان 1374

| بسترهای استراحتی | تعداد هیبره در mg 200 گردوغبار | تعداد لام مونته شده | D.Pteronyssinus |       | G.domesticus |      |
|------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|-------|--------------|------|
|                  |                                |                     | تعداد           | درصد  | تعداد        | درصد |
| تشک              | 58                             | 50                  | 50              | 100   |              |      |
| بالش             | 23                             | 20                  | 20              | 100   |              |      |
| قالی             | 24                             | 21                  | 19              | 90/48 | 2            | 9/52 |

#### یک بررسی موردی در یکی از ساختمان های بلند تهران از نظر آلودگی های بیولوژیکی

در این بررسی که به طور بسیار فشرده در این قسمت ذکر می شود از محیط های کشت بلاد آگار، EMB و شکلات آگار در بشقاب های پتری استفاده شده و از محل ورودی هوا به داخل هواسازها، داخل کانال ها و خروجی کانال ها در اتاق ها و در طبقه های مختلف این ساختمان نمونه هایی از باکتری ها و قارچ ها جمع آوری گردیده اند.

بنابر نتایج به دست آمده، نخست، تعداد کلنی های باکتری و قارچ در ورودی هوا به داخل کانال ها که در پشت بام طبقه 27 ساختمان قرار گرفت و رشد کردند بسیار کمتر از خروجی در طبقه 27 بود، به طوری که در خروجی به علت تراکم کلنی ها شمارش مشکل بود. شکل های 14-5 و 14-6 ورودی و خروجی هواساز شماره 1 و شکل های 14-7 و 14-8 ورودی و خروجی هواساز شماره 3 را نشان می دهد. همچنین در داخل کانال در طبقه 25 محیط کشت

بلاد آگار از انواع باکتری و قارچ پوشیده شده بود. در طبقه دهم در حالیکه بر روی محیط کشت ورودی به کانال فقط 2 کلنی رشد کرده بود در خروجی و در اتاق 20 کلنی روی همان محیط کشت شمارش شدند. این پدیده در بیشتر طبقه‌های مطالعه شده دیده شد. (پایان نامه کارشناسی ارشد دیلمقانی) به (پلات‌های پایان فصل مراجعه شود).

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که عدم نگهداری مناسب سیستم تهویه مطبوع، عدم تصفیه درست ورودی هوا و زیاد بودن رطوبت در داخل کانال‌های انتقال هوا به علت چگالش بخار آب، محیط مناسبی را برای رشد و تکثیر باکتری‌ها و قارچ‌های هوا به وجود آورده است. در این قبیل ساختمان‌ها همان‌طور که پیش از این هم اشاره شد بازگرداندن قسمت عمده هوا به داخل سامانه تهویه و ورود مجدد آن به اتاق‌ها می‌تواند هر گونه آلودگی بیولوژیکی (علاوه بر آلودگی‌های شیمیایی مثل دود سیگار که پیشتر بحث شده است) را به قسمت‌های مختلف ساختمان انتقال دهد (دیلمقانی - غیاث‌الدین).

## فصل نهم

### تغییرات اقلیم

#### سامانه اقلیم و تغییرات آن

اصطلاح آب و هوا<sup>۱</sup> به تغییرات روزانه وضعیت جو در مکان معین گفته می‌شود. این تغییرات شامل دما، رطوبت، سمت و سرعت باد، ابری یا صاف بودن هوا و بارش است. اقلیم را می‌توان میانگین شرایط آب و هوا تعریف کرد. ولی اقلیم یک منطقه تغییرات موردانتظار در سال و یا چندین سال متغیرهای هواست. اگر دو منطقه دارای میانگین دمای برابر در فصول مختلف سال باشند، ولی تغییرات در آنها یکنواخت نباشد دارای یک اقلیم نیستند. اقلیم یک منطقه فقط به وضعیت جوی وابسته نیست، بلکه به همه اجزایی که سامانه اقلیم را تشکیل می‌دهند وابسته است.

#### اجزای سامانه اقلیم

یک سامانه از مجموعه اجزایی که بر هم تأثیر می‌گذارند و از دیگر اجزاء تأثیر می‌پذیرند تشکیل شده است.

با این تعریف سامانه اقلیم از اجزایی چون: جو، اقیانوس‌ها، بیوسفر<sup>۲</sup>، کریوسفر<sup>۳</sup> و لیتوسفر<sup>۴</sup> به وجود آمده است. هر کدام از این اجزای که تأثیرگذار و تأثیرپذیر از یکدیگرند، جزیی از یک سامانه را تشکیل می‌دهند.

خورشید بخشی از سامانه اقلیم نیست زیرا اجزای اقلیم بر خورشید اثری ندارند. در اینجا خورشید یک نیروی خارجی<sup>۵</sup> است. فوران آتشفشان هم با آنکه از درون زمین سرچشمه می‌گیرد یک نیروی خارجی به حساب می‌آید. آتشفشان با تزریق مواد خروجی از دل زمین (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>، ذرات و...) به سامانه اقلیم اثر می‌گذارد، ولی از اجزای این سامانه تأثیر نمی‌پذیرد. اجزای یک اقلیم با جریان انرژی و مواد با هم مرتبط‌اند. جریان انرژی با پرتوافکنی خورشید،

---

<sup>۱</sup> - Whether

<sup>۲</sup> - Biosphere

<sup>۳</sup> - Cryosphere (یخ و برف)

<sup>۴</sup> - Lithosphere (پوسته زمین)

<sup>۵</sup> - External Forcing

پرتو فروسرخ زمین، گرمای نهان و گرمای حسی و نیز انتقال ممنتوم بین جو و دریاها اتفاق می‌افتد. مهم‌ترین جریان مواد شامل آب، کربن، گوگرد، مواد غذایی (فسفر، نیترات و...) است. رفتار سامانه اقلیم به‌این بستگی دارد که چگونه جریان انرژی و ماده با تغییرات سامانه تغییر می‌کند و چگونه خود آنها بر سامانه اثر می‌گذارند و در مقیاس زمان با چه چیزی سامانه به تغییرات جریان انرژی و ماده پاسخ می‌دهد. جریان ماده یا جرم شامل انتقال ماده از یک قسمت سامانه اقلیم به قسمت دیگری از آن است. برای مثال آب اقیانوس‌ها و دریاها می‌تواند به‌جو منتقل شود (با تبخیر) و از جو به‌صورت برف و باران به‌زمین بازگردد و در نهایت به‌سوی دریاها جاری شود. از آنجا که ماده نه از بین می‌رود و نه تولید می‌شود، ممکن است درجایی ذخیره شود که به‌آن ذخیره‌گاه<sup>۱</sup> می‌گویند و از آنجا به‌محل اصلی خود بازگردد که به‌آن چرخه<sup>۲</sup> گفته می‌شود و یا از یک ذخیره‌گاه به‌ذخیره‌گاه دیگر برود و سپس به‌محل اصلی برسد. بنابراین به‌این حرکت آب، گوگرد، نیتروژن، کربن، چرخه آب، گوگرد و... گفته می‌شود. در اینجا مختصری درباره جریان انرژی، ماده و برخورد متقابل آنها شرح داده می‌شود.

## جریان انرژی<sup>۳</sup>

جریان عمده انرژی در سامانه اقلیم در شکل 1-10 نشان داده شده است. انرژی‌ای که از خورشید صادر می‌شود (انرژی خورشید)، در طول موج‌های مختلف از فرابنفش با طول موج 0/4 تا 0/1 میکرون و طیف نور مرئی از 0/7 تا 0/4 میکرون تا نزدیک فروسرخ با طول موج 4 تا 0/7 میکرون است. بیشتر پرتوهای فرابنفش به‌وسیله اوزن استراتوسفر جذب می‌شود و مقدار کمتری هم در تروپوسفر جذب می‌گردد. از طیف نور مرئی بخش کوچکی به‌وسیله ذرات معلق هوا جذب و یا پراکنده می‌شود و بازتاب می‌یابد. بیشتر این هواویزها را نمک‌های دریایی تشکیل می‌دهند و بخش دیگر آنها از منابع زمین، منابع صنعتی و احتراق سوخت‌ها وارد هوا می‌شود. جدول 1-10 بار انواع هواویزهای جوی را در کل جهان نشان می‌دهد.

---

<sup>1</sup> - Reservoir

<sup>2</sup> - Cycle

<sup>3</sup> - Energy Flows



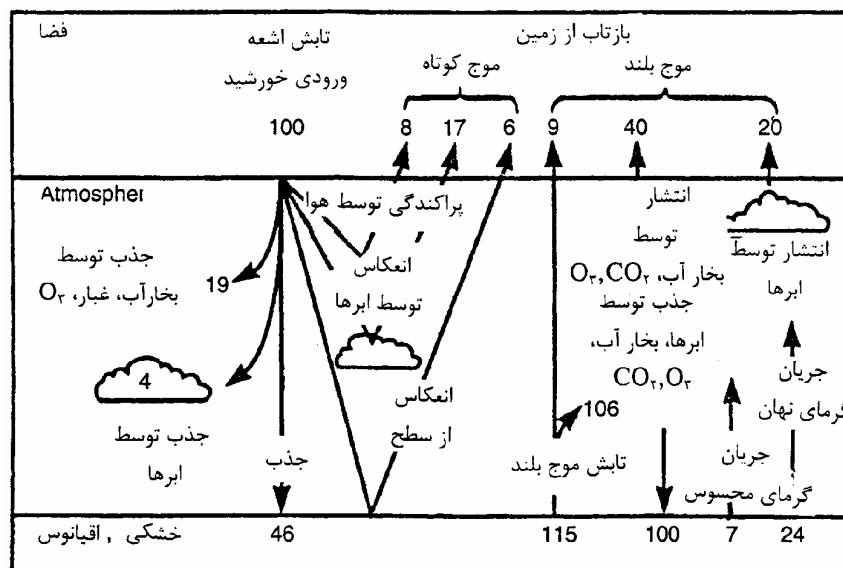
جدول 1-10- انواع هواویز و مقدار آنها در جهان

| نوع هواویز                        | مقدار گرم             | غلظت میلی گرم در مترمکعب |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| ذرات معدنی                        | $16/4 \times 10^{12}$ | 32/2                     |
| نمک دریایی                        | $3/6 \times 10^{12}$  | 7                        |
| سولفات طبیعی و انسان ساخت         | $3/3 \times 10^{12}$  | 6/5                      |
| محصولات سوخت زیست توده            | $1/8 \times 10^{12}$  | 3/4                      |
| محصولات اکسیداسیون طبیعی مواد آلی | $1/1 \times 10^2$     | 2/1                      |
| نیتрат طبیعی و انسان ساخت         | $0/6 \times 10^{12}$  | 1/3                      |

بخار آب قسمتی از پرتوهای ورودی خورشید به ویژه در طیف نزدیک به فروسرخ را جذب می کند و از پرتوهایی که به زمین برخورد می کنند، بخشی بازتاب می یابد که این قسمت بازتاب یافته را البیدو<sup>۱</sup> می نامند. از پرتوهای بازتاب یافته قسمتی جذب بخار آب و هواویزها می شود و بخشی هم به فضا برمی گردد و قسمتی هم دوباره به سوی زمین بازتاب می شود. ابر تأثیر زیادی بر جریان انرژی خورشید دارد. ابرها بیشتر پرتوهای برخوردی را بازتاب می کنند و مقدار کمتری را هم جذب می کنند. سطح زمین و دریاها پرتوهای خود را در طول موج های بین 4 تا 50 میکرون که مربوط به اشعه فروسرخ است به طرف فضا منتشر می کنند (سازوکار این پدیده در ادامه بحث خواهد شد). گازها، بخار آب، ذرات و ابر قسمتی از پرتوهای فروسرخ را جذب می کنند و یا بازتاب می دهند. جذب و انتشار اشعه به ماهیت و توان جسم بستگی دارد که به آن انتشارپذیری<sup>۲</sup> می گویند. انتشارپذیری به دمای جسم انتشاردهنده هم مربوط می شود. زمین نسبتاً گرم است و حداکثر انتشارپذیری آن معادل 1 است و بنابراین میانگین انتشار انرژی از زمین نسبتاً زیاد و در حدود 390 وات بر مترمربع است. جو بخشی از اشعه فروسرخ برخاسته از زمین را جذب می کند و در برابر، پرتوهای خود را به زمین بازمی تاباند. از آنجاکه جو سردتر است مقدار اشعه فروسرخ بازتاب شده کمتر از مقداری است که توسط زمین به سوی جو فرستاده می شود. نتیجه خالص این فرایند کاهش انتشار اشعه فروسرخ به فضا است.

<sup>۱</sup> - Albido

<sup>۲</sup> - Emissivity



شکل 1-10- اجزای اصلی توازن میانگین انرژی جهانی (کولز، 2002)

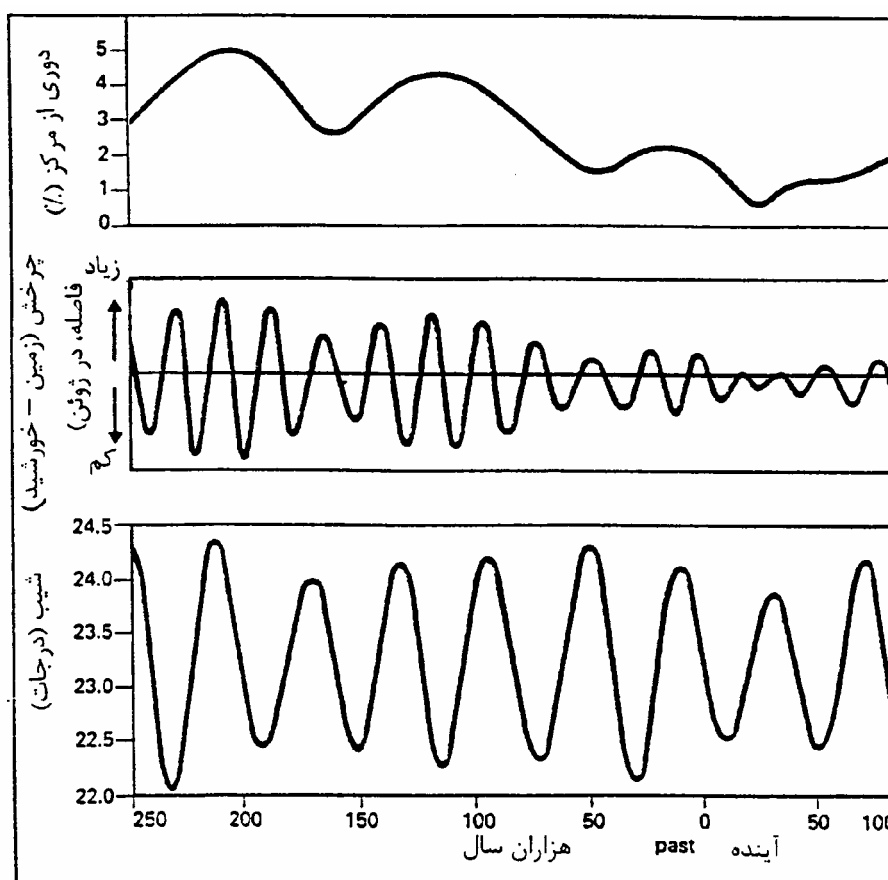
در ضمن جو مقداری از پرتوهای فروسرخ را به زمین بازمی گردانند. از آنجاکه تشعشعات اعم از مرئی خورشیدی یا فروسرخ شکلی از انرژی اند، کاهش فرار اشعه فروسرخ به فضا منجر به آن می شود که زمین گرم تر از آن باشد که در نبود چنین پدیده ای می بود، و این همان اثر گلخانه ای طبیعی است که سامانه جو، زمین را در محدوده ای از حرارت برای ادامه حیات نگه داشته است.

### تغییرات ورودی اشعه خورشید

ثابت خورشیدی نامی است که به میانگین دانسیته شار تشعشع خورشید که در درازمدت از خورشید به زمین می رسد داده شده است و مقدار آن 1367 وات بر مترمربع است (کولز، 2002) در واقع این مقدار کاملاً هم ثابت نیست، بلکه با تغییرات کوتاه مدت از ماهی به ماه دیگر و یا سالی به سال دیگر کم و یا زیاد می شود. این تغییرات به علت لکه های خورشید و تغییر مدار چرخش زمین است. لکه های خورشید در اثر توفان های مغناطیسی درست شده اند که سطوح سردتری را در خورشید به وجود می آورند و چرخه پیدایش آنها هر 11 سال یکبار است. این لکه ها حدود 0/1 درصد بر ثابت خورشید اثر می گذارند و موجب می شوند 0/2 درصد از دمای زمین کاسته شود. هرچه بر مقدار لکه ها اضافه شود تأثیر آن بر دمای زمین بیشتر خواهد

بود.

در مدار چرخش زمین به دور خورشید سه تغییر منظم وجود دارد. نخست این که مدار گردش دایره‌ای نیست، بلکه به بیضی نزدیک‌تر است. تغییر در مرکزی بیضی در دوره‌های صد هزار ساله اتفاق می‌افتد. با آنکه مجموع تشعشع بر روی زمین ثابت می‌ماند، ولی در مناطق مختلف تغییر می‌کند.



شکل 2-10 - تغییرات در شاخص‌های مداری زمین (بوروز، 2001؛ کالز، 2002)<sup>1</sup>

بیشترین دریافتی در پریهلیون<sup>2</sup> (وقتی که خورشید در نزدیک‌ترین وضعیت است) و

<sup>1</sup> - Burroughs 2001, Colls 2002

<sup>2</sup> - Perihelion

کمترین دریافتی در حالت افلیون<sup>۱</sup> (زمانی که دورتر است) حدود  $10 \pm$  درصد است. دوم این که محور دوران زمین معمولاً دارای زاویه  $23/5$  درجه با سطح مدار است که بین  $21/6$  تا  $24/5$  درجه طی هر 41000 سال تغییر می کند و این هم عاملی برای تغییر توزیع اشعه وارد به زمین در فصل های مختلف سال است. سوم این که زمانی از سال که زمین در مدار خود در نزدیک ترین موقعیت نسبت به خورشید قرار دارد با تناوب 23000 ساله بر ماه های سال، تأثیر می گذارد. هریک از این تغییرات که مستقل هستند با هم جمع شده و تشکیل سری های زمانی را می دهند. مکانیک سماوی علم بسیار کاملی است، بنابراین می توان اثر این تغییرات را بر انرژی دریافتی زمین از خورشید برای صدها هزار سال قبل محاسبه کرد. این تغییرات در حدود  $0/2$  مگاژول بر مترمربع در قطب هاست، که حدود 10 درصد آفتاب تابستان را دریافت می کنند و دوره های شبه یخبندان های منظم<sup>۲</sup> را پدید می آورند. این دوره های منظم را به یاد دانشمندی صربستانی که آن را کشف کرد چرخه های میلانکوویچ<sup>۳</sup> می گویند. تغییر در شاخص های مدار زمین در شکل 2-10 ملاحظه می شود. به غیر از مختصر انرژی که از تجزیه مواد رادیواکتیو داخل زمین به دست می آید تقریباً تمام انرژی ورودی زمین از پرتوهای مرئی با طول موج های کوتاه است که از خورشید دریافت می شود. از آنجا که زمین در خلاء کامل حرکت می کند هیچ گونه تبادل انرژی با محیط اطراف خود انجام نمی دهد. بنابراین انرژی ای که از پرتوهایی با طول موج کوتاه از خورشید دریافت می کند با پرتوهای طول موج بلند خود سیاره باید در توازن باشند تا تعادل حرارتی سامانه جو- زمین تأمین شود. شکل 1-10 تصویری از چگونگی تقسیم انرژی ورودی ضمن جریان به سامانه اقلیم را نشان می دهد. در این شکل کل 1367 وات بر مترمربع با 100 واحد معرفی شده است. از این 100 واحد، 8 واحد به وسیله هوا پراکنده می شود و به فضا باز می گردد، 17 واحد توسط ابر و 6 واحد توسط سطح زمین بازتاب می یابد و از بقیه 46 واحد جذب سطح زمین، 4 واحد جذب ابرها و 19 واحد هم جذب بخار آب، غبار و اوزن می شود. اگر جو به تمام طول موج پرتوها، کاملاً شفاف می بود، آن گاه نه پرتو را جذب و نه اشعه ای صادر می کرد و در این صورت میانگین دمای سطح زمین 255 درجه کلوین یا 18- درجه سلسیوس می بود. ولی بعضی گازهای موجود در جو که گازهای فعال تشعشعی (RAG)<sup>۴</sup> یا گازهای گلخانه ای (GHG)<sup>۵</sup> نامیده شده اند، پرتوها با طول موج بلند را که از زمین به بالا می روند، جذب می کنند و در تمام جهات منتشر می نمایند. آن بخش که به سوی زمین حرکت

<sup>۱</sup> - Aphelion

<sup>۲</sup> - Quasi regular ice age

<sup>۳</sup> - Milankovitch

<sup>۴</sup> - Radiatively active gases

<sup>۵</sup> - Green house gases

می‌کند، به پرتوهایی با طول موج کوتاه صادر از خورشید اضافه می‌شود و دمای تعادلی انرژی را افزایش می‌دهد (مراجعة مجدد به شکل 1-10). از سطح زمین 115 واحد انرژی با طول موج بلند برمی‌خیزد. 106 واحد جذب ابرها و گازهای گلخانه‌ای جو می‌گردد و در نهایت 100 واحد آن به زمین باز می‌گردد. در حقیقت جو به عنوان عایق برای پرتوهایی با طول موج بلند عمل می‌کند. کل این فرایند را گرمایش تشعشعی<sup>1</sup> یا به طور عامیانه اثر گلخانه‌ای<sup>2</sup> نامیده‌اند. مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروس ( $N_2O$ ) هستند.

اطلاعات ژئولوژیکی برای بازسازی تغییرات اقلیم زمین طی 3 میلیون سال گذشته در اختیار دانشمندان قرار دارد. هرچند عدم اطمینان برای بازسازی گذشته‌های دورتر زیاد است، ولی برای گذشته‌های نزدیک‌تر، این اطلاعات به واقعیت نزدیکتر است. اطلاعات ژئولوژیکی برای برآورد تغییرات غلظت دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) و متان ( $CH_4$ ) که مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای و جذب کننده حرارت هستند وجود دارد.

حباب‌های هوا که در حفره‌های یخ قطب جنوب و گرینلند حبس شده‌اند، نمونه‌های هوا تا 250000 سال قبل را دربر دارند. با آزمایش این حباب‌ها تغییرات غلظت دی‌اکسید کربن و متان اندازه‌گیری شده است که در بخش اثر گازها بر تغییرات اقلیم بیشتر توضیح داده خواهد شد. شواهد دیگری که با اطمینان کمتر می‌توان به آنها اشاره کرد از 750 میلیون سال قبل وجود دارند (برنر، 1990)<sup>3</sup>. شکل 3-10 تغییرات دما را که با توجه به شواهد مذکور برای دوران‌های مختلف زمین‌شناسی بازسازی شده است نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در این شکل تغییرات به صورت کیفی نشان داده شده است. در شکل 4-10 تغییرات غلظت دی‌اکسید کربن برای 570 میلیون سال گذشته که با مدل کامپیوتری در سال 1994 توسط برنر با توجه به جریان کربن در مقیاس زمان شبیه‌سازی شده است، دیده می‌شود.

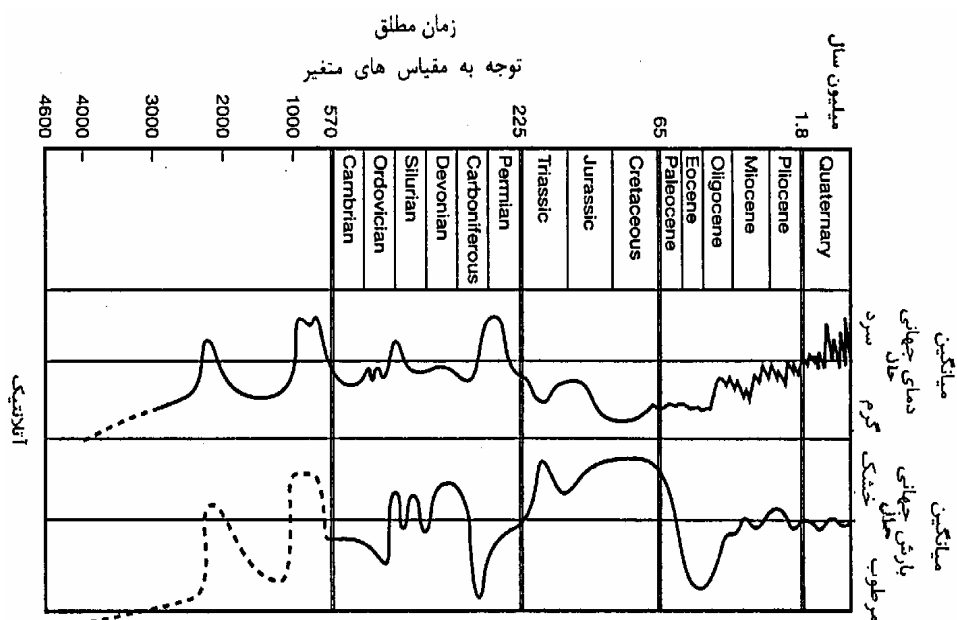
هیچ‌گونه ثبت مستقیم غلظت دی‌اکسید کربن برای این دوران طولانی وجود ندارد. اندازه‌گیری‌هایی که تحت تأثیر کربن قرار گرفته‌اند، مانند ترکیبات شیمیایی و رسوبات اقیانوس‌ها برای حقیقت‌یابی تقریبی در مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

---

<sup>1</sup> - Radiative forcing

<sup>2</sup> - Greenhouse effect

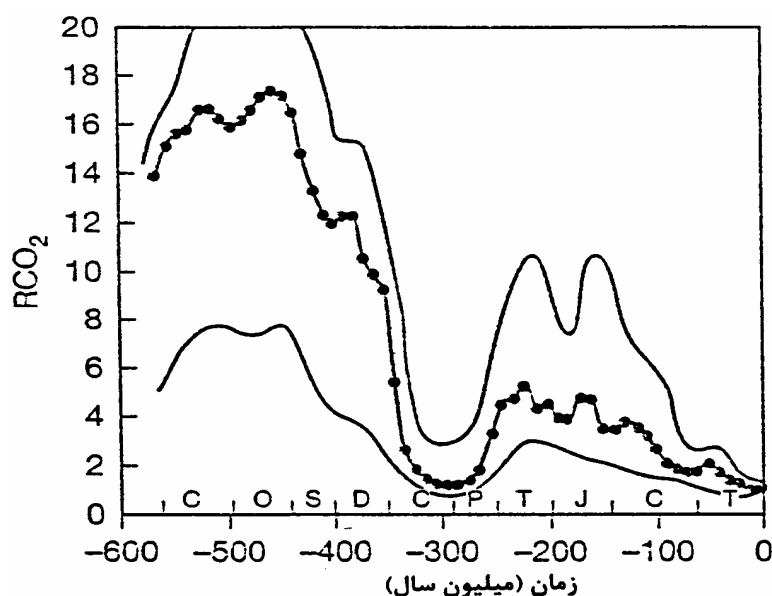
<sup>3</sup> - Berner 1990



شکل 3-10- بازسازی میانگین تغییرات دمای هوای سطح زمین و بارش طی 3 میلیون سال (دنی، 2000)

همان‌طور که در شکل 4-10 ملاحظه می‌شود غلظت دی‌اکسیدکربن طی ده‌ها و صدها میلیون سال گذشته تغییرات زیادی داشته است. غلظت دی‌اکسیدکربن در این زمان‌ها به 4 تا 16 برابر قبل از انقلاب صنعتی که 280 پی‌پی‌ام حجمی بوده می‌رسیده است. باید توجه داشت که در مدل‌هایی که به‌دوران‌های خیلی دور برمی‌گردد عدم اطمینان زیاد است، ولی به‌هرحال برآوردی از وضعیت آن دوران را به‌ما می‌دهد.

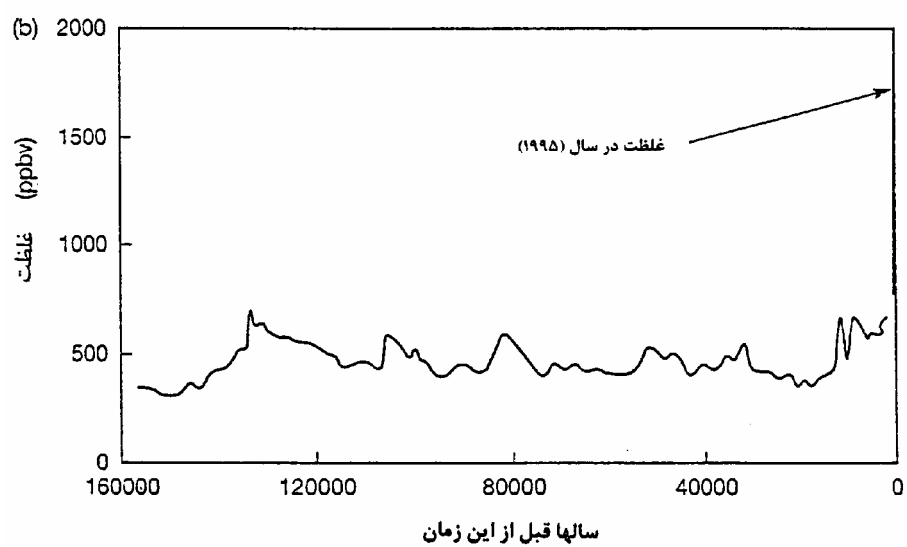
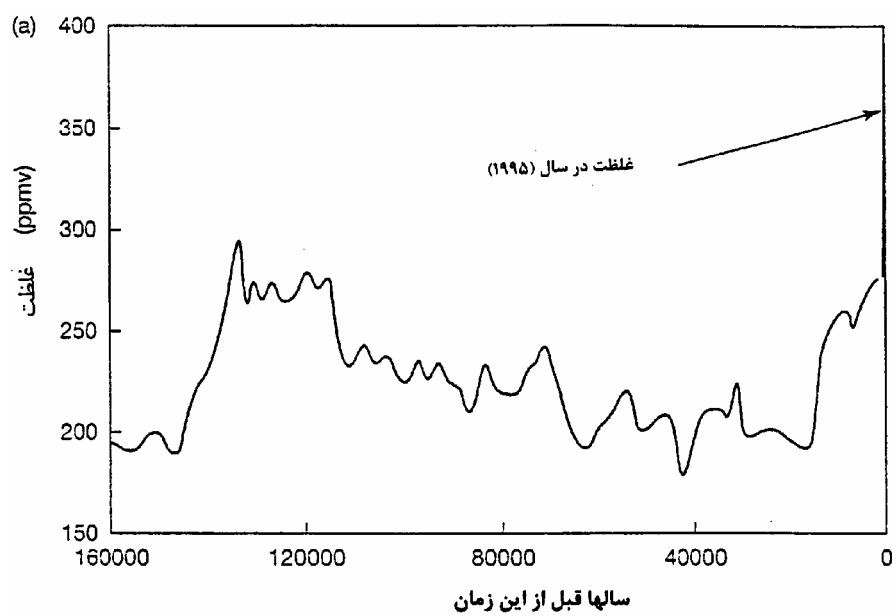
شکل 5-10 تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن و متان را که به‌طور مستقیم با آزمایش حباب‌های محبوس هوا در یخ‌های قطب جنوب اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد. این اندازه‌گیری‌ها غلظت این مواد را از 160000 سال پیش تاکنون نشان داده است.



شکل 4-10- بازسازی تغییرات غلظت  $\text{CO}_2$  از 750 میلیون سال قبل (هاروی، 2000)<sup>1</sup>

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود غلظت طبیعی دی‌اکسید کربن بین 180 تا 300 پی‌پی‌ام و متان بین 0/3 تا 0/7 پی‌پی‌ام متغیر بوده است. ولی فعالیت انسان در 200 سال گذشته موجب شده است که غلظت دی‌اکسید کربن به بیش از 360 و متان به بیشتر از 1/7 پی‌پی‌ام حجمی برسد. علاوه بر این، تغییرات در 200 سال گذشته بسیار سریع‌تر از 160000 سال قبل از آن بوده است. این تغییرات را از سال 1800 تاکنون و پیش‌بینی آن را تا سال 2600 می‌توان در شکل 6-10 (الف) ملاحظه نمود. طبق پیش‌بینی انجام‌شده در شکل (ب) اگر غلظت دی‌اکسید کربن دو برابر شود، با دو فرض متفاوت دمای زمین 1/5 تا 3 درجه افزایش خواهد داشت و بدین ترتیب در سال 2100 افزایش دما بین 2/5 تا 4 درجه سلسیوس خواهد بود و به‌همین ترتیب روند افزایش برای سال‌های بعد نیز ادامه خواهد داشت. از طرف دیگر اثر سردکنندگی ذرات ممکن است بین 0/5 تا 1 درجه سلسیوس از اعداد بالا بکاهد.

<sup>1</sup> - Harvey 2000

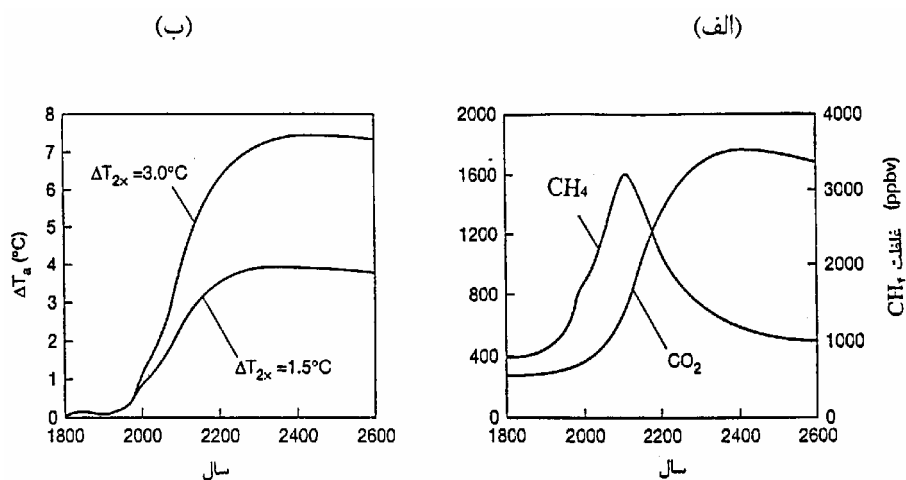




شکل 5-10- تغییرات جوی (a) غلظت  $\text{CO}_2$  و (b) غلظت  $\text{CH}_4$  از 160000 سال قبل که در لایه یخ قطب جنوب اندازه گیری شده است. برای  $\text{CO}_2$  از داده های "بارنولا و همکاران 1991" و برای  $\text{CH}_4$  از داده های "چاپلاز و همکاران 1990" استفاده شده است. هر دو مورد از نشانی زیر گرفته شده است:

NOAA Web site at <http://WWWngdc.noaa.gov/paleo>

با مقایسه بین آخرین دوران یخبندان و بین یخبندان که تغییر دما در فاصله زمانی 10000 سال حدود 4 تا 5 درجه سلسیوس برآورد شده است، تغییرات بالا اهمیت زیادی در کل سامانه اقلیم خواهد داشت. در ضمن باید توجه داشت که ملاحظات علمی در مورد تراکم گازهای گلخانه ای جو را نمی توان فقط با بررسی ساده روند گذشته، برای آینده برون یابی<sup>1</sup> کرد، بلکه باید حوادث و پس خورهای را که به انتشار گازهای گلخانه ای و تغییر اقلیم می انجامد، مرحله به مرحله ارزیابی کرد. در تاریخ ژئولوژیکی اخیر، تغییرات ایجاد شده در ترکیب شیمیایی جو بی سابقه و در مورد تراکم  $\text{CO}_2$  اساساً غیرقابل برگشت است.



شکل 6-10 الف) غلظت  $\text{CO}_2$  و متان در 200 سال گذشته و پیش بینی آینده ب) تغییرات دما با فرض این که اگر غلظت  $\text{CO}_2$  دو برابر شود افزایش دما 1/5 تا 3 درجه سلسیوس خواهد بود (هاروی، 2000)

در شکل 7-10 جذب طول موج های مختلف طیف اشعه به وسیله گازهای مختلف در پنج

<sup>1</sup> - Extrapolation

منحنی نشان داده شده است و مجموعه اینها در منحنی زیر ملاحظه می شود. برای مثال بخار آب طول موج های  $2/5$  تا  $3/5$  و  $5$  تا  $7$  میکرون و بالای  $13$  میکرون را بیشتر جذب می کند. در منحنی پایین اشعه ورودی خورشید و پرتوهای فروسرخ برخاسته از زمین نشان داده شده است. با آنکه همه گازهای گلخانه ای برای طول موج های  $1$  تا  $5$  میکرون خاصیت جذب خوبی دارند، ولی در اشعه ورودی خورشید با توجه به توزیع طیف نوری از جسم سیاه خورشید مقدار کمی اشعه، با طول موج بلند وجود دارد که گازهای گلخانه ای آنها را جذب می کنند. در شکل  $7-10$  در ناحیه طیفی  $8$  تا  $13$  با مرکزیت  $10$  میکرون یک باریکه دیده می شود که به عنوان دریچه جوی شناخته شده است. این دریچه ورود و خروج پرتوها را از فضا و زمین به علت شفافیت نسبی اش آسان می سازد. در این محدوده اثر بخار آب ناچیز است، ولی قسمتی از پرتوها در این باند نوری با طول موج  $9/7$  میکرون توسط اوزن جذب می شوند. بعد از طول موج  $14$  میکرون، دوباره انتقال پرتوها از زمین توسط دی اکسید کربن و بخار آب کاهش می یابد.

### نقش گازها

فرض کنیم خورشید به صورت جسم سیاهی با دمای ثابت پرتوافکنی می کند. با این فرض می توان کل بازده انرژی خورشید و توزیع طیف پرتوهای آن را محاسبه کرد. دمای سطح خورشید  $6080$  درجه کلوین و یا  $10400$  درجه رنکین است بنابه قانون وین<sup>1</sup>:

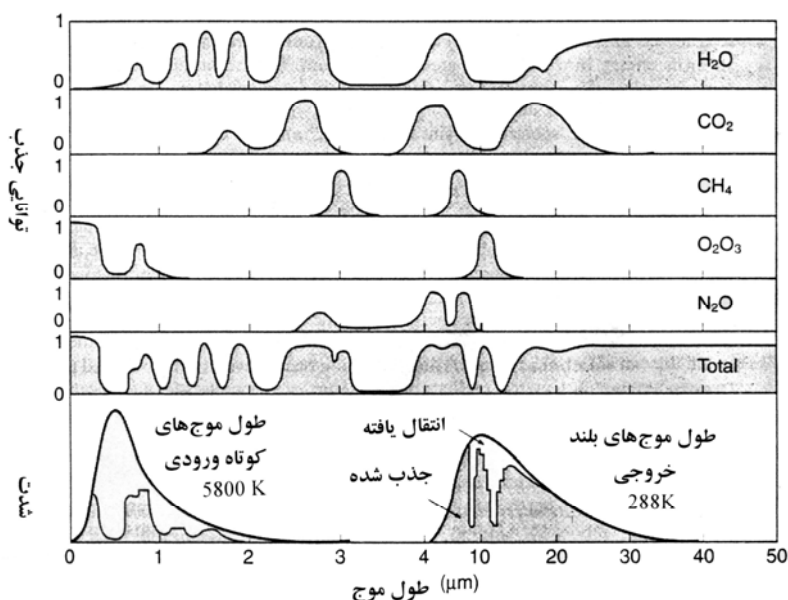
$$\lambda_{\text{Max}} T = 5215 (\mu^{\circ}\text{K})$$

$$\lambda_{\text{Max}} = \frac{5215}{10400} \cong 0.5 \mu$$

از آنجاکه اشعه قابل رؤیت خورشید در محدوده  $0/38$  تا  $0/7$  میکرون است، حداکثر بازده خورشید هم در محدوده پرتوهای مرئی است. از طرف دیگر اگر سامانه جو - زمین هم به صورت جسم سیاه تابان با دمای  $255$  درجه کلوین معادل  $498$  درجه رنکین عمل کند به موجب رابطه "وین" حداکثر پرتوهای زمین در طول موج تقریباً  $11$  میکرون است و این در محدوده طیف فروسرخ است. این اختلاف در طول موج های پرتوهای زمین و خورشید برای تعادل انرژی سامانه "جو - زمین" مهم است، زیرا گازهای گلخانه ای که شرح آنها در پی می آید، همان طور که پیش از این اشاره شده است پرتوهایی با طول موج بلند را جذب و نمی گذارند از جو زمین به فضا برگردند.

---

<sup>1</sup> - Wien's Law



شکل 7-10- طیف جذب برای گازهای گلخانه‌ای مهم (هاترز، 1998 در کولز 2002)<sup>1</sup>

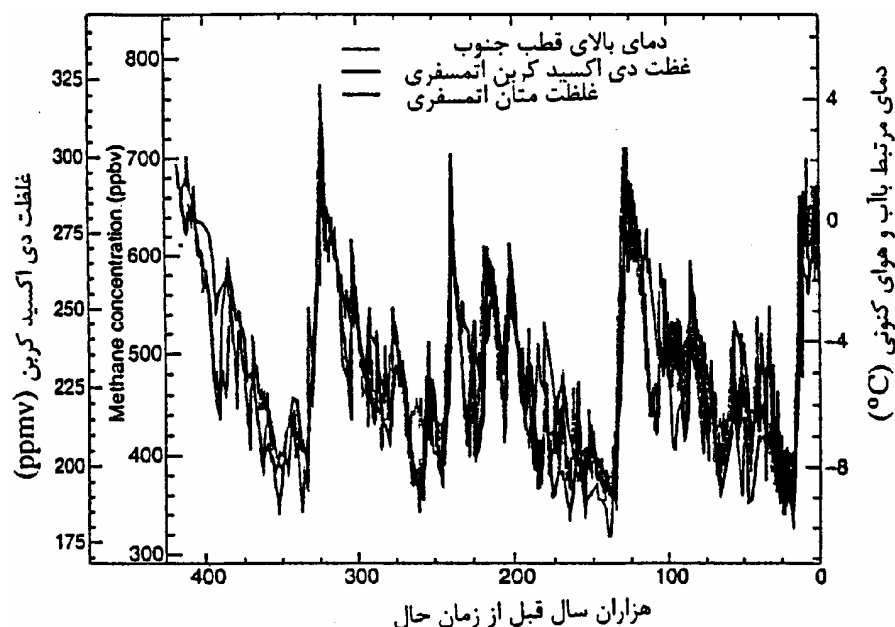
### دی‌اکسید کربن

دی‌اکسید کربن در دما و فشار استاندارد گازی است بی‌بو، بی‌رنگ و حالت جامد آن همان یخ خشک است. دی‌اکسید کربن نه تنها قلب زندگی است، بلکه مهم‌ترین مولکول تولید انرژی و تغییر اقلیم است. کربن موجود در موجودات گذشته‌های بسیار دور به شکل نفت، گاز و زغال سنگ ذخیره شده است. بخش کوچکی از این کربن وارد جو شده و به گرم شدن زمین سرعت بخشیده است. برآورد غلظت دی‌اکسید کربن برای میلیون‌ها سال قبل در قسمت اول این بحث آمده است که فقط یک محاسبه علمی است، ولی آنچه مربوط به چهارصد هزار سال اخیر است از تجزیه هوای حبس شده در یخ‌های قطبی که تا عمق 5 کیلومتری گمانه زنی شده است، باتوجه به نسبت ایزوتوپ‌های  $O_{16}/O_{18}$  به دست آمده و تا حدود زیادی قابل اطمینان است. طی این مدت نوسان‌های زیادی در غلظت آن وجود داشته است. در این چهارصد هزار سال، چهار بار غلظت  $CO_2$  تا حد 200 پی‌پی‌ام کاهش یافته و باز به مقدار اولیه خود که همان 280 پی‌پی‌ام قبل از صنعتی شدن بود، رسیده است. شکل 8-10 نوسانات غلظت  $CO_2$ ، متان و دما را از چهارصد هزار سال پیش تاکنون نشان می‌دهد. در این شکل نوسانات این سه عامل آن قدر

<sup>1</sup> - Maters

به هم نزدیک است که تفکیک آنها از یکدیگر تا حدودی مشکل است.

بین غلظت دی‌اکسید کربن، متان و دما رابطه‌ای مشخص، هم برای تغییرات طولانی‌مدت و هم تغییرات کوتاه‌مدت وجود دارد. همان‌طور که پیشتر اشاره شده است تغییرات چرخه میلانکوویچ که مربوط به الگوی مدار گردش زمین، تغییر محور و می‌باشد، در دوره‌های 100، 41، 23 و 19000 سال به وجود می‌آید. در شکل 2-10 تغییر در شاخص‌های مدار ملاحظه می‌شود. این تغییرات در بودجه تشعشعات خورشیدی اثر مستقیم دارد و در نتیجه بر میزان دما، زندگی موجودات به‌ویژه گیاهان و غلظت  $\text{CO}_2$  مؤثر است. ساده‌ترین مثال تأثیر آن بر غلظت  $\text{CO}_2$  تغییر دمای آب دریاهاست. هرچه آب دریا سردتر شود، مقدار بیشتری  $\text{CO}_2$  در آن حل می‌شود و غلظت  $\text{CO}_2$  در هوا کاهش می‌یابد و برعکس اگر گرم شود پیامد آن افزایش غلظت  $\text{CO}_2$  است. مدل نشان می‌دهد که فقط تغییر مدار چرخش نیست که در تغییر غلظت  $\text{CO}_2$  مؤثر است بلکه بعضی عوامل پس‌خور کاهنده یا افزایشنده نیز در آن مؤثرند. با وجود تغییرات زیادی که در غلظت دی‌اکسید کربن هوا به وجود آمده است، مقدار آن هرگز از 320 پی‌پی‌ام تجاوز نکرده است. اما طی سال‌های اخیر با دخالت انسان غلظت آن به 370 پی‌پی‌ام رسیده که بی‌سابقه است. مهم‌ترین دلیل افزایش، استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی است.



شکل 8-10- مثال داده‌های به‌دست آمده از کلاهک‌های یخی برای  $\text{CO}_2$  - متان و دما (2001) IPCC

مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده از سوخت‌های فسیلی رقم بسیار بزرگ 5/7 گیگاتن با منفی یا مثبت 0/5 گیگاتن در سال است.

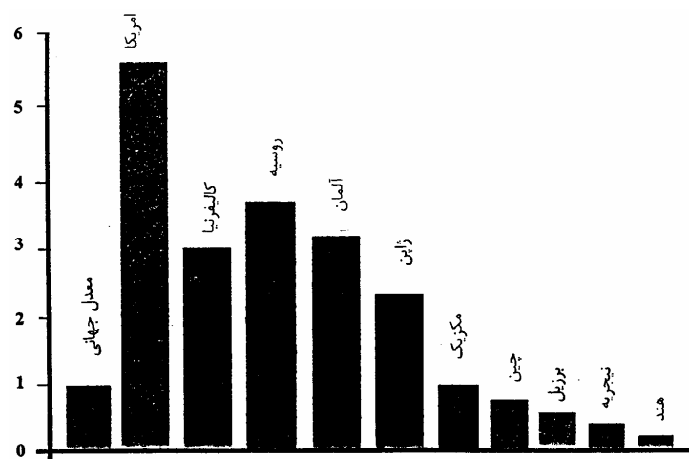
نوسان‌های دی‌اکسید کربن چه در دوره قبل از صنعتی شدن و چه در زمان حال به‌علت مبادله دائمی آن بین جو، آب و محیط بیولوژیکی<sup>1</sup> است. به‌نظر می‌رسد تا قبل از صنعتی شدن وضعیت توازن در این مبادله، با تغییرات کم وجود داشته است، ولی از زمان صنعتی شدن به‌بعد این توازن با دخالت انسان به‌هم خورده است.

در شکل 9-10 که با اقتباس از (تورکو، 2000)<sup>2</sup> تهیه شده است، با توجه به‌عدد یک برای میانگین سرانه جهان، سهم برابر میانگین برای چند کشور نشان داده شده است و به‌طوری‌که دیده می‌شود، بیشترین انتشار کربن به‌نفر در آمریکا و سپس روسیه و آلمان است. به‌غیر از کشورهای مکزیک، چین، برزیل، نیجریه و هند، بقیه کشورها چندین برابر میانگین جهان  $\text{CO}_2$  انتشار می‌دهند که در این میان سهم آمریکا حدود 5/7 برابر میانگین جهان است. به‌رحال از

<sup>1</sup> - Biota

<sup>2</sup> - Turco 2000

مجموع 6/3 گیگاتن کربنی که سالانه وارد جو می‌شود، 1/7 گیگاتن در اقیانوس‌ها و 1/4 گیگاتن در زمین جذب می‌شود و 3/2 گیگاتن خالص افزایش کربن در جو زمین (کالز، 2000)<sup>1</sup> ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و زیست توده است.



شکل 9-10- انتشار سرانه دی‌اکسید کربن در چند کشور باتوجه به‌واحد برای میانگین جهان (تورکو، 2000)

در جدول 2-10 مشروح انتشار جهانی CO<sub>2</sub> و عوامل حذف آن آمده است. گاز دی‌اکسید کربن به‌طور یکنواخت به‌وسیله تمام سوخت‌ها و بخش‌های مختلف پراکنده می‌شود و به‌همین علت کاهش آن بسیار مشکل است. دو چرخه گردش کربن بین هوا و زمین وجود دارد. در گردش اول که درازمدت است دی‌اکسید کربن خروجی از دهانه آتشفشان‌ها به‌طبقات بالاتر جو می‌رود و با قطرات باران به‌زمین برمی‌گردد. معمولاً pH باران تمیز با تأثیر CO<sub>2</sub>، 5/6 است. وقتی باران صخره‌های آتشفشانی را می‌شوید، آب محتوی یون بی‌کربنات جاری می‌شود و این بی‌کربنات در بستر دریاها رسوب می‌کند و سپس هرجایی که فعالیت آتشفشان CO<sub>2</sub> آزاد کند بی‌کربنات از ساختمان پوسته زمین جدا می‌شود. این چرخه حدود 100 میلیون سال طول می‌کشد. اما بدون این چرخه در نهایت CO<sub>2</sub> تحلیل می‌رود. چرخه دوم کوتاه‌مدت است که در آن ارگانیسم‌های زنده دخالت دارند. گیاهان خشکی و دریایی CO<sub>2</sub> را از هوا برای فتوسنتز خود جذب می‌کنند و کربن به‌صورت بخشی از ساختمان گیاه تثبیت می‌شود. این کربن خیلی

<sup>1</sup> - Colls 2000

آهسته در اثر تنفس به هوا برمی گردد و یا خیلی سریع در جنگل سوزی ها و یا در اثر سوزاندن زیست توده وارد هوا می شود. حیوانات نیز با خوردن مواد غذایی،  $\text{CO}_2$  را به صورت محصول جانبی به هوا برمی گردانند. بین آب دریا و هوا نیز مبادله  $\text{CO}_2$  بسیار زیاد است. در مجموع سه چهارم غلظت  $\text{CO}_2$  جو در اثر احتراق سوخت های فسیلی است و بقیه از تغییر کاربری زمین به ویژه نابودی جنگل هاست.

جدول 2-10- بودجه سالانه دی اکسید کربن در جهان

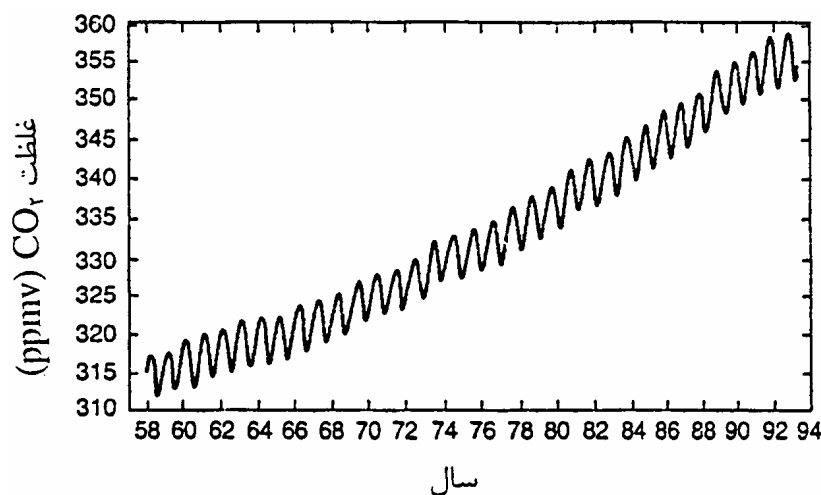
| سال / GTC | اجزاء                                        |
|-----------|----------------------------------------------|
| 6/3       | انتشار به جو از سوخت های فسیلی، سیمان و غیره |
| -1/7      | جذب از جو به اقیانوس ها                      |
| -1/4      | جذب از جو به زمین                            |
| 3/2       | خالص باقی مانده در جو                        |

کولز، 2002 پ 432<sup>1</sup>

اندازه گیری در مائونالوا<sup>2</sup> هاوایی که در شکل 10-10 آمده است نوسان های شدید سالانه به علت برداشت  $\text{CO}_2$  توسط گیاهان با تغییرات فصل و فتوسنتز را نشان می دهد و در عین حال همان طور که دیده می شود روند از سال 1958 تا 1994 افزایش داشته است.

<sup>1</sup>- Colls 2002 PP 432

<sup>2</sup>- Mauna Loa



شکل 10-10- دی اکسید کربن زمینه در مائونالوا از 1958 (منبع IPCC-1994)

نوع سوخت مصرفی و واکنش‌های شیمیایی انجام شده برای زغال سنگ، گاز طبیعی و مواد نفتی، آنتالپی‌های مختلفی دارند و توده متفاوتی از جرم  $\text{CO}_2$  را، نسبت به واحد انرژی در هوا انتشار می‌دهند. این مقادیر به ترتیب برای سوخت‌های بالا 112، 50 و 70 کیلوگرم برای هر کیلوژول است. همچنین شدت انتشار کربن با نوع مصرف نهایی انرژی نیز رابطه دارد (برای مثال حمل و نقل، برق، گرم کردن و سرد کردن محیط زندگی). به‌طور کلی مواد سوختی‌ای که در آنها نسبت هیدروژن به کربن بیشتر باشد،  $\text{CO}_2$  کمتری تولید می‌کنند، همان‌طور که اشاره شد گاز طبیعی با نسبت هیدروژن به کربن 4 به 1 از زغال سنگ که 100 درصد کربن است مقدار بسیار کمتری  $\text{CO}_2$  برای هر واحد انرژی تولید شده انتشار می‌دهد. منابع انرژی‌های نو مثل انرژی هسته‌ای، باد، خورشید و... به‌طور مستقیم گاز گلخانه‌ای وارد هوا نمی‌کنند ولی در کارخانه‌ای که تجهیزات لازم برای این قبیل نیروگاه‌ها می‌سازند مقداری گاز  $\text{CO}_2$  تولید و انتشار می‌دهند که در عمل قابل مقایسه با مصرف مستقیم سوخت‌های فسیلی نیست.

جدول 3-10 انتشار دی اکسید کربن را در انگلستان برای سال‌های 1970 و 1998 از منابع مختلف نشان داده و در ستون آخر نسبت هر منبع به کل سال 1998 داده شده است و در پایان جدول هم برحسب نوع سوخت مصرفی داده شده است. به‌طوری که دیده می‌شود تولید برق و حمل و نقل جاده‌ای و پس از آنها صنایع، از نظر انتشار  $\text{CO}_2$  در سال 1998 در صدر قرار دارند.



جدول 3-10- انتشار دی اکسید کربن از منابع مختلف در انگلستان (هزار گیگاگرم)

| منبع                     | انتشار (1970) | انتشار (1998) | درصد 1998 |
|--------------------------|---------------|---------------|-----------|
| سوخت برای تولید انرژی    | 57            | 41            | 27        |
| برق                      | 5/6           | 5/7           | 4         |
| پالایش نفت               | 8/2           | 5/8           | 4         |
| سایر مصرف سوخت           |               |               |           |
| مصارف سوخت تجاری و خانگی | 26/5          | 23/2          | 16        |
| مسکونی                   | 12/2          | 8/5           | 6         |
| تجاری و کشاورزی          |               |               |           |
| مصارف صنعتی              | 15/8          | 6/3           | 4         |
| تولید آهن و فولاد        | 32/5          | 16/9          | 11        |
| سایر صنایع               | 4/9           | 3/6           | 2         |
| فرایندهای تولید          | 0/1           | 0/2           | 0         |
| استخراج و توزیع          | 16/3          | 31/5          | 21        |
| سوخت‌های فسیلی           | 5/6           | 4/4           | 2         |
| حمل و نقل جاده‌ای و غیره |               |               |           |
| برحسب نوع سوخت           |               |               |           |
| خانه                     | 90/3          | 34/2          | 24        |
| نفت                      | 70/7          | 52/3          | 35        |
| گاز                      | 20/3          | 57/0          | 38        |
| غیر سوخت                 | 4/0           | 5/0           | 3         |
| جمع                      | 185           | 149           | 100       |

مجموع انتشار دی اکسید کربن ایران که در سال 1994 برآورد شده است از خلاصه گزارش دفتر تغییر اقلیم سازمان حفاظت محیط زیست در سال 1381 اقتباس شده است که در جدول 4-10 ملاحظه خواهد شد. در ضمن در این گزارش اولیه برآورد سایر گازهای گلخانه‌ای نیز آماده است که در جای خود خواهد آمد. باتوجه به این گزارش مجموع  $\text{CO}_2$  منتشره از بخش‌های مختلف معادل 342062 گیگاگرم برآورد شده است که با رقم برآورد انگلستان در 1998 که حدود 149000 گیگاگرم است برآوردی دور از واقعیت به نظر می‌رسد. در این برآورد سهم بخش انرژی 84 درصد، صنعت و جنگل به نسبت 7 و 9 درصد ذکر شده است.

در جدول 5-10 کشور ایران از نظر مصرف سرانه انتشار دی اکسید کربن با چند کشور

جدول 4-10- خلاصه‌ای از انتشار  $\text{CO}_2$  در بخش‌های مختلف ایران به هزار تن (انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست زمستان، 1381)

|                                                                                     |         |         |       |       |        |       |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-------|-------|--------|-------|-----------------------------------------|
| 1- انرژی                                                                            |         |         |       |       |        |       | 285891/3                                |
| تبدیل انرژی برق صنعت حمل و نقل خانگی- تجاری کشاورزی سایر بخش‌ها                     |         |         |       |       |        |       | انتشارات مواد فرار تهویه و شعله مشعل‌ها |
|                                                                                     |         |         |       |       |        |       |                                         |
| 63197/2                                                                             | 48179/3 | 58709/8 | 66512 | 12689 | 5067   | 31537 |                                         |
| 2- صنعت                                                                             |         |         |       |       |        |       | 24754                                   |
| صنعت معدن صنایع شیمیایی صنایع فلزی سایر                                             |         |         |       |       |        |       |                                         |
| 10161                                                                               | 1857    | 12736   |       |       |        |       |                                         |
| 3- جنگل                                                                             |         |         |       |       |        |       | 31416/83                                |
| تغییرات در سطح جنگل و تولید چوب تغییر کاربری جنگل و مراتع آزادسازی اراضی تحت مدیریت |         |         |       |       |        |       |                                         |
| 19517/1                                                                             | 12375/5 |         |       |       | -475/7 |       |                                         |
| جمع کل انتشار CO <sub>2</sub>                                                       |         |         |       |       |        |       | 342062/2                                |

جدول 5-10- انتشار CO<sub>2</sub> به نفر و تولید ناخالص ملی

| کشور      | تن CO <sub>2</sub> به نفر | تن CO <sub>2</sub> به 1000 دلار آمریکا |
|-----------|---------------------------|----------------------------------------|
| مالزی     | 4/84                      | 2/33                                   |
| ایران     | 5/96                      | 3/7                                    |
| ژاپن      | 9/62                      | 0/26                                   |
| آمریکا    | 19/42                     | 0/83                                   |
| قزاقستان  | 11/09                     | 4/55                                   |
| آذربایجان | 4/41                      | 5/56                                   |

( گزارش سازمان حفاظت محیط زیست)

همان گونه که دیده می شود نیروگاه های فسیلی مهم ترین منبع انتشار CO<sub>2</sub> هستند. به همین علت به چند مورد آمار مربوط به انتشار سوخت های مختلف که برای تولید انرژی الکتریکی در آمریکا مصرف می شود اشاره می شود و مقایسه ای بین انتشارات سال های 1998 و 1999 در جدول های 6-10 تا 7-10 و 8-10 به عمل می آید. در پایان به عوامل مؤثر در انتشار میزان CO<sub>2</sub> اشاره خواهد شد.

جدول 6-10- دی اکسید کربن ناشی از تولید برق آمریکا در سال های 1998 و 1999 بر حسب 1000 تن

| 1999     |        |        |         |         | 1998     |        |        |         |         |
|----------|--------|--------|---------|---------|----------|--------|--------|---------|---------|
| سایر (1) | گاز    | نفت    | ذغال    | مجموع   | سایر (1) | گاز    | نفت    | ذغال    | مجموع   |
| 13596    | 337004 | 106294 | 1787910 | 2244804 | 13596    | 291236 | 110244 | 1799762 | 2214837 |

(1) سایر شامل زباله های شهری، لاستیک خودرو است که برای تولید برق سوزانده می شوند.

جدول 7-10- تولید برق توسط نیروگاه های آمریکا بر حسب سوخت های مختلف (درصد)

| 1999   |          |      |     |      | 1998   |          |      |     |      |
|--------|----------|------|-----|------|--------|----------|------|-----|------|
| نو (2) | سایر (1) | گاز  | نفت | ذغال | نو (2) | سایر (1) | گاز  | نفت | ذغال |
| 30     | 0/6      | 15/2 | 3/2 | 51   | 30/6   | 0/6      | 13/5 | 3/5 | 51/8 |

(1) سایر: شامل زباله های شهر - لاستیک و غیره

(2) نو: نیروگاه های هسته ای، برق آبی، باد و زمین گرمایی

جدول 8-10- برآورد انتشار دی اکسید کربن به واحد برق در نیروگاه‌های آمریکا  
(کیلوگرم به کیلووات ساعت)

| سال  | جمع | ذغال | نفت | گاز | سایر |
|------|-----|------|-----|-----|------|
| 1998 | 613 | 961  | 869 | 597 | 625  |
| 1999 | 609 | 951  | 894 | 600 | 625  |

اقتباس و تغییر مقیاس از منبع شماره 5 از 2-14

### مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتشار CO<sub>2</sub> در صنعت برق

این عوامل عبارتند از:

- رشد تقاضای برق؛
- منبع انرژی مصرفی؛
- بازدهی نیروگاه‌ها؛
- عواملی هم وجود دارند که بر ضرایب عوامل اولیه تأثیر گذارند که عبارتند از:
- رشد اقتصادی؛
- قیمت برق؛
- مقدار برق وارداتی یا صادراتی؛
- وضعیت جوی؛
- قیمت سوخت؛
- میزان برق تولیدی از منابع غیرفسیلی (انرژی‌های نو)؛
- رعایت قوانین و مقررات زیست‌محیطی؛
- میزان استفاده از فناوری‌های پیشرفته (چرخه ترکیبی گازی - بخاری و چرخه ترکیبی حرارت - نیرو)؛
- تغییرات سالانه انتشار خالص CO<sub>2</sub> نتیجه تأثیر مثبت و منفی این عوامل است.

### نتیجه

برای انتشار CO<sub>2</sub> از نیروگاه‌ها و سایر صنایع استاندارد وجود ندارد. به همین علت اجباری در کنترل مقرر نشده است. روش‌هایی برای کنترل CO<sub>2</sub> پیشنهاد شده که به علت گرانی هنوز عملی نشده‌اند، ولی برای کاهش این گاز توصیه‌هایی وجود دارد. مصرف بهینه سوخت و انرژی، کاهش مصرف برق با استفاده از تجهیزات برقی کم‌مصرف، کاهش مصرف انرژی اعم از گرمایش یا سرمایش در ساختمان‌ها با به کارگیری مصالح ساختمانی مناسب، استفاده بیشتر از

نیروگاه‌های غیرفسیلی و سرانجام توسعه فناوری‌های پیشرفته در تولید برق (چرخه ترکیبی گازی - بخاری و چرخه ترکیبی حرارتی - نیرو) که در مجموع CDM<sup>1</sup> نام دارند، می‌تواند تولید و انتشار CO<sub>2</sub> را تا حد زیادی کاهش دهد.

## متان

فرایندهای بی‌هوازی از عوامل مهم تولید و انتشار گاز متان در طبیعت است، فساد باکتریایی در مرداب‌ها از جمله منابع طبیعی انتشار متان است. از طرف دیگر انسان نیز با فعالیت‌هایی مثل ایجاد شالیزارها، دامداری و استفاده از گاز طبیعی برای مصارف سوخت و تولید انرژی، مقدار زیادی گاز متان وارد هوا می‌کند. تخمیر علوفه در معده نشخوارکنندگان و فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی در شالیزارها و نیز در محل‌های دفن بهداشتی زباله‌ها به تولید گاز متان منجر می‌شود.

متان در نهایت در جو به CO<sub>2</sub> که خود نیز گاز گلخانه‌ای است اکسید می‌شود. از آنجاکه در این فرایند رادیکال OH دخالت دارد، می‌توان نتیجه گرفت که متان در فرایند نورشیمی و تولید اوزن تروپوسفری مؤثر است. اگر اکسیداسیون در حضور NO<sub>x</sub> با غلظت زیاد اتفاق افتد، اوزن تولید می‌شود و اگر غلظت NO<sub>x</sub> کم باشد اوزن مصرف می‌شود.

میزان کاهش متان جو به علت واکنش با OH هوا  $CH_4 + OH \rightarrow CH_3 + H_2O$  حدود 500 میلیون تن در سال است. بدین ترتیب خالص افزایش متان جو در حدود 15 میلیون تن در سال است. جدول 9-10 با اقتباس از کالز، 2002 انتشار جهانی متان را از منابع مختلف نشان می‌دهد. مطالعه یخ‌های قطبی نوسانات متان را از گذشته‌های بسیار دور ثبت کرده است. (مراجعه مجدد به شکل 8-10). همان‌طور که ملاحظه می‌شود تغییرات جهانی متان تا قبل از صنعتی شدن با تغییرات دی‌اکسید کربن شباهت زیادی دارد. غلظت متان تا سال‌های قبل از صنعتی شدن، 1750 پی‌پی‌بی بوده است (شکل 11-10).

داده‌های اخیر نشان می‌دهد که سرعت افزایش متان تقریباً کاهش یافته است، به‌طوری‌که از 20 پی‌پی‌بی در سال 1975 به مقدار کمی در حال حاضر رسیده است. علت و مقدار دقیق این کاهش هنوز شناخته نشده است شاید علت آشفته‌گی‌های موقتی مانند فوران کوه پنتاتوبو<sup>2</sup> باشد.

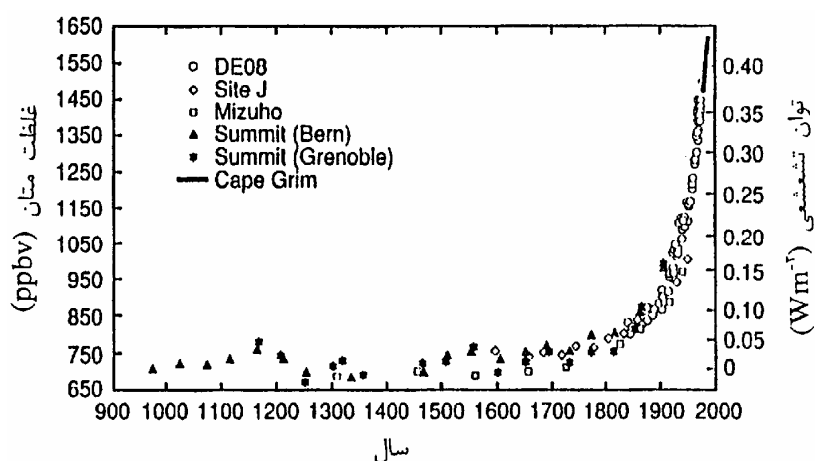
---

<sup>1</sup> - Clean development mechanism

<sup>2</sup> - Mt Pintatubo

جدول 9-10- انتشار جهانی متان (میلیون تن در سال)

| طبیعی         | انسانی (بیوسفر)               | انسانی (سوخت‌های فسیلی)         |
|---------------|-------------------------------|---------------------------------|
| مرداب 100-200 | تخمیر در معده                 | گاز طبیعی - 40                  |
| موریانه 20    | نشخوارکنندگان - 100           | معادن زغال سنگ - 20             |
| دریا 10       | شالیزارها - 60                | سوخت زغال سنگ و فراوری نفت - 25 |
| سایر 15       | سوزاندن زیست توده - 40        |                                 |
| 0             | دفن زباله‌ها و فاضلاب‌ها - 90 |                                 |
| جمع 145 - 245 | جمع - 290                     | جمع - 100                       |



شکل 11-10- غلظت متان از سال 1000 تا 2000 جمع‌بندی شده از اندازه‌گیری در یخ‌ها و جو (Ipcc 1994)

هاروی<sup>1</sup> انتشار متان از منابع مختلف جهانی را برحسب تریلیون گرم داده است که برای مقایسه با جدول 9-10 در جدول 10-10 به صورت میلیون تن ارائه شده است.

<sup>1</sup> - Harvey

جدول 10-10- برآورد انتشار متان از منابع مختلف انسانی به میلیون تن (از Prather 1995)  
(etal)

| منبع                     | انتشار | منبع              | انتشار  |
|--------------------------|--------|-------------------|---------|
| معادن زغال سنگ           | 45-15  | تصفیه فاضلاب      | 80-15   |
| سوخت زغال                | 30-1   | دفن زباله         | 70-20   |
| استخراج نفت              | 30-5   | حیوانات اهلی      | 100-65  |
| استخراج و مصرف گاز طبیعی | 50-25  | ضایعات حیوانی     | 30-20   |
| جمع فسیل                 | 155-45 | شالیزارها         | 100-20  |
|                          |        | سوزاندن زیست توده | 80-20   |
|                          |        | جمع               | 460-160 |

در برآوردهای مختلف همیشه اختلافاتی وجود دارد، زیرا بسیاری از منابع انتشار یا از قلم می‌افتند یا به علت پیچیدگی، برآورد آنها در حد قابل قبول نیست. برای مثال در سیاهه انتشار نفت و گاز باید انتشار از مشعل‌ها، گاز نسوخته، نشتی در مراحل نگهداری، خروجی از توربین‌های گاز، خروجی از دودکش‌ها و تهویه مخازن و... با روش‌های خاص خود به حساب آورده شود تا بتوان برآورد نزدیک‌تر به واقعیت را به دست آورد. در مورد گازی که از مشعل پالایشگاه‌ها منتشر می‌شود، باید مقدار گاز جریان یافته، سامانه احتراق از نظر بازدهی و نسبت متان در گاز، همه با هم بررسی شوند تا مقدار متان نسوخته‌ای که وارد جو می‌شود برآورد گردد. در ضمن هر جاکه مناسب و مقدور باشد باید اندازه‌گیری مستقیم برای تأیید صحت برآوردها صورت گیرد.

در انگلیس بزرگ‌ترین منبع انتشار متان دامداری‌ها هستند. گاو و گوسفند از علوفه که مقدار زیادی کربوهیدرات دارند تغذیه می‌کنند، معده اول نشخوارکنندگان یک اتاقک تخمیر است که در آن باکتری‌ها، قارچ‌ها، پروتوزورها و مواد کربوهیدرات را می‌شکنند و تبدیل به مواد قابل هضم می‌کنند. باکتری‌های سیرابی با شکست علوفه گاز متان را به صورت ماده زاید در می‌آورند که با آروغ زدن وارد هوا می‌شود. یک گاو در سال 70 کیلوگرم و یک گوسفند 8 کیلوگرم متان وارد فضا می‌کند. به طور کلی گاو و گوسفند به ترتیب 70 و 20 درصد از متان تولیدی حیوانات را منتشر می‌کنند. هر گاو و گوسفند به ترتیب 15 و 1/2 تن کود حیوانی تولید می‌کنند که در کشتزارها به کار برده می‌شود. در ضمن سالانه 112 کیلو تن متان از تجزیه غیرهوازی مواد زاید آلی تولید و منتشر می‌شود. دفن بهداشتی زباله‌ها دومین منبع مهم انتشار گاز متان در انگلیس است. حدود 85 درصد از زباله‌های خانگی انگلیس به صورت دفن بهداشتی

دفع می‌شود. اگر در دفن بهداشتی زباله‌ها پیش‌بینی‌های لازم صورت گیرد می‌توان گاز متان تولیدی را جمع‌آوری و بازیافت کرد. این گاز منبع مناسبی برای تولید انرژی است.

زغال سنگ و متان همیشه با هم هستند. هر تن زغال سنگ 20 مترمکعب متان به‌صورت گاز معدن (80 تا 85 درصد گاز معدن) وارد هوا می‌کند. از انباشت زغال هم مقداری متان منتشر می‌شود. زغال سنگ حاصل تخمیر بی‌هوازی مواد گیاهی باتلاق‌هاست. متان حاصل از تخمیر در لایه‌های شکاف‌های زغال محبوس مانده است. برخلاف CO<sub>2</sub> مقدار زیادی از متان معادن زغال سنگ و حتی میدان‌های نفتی را قبل از آنکه وارد هوا شود، می‌توان جمع‌آوری و از آن انرژی تولید کرد.

معادن زغال سنگ در روی زمین بصورت باز مقدار بیشتری متان نسبت به معادن اعماق زمین انتشار می‌دهند.

نشت گاز طبیعی در فرایند توزیع گاز انگلیس 382 کیلو تن برآورد شده است که این فقط 14 درصد از مجموع گاز متان را که در جدول 11-10 آمده است تشکیل می‌دهد و در ضمن فقط 1 درصد گاز مصرفی است که در 3 قسمت مشخص انتشار می‌یابد. 1) حدود 5500 کیلومتر خط لوله فشارقوی به‌قطر 1 متر و تحت فشار 7 تا 75 بار؛ 2) 12500 کیلومتر خطوط انتقال و توزیع منطقه‌ای در انگلیس وجود دارد. اتصالات اصلی عمده‌ترین منبع نشت گاز هستند، ولی از محل‌های دیگر هم نشت گاز زیاد است. 3) برآورد شده است که سالانه 3700 تن متان به‌علت 1 ثانیه تأخیر از زمان باز شدن شیر گاز اجاق‌های خانگی تا شعله ور شدن، گاز هدر می‌رود.

خوشبختانه اگر نشت گاز در منازل زیاد باشد، به‌علت بویی که دارد کشف می‌شود. مواد بودار کننده‌ای که به‌گاز اضافه می‌شود BE نام دارد و از 27 درصد دی‌اتیل سولفید<sup>1</sup>، 22 درصد ترشیاری بوتیل مرکاپتن<sup>2</sup> و 6 درصد اتیل مرکاپتن<sup>3</sup> تشکیل شده است. جدول 11-10 انتشار متان از منابع مختلف را در انگلیس نشان می‌دهد.

---

<sup>1</sup> - Diethyl Sulfide

<sup>2</sup> - Tertiary butyl mercaptan

<sup>3</sup> - Ethyl mercaptan



جدول 10-11- انتشار گاز متان برای سال‌های 1970 و 1998 بر حسب کیلوتن و درصد سهم منابع در سال 1998 در انگلستان

| منبع                                  | 1970 | 1998 | درصد 1998 |
|---------------------------------------|------|------|-----------|
| سوخت برای تولید انرژی                 | 4    | 23   | 0/9       |
| سوخت در مراکز خانگی - تجاری - کشاورزی | 329  | 39   | 1/5       |
| استخراج و توزیع                       | 3    | 3    | 0/11      |
| سوخت در حمل و نقل                     | 16   | 19   | 0/72      |
| مجموع مصرف سوخت                       | 352  | 84   | 3/2       |
| فرایندهای تولید                       | 46   | 8    | 0/3       |
| معادن زغال سنگ                        | 1540 | 236  | 10        |
| نشت گاز                               | 51   | 382  | 14        |
| حفر چاه در فلات قاره                  | 13   | 62   | 2/4       |
| دفن زباله                             | 762  | 774  | 29/5      |
| زباله دفن نشده                        | 32   | 57   | 2/2       |
| معدۀ حیوانات اهلی                     | 854  | 883  | 33/6      |
| کود حیوانی                            | 115  | 112  | 4/3       |
| جمع این گروه                          | 3451 | 2541 |           |
| جمع کل                                | 3767 | 2652 | 100       |

انستیتو ذخایر جهان (WRI)<sup>1</sup> برآورد گازهای گلخانه‌ای در 20 کشور مختلف جهان را برای CO<sub>2</sub> و متان داده است که برآورد کل متان منتشر در انگلستان با آنچه در جدول 10-11 آمده است نزدیک است. با توجه به اهمیت این برآورد کل برآورد WRI برای گازهای گلخانه‌ای CO<sub>2</sub> و متان در جدول 10-12 درج شده است.

<sup>1</sup> - World Resources Institute

جدول 10-12- فهرست ملی انتشار CO<sub>2</sub> برحسب میلیون تن CO<sub>2</sub>\* و CH<sub>4</sub> برحسب میلیون تن  
از WRI 1998، صفحه 59 کتاب هاروی

| انتشار<br>متان<br>CH <sub>4</sub> تن | سرايه CO <sub>2</sub><br>تن | انتشار CO <sub>2</sub> ميليون تن |                     |                    |            | کشور                 |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|------------|----------------------|
|                                      |                             | جمع                              | تغيير کاربری زمین   | توليدات<br>شیمیایی | سوخت فسیلی |                      |
| 6/24                                 | 23/5                        | 420                              | 130                 | 3                  | 286/8      | استرالیا             |
| ---                                  | 9/3                         | 1450                             | 1200 <sup>(a)</sup> | 12/7               | 236/5      | برزیل                |
| 3/51                                 | 14/8                        | 436                              | ---                 | 5/3                | 430/4      | کانادا               |
| 33/82                                | 2/7                         | 3200                             | 9                   | 222                | 2970/4     | چین                  |
| 2/83                                 | 5/3                         | 303                              | -37                 | 10/5               | 329/6      | فرانسه               |
| 5/2                                  | 10/-                        | 815                              | -20                 | 19/9               | 815/2      | آلمان                |
| ---                                  | 1/2                         | 1060                             | 150                 | 34/9               | 873/9      | هند                  |
| 1/32                                 | 8/3                         | 1037                             | -90                 | 45/1               | 1081/7     | ژاپن                 |
| 2/98                                 | 4/9                         | 447                              | 89                  | 11/9               | 345/9      | مکزیک                |
| 3/75                                 | 3/8                         | 750                              | 455 <sup>(a)</sup>  | 9/7                | 286/4      | اندونزی              |
| ---                                  | 3/8                         | 264                              | ---                 | 8/1                | 255/7      | ایران <sup>(b)</sup> |
| 3/91                                 | 6/6                         | 373                              | -37                 | 17/4               | 392/5      | ایتالیا              |
| ---                                  | 11/1                        | 257                              | ---                 | 1/3                | 255/7      | کره شمالی            |
| 2/47                                 | 8/8                         | 338                              | ---                 | 6/9                | 331/1      | لهستان               |
| 27/36                                | 8/3                         | 1230                             | -587                | 18/1               | 1799/9     | روسیه                |
| ---                                  | 7/4                         | 306                              | ---                 | 4/5                | 301/3      | کره جنوبی            |
| 9/46                                 | 7/5                         | 490                              | 52                  | 5/5                | 432/7      | اکراین               |
| 3/88                                 | 9/2                         | 536                              | -6                  | 6/2                | 535/9      | انگلیس               |
| 28/17                                | 18/5                        | 4936                             | -532                | 38/3               | 5430/2     | امریکا               |

\* مؤسسه جهانی ذخایر 1998

a برداشت از مایرز 1989

b ایران برآوردی انجام داده است که در جدول 10-13 خواهد آمد.

به طور کلی لوله کشی گاز 0/2 تا 5 درصد نشت گاز دارد (بک و همکاران، 1993)<sup>1</sup>  
نیروگاه های برق آبی هم مقدار زیادی گاز متان تولید و منتشر می کنند برآوردی محافظه کارانه  
نشان داده است که اثر گرمایش سدهای ساخته شده برای نیروگاه های برق آبی در آمزون  
برزیل چندین برابر نیروگاه های سوخت فسیلی که همان مقدار برق تولید می کنند، است  
(فیرساید، 1995)<sup>2</sup> و (روسا و شیفر، 1995)<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>- Beck et al 1993

<sup>2</sup>- Fearside 1995

<sup>3</sup>- Rosa and Shaefer 1995

چاه‌های نفت از دیگر منابع انتشار گاز طبیعی به‌شمار می‌آیند. در این چاه‌ها زمانی که نفت کاهش یابد گاز خارج می‌شود. در جریان استخراج و برداشت نفت نیز مقداری گاز متان همراه نفت وارد جو می‌شود. برای هر تن نفت استخراج شده بین 30 تا 300 مترمکعب گاز طبیعی تولید می‌شود. این گاز حدود 30 درصد تولید کلی نفت است که 25 درصد آن به‌علت کمبود تجهیزات جمع‌آوری و پالایش سوزانده می‌شود. به‌طور خلاصه متان موجب 30 درصد گرمایش زمین می‌شود. (استانیسلا و پاتین، 2003)<sup>1</sup>

جدول 10-13- انتشار گاز متان در بخش‌های مختلف ایران (هزار تن)

|                                        |             |            |         |                        |           |             |                                            |  |
|----------------------------------------|-------------|------------|---------|------------------------|-----------|-------------|--------------------------------------------|--|
| 1- انرژی                               |             |            |         |                        |           |             | 1559/11                                    |  |
| فرایندهای احتراقی                      |             |            |         |                        |           |             | 80/66                                      |  |
|                                        |             |            |         |                        |           |             | انتشار مواد فرار از استخراج و گازهای همراه |  |
| تبدیل انرژی                            | صنعت        | حمل و نقل  | ساختمان | کشاورزی                | زیست توده | سایر بخش‌ها | 1478/45                                    |  |
| 7/4                                    | 3/61        | 53/4       | 6/11    | 1/11                   | 8/7       | 0/7         |                                            |  |
| 2- صنعت                                |             |            |         |                        |           |             | 1/85                                       |  |
| صنایع معدنی                            |             |            |         |                        |           |             | صنایع شیمیایی                              |  |
|                                        |             |            |         |                        |           |             | 1/85                                       |  |
| 3- کشاورزی                             |             |            |         |                        |           |             | 633/09                                     |  |
| تخمیر امعایی                           | فضولات دامی | مزارع برنج | سوزاندن | بقایای محصولات کشاورزی |           |             |                                            |  |
| 496/77                                 | 19/51       | 114/49     | 12/32   |                        |           |             |                                            |  |
| 4- جنگل                                |             |            |         |                        |           |             | 97/6                                       |  |
| تغییر کاربری جنگل‌ها                   |             |            |         |                        |           |             | 97/6                                       |  |
| 5- ضایعات                              |             |            |         |                        |           |             | 326/7                                      |  |
| زباله شهری                             | فاضلاب شهری |            |         | فاضلاب صنعتی           |           |             |                                            |  |
| 297                                    | 3/36        |            |         | 26/35                  |           |             |                                            |  |
| کل گاز متان                            |             |            |         |                        |           |             | 2537/73                                    |  |
| انتشار معادل CO <sub>2</sub> (ضریب 21) |             |            |         |                        |           |             | 53297/37                                   |  |

منبع: نشریه سازمان حفاظت محیط زیست، 1981

برآورد متان را می‌تون از ضرایب انتشار به‌دست آورد. در جدول 10-14 ضرایب انتشار برای سوخت‌های فسیلی مختلف آورده شده است.

<sup>1</sup> - Stanislav and Patin 2003

جدول 14-10- ضرایب انتشار  $\text{CH}_4$  (منبع اصلی هاروی)

| ضریب انتشار $\text{CH}_4$<br>Kg/GJ | نوع سوخت      |
|------------------------------------|---------------|
| 0.13-0.53a                         | معدن زغال سنگ |
| 0.46-0.94b                         | زیرزمینی      |
| 0.12-0.13b                         | سطحی          |
| $\leq 0.03$ c,d                    | نفت           |
| 0.18-0.19 c,e,f                    | گاز طبیعی     |

a = براساس ضریب داده شده توسط بک و همکاران، 1993

b = از کیرچکسنر<sup>1</sup> و همکاران (1993)

c = از ادموندز<sup>2</sup> و بارنز<sup>3</sup>، 1990

d = انتشار از تهویه ضمن استخراج نفت

e = انستیتو تحقیقات گاز

f = این انتشار برای هر 1 درصد نشت گاز طبیعی از محل استخراج تا محل مصرف می باشد.

### اکسیدنیتروس $\text{N}_2\text{O}$ و تغییر اقلیم

اکسیدنیتروس با فرایندهای متعدد بیولوژیکی (نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون) در آب و خاک تولید و وارد هوا می شود. صنایع و احتراق سوخت های فسیلی نیز باتوجه به نوع فرایند و دمای احتراق مقداری  $\text{N}_2\text{O}$  تولید می کنند. در فرایند احتراق سوخت های فسیلی  $\text{NO}_x$  تولید می شود که به ویژه در خودروها با استفاده از کاتالیست آن را کنترل می کنند. با این کنترل هرچند  $\text{NO}_x$  کاهش زیادی دارد، ولی  $\text{N}_2\text{O}$  افزایش می یابد.

مقدار انتشار آن از خاک به استفاده از کودهای نیترا ته و آمونیم بستگی دارد. به هر حال خاک مهم ترین منبع انتشار اکسید نیتروس است. طبق برآوردها، حدود 50 تا 75 درصد اکسید نیتروس جو از خاک آزاد می شود. در جدول 10-15 برآورد انتشار جهانی  $\text{N}_2\text{O}$  از منابع مختلف برای سال 1995 ارائه شده است. باتوجه به پیچیده بودن تشکیل و حذف ترکیبات از ته عدم اطمینان این برآورد دارای ضریب 3 است. در ضمن (کالز، 2002) برآورد دیگری را هم ذکر کرده است که در جدول 10-15 ملاحظه می شود.

<sup>1</sup> - Kirchgessner

<sup>2</sup> - Edmonds

<sup>3</sup> - Barnes

جدول 10-15 - برآورد  $N_2O$  انسانی ساخت (Harvey 2000)

| منبع نیتروس اکساید      | انتشار: برحسب سال N/ تن میلیون تن |
|-------------------------|-----------------------------------|
| زمین‌های زیر کشت        | 1/8-5/3                           |
| سوزاندن زیست توده       | 0/2-1                             |
| منابع صنعتی             | 0/7-1/8                           |
| دام‌ها و محل تغذیه آنها | 0/2-0/5                           |
| جمع                     | 2/9-8/6                           |

جدول 10-16 - منابع جهانی  $N_2O$  (Colls 2002)

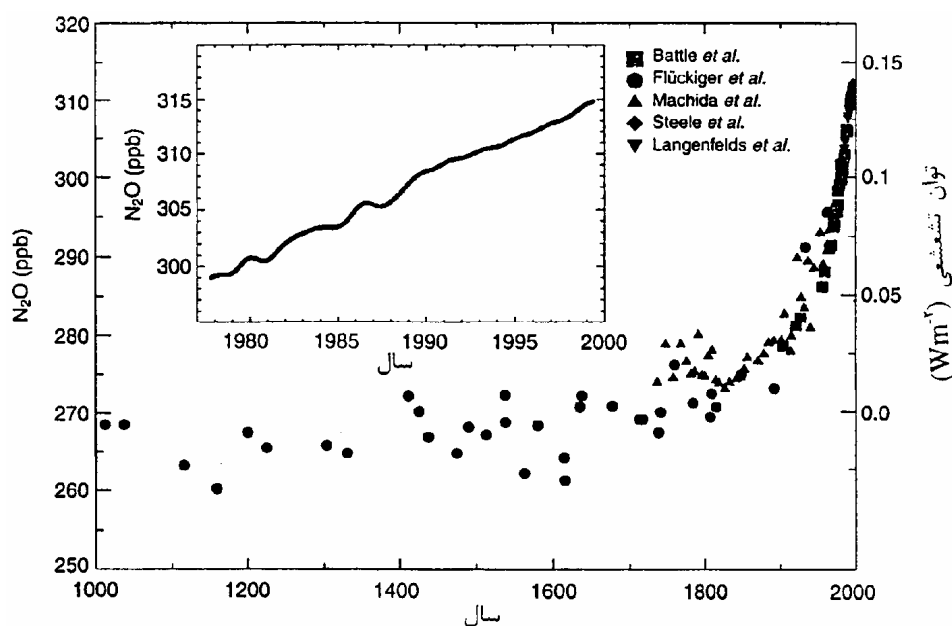
| منبع                 | تولید برحسب میلیون تن N در سال |
|----------------------|--------------------------------|
| خاک جنگل‌های گرمسیری | 4/2                            |
| خاک جنگل‌های معتدل   | 4/0                            |
| کاربرد کود           | 1/5                            |
| سوزاندن زیست توده    | 0/1                            |
| سوخت فسیلی           | 0/6                            |
| صنعت                 | 0/7                            |
| دریا                 | 2/0                            |

در جدول 10-15 منابع متفاوتی نسبت به آنچه در جدول 10-16 آمده است مشاهده می‌شود و برآوردها نیز تفاوت‌هایی دارد که آن‌هم به علت مشکلات و پیچیدگی برآورد است. برای مثال ازت موجود در خاک هم تبدیل به  $N_2O$  می‌شود و هم ممکن است  $N_2O$  در خاک از بین برود. به علت واکنش‌های متضاد و کمبود اطلاعات نمی‌توان آمار دقیقی از وضعیت انتشار  $N_2O$  تهیه کرد. آنچه بیشتر مورد قبول است این است که سرعت افزایش  $N_2O$  در جو نسبت به قبل از صنعتی شدن 150 درصد افزایش یافته است. در حال حاضر غلظت این گاز در هوا 310 قسمت در بلیون است که حدود 8 برابر قبل از صنعتی شدن است. (IPCC) دوام اکسید

نیتروس را حدود 150 سال و پتانسیل گرمایش جهانی آن را نیز 290 داده است که در جدول 10-18 ملاحظه خواهد شد.

عمده‌ترین سازوکار حذف آن شکست نوری در استراتوسفر است که باعث حذف حدود 10 میلیون تن در سال می‌شود. بدین ترتیب با توجه به ارقام جدول 10-15 سالانه 3 میلیون تن بر موجودی جو زمین افزوده می‌شود که معادل 0/8 پی‌پی‌بی است.

برای تثبیت  $N_2O$  در سطح فعلی کاهشی فوری، در حدود 70 تا 80 درصد مازاد قبل از صنعتی شدن لازم است. ولی باید توجه داشت که 80 درصد از مجموع  $N_2O$  از منابع طبیعی انتشار می‌یابد. شکل 10-12 غلظت اکسید نیتروس را از 1000 سال گذشته تا به حال نشان می‌دهد. اطلاعات این منحنی از هسته‌های یخی و اندازه‌گیری در جو به دست آمده است. گزارش‌ها در شکل آورده شده است.



شکل 10-12- غلظت  $N_2O$  از 1000 سال پیش (کالز، 2002)

در ایران دفتر تغییر اقلیم سازمان حفاظت محیط زیست در نشریه‌ای در سال 1381 برآوردی را از انتشار  $N_2O$  که مربوط به سال 1373 است، داده است که در جدول 10-17 ملاحظه می‌شود.

جدول 10-17- برآورد انتشار  $N_2O$  در ایران (سازمان حفاظت محیط زیست) (هزار تن)

|                                      |                 |           |                                |         |           |      |
|--------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------------------|---------|-----------|------|
| 1- انرژی                             | 8/79            |           |                                |         |           |      |
| فرایند احتراقی                       | 8/79            |           |                                |         |           |      |
| تبدیل انرژی                          | صنعت            | حمل و نقل | ساختمان                        | کشاورزی | زیست توده | سایر |
| 2/5                                  | 1/51            | 2/5       | 1/65                           | 0/35    | 0/16      | 0/12 |
| 2- صنعت                              | 2/2             |           |                                |         |           |      |
| صنایع شیمیایی                        | 2/2             |           |                                |         |           |      |
| 3- کشاورزی                           | 54/19           |           |                                |         |           |      |
| فضولات دامی                          | خاک‌های کشاورزی |           | سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی |         |           |      |
| 21/3                                 | 32/61           |           | 0/28                           |         |           |      |
| 4- جنگل                              | 0/049           |           |                                |         |           |      |
| تغییر کاربری جنگل و مراتع            | 0/049           |           |                                |         |           |      |
| ضایعات                               | 4/64            |           |                                |         |           |      |
| فاضلاب شهری                          | 4/64            |           |                                |         |           |      |
| کل انتشار N <sub>2</sub> O           | 69/86           |           |                                |         |           |      |
| کل معادل CO <sub>2</sub> با ضریب 310 | 21657/53        |           |                                |         |           |      |

### هالوکربن‌ها و تغییر اقلیم

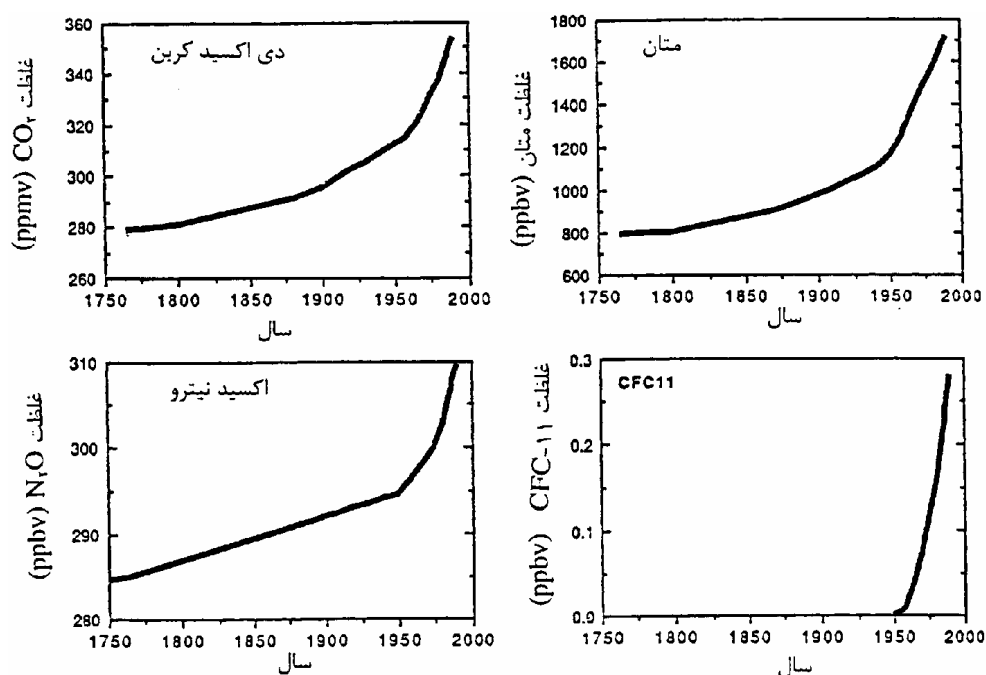
برخلاف  $CO_2$ ،  $CH_4$  و  $N_2O$  هالوکربن‌ها از یافته‌های جدید هستند و منبع انتشار طبیعی برای آنها شناخته نشده است. دست کم 12 گونه هالوکربن که در توازن تشعشعات زمین اهمیت دارند شناخته شده‌اند. در باره هالوکربن‌ها و مصارف متعدد آنها در نیازهای صنعتی و روزمره در فصل 9 بحث شده است. با وجود ویژگی‌های ارزنده آنها که در مصارف متعدد به دلیل اثر مخرب بر لایه اوزن استراتوسفری و همچنین پتانسیل تغییر اقلیم و برای حذفشان، پروتکل‌هایی تهیه شده است که مهم‌ترین آنها پروتکل مونترال است (ر. ک. بخش تخریب لایه اوزن).

هالوکربن‌ها اشعه فروسرخ را به‌طور مؤثری جذب می‌کنند، یعنی شدت فعالیت پرتوی آنها براساس هر مولکول بسیار زیاد است و برخلاف غلظت بسیار کم آنها (درحد قسمت در تریلیون) شدت تشعشعی زیادی دارند. یک مولکول CFC درجو بین 5 تا 10000 مرتبه مؤثرتر از  $CO_2$  اشعه با طول موج بلند را به‌دام می‌اندازد و به‌همین دلیل غلظت بسیار کم آنها، 20 درصد از تشعشع زمین در مناطق گرمسیری را جذب می‌کند. اثر خالص آنها در ارتفاعات کاهش می‌یابد، زیرا CFCها برای احیای اوزن که از طرفی خود نیز یک گاز گلخانه‌ای محسوب می‌شود، مصرف می‌شوند. دو گونه از هالوکربن‌های مهم و مؤثر در تغییر اقلیم CFC-11 و CFC-12 هستند. با

آنکه پروتکل مونترال طی یک برنامه زمان‌بندی شده ساخت و مصرف آنها را منع کرده است ولی طول عمر بسیار زیاد آنها موجب می‌شود که در قرن حاضر نیز درجو باقی بمانند. به‌طور خلاصه همان‌طور که در شکل 10-13 ملاحظه می‌شود گازهای  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  و CFC بعد از صنعتی شدن سیر صعودی داشته‌اند، در حالی که CFC ها بعد از جنگ جهانی دوم به آنها اضافه شده‌اند.

همان‌طور که اشاره شد اثر ترکیبات CFC به‌ویژه 11 و 12 هزاران بار بیش از دی‌اکسید کربن است، ولی غلظت ناچیز آنها در جو نسبت به غلظت  $\text{CO}_2$  موجب شده است که تأثیر آنها از نظر تغییر اقلیم کمتر از  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  باشد. در جدول‌های 10-18 و 10-19 به ترتیب ویژگی نسبی و اثر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش زمین آمده است.

بدین ترتیب با وجودی که هالوکربن‌ها از عوامل مهم گرمایش زمین محسوب می‌شوند، امید است با اجرای پروتکل مونترال توسط همه کشورهای متعهد و معرفی جانشین‌های مناسب برای رفع نیازهای صنعتی، بخشی از مشکل تغییر اقلیم و البته تخریب لایه اوزن برطرف شود.



شکل 10-13- خلاصه‌ای از تغییرات غلظت چهار گاز گلخانه‌ای اصلی ساخته دست انسان از 1750 تاکنون (IPCC 1990)



جدول 18-10- ویژگی نسبی گازهای گلخانه‌ای اصلی

| گاز              | طول عمر | فشار تشعشعی<br>نسبی به مولکول | فشار تشعشعی<br>نسبی به کیلوگرم<br>گاز | پتانسیل گرمایش جهانی<br>نسبت به CO <sub>2</sub> در 100<br>سال پس از 1 کیلوگرم<br>انتشار |
|------------------|---------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 120     | 1                             | 1                                     | 1                                                                                       |
| CH <sub>4</sub>  | 10      | 30                            | 58                                    | 11                                                                                      |
| N <sub>2</sub> O | 150     | 160                           | 206                                   | 290                                                                                     |
| CFC11,12         | 100     | -25000<br>21000               | 4000-5000                             | 5000                                                                                    |

جدول 19-10- تأثیر گازهای گلخانه‌ای در غلظت‌های مختلف بر شار انرژی جهان

| تاریخ                                                            | CO <sub>2</sub><br>ppm | CH <sub>4</sub><br>ppb | N <sub>2</sub> O<br>ppb | CFC11<br>ppt | CFC12<br>ppt | HCFC<br>ppt |
|------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1975                                                             | 279                    | 790                    | 285                     | 0            | 0            | 0           |
| 2000                                                             | 370                    | 1750                   | 310                     | 280          | 500          | 320         |
| افزایش شار گرما در اثر گاز بر حسب<br>وات بر متر مربع درصد مشارکت | 1/48<br>60             | 0/48<br>20             | 0/15<br>6               | 0/07<br>14   | 0/17<br>14   | 0/10        |

## پروتکل کیوتو<sup>1</sup>

در مورد کنوانسیون تغییرات اقلیم

### طرفهای متعهد این پروتکل

طرفهای متعهد کنوانسیون تغییر آب و هوای سازمان ملل متحد که من بعد تحت عنوان کنوانسیون نامیده خواهند شد، خواستار تحقق هدف نهایی کنوانسیون که در ماده 2 بیان شده. با در نظر گرفتن تمهیدات منظور شده در کنوانسیون با بهره جویی از راهنمایی تصریح شده در ماده 3 کنوانسیون متعاقب دستورالعمل برلین براساس تصمیم 1/CP.1 کنفرانس متعاهدین کنوانسیون در اولین جلسه خود در موارد زیر توافق کرده‌اند:

### ماده 1

به منظور دستیابی به اهداف پروتکل تعاریف ارائه شده در ماده 1 کنوانسیون باید به کار گرفته شوند. به علاوه:

1- "کنفرانس متعاهدین" به معنای کنفرانس طرفهای متعهد کنوانسیون می‌باشد.

2- "کنوانسیون" به معنای کنوانسیون تغییر آب و هوای سازمان ملل متحد که در May 1992 در نیویوک به تصویب رسید، می‌باشد.

3- هیأت بین الدول تغییر آب و هوا به معنای هیأت بین الدولی تغییر آب و هوا که در سال 1988 به طور مشترک با سازمان هواشناسی جهانی و برنامه زیست محیطی سازمان ملل متحد تشکیل شد، می‌باشد.

4- "پروتکل مونترال" به معنای پروتکل مونترال در مورد مواد کاهش دهنده لایه اوزن می‌باشد که در 16 سپتامبر 1987 در مونترال به تصویب رسید و متعاقباً تنظیم و اصلاح شد.

---

<sup>1</sup>- Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change Adopted, Kyoto-1998

پروتکل کیوتو از مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران جلد دوم (معاهدات بین المللی) صفحه های 404 تا 431 نقل شده است.

- 5- "طرف‌های حاضر و رأی‌دهنده" به معنای طرف‌های متعاقد حاضر و طرف‌هایی که رأی مثبت و منفی می‌دهند، می‌باشد.
- 6- "طرف متعاقد"، در صورتی که متن به شکل دیگری مشخص ننماید، به معنای طرف‌های متعاقد پروتکل می‌باشد.
- 7- "طرف‌های متعاقد در ضمیمه I" به معنای طرفی است که در ضمیمه I آمده و نیز در صورت اصلاح به طرفی که تحت ماده 4 پاراگراف 2(g) کنوانسیون مطلبی را متذکر می‌شود، اطلاق می‌گردد.

## ماده 2

1) هریک از طرف‌های متعاقد در ضمیمه 1 به منظور رسیدن به حد کمی انتشار و تعهدات مربوط به اعمال کاهش تحت ماده 3 و همچنین در جهت ارتقای توسعه پایدار باید:

a- سیاست‌ها و اقداماتی را به اجرا در آورند که مطابق با شرایط ملی آنها باشد مانند:

- i) افزایش کارایی انرژی مربوط به بخش‌های اقتصاد ملی
- ii) محافظت و همچنین افزایش چاهک‌ها و انبارهای گازهای گلخانه‌ای که در پروتکل مونترال کنترل نشده‌اند (باتوجه به تعهدات مربوط به موافقت نامه زیست محیطی بین المللی)، ارتقای فعالیت‌های پایدار مدیریت جنگل‌ها، جنگل کاری و ایجاد جنگل‌های جدید.
- iii) یا ارتقای اشکال پایدار فعالیت‌های کشاورزی مربوط به تغییر آب و هوا

iv) تحقیق، ارتقاء، توسعه و استفاده گسترده از انواع جدید و تجدیدپذیر انرژی و تکنولوژی‌های کنترل انتشار دی‌اکسید کربن و همچنین تکنولوژی‌های پیشرفته و جدید بی خطر برای محیط زیست.

v) کاهش تدریجی یا حذف نقایص بازار، انگیزه‌های مالی، معافیت‌های مالیاتی و یارانه‌های مالی در تمام بخش‌های انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای که در تضاد با اهداف کنوانسیون و اجرا مکانیزم‌های بازار هستند.

vi) حمایت از اصلاحات مناسب در بخش‌های مرتبط، با هدف ارتقای سیاست‌ها و اقداماتی که نشر گازهای گلخانه‌ای را که در پروتکل

مونترال کنترل نشده، کاهش دهند یا محدود می‌نمایند.

vii اقداماتی که در بخش حمل و نقل به‌منظور محدود کردن و یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای که در پروتکل مونترال کنترل نشده صورت می‌گیرد.

viii محدود کردن و یا کاهش انتشار گاز متان از طریق بهبود بکارگیری مدیریت مواد زاید و همین‌طور تولید، انتقال و توزیع انرژی. b - با سایر طرف‌های متعاقد در جهت افزایش کارایی فردی یا مشترک سیاست‌ها و اقدامات تصویب شده در این ماده متعاقب ماده 4 پاراگراف (e) (i) 2 کنوانسیون همکاری کنند. به‌این‌منظور طرف‌های متعاقد باید برای مشارکت در تجربیات و تبادل اطلاعات در مورد چنین سیاست‌ها و اقداماتی گام بردارند که شامل روش‌های پیشرفته‌ای برای بهبود مقایسه، شفافیت و کارایی آنها باشد. کنفرانس متعاهدین که به‌عنوان اجلاس متعاهدین این پروتکل فعالیت می‌کند باید در اولین جلسه یا به‌محض امکان اجرا در آینده راه‌های تسهیل این مشارکت را با در نظر گرفتن کلیه اطلاعات مربوطه فراهم کند.

2) طرف‌های متعاقد در ضمیمه I باید در صدد محدود کردن یا کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های هوایی و دریایی که در پروتکل مونترال کنترل نشده، باشند. این هدف از طریق کار با سازمان هوانوردی غیرنظامی بین‌المللی و سازمان دریایی بین‌المللی انجام می‌شود.

3) طرف‌های متعاقد در ضمیمه I باید در جهت اجرای اقدامات و سیاست‌هایی که در این ماده ذکر شده تلاش کرده، به‌صورتی که اثرات نامطلوب شامل اثرات نامطلوب تغییر آب و هوا، تأثیرات بر روابط بین‌الملل و تأثیرات اجتماعی، محیطی و اقتصادی بر سایر طرف‌های متعاقد خصوصاً کشورهای در حال توسعه و در حالت خاص کشورهای که در ماده 4 پاراگراف 8 و 9 کنوانسیون مشخص شده‌اند را باتوجه به‌ماده 3 کنوانسیون به‌حداقل برسانند. کنفرانس متعاهدین که به‌عنوان اجلاس متعاهدین این پروتکل فعالیت می‌کند، می‌تواند در صورت اقتضا برای اجرای بهتر تمهیدات این پاراگراف اقدامات بیشتری را معمول دارد.

4) چنانچه تشخیص داده شود که هماهنگ کردن سیاست‌ها و اقدامات مشروح در پاراگراف (a) 1 در بالا باتوجه به‌شرایط و تأثیرات بالقوه ملی متفاوت مفید خواهد بود، کنفرانس متعاهدین که به‌عنوان اجلاس متعاهدین این پروتکل فعالیت می‌کند باید راه‌ها

و وسایل لازم جهت هماهنگ کردن این اقدامات و سیاست‌ها را گسترش دهد.

### ماده 3

1- طرف‌های متعاقد در ضمیمه I به‌طور منفرد یا مشترک تعهد می‌کنند که کل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای معادل دی‌اکسید کربن ناشی از دخالت انسان در طبیعت لیست شده در ضمیمه A از مقدار تعیین شده برای آنها بالاتر نرود. این مقدار متعاقب حد کمی انتشار و تعهدات کاهش آنها که در ضمیمه B آمده و برطبق تمهیدات این ماده با دیدگاه کاهش انتشار این گازها در سطح جهان به‌میزان حداقل 5 درصد زیر میزان انتشار در سال 1990 در دوره سالی 2008 تا 2012 محاسبه می‌شود.

2- هریک از طرف‌های متعاقد در ضمیمه I باید تا سال 2005 در جهت رسیدن به تعهدات خود در این پروتکل پیشرفت قابل شرحی داشته باشند.

3- تغییرات خالص در انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع نشر و خروج آنها توسط چاهک‌ها که از تغییر به‌کارگیری زمین توسط دخالت مستقیم انسان و فعالیت‌های مربوط به جنگل‌ها (محدود به جنگل کاری، ایجاد جنگل مجدد و تخریب جنگل‌ها از سال 1990) ناشی می‌شود و به‌صورت تغییرات/اثبات پذیر موجودی کربن در هریک از دوره‌های تعهدنامه، اند/زه‌گیری شده باید در جهت اجرای تعهدات هریک از طرف‌های متعاقد در ضمیمه I در این ماده به‌کار گرفته شوند. انتشار گازهای گلخانه‌ای که توسط منابع مربوطه خارج می‌شوند به‌وسیله چاهک‌ها که با فعالیت‌های فوق ارتباط دارند باید به‌صورت شفاف و قابل اثبات گزارش شده و مطابق ماده‌های 7 و 8 مورد تجدیدنظر قرار گیرند.

4) کنفرانس متعاهدین که به‌عنوان اجلاس متعاهدین این پروتکل فعالیت می‌کند، در اولین نشست خود و به‌محض امکان پس از آن باید درباره الگوها، خط مشی و قواعد مربوط به این که چطور و کدامیک از فعالیت‌های انسانی مرتبط با تغییرات ایجادشده در خاک‌های کشاورزی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع نشر و جذب آنها توسط چاهک‌ها و تغییر به‌کارگیری زمین و طبقه‌بندی جنگل‌ها باید به‌مقدار مشخص شده برای طرف‌های متعاقد در ضمیمه I افزوده شود یا از آن کاسته شود، تصمیم‌گیری کند. در حالی که عدم قطعیت، شفافیت گزارش، قابلیت اثبات‌پذیری، کارهای متدولوژیک هیأت بین‌الدول تغییر آب و هوا، مشاوره ارائه‌شده توسط رکن فرعی مشاوره علمی و

فنی<sup>۱</sup> بر طبق ماده ۵ و تصمیمات کنفرانس متعاهدین را مدنظر قرار دهند. این گونه تصمیمات باید در دوره دوم یا دوره های بعدی تعهد به کار گرفته شود. هر طرف متعاهد می تواند تصمیمات مربوط به فعالیت های انسانی اضافی را در اولین دوره تعهد خود به کار بندد مشروط به این که این فعالیت ها از سال ۱۹۹۰ صورت پذیرفته باشد.

۵) طرف های متعاهد در ضمیمه I که در حال روند ایجاد تغییرات به سوی اقتصاد بازار هستند و سال یا دوره مبنای آنها در دومین نشست کنفرانس متعاهدین متعاقب تصمیم ۹/CP.2 مشخص شده باید همان سال یا دوره را برای اجرای تعهدات خود در این ماده تعیین کنند. دیگر طرف های متعاهد ضمیمه I که در حال روند ایجاد تغییرات به سوی اقتصاد بازار هستند و هنوز اولین گزارش ملی خود تحت ماده ۱۲ کنوانسیون را تسلیم نکرده اند، می توانند با اطلاع کنفرانس متعاهدین سال یا دوره مبنای تاریخی دیگری به جز سال ۱۹۹۰ را برای اجرای تعهدات مربوط به این ماده انتخاب کنند. کنفرانس متعاهدین که به عنوان اجلاس متعاهدین این پروتکل فعالیت می کنند در مورد قبول این اعلامیه تصمیم گیری خواهد کرد.

۶) باتوجه به ماده ۴ پاراگراف ۶ کنوانسیون، کنفرانس متعاهدین در اجرای تعهدات این پروتکل، علاوه بر موارد مذکور در این ماده باید تا حدودی قابلیت انعطاف را برای طرف های متعاهد در ضمیمه I که در حال روند ایجاد تغییرات به سمت اقتصاد بازار هستند، در نظر بگیرد.

۷) مقدار تعیین شده برای هریک از طرف های متعاهد در ضمیمه I در اولین دوره قرارداد مربوط به کاهش و محدودیت کمی انتشار، از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲، برابر با درصد مشخص شده در ضمیمه B، مربوط به کل انتشار گازهای گلخانه ای معادل CO<sub>2</sub> ناشی از دخالت انسان در طبیعت که در ضمیمه A لیست شده، در سال ۱۹۹۰ یا سال یا دوره مبنای که بر طبق پاراگراف ۵ در بالا مشخص شده ضرب در ۵ خواهد بود. برای محاسبه مقدار تعیین شده طرف های متعاهدی که در مورد آنها تغییر کاربری زمین و جنگل کاری منبع خالص انتشار گازهای گلخانه ای در سال ۱۹۹۰ می باشد، باید کل انتشار گازهای گلخانه ای معادل CO<sub>2</sub> ناشی از دخالت انسان در طبیعت منهای مقدار جذب شده به وسیله چاهک ها ناشی از تغییر کاربری زمین در سال ۱۹۹۰ را در سال یا دوره مبنای ۱۹۹۰ وارد کنند.

۸) هریک از طرف های متعاهد در ضمیمه I می توانند به منظور محاسبه آنچه در

---

<sup>۱</sup> - Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice

پاراگراف 7 اشاره شد، سال مبنای خود را در مورد هیدروفلوروکربن، پرفلوروکربن‌ها و هگزا فلورید سولفور سال 1995 قرار دهند.

(9) تعهدات مربوط به دوره‌های بعدی طرف‌های متعاقد در ضمیمه I باید در اصلاحات ضمیمه B پروتکل وارد شود که مطابق با تمهیدات ماده 21 پاراگراف 7 به تصویب خواهد رسید. کنفرانس متعاهدین باید ملاحظات مربوط به این تعهدات را حداقل 7 سال قبل از اتمام دوره اول قرارداد که در پاراگراف 1 به آن اشاره شده، آغاز کند.

(10) هر واحد کاهش نشر، یا هر بخش مقدار تعیین شده که یک طرف متعاقد از طرف دیگر بر طبق تمهیدات ماده 6 یا 17 کسب می‌کند، باید به مقدار تعیین شده طرف کسب کننده اضافه شود.

(11) هر واحد کاهش نشر، یا هر بخش مقدار تعیین شده که یک طرف متعاقد به طرف دیگر بر طبق تمهیدات ماده 6 یا 17 انتقال می‌دهد، باید از مقدار تعیین شده طرف انتقال دهنده کم شود.

(12) هر کاهش نشر تأیید شده که یک طرف متعاقد از طرف دیگر بر طبق تمهیدات ماده 12 کسب می‌کند باید به مقدار تعیین شده طرف کسب کننده اضافه شود.

(13) اگر میزان انتشار هریک از طرف‌های متعاقد در ضمیمه I در یکی از دوره‌های قرارداد کمتر از مقدار تعیین شده در این ماده باشد، این اختلاف می‌تواند به درخواست همان طرف متعاقد به مقدار تعیین شده آن طرف در دوره‌های بعدی قرارداد اضافه گردد.

(14) هریک از طرف‌های متعاقد در ضمیمه I باید تلاش کند که تعهدات اشاره شده در پاراگراف 1 فوق را به گونه‌ای اجرا کند که تأثیرات نامطلوب اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی بر روی کشورهای در حال توسعه خصوصاً کشورهایی که در ماده 4 پاراگراف 8 و 9 به آنها اشاره شده، حداقل باشد. مطابق تصمیم‌های کنفرانس متعاهدین در مورد اجرای این پاراگراف‌ها، این کنفرانس باید اقدامات لازم جهت حداقل کردن تأثیرات نامطلوب تغییر آب و هوا و یا تأثیر فعالیت‌های واکنشی بر روی طرف‌های متعاهدی که در پاراگراف‌های فوق به آنها اشاره شد، در اولین جلسه خود مورد توجه قرار دهد. در این میان موضوعاتی مثل تأمین اعتبارات مالی، بیمه و انتقال تکنولوژی را باید مورد توجه قرار داد.

## ماده 6

1) در جهت دستیابی به تعهدات مربوط به ماده 3 هریک از طرفهای متعاقد در ضمیمه I می‌تواند واحدهای کاهش میزان انتشار که از پروژه‌های (طرح‌های) کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وابسته به عوامل انسانی از منابع نشر یا افزایش مقدار جذب این گازها توسط چاهک‌ها از طریق انسان در هریک از بخش‌های اقتصاد به دست می‌آید را به اعضای دیگر انتقال داده یا از اعضای دیگر بگیرد.  
به شرط آنکه:

- a) هریک از این پروژه‌ها مورد توافق طرفهای متعاقد باشند.
  - b) هریک از این طرح‌ها، کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع یا افزایش در جذب آنها توسط چاهک‌ها فراهم کند که اضافه بر میزانی محسوب می‌شود که در غیراین صورت اتفاق می‌افتد.
  - c) در صورتی که این طرح‌ها الزامات ماده 6 و 7 را رعایت نکنند هیچ واحد کاهش انتشار را حاصل نمی‌کنند.
  - d) کسب واحدهای کاهش انتشار باید مکمل فعالیت‌های داخلی جهت رسیدن به تعهدات ماده 3 باشد.
- 2) کنفرانس متعاهدین که به عنوان اجلاس متعاهدین این پروتکل فعالیت می‌کند، می‌تواند در اولین جلسه یا در اولین فرصت بعد از آن، دستورالعمل مشروح و مفصلی برای اجرای این ماده شامل تأیید و گزارش آن را مشخص کند.
- 3) هریک از طرفهای متعاقد در ضمیمه I می‌تواند در محدوده مسئولیت‌های خود به افراد قانونی جهت شرکت در فعالیت‌هایی که منجر به ایجاد، انتقال و کسب واحدهای کاهش انتشار تحت این ماده می‌شود، اختیار دهد.
- 4) اگر یکی از طرفهای متعاقد در ضمیمه I در مورد اجرای شرایطی که در این ماده به آن اشاره شده، مطابق با تمهیدات مربوط به ماده 8 سؤالی مطرح کند، انتقال و به کارگیری واحدهای کاهش انتشار ممکن است تا بعد از این که سؤال مطرح شود ادامه یابد در شرایطی که هریک از واحدها امکان استفاده به وسیله یک عضو جهت رسیدن به تعهدات ماده 3 را نداشته باشد تا وقتی که موضوع موافقت حل و فصل شود.

\* (در اینجا از ذکر مواد 7 تا 11 صرف نظر شده است. در صورت نیاز به اصل پروتکل مراجعه شود).



## ماده 12

- 1) مکانیزم توسعه پاک به موجب این ماده تعریف می‌شود.
- 2) هدف از مکانیزم توسعه پاک کمک به طرف‌های متعاقد غیر از اعضای ضمیمه I جهت دستیابی به توسعه پایدار و هدف نهایی کنوانسیون و همچنین کمک به اعضای ضمیمه I برای رسیدن به توافق در زمینه محدودیت کمی انتشار مطابق ماده 3، می‌باشد.
- 3) به موجب مکانیزم توسعه پاک:
  - a) طرف‌های متعاهدی که مشمول ضمیمه I نیستند از فعالیت‌های پروژه که به کاهش‌های نشر تأیید شده منجر می‌شوند، بهره خواهند برد، و
  - b) طرف‌های متعاهدی که مشمول ضمیمه می‌باشند می‌توانند از کاهش‌های نشر تأیید شده که از چنین فعالیت‌های پروژه حاصل شده است استفاده کرده و آن کاهش‌ها را در میزان رعایت محدودیت کمی نشر و تعهدات کاهش نشر، تحت ماده 3 به صورتی که توسط کنفرانس متعاهدین معین گردیده است، ملحوظ نمایند.
- 4) مکانیزم توسعه پاک تحت اختیارات و راهنمایی کنفرانس متعاهدین که به عنوان اجلاس طرف‌های متعاقد این پروتکل انجام وظیفه می‌کند، قرار خواهند داشت و توسط یک هیأت اجرایی مکانیزم توسعه پاک نظارت بر آن صورت خواهد گرفت.



## تأثیرهای جهانی آلودگی هوا

"جو زمین در منطقه بیوسفر آن قدر سریع می‌چرخد و چنان کامل مخلوط می‌شود که دومین دمی که فرو می‌رود احتمالاً اتم‌های بازدمی حضرت عیسی مسیح در گستان را دارا می‌باشد و همچنین می‌تواند اتم‌های رادیواکتیو استرانسیم 90 و 131 انفجارات اتمی و گازهای دودکش‌ها و اگزوزهای خروجی خودروهای گوشه و کنار جهان را دارا باشد"<sup>379</sup>.

### اوزن و باران‌های اسیدی

#### مقدمه

در سال‌های اخیر در باره مسائلی مانند اکولوژی محیط زیست، لایه اوزن، تغییرات اقلیم و باران‌های اسیدی، که به‌طور عمده از انتشار جهانی آلودگی‌های هوا در مناطق مختلف جهان وارد جو می‌شوند و بنا به آنچه گفته شد به‌سرعت در لایه تروپوسفر مخلوط می‌گردند بحث شده و مطالب زیادی به‌صورت مقاله و کتاب به‌رشته تحریر درآمده است. بسیاری از مشکلات و تأثیرهای جهانی آلودگی هوا در دهه‌های قبل از 70 برای محققان روشن نشده بود و حتی در اوایل دهه 70 نیز در مورد لایه اوزن و گرمایش زمین دیدگاه‌های ضد و نقیضی وجود داشت، ولی با تجهیزاتی که سال‌های اخیر برای مطالعه به‌کار گرفته شده بسیاری از مجهولات روشن شده است، ولی با این حال هنوز هم برای شفاف کردن مسائل به‌مطالعه بسیاری نیاز است. در این فصل به‌طور نسبتاً مختصر به‌موضوع مهم آلودگی جهانی شامل لایه اوزن و باران اسیدی اشاره خواهد شد فصل دهم به‌بحث تغییر اقلیم اختصاص داده شده است. در پایان برای علاقه‌مندانی که بخواهند اطلاعات عمیق‌تری داشته باشند منابعی معرفی خواهد شد.

### تخریب لایه اوزن استراتوسفر

در سال 1974، شرود رولاند و ماریو مولینا<sup>380</sup> از دانشگاه کالیفرنیا ادعا کردند که مواد شیمیایی ساخت انسان که کلروفلوروکربن<sup>381</sup> (CFC) نامیده شده‌اند در لایه اوزن استراتوسفری تغییراتی را به‌وجود آورده‌اند. پژوهش‌های بعدی، نظریه این پژوهشگران را تأیید کرد. اکنون مشخص شده است اوزن استراتوسفری که زمین را از تشعشعات خطرناک فربانفش

<sup>379</sup> - Scientific American 1970 flow perkins  
<sup>380</sup> - Sherwood Rowland and Mario Molina  
<sup>381</sup> - Chlorofluoro Carbon

حفاظت می‌کند به علت فعالیت‌های انسان در حال نابودی است.

در سپتامبر 1987، پروتکل مونترال دربارهٔ مواد مخرب لایهٔ اوزن با هدایت برنامهٔ محیط زیست سازمان ملل (UNEP)<sup>۳۸۲</sup> به تأیید رسید و مواد مخرب لایهٔ اوزن مشخص شد و محدودیت‌هایی که باید از سال 1991 به اجرا درمی‌آمد، اعلام گردید. 71 کشور این پروتکل را پذیرفتند، در ضمن تصویب شد که برحسب نیاز، پروتکل روزآمد شود. در ژوئن 1990 طرف‌های متعهد در لندن گرد هم آمدند و تأیید کردند که تخریب لایهٔ اوزن بسیار سریع‌تر از آن چیزی است که تصور می‌شد. به همین علت در نشست لندن موافقت شد که تا سال 2000 تولید و مصرف CFCها و هالون‌ها متوقف شود و بعضی دیگر از مواد شیمیایی مورد کنترل قرار گیرند. امضا کنندگان پروتکل مونترال درحالی که هنوز جانشینی برای این ترکیبات تعیین نشده بود و حتی فناوری تولید آنها نیز معلوم نبود نسبت به حذف آنها توافق کردند. صنایع مصرف‌کننده CFCها شروع به استفاده از موادی کردند که کمتر مخرب‌اند، درحالی که اطلاعات کافی درمورد این جانشین‌ها هم در اختیارشان قرار نداشت.

در پروتکل لندن قرار شد یک صندوق کمک به کشورهای درحال توسعه با عنوان IMOF<sup>۳۸۳</sup> تأسیس شود و برنامهٔ محیط زیست ملل متحد مسئول آن باشد. مهم‌ترین مسئولیت سازمان ملل، اطلاع رسانی به کشورهای و واحدهایی بود که نیاز به کمک داشتند و به همین منظور برنامهٔ محیط زیست ملل متحد پنج نشریه با عنوان "از لایهٔ اوزن حفاظت کنیم"، منتشر کرد که عبارت بودند از مبردها- حلال‌ها - آتش خاموش‌کن‌ها- اسفنج‌ها- آئروسول‌ها و مواد مختلف. در این بخش خلاصه‌ای از آنچه در این نشریات آمده است و سایر خواص و تأثیرات لایهٔ اوزن از منابع مختلف مورد بحث قرار گرفته است.

## اوزن جو زمین

در لایهٔ استراتوسفر، اوزن به‌طور مداوم تولید می‌شود و از بین می‌رود. این روند تا زمانی که انسان دخالت نکند، در حالت تعادل قرار دارد و غلظت آن که حدود چندین قسمت در میلیون است ثابت باقی می‌ماند. اوزن استراتوسفریک 90 درصد از کل اوزن جو زمین را تشکیل می‌دهد و 10 درصد بقیه در لایهٔ مجاور زمین یعنی تروپوسفر قرار گرفته است. هرچند مقدار اوزن موجود در استراتوسفر ناچیز به نظر می‌رسد، ولی نقش عمده‌ای در جذب اشعهٔ مخرب حیات بیولوژیکی زمین دارد، زیرا اوزن قادر به جذب فوتون‌های پرنرژی اشعهٔ فرابنفش است. اگر تمام اشعهٔ مضر خورشید توسط زمین دریافت شود، به کلی با زندگی روی زمین ناسازگار است. آن مقدار از اشعهٔ فرابنفش که به زمین می‌رسد مفید است، زیرا دی‌هیدروکلسترول<sup>۳۸۴</sup> را تبدیل به ویتامین D<sub>3</sub> در پوست می‌کند. بنابراین در جلوگیری از ریکت<sup>۳۸۵</sup> مؤثر است. البته باید توجه داشت که از یک طرف مواجههٔ زیاد با اشعهٔ خورشید مضر است و از طرف دیگر اشعهٔ فرابنفش وارد شده به زمین که بیشتر از نوع A است، در واکنش‌های چرخهٔ فوتوشیمیایی مؤثر است.

امروزه با وجود مصرف زیاد کلروفلوروکربن‌ها تعادل غلظت اوزن در لایهٔ استراتوسفر از بین

382 - United Nation Environmental Program

383 - Interim Multilateral Ozone Fund

384 - Dihydrocholesterol

385 - Rickets

رفته است، به طوری که در سال 1985 کاهش اوزن در قاره منجمد جنوبی<sup>۳۸۶</sup> مشخص شد و در حال حاضر این کاهش در هر پنج قاره زمین محسوس شده است.

### اوزن استراتوسفر

شکل 1-9 میانگین تغییرات دما را نسبت به ارتفاع در لایه‌های مختلف جو زمین نشان می‌دهد. در تروپوسفر که از سطح زمین تا تقریباً 10 کیلومتری امتداد دارد، دما با ارتفاع کاهش می‌یابد و تا کمی بیش از 200 درجه کلوین در فصل مشترک استراتوسفر با تروپوسفر که تروپوپوز نامیده می‌شود، می‌رسد. از آنجا تا استراتوپوز که در 50 کیلومتری از سطح زمین قرار گرفته است، دما باز هم افزایش می‌یابد و به بیش از 270 درجه کلوین می‌رسد. این افزایش دما به علت وجود اوزن استراتوسفر است که قادر به جذب اشعه فرابنفش با طول موج 200 تا 300 نانومتر است. تشکیل لایه اوزن نیز در ارتفاع 25 کیلومتری از سطح زمین در اثر برخورد اشعه فرابنفش خورشید با مولکول‌های اکسیژن جو زمین صورت می‌گیرد. طول موج فوتون‌های فرابنفش 242 نانومتر است. بدین ترتیب این فوتون‌ها انرژی کافی برای شکستن مولکول‌های اکسیژن به دو اتم را دارند. رابطه (1-9)



این اتم‌ها سپس با مولکول‌های اکسیژن در حضور مولکول‌های خنثی (M) مثل ازت ترکیب می‌شوند و اوزن را به وجود می‌آورند.



میانگین غلظت اوزن در ارتفاع 15 کیلومتری 0/5 پی‌پی‌ام است و سپس تا 8 پی‌پی‌ام در ارتفاع 35 کیلومتری افزایش می‌یابد و از آن به بعد رو به کاهش می‌گذارد، به طوری که در ارتفاع 45 کیلومتری به 3 پی‌پی‌ام می‌رسد.

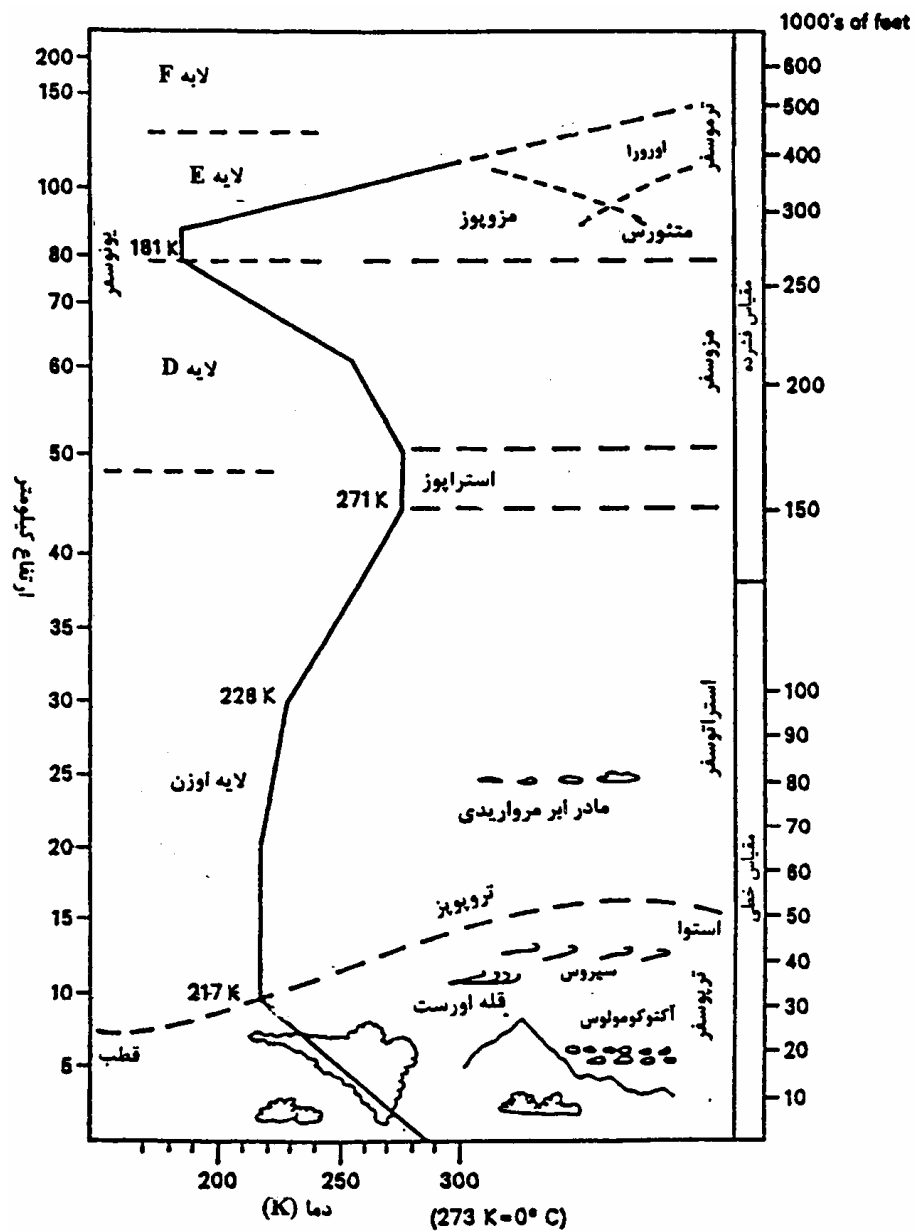
به غیر از واحد پی‌پی‌ام یک روش دیگر بیان غلظت اوزن وجود دارد که بر پایه عمق فیزیکی آن است و آن بدین صورت است که اگر کل اوزن استراتوسفر در دمای صفر درجه و فشار یک اتمسفر وجود داشت، قطر لایه چقدر می‌بود؟ این نوع اندازه‌گیری را واحد دابسون<sup>۳۸۷</sup> می‌نامند. دابسون دانشمندی بود که این واحد را پیشنهاد کرد.

هر واحد دابسون معادل 0/01 میلی‌متر اوزن است (گاهی میلی-اتم‌سفر - سانتیمتر هم بیان می‌شود). ضخامت لایه اوزن با این روش بین 300 تا 400 واحد دابسون است. قابل توجه است، ماده‌ای که قطر آن فقط چند میلی‌متر است، چنین اثر مهمی در پیدایش زندگی کره زمین داشته و دارد. معمول‌ترین روش اندازه‌گیری ستون اوزن اسپکتروفوتومتر دابسون<sup>۳۸۸</sup> است که اختلاف تحلیل رفتن اشعه فرابنفش را در عرض خطوط متمرکز در طیف 320 نانومتری اندازه می‌گیرد. ماهواره‌ها نیز تغییرات عمودی ستون اوزن را با استفاده از میزان اشعه فرابنفش بازتاب یافته از جو اندازه‌گیری می‌کنند.

<sup>386</sup> - Antratica

<sup>387</sup> - Dobson Unit

<sup>388</sup> - Dobson Spectrophotometer

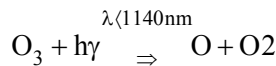


شکل 1-9- میانگین تغییرات عمودی دما

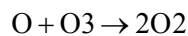
توجه شود که تا 40 کیلومتری از سطح زمین، مقیاس حسابی و پس از آن لگاریتمی است

بیشترین تولید اوزن در استراتوسفر گرمسیری است که چرخش نصف‌النهار آن را به طرف دو قطب منتقل می‌کند، به همین علت غلظت اوزن در قطب‌ها بیش از منطقه استوا است. این مقدار در ماه‌های مارس و آوریل در نیمکره شمالی و سپتامبر و اکتبر در نیمکره جنوبی بیشتر است.

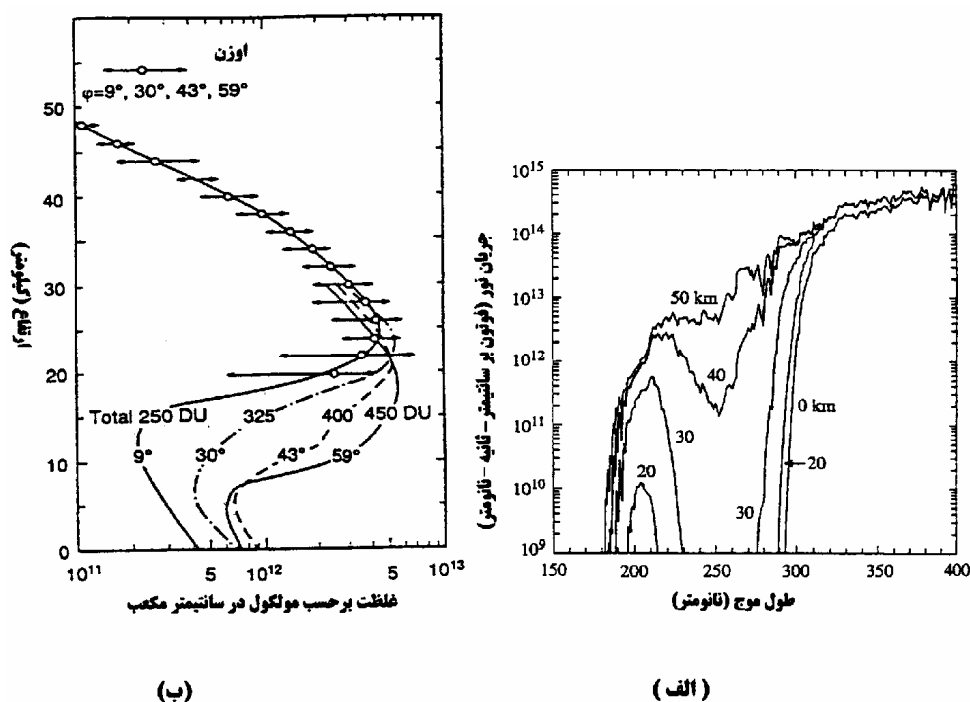
چندین قاعده طبیعی برای نابودی اوزن وجود دارد که نخستین آن تجزیه نوری<sup>۳۸۹</sup> و پیرو آن ترکیب با اکسیژن اتمی است.



9-3 و 9-4



دومین قاعده به واکنش‌های زنجیره‌ای پیچیده در حضور کاتالیست‌هایی چون HO, NO و CI مربوط است. در محیط پاک مقدار اوزن در هر ارتفاع ثابت است و به توازن بین تولید و تخریب آن بستگی دارد. ویژگی آن در جهت عمودی با نصف‌النهارها مربوط است که پروفیل آن در شکل 9-2 دیده می‌شود.

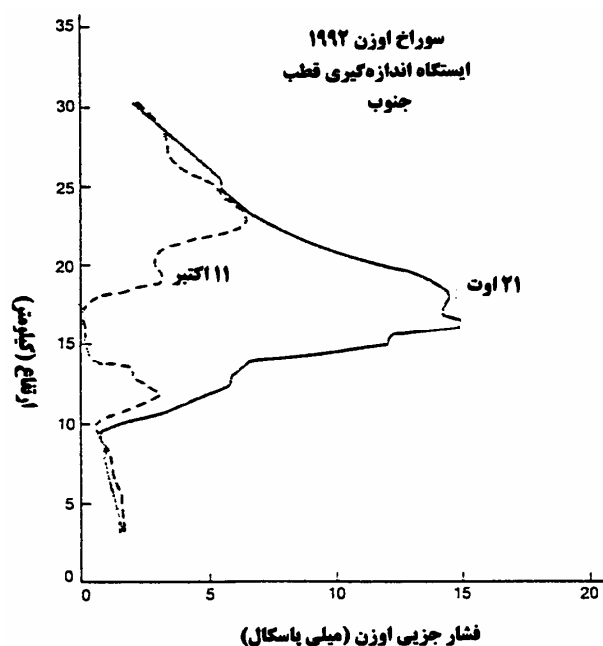


شکل 9-2- تغییرات اشعه فرابنفش نسبت به ارتفاع (کالز 2002) الف: فوتون به سانتیمتر مربع در طول موج‌های مختلف ب: مولکول در سانتیمتر مکعب و واحد دابسون (Colls 1997)

همچنان‌که در شکل دیده می‌شود غلظت‌ها از حدود 20 کیلومتری و قبل از آنکه در ارتفاع کم، واگرایی پیدا کند، یکنواخت است. در بیشتر مواقع سال غلظت اوزن در بالای قطب جنوب دارای پروفیل عمودی یکسانی است (شکل 9-3). در 21 اوت فشار جزئی اوزن از 1 میلی‌پاسکال در 10 کیلومتری شروع می‌شود و به 18 میلی‌پاسکال در 18 کیلومتری می‌رسد و از آنجا تا ارتفاع 30 کیلومتری کمی کاهش می‌یابد. در این شکل، همچنین شروع تغییرات این پروفیل در بهار نیمکره جنوبی، (اکتبر) هنگامی که اولین اشعه خورشید بعد از زمستان ظاهر می‌شود، ملاحظه می‌گردد. غلظت اوزن در تمام پروفیل کاهش می‌یابد و در جایی که حداکثر بوده است به صفر می‌رسد. با آنکه اولین بار این وضعیت در سال‌های 1980 دیده شد ولی مسلم شده که این روند از قبل وجود داشته است. داده‌های جمع‌آوری شده توسط پانل بررسی روند اوزن نشان می‌دهد که در سال 1960 کاهش لایه اوزن شروع شده و در دهه 90 شتاب یافته

است.

بنابر پژوهش ایستگاه هالی در قطب جنوب، افت اوزن از دهه 1950 آغاز شده است و از آن پس با شتاب ادامه یافته و هرگز نمودار افت صاف نشده است. به هر حال در سال 1993 ستون لایه اوزن قطب جنوب از 350 واحد دابسون به 90 واحد که پایین تر از مقدار ثبت شده است، رسید.



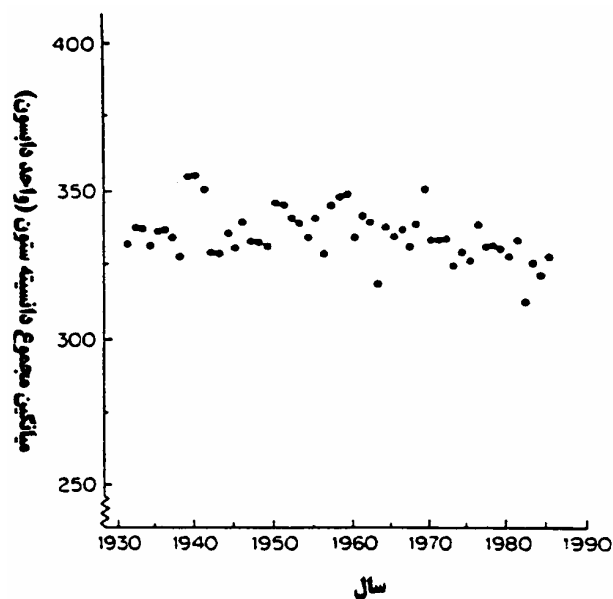
شکل 3-9- پروفیل عمودی فشار جزئی اوزن بر فراز قطب جنوب، خط پر پروفیل نرمال و نقطه چین بهار جنوب با شدت تخریب

سوراخ اوزن در قطب جنوب به علت گردش مشخص جو در این ناحیه است. در یک وضعیت هواشناسی خاص در زمستان و بهار توده هوای سرد جدا شده مستقر می شود (چرخش قطبی) که در آن اوزن نمی تواند از طبقات زیرین جو به آن راه یابد. به هر حال مشکل به قطب جنوب ختم نمی شود و در حال حاضر کاهش با مقدار کمتری در قطب شمال هم دیده می شود. در شکل 4-9 ستون کامل اوزن در آروزی سوئیس در فاصله بین 1930 تا 1986 دیده می شود که در آن روند نزولی آشکاری از سال 1960 به بعد وجود دارد. میانگین ستون اوزن در آمریکا که از 6 مکان شبکه اندازه گیری به دست آمده است، دست کم 280 واحد دابسون را در سال 1993 نشان می دهد و این در حالی است که قله تاریخی آن 365 دابسون در آوریل بوده است (شکل 5-9).

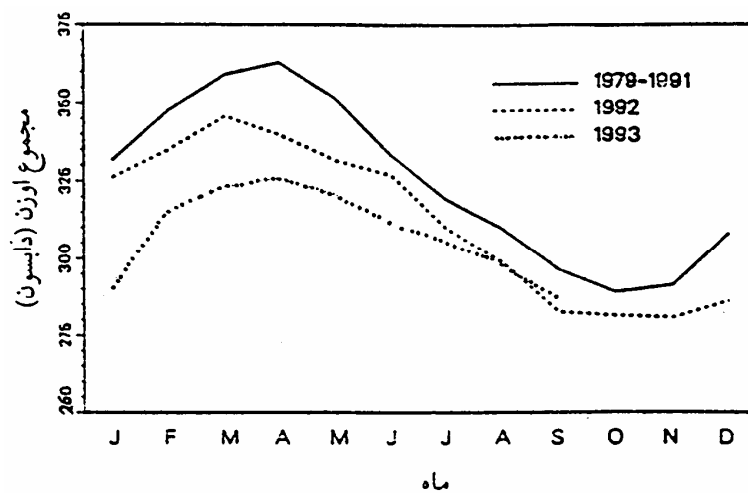
اندازه گیری در شبکه های اروپایی و آمریکای شمالی نیز مؤید این است که طی سال های 1960 تا 1988 با اندازه گیری های اسپکتروفتومتری دابسون در غلظت اوزن حدود 20 واحد کاهش وجود داشته است. در شکل 6-9 تغییرات ستون اوزن (OCD)<sup>391</sup> در فاصله بین 1980 تا 2050 (پیش بینی) دیده می شود.

<sup>391</sup> - OCD = Ozone Column Depths





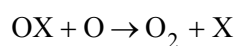
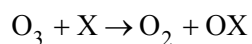
شکل 4-9- میانگین دانسیته ستون اوزن بر حسب واحد دابسون از 1930 تا 1990 بر فراز آروزا در سوئیس



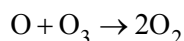
شکل 5-9- چرخه سالانه ستون اوزن بر فراز پنج ایستگاه پایش در آمریکا در سال های 1992 و 1993 و مقایسه آن با 12 سال قبل

### شیمی تخریبی

چرا کاهش اوزن در سال های اخیر اتفاق افتاده است؟ ترکیب اوزن با اتم آزاد اکسیژن تنها راه تخریب اوزن استراتوسفر نیست. اوزن طی واکنش های کاتالیستی با تعداد زیادی از ترکیبات دیگر هم نابود می شود. مهم ترین گروه رادیکال های آزاد اجزای  $\text{Cl}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{OH}$  و  $\text{Br}$  هستند. واکنش های زنجیره ای کاتالیستی عبارتند از رابطه های:

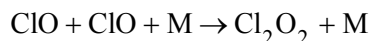
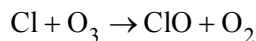


9-5 و 9-6 و 9-7

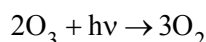
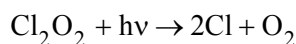


نتیجه کلی

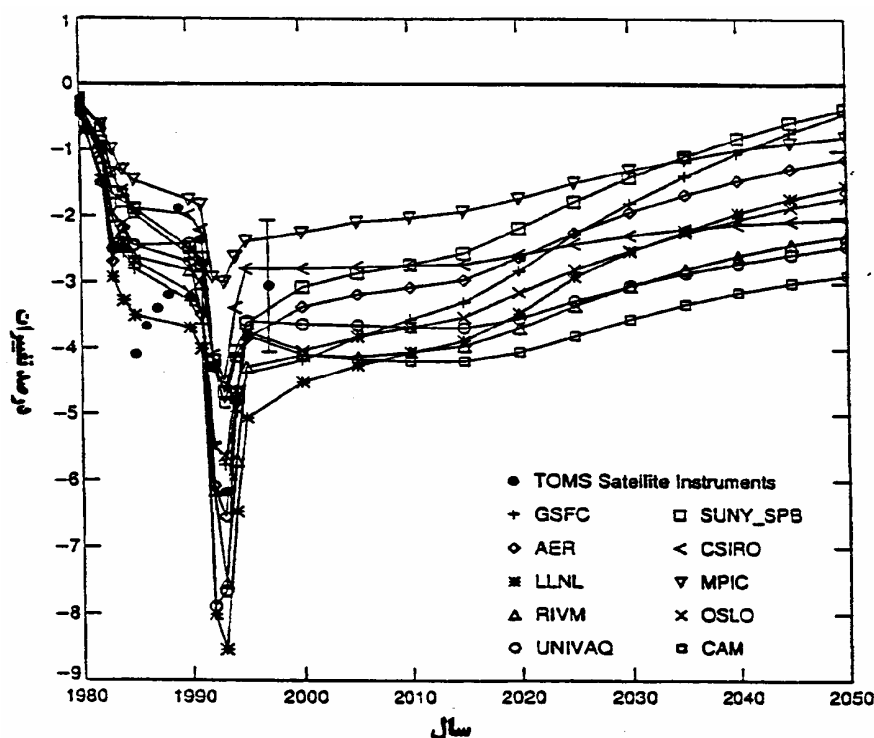
که در آن X همان کاتالیست است که هم اکسیژن‌های اتمی (که می‌توانستند تشکیل اوزن بدهند) و هم مولکول  $O_3$  را از بین می‌برد (روابط 9-8 تا 9-11).



9-8 و 9-9 و 9-10



9-11 نتیجه نهایی

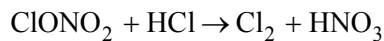


شکل 9-6- تغییرات در OCD از 1980 تا 2050

با آنکه این ترکیب‌ها غلظت بسیار کمی دارند، ولی طی واکنش‌ها باقی می‌مانند و در نتیجه یک کلر می‌تواند ده‌ها هزاران مولکول اوزن را نابود کند.

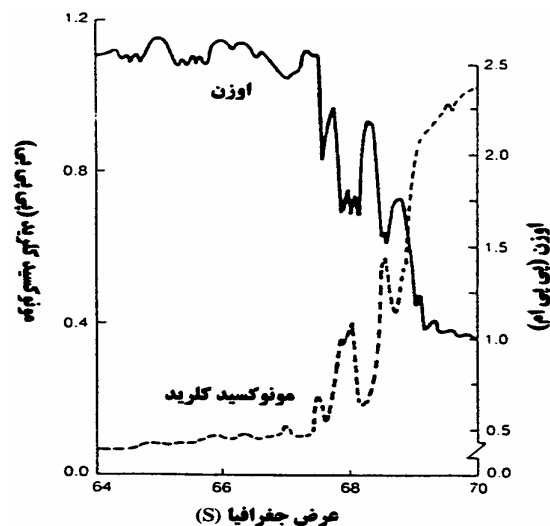
وقتی برای اولین بار تخریب لایه اوزن مورد توجه قرار گرفت واکنش‌های بالا فرضی بودند. ولی در بهار 1987 زمانی که حفراهی در لایه اوزن به وجود آمده بود و هواپیمایی بر فراز قطب جنوب غلظت اوزن و  $ClO$  را اندازه‌گیری می‌کرد، نشان داده شد که با کاهش اوزن، غلظت  $ClO$  به‌طور قرینه (متقارن) افزایش یافته است. این تجربه فرضیه‌های قبلی را تأیید کرد. (شکل 9-7). این چرخه علت 70 درصد تخریب اوزن قطب جنوب است.

علاوه بر این واکنش بسیار پیچیده‌تری در سطح ذرات قطبی ابر استراتوسفری (PSCP)<sup>392</sup> در دمای 195 درجه کلوین (منهای 78 درجه سلسیوس) که اغلب بر فراز قطب جنوب به‌صورت ابرهای صدفی دیده می‌شود، انجام می‌گیرد (رابطه 9-12).



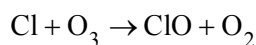
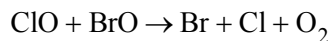
9-12

سپس کلر آزاد شده در تخریب اوزن شرکت می‌کند و اسید نیتریک روی سطح ذرات باقی می‌ماند و NO را تخریب می‌کند تا نتواند ClO را خنثی کند و در نتیجه سطح کلر اتمی فعال باقی می‌ماند. مؤثرترین ذرات PSCP در دمای بسیار پایین قطب جنوب به وجود می‌آیند، ولی در قطب شمال که 10 تا 15 درجه گرم‌تر است، این ذرات تشکیل نمی‌شوند.

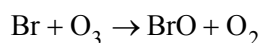


شکل 7-9- تغییرات غلظت اوزن و مونوکسید کلر با عرض جغرافیا یی بین سال 64 و دهه 70

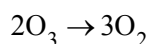
چرخه دیگر تخریب اوزن که در هوای گرم‌تر صورت می‌گیرد به صورت رابطه‌های زیر است:



9-13 و 9-14 و 9-15



و در نتیجه



9-16

### نقش کلروفلوروکربن‌ها (CFCs)

مهم‌ترین عامل تخریب اوزن بعد از جنگ جهانی دوم مواد شیمیایی ساخت انسان بنام کلروفلوروکربن‌ها (CFCs) بودند که اختصاصاً برای انتقال گرما در یخچال‌ها، بعنوان گاز فشار در افشانه‌ها، مایعات پاک‌کننده لوازم الکتریکی و الکترونیکی و مواد پف‌کننده در ساخت اسفنج‌ها به کار برده شدند. مصرف این مواد به‌آزاد شدن و انتشار آنها در سطح زمین منجر شد.

مولکول‌های CFC بسیار پایدار و واکنش ناپذیرند. مصرف آنها در صنایع به‌علت همین خاصیت فیزیکی خوب، به‌شدت گسترش یافت. در ضمن این مواد طول عمر زیادی در جو دارند که پس از انتشار به طبقات بالای جو تا منطقه استراتوسفر صعود می‌کنند. وقتی وارد استراتوسفر شدند مولکول‌های آنها به وسیله اشعه فرابنفش شکسته می‌شود و اتم کلر آنها آزاد می‌گردد. سپس اتم کلر با اوزن در واکنش‌های زنجیره‌ای که پیشتر اشاره شد وارد می‌شود و آنها را به مولکول‌های اکسیژن تبدیل می‌کند. علاوه بر CFCها، هالون‌ها نیز با داشتن

مولکول‌های برم و کلر با شدت بیشتری به مولکول‌های اوزن حمله می‌کنند.

جدول 1-9- CFC‌هایی که در تخریب اوزن مؤثرند (سال 1985)

| نام         | فرمول                                                       | میزان تولید (کیلو تن در سال) |
|-------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
| CFC 11      | $\text{CFCl}_3$ Trichlorofluoromethane                      | 370                          |
| CFC 12      | $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ Dichlorodifluoromethane            | 470                          |
| CFC 113     | $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ Trichlorotrifluoromethane | 160                          |
| CFC 114     | $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$ Dichlorotetrafluoroethane | خیلی کم                      |
| CFC 115     | $\text{C}_2\text{ClF}_5$ Chloropentafluoroethane            | خیلی کم                      |
| Hallon 1211 | $\text{CF}_2\text{ClBr}$ Bromochlorodifluoroethane          | 10                           |
| Hallon 1301 | $\text{CF}_3\text{Br}$ Bromotrifluoroethane                 | 10                           |
| Hallon 2402 | $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ Dibromotetrafluoroethane  |                              |
|             | $\text{CCl}_4$ Carbontetrachloride                          |                              |

### مهمترین ترکیبات کلروفلوروکربن

در جدول 1-9 مشخصات مهم‌ترین ترکیباتی که در تخریب لایه اوزن شرکت دارند، آمده است. با آنکه منابع زیادی برای تولید و انتشار کلر در طبیعت وجود دارد ولی کاربرد CFC‌ها موجب شده است که غلظت کلر از 0/6 قسمت در بیلیون که مربوط به عوامل طبیعی است به 3/8 قسمت در بیلیون افزایش یابد. سوراخ اوزن در قطب جنوب ظاهراً زمانی به وجود آمده که غلظت کلر به 2 قسمت در بیلیون رسیده است (کالز، 1997)<sup>۳۹۳</sup>.

### سازوکار تخریب لایه اوزن به وسیله کلروفلوروکربن‌ها و هالون‌ها

فرض کنیم خورشید به صورت جسمی سیاه تشعشع می‌کند که دمای آن ثابت و معادل 6080 درجه کلوین است. باتوجه به قانون وین<sup>۳۹۴</sup> طول موج حداکثر بازده خورشید را می‌توان تعیین کرد:

$$\lambda_{\text{Max}} = 3080^\circ\text{K}$$

$$\lambda_{\text{Max}} = 380 / 6080 \cong 0.5\mu$$

بدین ترتیب اشعه مرئی که چشم تشخیص می‌دهد از بنفش با طول موج 0/38 میکرون تا قرمز با طول موج 0/76 میکرون (380-760 نانومتر) تغییر می‌کند و طول موج کمتر از 380 نانومتر را اشعه فرابنفش تشکیل می‌دهد که در حقیقت اشعه فرابنفش طبیعی است. در ضمن قسمتی از تشعشعات خورشید تا قبل از رسیدن به زمین توسط مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن پراکنده می‌شود که آن را پراکندگی رالی<sup>۳۹۵</sup> می‌گویند.

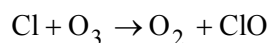
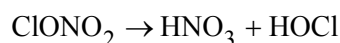
تقریباً همه اشعه فرابنفش C و بیشتر پرتو B به وسیله اوزن استراتوسفری جذب می‌شود. اشعه فرابنفش A بیشتر به زمین می‌رسد که اوزن سطح زمین را با شکستن مولکول‌های اکسیژن به وجود می‌آورد که بعداً وارد چرخه واکنش‌های فتوشیمی می‌شود و مه دود<sup>۳۹۶</sup> را

<sup>393</sup> - (Colls 1997)

<sup>394</sup> - Wien's Law

<sup>395</sup> - Rayleigh Scattering

<sup>396</sup> - Smog

$$\text{CFCl}_3 \rightarrow \text{CFCl}_2 + \text{Cl}$$

$$\text{ClO} \rightarrow \text{Cl}$$
$$\text{ClO} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{ClONO}_2$$


9-21 , 9-20



واکنشهای زنجیره ای

پرتو UV

$\text{CFCl}_3$

$\text{CFCl}_2$

کلر رادیکال

اوزن

مونو کسید کلرید

کلر رادیکال آزاد

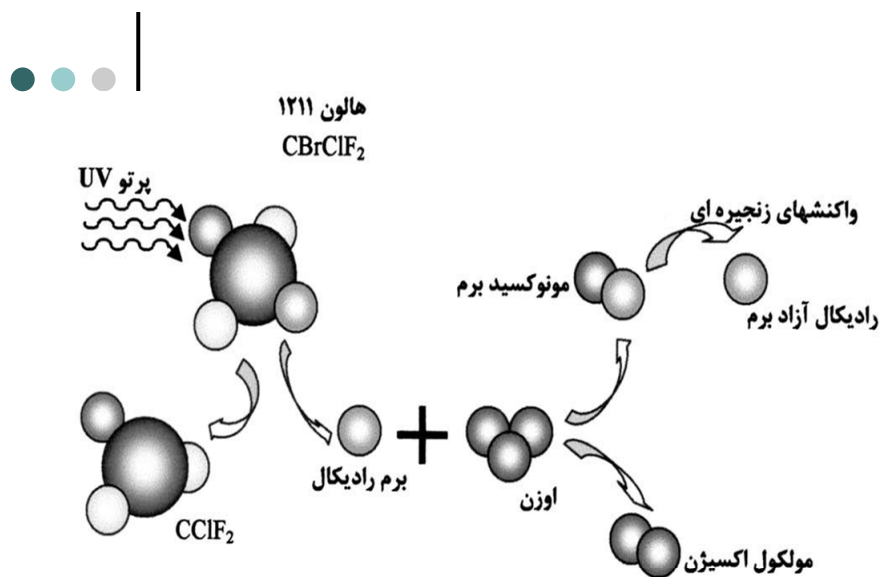
مولکول اکسیژن

شکل 8-9- (الف) روند تخریب مولکول‌های اوزن به‌وسیلهٔ CFC 11

## نام‌گذاری CFC ها و هالون‌ها

معمولاً هر CFC یا هالون یک شماره دارد که نشان‌دهنده فرمول شیمیایی آن است. در مورد CFC ها نام‌گذاری به این ترتیب است که از سمت راست بعد از نوشتن CFC شماره کربن‌ها منهای یک را قرار می‌دهند و عدد بعدی مربوط به تعداد هیدروژن به اضافه یک است و عدد سوم تعداد فلوئور را مشخص می‌کند. به این ترتیب فرمول نوشته می‌شود و جاهای خالی باند های کربن، با کلر پر می‌شود.

برای مثال شماره گذاری  $C_2F_4Cl_2$  و هالون 1211 در شکل 9-9- (الف) و (ب) نشان داده شده است به این ترتیب است که شماره 1 برای دو عدد کربن و شماره 1 بعدی برای هیدروژن که وجود ندارد و عدد سوم 4 است که برای 4 اتم فلوئور می‌باشد و دو جای خالی در فرمول گسترده بالا برای کلرها باقی می‌ماند و بدین ترتیب  $C_2F_2Cl_4$ ، CFC14 نامیده می‌شود. در هالون‌ها مانند  $CF_2ClBr$  بدین ترتیب عمل می‌شود که عدد اول سمت چپ تعداد کربن، عدد دوم تعداد فلوئور، عدد سوم تعداد کلر و عدد چهارم تعداد برم‌هاست. بنابراین  $CF_2ClBr$  را Halon1211 می‌نامند.



وقتی گازها محتوی برم مثل هالون باشند، در جو شکسته می‌شوند. هر اتم برم با اوزن وارد واکنش می‌شود و صدها هزار مولکول اوزن را نابود می‌کند

شکل 8-9- (ب) روند تخریب مولکول اوزن به وسیله هالون

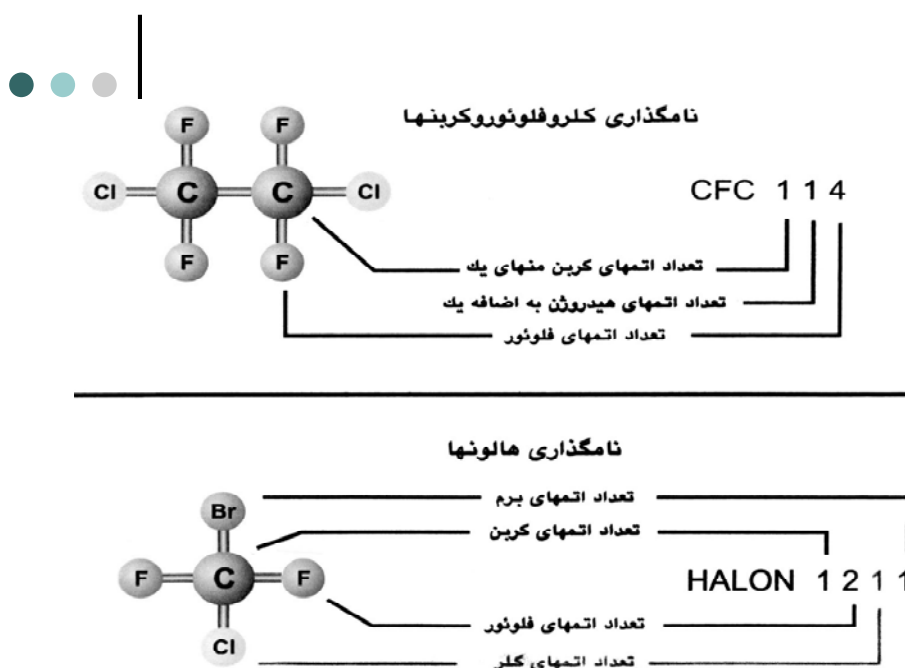
## جذب اشعه فرابنفش B

انرژی یک فوتون (E) به موجب فرمول پلانک  $E=hc/\lambda$  با طول موج آن ( $\lambda$ ) رابطه معکوس دارد. در این رابطه h ثابت پلانک و c سرعت نور است. بنابراین هرچه طول موج فوتون کمتر باشد، انرژی زیادتر است و اثر مخرب بیشتری دارد. هر بافتی که قادر به جذب انرژی

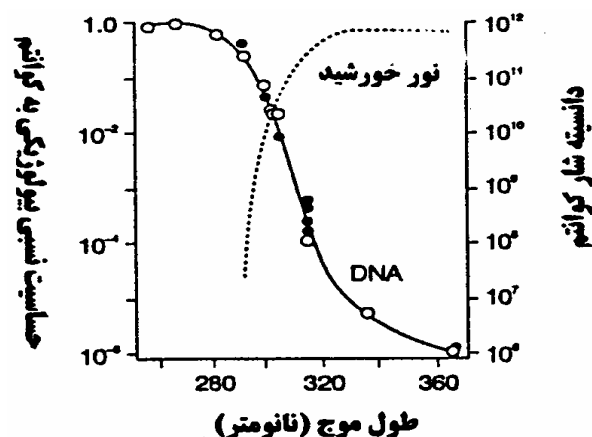
الکترومغناطیسی باشد، کروموفور<sup>۳۹۷</sup> نامیده می‌شود. جذب این فوتون‌ها، مولکول‌ها را در حالت ناپایدار با انرژی زیاد قرار می‌دهد که در آن یک رشته واکنش‌های بیوشیمیایی شکل می‌گیرد و نتیجه آن تغییرات سلولی است.

کروموفورهای مهم فرابنفش شامل DNA، پروتئین، اسید یورسیانیک و ملانین‌اند. عمل جذب و واکنش‌های شیمیایی در قسمت‌های مختلف بدن متفاوت است و به‌عواملی چون ضخامت بافت بستگی دارد.

شکل 9-10 دامنه تخریب مولکول DNA را نشان می‌دهد. اثر مخرب زمانی که طول موج از 320 به 280 برسد، 10000 برابر خواهد شد. این طول موج‌ها حد بالا و پایین فرابنفش B است. شیب تند این منحنی نشان می‌دهد که اثر بیولوژیکی و اثر روی اوزن در برابر تغییرات کوچک خیلی حساس است.

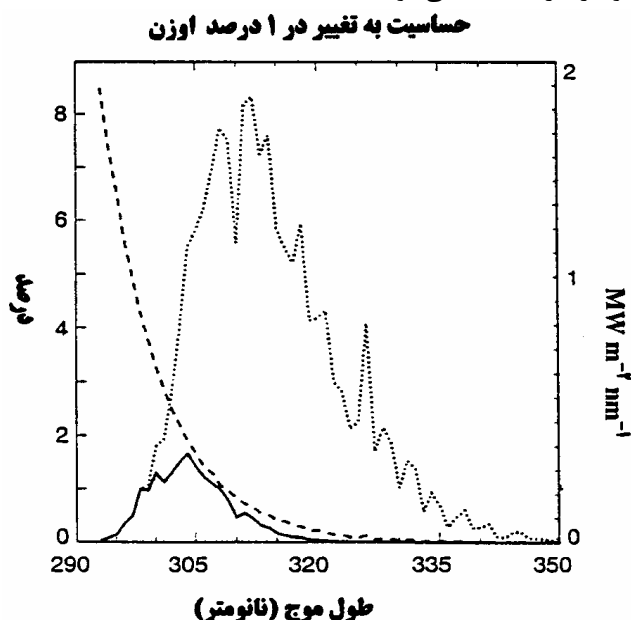


شکل 9-9- نام‌گذاری CFC و هالون



شکل 10-9- طیف حساسیت DNA به اشعه UV و طیف اشعه UV خورشیدی - هر دو محورهای عمودی لگاریتمی هستند.

چنانچه عمق ستون اوزن 1 درصد کاهش یابد یا به عبارت دیگر از 300 دابسون به 297 دابسون برسد، تغییرات محسوسی در طیف تشعشعات وارد به زمین به وجود می آید. در شکل 9-11 که مقیاس آن در محور عمودی طرف چپ قرار گرفته است، درصد افزایش اشعه با طول موج کوتاه تر را با 1 درصد کاهش عمق ستون اوزن نشان می دهد و در منحنی نقطه چین که با مقیاس محور عمودی طرف راست خوانده می شود، تغییرات مطلق مشاهده می شود. زمانی که طیف تشعشعات با عمل اریتمال سنجیده شوند، منحنی پر که یک قله اثر بخشی اریتمال در طول موج 305 نانومتر دارد، نتیجه می شود.



شکل 11-9- تغییر در طیف اشعه و اثر اریتمال برای 1 درصد کاهش عمق ستون اوزن (OCD)<sup>۳۹۸</sup>. شرح منحنی ها در متن آمده است (سازمان جهانی هواشناسی 1999)

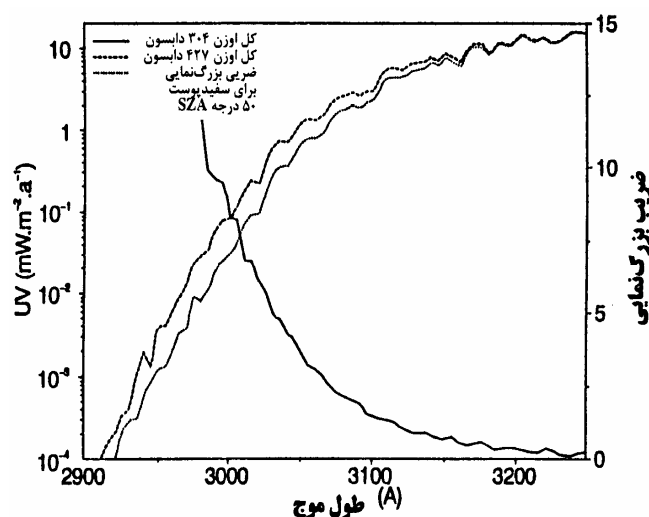


عامل دیگر، ضریب تشدید بیولوژیکی (BAF)<sup>۳۹۹</sup> است. چنانچه دوز (D) اشعه UV به توان BAF برسد بروز سرطان پیش‌بینی می‌شود.

$$\text{Incidence} = \text{Constant D}^{\text{BAF}}$$

مقدار BAF برای انواع مختلف سرطان پوست متفاوت است. برای پوست سفید BAF در محدوده 1/4 تا 2/5 است. بنابراین کل پاسخ بیولوژیکی به تغییرات دانسیته ستون اوزن (OCD) حاصل ضرب دو عامل ضریب BAF و اپتیکی<sup>۴۰۰</sup> است. ضریب اپتیک برای اثرهای مختلف متفاوت است، ولی معمولاً در محدوده 1/6 تا 2 است. شکل 9-12 دو اندازه‌گیری جداگانه را در تسلا لونیکی<sup>۴۰۱</sup> یونان در زمان‌هایی که اوزن زیاد (427 دابسون) و اوزن کم (304 دابسون) بوده، نشان می‌دهد.

ضریب افزایش UV (ضریبی است که UV در هر طول موج متناسب با کاهش اوزن است) به‌طور یکنواخت از نزدیک صفر در 320 نانومتر تا 10 در 300 نانومتر افزایش یافته است.



شکل 9-12- منحنی‌های خط چین و نقطه‌چین طیف اشعه فرابنفش را در دو حالت اوزن با غلظت زیاد و کم (مقیاس چپ) و خط پر ضریب بزرگ‌نمایی تشعشع فرابنفش را با تغییرات اوزن نشان می‌دهد.

### سرطان پوست و اشعه فرابنفش

اثر اشعه فرابنفش در سرطان پوست با ضریب افزایش بیولوژیکی (BAF)<sup>۴۰۲</sup> تعیین می‌شود که عبارت از توانی است که در آن دوز (D) اشعه فرابنفش آن قدر افزایش می‌یابد که شیوع سرطان پیش‌بینی می‌شود. به عبارت دیگر مقدار BAF برای انواع مختلف سرطان پوست متفاوت است و در حد 1/40 تا 2/5 برای افراد با پوست معمولی است. توان اشعه UV را

<sup>399</sup> - Biological Amplification Factor

<sup>400</sup> - Optical Amplification Factor

ضریب OAF عبارت است از درصد افزایش تشعشع مؤثر در سرطان زایی که با کاهش یک درصد دانسیته ستون اوزن حاصل می‌شود.

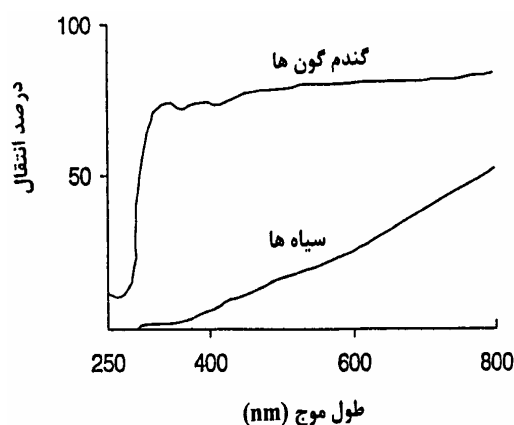
<sup>401</sup> - Thessaloniki

<sup>402</sup> - Biological Amplification factor

می‌توان در شکل 9-12 برای روزهای اشعه زیاد و کم ملاحظه کرد.

### واکنش پوست در برابر اشعه فرابنفش

واکنش حاد- اشعه فرابنفش A در طول موج بین 320 تا 380 و فرابنفش B در طول موج بین 280 تا 320 اثرهایی مانند سوختن پوست و ایجاد رنگدانه‌های قابل رؤیت ایجاد می‌کند که البته دوز اشعه A باید چندین برابر اشعه B باشد تا موجب واکنش‌های حاد پوست گردد. فعالیت UVB به 0/03 میلی‌متر قسمت خارجی اپیدرم ختم می‌شود، درحالی‌که فعالیت UVA تا بافت زیرجلدی<sup>۴۰۳</sup> نفوذ می‌کند. UVB موجب تخریب سنتز ملانین (پیگمان‌های قهوه ای) می‌شود. ایجاد رنگ معمولاً سه روز بعد از تماس مشاهده می‌گردد و چند روزی هم پس از آن باقی می‌ماند و حفاظتی در برابر تماس‌های بعدی اشعه UVB ایجاد می‌کند. اشعه با طول موج بالاتر A سریع‌تر عمل می‌کند و تماس قبلی هم اثر حفاظتی کمی دارد. تماس بیشتر، موجب اریتم<sup>۴۰۴</sup> (ویژگی آن تورم به‌رنگ قرمز است) می‌شود که ممکن است به‌تاول و پوسته‌پوسته شدن لایه پوست و پیگمانتاسیون بینجامد. پیگمان مولکول‌های ملانین که از ویژگی‌های پوست تیره است اشعه UV را جذب و از نفوذ آن به‌درون پوست جلوگیری می‌کند (شکل 9-13). پوست سفید اشعه قابل رؤیت و فرابنفش A را به‌طور مؤثری وارد خود می‌کند و انتقال بیشتر در محدوده اشعه فرابنفش B را ممکن می‌سازد. مجموع پتانسیل آفتاب سوختگی به‌علت تشعشعات را می‌توان در تشعشع مؤثر اریتمایی (EER)<sup>۴۰۵</sup> که با واحد  $mW$  بر مترمربع ( $mW/m^2$ ) تعیین می‌شود، بیان کرد. این انتگرال انرژی طیف خورشیدی برای هر طول موج با میانگین وزنی طیف عملکرد اریتما است. تغییرات EER برای فصل‌ها و مدارهای مختلف در هوای صاف ظهر در سطح افقی در جدول 2-9 داده شده است.



شکل 9-13- نفوذپذیری طول موج‌های مختلف در دو گروه سفید پوست و سیاه پوست

<sup>403</sup> - Subcutaneous

<sup>404</sup> - Erythema

<sup>405</sup> - Erythemally Effective Radiation

جدول 2-9- تغییرات تشعشع مؤثر اریتمایی (EER) بر حسب فصل و مدار

| مدار | EER (mWm <sup>-2</sup> ) |       |      |       |
|------|--------------------------|-------|------|-------|
|      | ژانویه                   | آوریل | ژوئن | اکتبر |
| 0    | 229                      | 229   | 214  | 248   |
| 15   | 155                      | 227   | 234  | 198   |
| 30   | 79                       | 176   | 208  | 117   |
| 45   | 16                       | 105   | 153  | 42    |
| 60   | 4                        | 53    | 93   | 12    |
| 75   | 0                        | 15    | 39   | 0     |
| 90   | 0                        | 4     | 13   | 0     |

مأخذ: کالز، ۹۷<sup>۴۰۶</sup>

وقتی پوست در معرض EER قرار گیرد، تراکم دوز دریافتی در نهایت به قمرزی قابل مشاهده پوست منجر می شود. حداقل دوز اریتمایی (MED)<sup>۴۰۷</sup> 200 ژول به مترمربع برای پوست هایی با حساسیت بیشتر تعیین شده است که معمولاً در پوست های سفید با کمی کک و مک دیده می شود و افرادی با چشم های سبز حساس ترند و برای پوست هایی با حساسیت کمتر (سیاه پوست، موی مشکی و چشم مشکی) دوز بیشتری لازم است. اداره هواشناسی انگلیس یک شاخص برای UV تعریف کرده است که براساس پیش بینی، EER بخش بر 25 است. عدد 25 برای هماهنگ کردن این شاخص با مکان های دیگر انتخاب شده است. شاخص تأثیرهای فرابنفش 4 تا 8 در ظهر یک روز تابستان صاف انگلستان است و در مناطق گرمسیر بین 10 تا 11 متغیر است. یک شاخص فرابنفش 6 به مفهوم آفتاب سوختگی در 20 دقیقه برای پوست های حساس و در دو ساعت برای پوست های با حساسیت کمتر است. البته عوامل بسیار دیگری مثل ابر و ذرات هوا که در میزان تماس تأثیر دارند، باید مورد توجه باشند. در ضمن ارتفاع آفتاب در جو نیز مؤثر است. شدت طول موج 300 نانومتر فرابنفش در ظهر ده برابر بیشتر از 9 صبح یا 3 بعد از ظهر است.

### تأثیرهای مزمن

تأثیرهای مزمن شامل پیری پوست و سرطان پوست است. مواجهه درازمدت با UV شدید موجب خشکی پوست و چروکیدگی آن می شود که در نهایت ترک خوردن و عفونی شدن را در پی خواهد داشت. باید توجه داشت که DNA یکی از قوی ترین کروموفورهای UVA است و واکنش های ژنوتوکسیک<sup>۴۰۸</sup> با آن محتمل است. دو نوع کارسینوما، یکی ملانومایی و دیگر غیرملانومایی بروز می کند. ملانوما یک تومور بدخیم است که از ملانوسیت ها که سلول های

<sup>406</sup> - Colls, 97

<sup>407</sup> - Minimum Erythmal Dose

<sup>408</sup> - Genotoxic

سازنده ملانین هستند، سرچشمه می‌گیرد. این نوع سرطان پوست کمتر قابل معالجه است و مهم‌ترین نوع سرطان پوست به‌شمار می‌آید. در سال 1985 حدود 1000 نفر به‌علت ابتلا به این نوع سرطان در انگلستان فوت کردند. شکل 9-14 روند افزایش ملانومای پوستی را از سال 1962 تا 1984 در انگلستان نشان می‌دهد. تعدادی از موارد، مربوط به تخریب لایه اوزن و تعدادی مربوط به تغییر رفتاری مردم مثل فعالیت در محیط باز و یا حمام آفتاب است.

سرطان غیرملانومایی ممکن است از نوع سلول‌های بازال<sup>۴۰۹</sup> یا سلول‌های اسکواموس<sup>۴۱۰</sup> باشد. تماس مزمن طولانی‌مدت با اشعه فرابنفش بروز هر دو نوع سرطان پوست (ملانوما- غیرملانوما) را افزایش می‌دهد. در حال حاضر سرطان پوست مهم‌ترین بیماری بدخیم انسان است. سالانه حدود 40000 مورد جدید در انگلستان و 600 هزار مورد در آمریکای شمالی بروز می‌کند. 80 درصد از این سرطان‌ها از قسمت‌هایی از پوست که بیشتر در معرض اشعه خورشید قرار دارد، شروع می‌شود.

رابطه بین سرطان پوست غیرملانومایی با اشعه فرابنفش به‌اثبات رسیده است.

### واکنش چشم در برابر اشعه فرابنفش

زیان‌های ناشی از اشعه فرابنفش به‌هر قسمت بدن به‌میزان تماس آن قسمت از بدن با اشعه بستگی دارد. بنابر محاسبات انجام شده با توجه به موقعیت چشم‌ها در بدن نسبت به تابش اشعه تماس چشم با پلک باز با حدود 20 درصد کل تشعشع وارد بر بالای سر انسان مطابقت می‌کند. در شرایط نور شدید خورشید تشعشعی که به‌خود چشم می‌رسد به‌علت بازتاب زاویه تابش<sup>۴۱۱</sup>، 5 درصد کاهش می‌یابد. اشعه فرابنفش می‌تواند دو نوع آسیب به‌چشم برساند:

1- آسیب به‌قرنیه 2- آسیب به‌عدسی. با وجودی که قرنیه برای نور مرئی شفاف است و آن را انتقال می‌دهد ولی اشعه UV را جذب می‌کند. در واقع قرنیه می‌تواند فوتوکراتیتیس<sup>۴۱۲</sup> را به‌همان طریق که پوست تولید اریتما می‌کند به‌وجود آورد. ولی از آنجا که تماس طبیعی آن کم است این کار کمتر صورت می‌گیرد. بهترین مثال، کوری برف است، زیرا در آسمان صاف و تابش و بازتاب اشعه از برف که دارای اشعه UV زیادی است، پیش می‌آید. جدول 3-9 شفافیت سطوح مختلف را در بازتاب اشعه فرابنفش نشان می‌دهد.

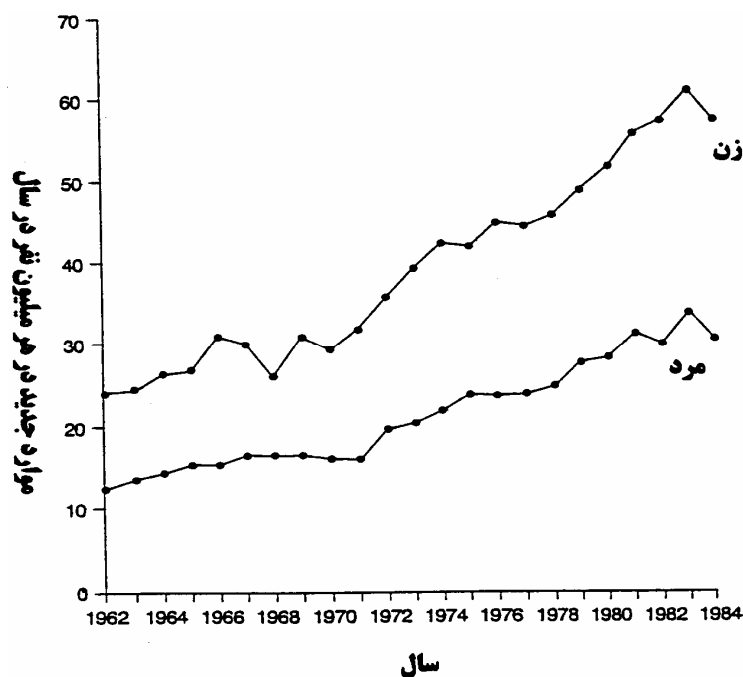
جدول 3-9- شفافیت<sup>۴۱۳</sup>

| سطح | درصد شفافیت به‌بازتاب UV |
|-----|--------------------------|
| علف | 2                        |
| بتن | 10                       |
| شن  | 20                       |
| برف | 60-90                    |

<sup>409</sup> - Basal cell  
<sup>410</sup> - Squamous cell  
<sup>411</sup> - Squint reflex  
<sup>412</sup> - Photokeratitis  
<sup>413</sup> - Albedos

تیرگی پیشرفته عدسی موجب کاتاراکت (آب مروارید) می‌شود که معمولاً با افزایش سن پیش می‌آید. ولی در تماس با اشعه UV این بیماری در سنین کمتر رخ می‌دهد. درصد وقوع آب مروارید در مدارهای مختلف متفاوت است، به‌طوری که در مدار 42 درجه عرض شمالی (روچستر - نیویورک)، 9 درصد، در تامپا فلوریدا با مدار 28 درجه شمالی، 20 درصد و در مانیل فیلیپین در مدار 15 درجه، 43 درصد است.

با برآورد انجام شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، افزایش 30 درصدی اشعه UVB که با کاهش 15 درصدی از لایه اوزن استراتوسفری مطابقت دارد، سبب پیدایش 14 درصدی بیماری آب مروارید با توجه به سن افراد می‌شود. محاسبات انجام شده نشان داده است که ده درصد کاهش لایه اوزن به ششصد هزار مورد آب مروارید در جمعیت فعلی منجر می‌شود و در کل متولدان (کهورت) 1986 تا 2029 حدود چهار میلیون مورد آب مروارید پیش‌بینی می‌شود.



شکل 14-9- بروز ملانوما پوستی از 1962 تا 1984 در انگلیس و ولز

### واکنش ایمنی بدن در مواجهه با اشعه فرابنفش

مطالعات زیادی نشان داده است که تماس با اشعه فرابنفش سیستم ایمنی بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه بدن در برابر عفونت‌های ویروسی و باکتریایی مقاومت خود را از دست می‌دهد. مثلاً فعال شدن ویروس تبخال در تعطیلات تابستانی به علت مواجهه بیشتر با اشعه UV و ناتوانی سیستم ایمنی بدن است.

ضایعات چشمی در خرگوش‌هایی که در قسمت‌های جنوبی امریکای جنوبی زندگی می‌کنند، دیده شده است، ولی هنوز ارتباط آن با اشعه UV ثابت نشده است. درمورد سازوکار اختلال در سیستم ایمنی بدن، از مطالعات انجام شده چنین استنباط

می‌شود که معمولاً وقتی انسان علیه یک بیماری واکنش می‌شود لنفوسیت‌ها<sup>414</sup> در برابر آنتی‌ژن ورودی، آنتی‌کر تولید می‌کنند. این لنفوسیت‌های آنتی‌کرساز، بدن را در برابر عفونت محافظت می‌نمایند. در حضور اشعه فرابنفش تشکیل سلول‌های آنتی‌بادی‌ساز متوقف می‌گردد و به جای آن انواع دیگری از سلول‌های لنفوسیت به نام Tcell تولید می‌شوند که نمی‌گذارند بدن واکسن تزریق شده را به عنوان جسم خارجی تشخیص دهد و آنتی‌ژن لازم برای دفاع بدن تولید نماید. این اشعه فرابنفش در افزایش بیماری‌های عفونی نقش زیادی داشته است، به طوری که بیماری‌هایی مثل سل، آبله مرغان، سرخک و حتی بیماری‌های انگلی مانند مالاریا و سالک، یا بیماری‌های قارچی کاندیدیازیس طی سال‌های اخیر شیوع بیشتری پیدا کرده است.

### اثر اشعه فرابنفش بر محیط بیولوژیکی خشکی

چنین تصور می‌شود که در ابتدای تشکیل زمین به علت نبود اکسیژن و در نتیجه اوزن، اشعه فرابنفش خیلی بیشتر از امروز بوده است. در این شرایط، زمین، برای پیدایش حیات مناسب نبوده است. یکی از دلایلی که بیان می‌دارد اولین زندگی در دریاها به وجود آمده است، وجود سپر آب در برابر اشعه است. به تدریج که اکسیژن و سپس اوزن افزایش یافت از شدت اشعه فرابنفش کاسته شد و در حدود 500 میلیون سال قبل به حد قابل تحمل رسید و اولین گیاهان پیدا شدند. بعضی ترکیباتی که در گیاهان به وجود آمدند، شامل مواد فتولیک مانند تابان‌ها، فلاوونوئیدها و لیگن‌ها بودند که همراه با سایر اعمال گیاهی اشعه فرابنفش را هم غربال می‌کنند. گیاهان همچنین دارای سازوکار ترمیم DNA و تثبیت پلی‌امین‌های ارگان‌های صدمه دیده‌اند. همچنین نگرانی در مورد اثر روی پلانکتون‌های دریایی به ویژه در منطقه‌ای که زیر سوراخ لایه اوزن قرار گرفته است، وجود دارد و هنوز اطلاعات کمی در این موارد موجود است.

پاره‌ای مطالعات از جمله پاسخ‌های ثانوی مثل بیماری‌های گیاهی با UVB انجام شده است که معرف اشعه فرابنفش سطح زمین نیست.

اگر تجربه در فضای باز انجام گیرد بسیاری از این عوامل طبیعی خواهند شد، ولی مشکل طیف موردنظر باقی می‌ماند که یا باید با اشعه کمکی افزایش و یا با استفاده از صافی‌های شفاف (کوارتز، پیرکس، مایلار، پلکسی گلاس) کاهش داده شود. با توجه به آنچه گفته شد انجام کارهای آزمایشی به منظور بررسی اثر افزایش اشعه UVB روی گیاهان مشکل است و نتیجه گیری، نیاز به تصحیح آماری دارد. به هر حال بهترین کار تجربی آن است که شباهت کامل با وضعیت طبیعی داشته باشد، زیرا کمترین تغییر در شدت اشعه تأثیر بسیار زیادی خواهد داشت.

اگر گیاهان در شرایط کنترل شده پرورش یابند (برای مثال در اتاقک‌های آزمایشگاهی) دما، رطوبت، بافت خاک، سرعت باد و سایر متغیرهای کلیدی با آنچه در فضای باز وجود دارد متفاوت خواهد بود.

ترکیب طیف نور در فضای بسته و باز تفاوت زیادی دارد، حتی اگر با هزینه زیاد هم بخواهند شبیه‌سازی نور خورشید را انجام دهند. به خصوص همانطور که در شکل

---

<sup>414</sup> - Lymphocyte

15-9 دیده می‌شود، لامپ‌های QTH<sup>۴۱۵</sup> و گزنون<sup>۴۱۶</sup> در طول موج 305 نانومتر مانع برخورد طیف خورشید می‌شوند، ولی در طول موج‌های بالاتر به‌ویژه طول موج 400 تا 700 نانومتر که برای فعالیت فتوسنتز گیاهان لازم است شدت کمتری نسبت به‌اشعه خورشید دارند و در طول موج 290 نانومتر شدت اشعه نور مصنوعی 10000 برابر نور طبیعی است. تاکنون آزمایش‌های زیادی روی گیاهان انجام شده و نتایج آنها منتشر گردیده است. ولی این نتایج برای همان آزمایش مناسب‌اند، زیرا مشکلات زیادی از جمله تغییر دادن شدت اشعه UVB که متغیر اصلی موردنظر است وجود دارد.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد بیشترین کاهش لایه اوزن در قطب جنوب است که پوشش گیاهی آن کم است. انتظار نمی‌رود با تغییر لایه اوزن که طی 20 سال گذشته اتفاق افتاده، تغییر قابل مشاهده‌ای در کل جهان روی پوشش گیاهی رخ داده باشد. بنابراین باید روی تماس‌های کوتاه‌مدتی که در مدارهای میانی انجام شده است به‌منظور پیش‌بینی اثر روی گیاهان اعتماد کنیم. چندصد گونه گیاهی از نظر مقاومت در برابر UV بررسی شده‌اند. در بین اینها دوسوم تا حدودی حساس‌اند و حساسیت آنها نیز بسیار متفاوت است. در بعضی گونه‌ها فعالیت فتوسنتز کاهش یافته است، برگ‌ها کمتر شده‌اند و محصول کمتری را به‌بار آورده‌اند. در بعضی گیاهان ارزش مواد غذایی آنها کاهش یافته است، مثلاً در سویا مقدار پروتئین و روغن کاهش یافته است. همچنین که در مورد تأثیر آلودگی هوا بر درختان بزرگ، به‌علت عمر زیاد و بسیاری از مسائل دیگر که در دوره زندگی درخت روی می‌دهد، نمی‌توان به‌طور دقیق استدلال کرد، در مورد تأثیر اشعه فرابنفش بر درختان نیز اطلاعات موثق یافت نمی‌شود. آنچه وجود دارد براساس کارهای تجربی است، که میزان مواجهه قرار دادن گیاهان در معرض اشعه، در همان حدی بوده است که در طبیعت اتفاق می‌افتد. بیماری‌های گیاهی مانند قارچ افزایش می‌یابد، زیرا تولید اسپر زیاد می‌شود، از طرف دیگر بیماری "سپتوریا"<sup>۴۱۷</sup> (خال‌دار شدن برگ) کاهش پیدا کرده است زیرا اشعه فرابنفش اسپرهای این عامل بیماری را از بین می‌برد.

### اثر اشعه فرابنفش بر آبزیان

با آنکه از کل تشعشعات خورشید که به‌زمین می‌رسد، فقط 0/8 درصد آن را اشعه UVB تشکیل می‌دهد ولی همین مقدار علت نیمی از تأثیرهای نورشیمی آبزیان دریاهاست. اشعه UVB تا عمق 20 تا 40 متر در آب نفوذ می‌کند و بر زندگی موجودات آبی تأثیر جدی دارد. در دریا‌های نزدیک به‌قطب جنوب که شدت اشعه فرابنفش به‌علت سوراخ اوزن بیشتر است تأثیرها بارزترند. اشعه فرابنفش اثرهایی بر چرخه غذایی که با باکتری‌ها و قارچ‌ها شروع می‌شود، دارد. این تشعشعات محلولهایی برای واکنش‌های نورشیمی فراهم می‌آورند که در مناطق کم کربن رشد بعضی موجودات را بهبود می‌بخشد و در عمل تغییراتی در اکوسیستم به‌وجود می‌آید. از طرف دیگر موجوداتی که عمل فتوسنتز انجام می‌دهند، مثل فیتوپلانکتون‌ها<sup>۴۱۸</sup> که بیشتر در سطح آب، جایی که اشعه شدیدتر است، زندگی می‌کنند. نه تنها عمل فتوسنتز آنها مختل می‌شود، بلکه تغذیه، حرکت سلولی، سهمیه کربن، پیگمان‌های

<sup>415</sup>- QTH – Quartzenveloped Tungsten Halogen gas fill

<sup>416</sup>- Xenon Lamp

<sup>417</sup>- Septoria

<sup>418</sup>- Phytoplanktons

فوتوسنتتیک نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بعضی موجودات با اجتناب از اشعه صدمات وارد بر خود را کاهش می‌دهند، مثلاً با رفتن به عمق آب شدت اشعه کاهش می‌یابد. به‌طور کلی اشعه فرابنفش باروری موجودات اولیه را کاهش می‌دهد که این موضوع به اختلال در زنجیره غذایی سایر موجودات وابسته منجر می‌شود. در این فرایند موجودات بزرگ‌تر آبی و خشکی‌زی حتی انسان تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اشعه فرابنفش بر موجودات حیوانی هم اثر نامطلوب دارد. DNA زئوپلانکتون‌ها<sup>419</sup> صدمه می‌بیند. تخم ماهی‌ها آسیب‌پذیر است و خود ماهی نیز دچار آفتاب سوختگی می‌شود. از نتایج تحقیقات کالز، 2002<sup>420</sup> چنین برمی‌آید که بحرانی‌ترین طیف در طول موج بین 280 تا 320 نانومتر است. آسیب‌های تخریب لایه اوزن توجه به فوتوشیمی دریایی را برمی‌انگیزد، که به مقدار زیاد از تأثیر UVB می‌باشد. عامل اصلی رابطه بین انرژی فوتون به انرژی باند مولکول موردنظر در سامانه طبیعی، باندهایی در محدوده انرژی 300 تا 370 کیلوژول به مول (مثل  $H-C \rightarrow C$ ) و 370 تا 425 کیلوژول به مول (مثل S-S) و 425 تا 600 کیلوژول بر مول (مثل  $O=O$  یا  $H-OH$ ) است که می‌تواند موجب فوتولیز توسط اشعه UVA و UVB شود. آب خالص یا آب دارای نمک‌های معدنی مانند آب دریاها قدرت جذب اندکی برای اشعه UV دارد. جذب اشعه بیشتر به علت مواد آلی محلول که بین 1-4 میلی‌گرم در هر سانتی لیتر آب دریا وجود دارد، است.

بعضی ترکیبات مثل  $CS_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  و یدور دومتیل می‌توانند به داخل جو نفوذ کنند و بر شیمی جو تأثیر گذارند، ولی هنوز رابطه این فرایند با اشعه فرابنفش شناخته نشده است. مطالعات آزمایشگاهی نیز به علت وجود متغیرهای زیاد مثل مواد آلی محلول، شدت اشعه و غیره نتیجه دقیقی نداده است.

<sup>419</sup> - Zooplankton

<sup>420</sup> - Colls, 2002



## فصل یازدهم

### فصل اول - وسایل نقلیه موتوری

ماده 4- استفاده از وسایل نقلیه موتوری که بیش از حد مجاز مقرر دود و آلوده کننده‌های دیگر وارد هوای آزاد نمایند، ممنوع است. حد مجاز خروجی وسایل نقلیه موتوری توسط سازمان حفاظت محیط زیست با همکاری وزارت صنایع تعیین و به تصویب شورای عالی حفاظت محیط زیست می‌رسد.

ماده 5- هر وسیله نقلیه موتوری که به کار گرفته می‌شود باید دارای گواهینامه مخصوص مبنی بر رعایت حد مجاز خروجی آلوده کننده‌های هوا باشد. دارندگان وسایل نقلیه موتوری مکلفند همه‌ساله وسایل نقلیه خود را در مراکز مورد تأیید سازمان حفاظت محیط زیست که توسط شهرداری‌ها ایجاد می‌گردد، تحت آزمایش و معاینه قرار داده و گواهینامه مبنی بر رعایت حد مجاز آلودگی را دریافت نمایند. در غیراین صورت از تردد وسایل نقلیه فاقد گواهینامه مذکور به ترتیبی که در آیین‌نامه اجرایی این قانون تعیین می‌شود جلوگیری خواهد شد.

تبصره 1: هزینه انجام آزمایش و معاینه وسایل نقلیه موتوری از دارندگان وسایل نقلیه مذکور طبق تعرفه‌ای که توسط وزارت کشور و سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به تصویب هیأت وزیران می‌رسد اخذ خواهد شد.

تبصره 2: تاریخ شروع اجرای این ماده و تبصره‌های آن حداکثر یکسال پس از تصویب این قانون تعیین می‌شود و سازمان حفاظت محیط زیست و شهرداری و سایر دستگاههای ذی‌ربط موظفند ظرف مدت مذکور امکانات لازم جهت اجرای این ماده را فراهم کنند.

ماده 6- شهرداری‌ها، نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، وزارتخانه‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط موظفند نحوه تردد وسایل نقلیه موتوری و سیستم حمل و نقل شهری را به‌صورتی طراحی و سامان دهند که ضمن کاهش آلودگی هوا جوابگوی سفرهای روزانه شهری باشد.

تبصره: آیین‌نامه اجرایی این ماده، که در برگزیده ساعات و محدوده مجاز تردد شهری، پیش‌بینی استفاده مطلوب و بیشتر از وسایل نقلیه عمومی و امثال آن می‌باشد، توسط وزارت کشور (شهرداری‌ها) و نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران و سازمان حفاظت محیط زیست و در صورت لزوم با همکاری سازمان‌های ذی‌ربط تهیه و به تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

ماده 7- در مواقع اضطراری که به علت کیفیت خاص جوی، آلودگی هوای شهرها به حدی برسد که به تشخیص وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی سلامت انسان و محیط زیست را شدیداً به‌مخاطره بیندازد، سازمان حفاظت محیط زیست با همکاری وزارت کشور، شهرداری‌ها و نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، ممنوعیت‌ها یا محدودیت‌های موقت زمانی، مکانی و نوعی را برای منابع آلوده کننده برقرار نموده و بلافاصله مراتب را از طریق رسانه‌های همگانی به اطلاع عمومی خواهد رسانید.

با برطرف شدن وضعیت اضطراری و کاهش آلودگی هوا، سازمان نسبت به رفع ممنوعیت و محدودیت برقرار شده اقدام و مراتب را به‌نحو مقتضی به اطلاع عموم خواهد رسانید.

ماده 8- ساخت و تولید و ورود وسایل نقلیه موتوری و همچنین موتور و سایر قطعات مرتبط با احتراق وسایل نقلیه از قبیل کاربراتور و فیلتر، مستلزم رعایت استانداردهای حفاظت محیط زیست می‌باشد.

ماده 9- وزارت صنایع موظف است سیاست‌ها و برنامه‌های تولیدی واحدها و شرکتهای تابعه تولید وسایل نقلیه موتوری خود را به‌نحوی تنظیم نماید که اولاً تولید وسایل نقلیه با موتورها و قطعات غیراستاندارد صورت نپذیرد، ثانیاً در برنامه‌ریزی ساخت خودرو برنامه تولید وسایل نقلیه و حمل و نقل عمومی را در اولویت قرار دهد، ثالثاً طراحی و ساخت اتومبیل‌ها به‌نحوی صورت گیرد که حتی المقدور امکان استفاده از گاز هم وجود داشته باشد.

ماده 10- شماره‌گذاری هر نوع وسیله نقلیه موتوری مستلزم رعایت استانداردهای موضوع ماده 8 این قانون می‌باشد.

ماده 11- استانداردهای موضوع مواد 8 و 9 این قانون توسط سازمان حفاظت محیط زیست با همکاری وزارت صنایع، وزارت نفت و مؤسسات تحقیقاتی ذی‌صلاح تهیه و به‌تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

### فصل دوم - کارخانجات و کارگاه‌ها و نیروگاه‌ها

ماده 12- احداث کارخانجات و کارگاه‌های جدید و توسعه و تغییر محل و یا خط تولید کارخانجات و کارگاه‌های موجود مستلزم رعایت ضوابط و معیارهای سازمان حفاظت محیط زیست می‌باشد.

ماده 13- وزارتخانه‌های صنایع، معادن و فلزات، کشاورزی و جهاد سازندگی هنگام صدور جواز تأسیس رونوشتی از جواز تأسیس مربوط را به‌سازمان حفاظت محیط زیست ارسال خواهند نمود.

دارندگان جواز تأسیس مذکور مکلفند محل استقرار واحدهای صنعتی و یا تولیدی خود را طبق ضوابط استقرار موضوع ماده 12 این قانون تعیین نمایند.

صدور پروانه بهره‌برداری موکول به تأیید محل استقرار با رعایت ضوابط موضوع ماده 12 فوق براساس اعلام سازمان حفاظت محیط زیست می‌باشد.

تبصره 1: احداث نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، کارخانجات پتروشیمی، کارخانجات صنایع نظامی، فرودگاه‌ها و ترمینال‌های بارگیری موکول به رعایت ضوابط و معیارهای سازمان حفاظت محیط زیست از لحاظ محل استقرار می‌باشد.

تبصره 2: ضوابط و معیارهای موضوع مواد 12 و 13 توسط سازمان با مشارکت وزارتخانه‌های مذکور در این ماده تهیه و به‌تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

تبصره 3: سازمان حفاظت محیط زیست موظف است ضوابط و معیارهای زیست‌محیطی لازم را از طریق وزارتخانه‌های ذی‌ربط به‌دارندگان جواز تأسیس اعلام نماید.

ماده 14- فعالیت کارخانجات و کارگاه‌های جدیدی که ضوابط و معیارهای موضوع ماده 12 را رعایت ننماید و همچنین فعالیت و بهره‌برداری از کارخانجات و کارگاه‌ها و نیروگاه‌هایی که بیش از حد مجاز موجبات آلودگی هوا را فراهم آورند، ممنوع است.

ماده 15- سازمان حفاظت محیط زیست کارخانجات و کارگاه‌ها و نیروگاه‌هایی که آلودگی آنها بیش از حد مجاز استانداردهای محیط زیست باشد را مشخص نموده و مراتب را با تعیین نوع و میزان آلودگی به‌صاحبان و یا مسئولان کارخانجات و کارگاه‌ها و نیروگاه‌ها ابلاغ خواهد کرد تا در مهلت معینی که توسط سازمان با همکاری و مشارکت دستگاه‌های ذی‌ربط تعیین می‌شود نسبت به رفع آلودگی یا تعطیل کار و فعالیت خود تا رفع آلودگی اقدام نمایند.

**تبصره 1:** در صورتی که صاحب یا مسئول کارخانه و کارگاهی که موجبات آلودگی هوا را فراهم می‌نماید با دلایل قابل قبول سازمان اثبات نماید که ظرف مهلت تعیین شده رفع آلودگی عملی نمی‌باشد سازمان می‌تواند برای یک‌بار مهلت اضافی مناسب در مورد این گونه کارخانجات و کارگاهها قائل شود.

**تبصره 2:** سازمان حفاظت محیط زیست موظف است استانداردهای هوای پاک و استانداردهای آلوده کننده‌های حاصل از کارخانجات و کارگاهها که به هر طریق وارد هوای آزاد می‌گردند را برای هر منطقه و باتوجه به کیفیت هوا و مناسبات زیست‌محیطی آن مناطق تهیه نموده و در اختیار متقاضیان و صاحبان کارخانجات و کارگاهها قرار دهد.

حد مجاز (استانداردهای محیط زیست) این ماده توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

**ماده 16-** در صورتی که صاحبان و مسئولان کارخانجات و کارگاهها و نیروگاههای آلوده کننده ظرف مهلت تعیین شده مبادرت به رفع آلودگی یا ممانعت از کار و فعالیت کارخانه و کارگاه مربوطه ننمایند، در پایان مهلت مقرر به درخواست سازمان حفاظت محیط زیست و دستور مرجع قضایی ذی ربط محل که بلافاصله توسط مأمورین انتظامی به مورد اجرا گذاشته می‌شود از کار و فعالیت کارخانجات و کارگاههای آلوده کننده جلوگیری به عمل خواهد آمد.

ادامه کار یا فعالیت کارخانجات و کارگاهها و نیروگاههای مزبور منوط به صدور اجازه سازمان حفاظت محیط زیست و یا رأی دادگاه صلاحیت دار خواهد بود.

**تبصره:** در صورتی که صاحبان و مسئولان کارخانهها و کارگاهها و نیروگاههای آلوده کننده پس از ابلاغ سازمان حفاظت محیط زیست از فعالیت و ادامه کار کارخانهها و کارگاههای مربوط ممانعت به عمل نیآورده و یا پس از تعطیل کارخانهها و کارگاههای مذکور رأساً و بدون کسب اجازه از سازمان یا بدون صدور رأی دادگاه صالحه، مبادرت به بازگشایی و ادامه فعالیت آنها بنمایند، بر حسب مورد به مجازاتهای مقرر در این قانون و سایر مقررات مربوط به عدم رعایت دستورات مراجع قانونی و قضایی محکوم خواهند شد و چنانچه مدیران و مسئولان مذکور اداره و تصدی کارخانهها و کارگاههای دولتی یا وابسته به دولت را برعهده داشته باشند موضوع در هیأت‌های رسیدگی به تخلفات اداری وزارتخانه یا دستگاه متبوع مدیر یا مسئول نیز مطرح و حکم مقتضی صادر خواهد گردید.

**ماده 17-** در مواقع اضطراری و یا شرایط جوی نامناسب، رئیس سازمان حفاظت محیط زیست می‌تواند کارخانهها و کارگاههایی را که فعالیت آنها خطرات فوری در برداشته باشد با اخطار سریع خواستار توقف فعالیت آنها گردد و در صورت استنکاف به حکم رئیس دادگاه محل تا رفع موجبات خطر تعطیل نماید.

**ماده 18-** در مواردی که کاهش یا از بین بردن آلودگی ناشی از فعالیت کارخانجات و یا کارگاهها از طریق دیگر به جز انتقال یک یا برخی از آنها به نقاط مناسب امکان پذیر نبوده و یا فعالیت کارخانجات و کارگاههای مذکور در مناطق مسکونی سلامت ساکنان آن مناطق را به خطر بیندازد سازمان حفاظت محیط زیست با همکاری وزارتخانهها و دیگر دستگاههای دولتی ذیربط طرح انتقال کارخانجات و کارگاههای مذکور را به نقاط مناسب (ترجیحاً شهرکها و قطبهای صنعتی)، تهیه و به هیأت وزیران ارائه می‌نماید. دولت در صورت صلاحدید و موافقت

حسب مورد اقدام خواهد نمود.

ماده 19- قطب‌ها و شهرک‌ها و مجتمع‌های صنعتی و نیروگاه‌ها و واحدهای تولیدی مکلفند حداقل 10 درصد از فضای شهرک‌ها و یا مجموعه فضای تخصیص داده شده جهت احداث واحدهای تولیدی و خدماتی را به ایجاد فضای سبز و مشجر و کشت درختان مناسب منطقه اختصاص دهند.

بهره‌برداری از واحدهای صنعتی و تولیدی مذکور منوط به رعایت این ماده و ایجاد فضای سبز مناسب می‌باشد. وزارتخانه‌های صنعتی موظف به نظارت بر حسن اجرای این ماده می‌باشند. ماده 20- کارخانه‌ها و کارگاه‌ها و نیروگاه‌ها و کوره‌های آجرپزی و آهک‌پزی موظف به استفاده از سوخت و سیستم‌های احتراقی مناسب قابل دسترسی به نحوی که موجبات کاهش آلودگی هوا را فراهم نمایند، هستند.

تبصره: وزارت نفت موظف است در برنامه ریزی گازرسانی و سوخت رسانی خود تأمین سوخت مناطق صنعتی و مراکز استقرار کارخانه‌ها و کارگاه‌ها و کوره‌های آجرپزی مجاور شهرهای بزرگ را در اولویت قرار دهد.

ماده 21- آیین نامه اجرایی این فصل و همچنین ضوابط مربوط به محدودیت استقرار صنایع در مجاورت شهرها توسط سازمان حفاظت محیط زیست با مشارکت وزارتخانه‌های ذیربط تهیه و به تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

#### فصل سوم - منابع تجاری، خانگی و منابع متفرقه

ماده 22- پخش و انتشار هر نوع مواد آلوده‌کننده هوا بیش از حد مجاز از منابع تجاری، خانگی و متفرقه در هوای آزاد ممنوع است.

منابع تجاری، خانگی و متفرقه از جهت نوع و میزان آلودگی توسط سازمان حفاظت محیط زیست مشخص و طبقه‌بندی شده و حد مجاز موضوع این ماده توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

ماده 23- کلیه منابع آلوده‌کننده از قبیل حمام‌ها، نانواپی‌ها، هتل‌ها و رستوران‌ها و غیره مکلفند ضمن اتخاذ تدابیر لازم جهت جلوگیری از انتشار دود و دوده و سایر موارد آلوده‌کننده در هوای آزاد، از سوخت مناسب ترجیحاً گاز شهری که موجب کاهش آلودگی هوا می‌شود استفاده نمایند.

وزارت نفت موظف است در برنامه سوخت رسانی شهرهای بزرگ، تأمین سوخت مناسب و گازرسانی منابع تجاری و واحدهای خدمات عمومی را در اولویت قرار دهد.

ماده 24- سوزاندن و انباشتن زباله‌های شهری و خانگی و هرگونه نخاله در معابر عمومی و فضای باز ممنوع می‌باشد.

ماده 25- وزارتین مسکن و شهرسازی و کشور موظفند هنگام تهیه طرح‌های هادی و جامع و بهسازی شهرها به نحوی برنامه ریزی نمایند که فصل جداگانه‌ای از مطالعات طرح را به بررسی مسائل زیست‌محیطی اختصاص دهند به گونه‌ای که طراحی شهرها و شهرک‌ها و مجتمع‌های مسکونی از نظر فضای سبز و باز، همجواری کاربری‌ها، شبکه معابر و حمل و نقل، ضوابط تراکم ساختمانی و غیره با معیارهای زیست‌محیطی مورد تأیید سازمان متناسب باشد.

تبصره: نقشه‌های شهرها، شهرک‌های مسکونی، قطب‌ها و شهرک‌ها و مجتمع‌های صنعتی،

اداری، کشاورزی و غیره موکول به رعایت ضوابط و مقررات حفاظت محیط زیست می‌باشد.  
ماده 26- آیین نام اجرایی موضوع ماده 25 این قانون مشترکاً توسط وزارت مسکن و شهرسازی، وزارت کشور و سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

ماده 27- ایجاد هرگونه آلودگی صوتی بیش از حد مجاز ممنوع می‌باشد. آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی صوتی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و به تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

#### فصل چهارم - مجازات‌ها

ماده 28- افرادی که با وسایل نقلیه موتوری آلوده کننده غیرمجاز تردد می‌نمایند و همچنین کسانی که محدودیت‌ها و ممنوعیت‌های موضوع ماده 7 این قانون را رعایت ننمایند به حکم دادگاه صالح به جزای نقدی از پنج هزار ریال تا یکصد هزار ریال بنا بر تعداد سیلندر حجم موتور میزان آلودگی و دفعات تکرار جرم محکوم خواهند شد. ضمناً از تردد وسایل نقلیه آلوده کننده مذکور تا رفع موجبات آلودگی جلوگیری بعمل خواهد آمد.

ماده 29- صاحبان و مسئولین کارخانجات و کارگاه‌های آلوده کننده که برخلاف مواد 14 و 16 و 17 این قانون عمل نمایند برای بار اول به جزای نقدی از پانصد هزارریال تا یک میلیون ریال و در صورت تکرار به حبس تعزیری از دو ماه تا شش ماه و جزای نقدی از هفتصد هزارریال تا دو میلیون ریال محکوم می‌شوند.

تبصره 1: صاحبان و مسئولان اینگونه کارخانجات و کارگاه‌های آلوده کننده علاوه بر محکومیت مذکور مکلف به پرداخت ضرر و زیان وارده به محیط زیست و اشخاص حقیقی و حقوقی به حکم دادگاه صالحه می‌باشند.

تبصره 2: در مورد جرایم مقرر در این قانون علاوه بر اشخاص حقیقی و حقوقی سازمان حفاظت محیط زیست برحسب مورد شاکل یا مدعی خصوصی در زمینه خسارات وارده به محیط زیست می‌باشد.

ماده 30- کسانی که از انجام بازرسی مأموران سازمان حفاظت محیط زیست برای نمونه برداری و تعیین میزان آلودگی ناشی از فعالیت کارخانه‌ها و کارگاه‌ها منابع تجاری بهداشتی و خدمات و اماکن عمومی ممانعت به عمل آورده و یا اسناد و مدارک و اطلاعات مورد نیاز سازمان را در اختیار ایشان نگذارند و یا اسناد و مدارک و اطلاعات خلاف واقع ارائه نمایند برحسب مورد و اهمیت موضوع به جزای نقدی از پانصد هزار ریال تا پنج میلیون ریال و در صورت تکرار به حبس تعزیری از یک ماه تا 3 ماه و جزای نقدی مذکور محکوم خواهند شد.  
تبصره: در صورتی که مأموران سازمان حفاظت محیط زیست در جرایم موضوع این ماده همکاری یا مشارکت داشته یا گزارش خلاف واقع ارائه نمایند علاوه بر محکومیت در هیأت‌های رسیدگی به تخلفات اداری به حداکثر مجازات مقرر در این ماده محکوم خواهند شد.

ماده 31- صاحبان و مسئولان منابع تجاری و اماکن عمومی که برخلاف ماده 24 این قانون موجبات آلودگی هوا را فراهم نمایند پس از هر بار اخطار و پایان مهلت مقرر به جزای نقدی از یکصد هزارریال تا پانصد هزارریال و در صورت تکرار از سیصد هزار ریال تا دو میلیون ریال جزای نقدی محکوم خواهند شد.

ماده 32- مسئولین آلودگی حاصل از منابع متفرقه و منابع خانگی و همچنین عاملین آلودگی صوتی به‌جای نقدی از سی هزارریال تا سیصد هزارریال و در صورت تکرار از یکصد هزارریال تا یک میلیون ریال محکوم خواهند شد.

#### فصل پنجم - مقررات مختلف

ماده 33- سازمان صدا و سیما جمهوری اسلامی ایران موظف است با همکاری سازمان حفاظت محیط زیست، برنامه‌های مناسب جهت تنویر افکار عمومی، آموزش و قوانین و مقررات مسائل حفاظت محیط زیست را تنظیم و به‌مورد اجرا بگذارد.

ماده 34- درآمدهای حاصل از اجرای این قانون پس از وصول بلافاصله به‌حساب خزانه واریز گردیده و معادل پنجاه درصد (50٪) وجوه واریزی در هر سال و حداکثر تا سقف یک میلیارد ریال جهت اجرای این قانون به‌صورت ردیف جداگانه در لایحه بودجه هرسال منظور و در اختیار سازمان حفاظت محیط زیست و معادل بیست درصد (20٪) تا سقف چهارصد میلیون ریال در اختیار نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران قرار می‌گیرد.

ماده 35- آیین‌نامه‌های اجرایی این قانون علاوه بر مواردی که در هریک از مواد قانون نسبت به آن تعیین تکلیف شده است حداکثر ظرف سه ماه پس از تصویب این قانون توسط سازمان حفاظت محیط زیست و برحسب مورد با مشارکت یا همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط تهیه و به‌تصویب هیأت وزیران خواهد رسید.

ماده 36- از تاریخ ابلاغ این قانون کلیه قوانین و مقررات مغایر با آن در زمینه جلوگیری از آلودگی هوا لغو می‌گردد.

قانون فوق مشتمل بر سی و شش ماده و چهارده تبصره در جلسه علنی روز یکشنبه مورخ سوم اردیبهشت ماه یکهزار و سیصد و هفتاد و چهار مجلس شورای اسلامی تصویب و در تاریخ 1374/2/13 به‌تأیید شورای نگهبان رسیده است.

### آیین‌نامه اجرایی قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا

(مصوب 1379/6/16)

(به استناد ماده 35 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا - مصوب 1374)

#### فصل اول - کلیات

ماده 1- عبارات و اصطلاحاتی که در این آیین‌نامه به‌کار رفته است، به‌شرح زیر تعریف می‌شوند:

الف: قانون، قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374/2/3 مجلس شورای اسلامی

ب: سازمان، سازمان حفاظت محیط زیست

پ: مواد آلوده‌کننده هوا، هر نوع ماده گازی، بخار، مایع، جامد و یا مجموعه ترکیبی از آنها که در هوای آزاد پخش و باعث آلودگی هوا و یا موجب تشدید آلودگی آن شود و یا ایجاد بوهای نامطبوع نماید از قبیل دود، دوده، ذرات معلق، اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای ازت،

منواکسید کربن، اکسیدکننده‌ها، هیدروکربنها، اسیدها، آمونیاک و نظایر آن.

ت: **گواهینامه مخصوص**، تأییدیه کتبی مراکز معاینه مبنی بر رعایت حد مجاز آلودگی توسط وسایل نقلیه موتوری که به صورت برجسب صادر و بر روی وسایل نقلیه مذکور الصاق می‌شود. این گواهینامه می‌تواند علاوه بر رعایت حد مجاز آلودگی، رعایت ضوابط ایمنی را دربر داشته باشد.

ث: **آلوده کننده**، هر شخص حقیقی که اداره یا تصدی منابع مولد آلودگی را خواه برای خود، خواه به نمایندگی از طرف شخص یا اشخاص حقیقی و حقوقی دیگر برعهده داشته و یا شخصاً و به طرق مختلف عامل ایجاد آلودگی باشد.

ماده 2- **منابع آلوده کننده هوا**، غیر از کارخانه‌ها و کارگاه‌های موضوع آیین‌نامه اجرایی فصل سوم قانون به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف: **وسایل نقلیه موتوری**، هر نوع وسیله‌ای که با موتورهای درون‌سوز حرکت می‌کند و برای حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صورت به کار انداختن منشأ ایجاد یک یا چند ماده آلوده کننده می‌گردد.

ب: **منابع تجاری، خانگی و منابع متفرقه**:

1- **منابع تجاری** به محل‌های مشخصی اطلاق می‌شود که برای انجام فعالیت‌های مختلف تجاری و خدماتی و نگهداری و عرضه تولیدات و کالا و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد و بدون این که محدود به موارد زیر گردد، برحسب نوع فعالیت خدماتی و یا تجاری شامل گروه‌های زیر می‌گردد:

**گروه اول** - هتل‌ها، مهمانخانه‌ها، رستوران‌ها، شیرینی‌پزی‌ها، نانواپی‌ها، گرمابه‌ها و امثال اینها

**گروه دوم** - دامداری‌ها، مرغداری‌های صنعتی، کشتارگاه‌ها، مؤسسات نگهداری حیوانات و امثال آن.

**گروه سوم** - بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و بهداشتی، آزمایشگاه‌ها و امثال اینها.

2- **منابع خانگی**، از قبیل منازل و واحدها و مجتمع‌های مسکونی به مکانی اطلاق می‌شود که صرفاً جهت سکونت مورد استفاده واقع می‌شود.

3- **منابع متفرقه** عبارت است از منابعی غیر از کارخانه‌ها، کارگاه‌ها، وسایل نقلیه موتوری و منابع تجاری و خانگی و هر عملی که ایجاد آلودگی هوا نماید، از قبیل آتش سوزی زباله‌ها و انباشتن مواد زاید و متعفن در هوای آزاد.

ماده 3- سازمان موظف است نسبت به شناسایی و تعیین نوع و میزان مواد آلوده کننده هوا به طرق مقتضی از جمله اخذ اطلاعات، مدارک لازم و در صورت لزوم بازدید و بازرسی اقدام نماید.

**تبصره:** کلیه اشخاص حقیقی و حقوقی مکلفند آمار، اطلاعات و اسناد و مدارک موردنیاز سازمان را که در جهت اجرای قانون و این آیین‌نامه درخواست می‌شود، در اختیار سازمان قرار دهند.

## فصل دوم - وسایل نقلیه موتوری

ماده 4- شرایط ایجاد مراکز معاینه وسایل نقلیه موتوری اعم از بنزینی، گازسوز و تجهیزات

آن توسط سازمان با هماهنگی وزارتخانه‌های کشور و صنایع تنظیم و ابلاغ خواهد شد.

**تبصره:** سازمان مجاز است در جهت حصول اطمینان از روند مطلوب در اجرای ماده (5) قانون و عملکرد صحیح مراکز معاینه نسبت به اخذ آمار و اطلاعات هریک از مراکز مزبور از طریق شهرداری‌های ذی‌ربط و انجام معاینات و آزمایش‌های موردی از برخی وسایل نقلیه موتوری که توسط مراکز یاد شده مورد آزمایش قرار گرفته و گواهی زیست‌محیطی دریافت داشته‌اند، اقدام نماید.

ماده 5- رانندگان وسایل نقلیه موتوری مکلفند برچسب حاوی گواهینامه مخصوص را در محل مناسبی که توسط مراکز معاینه تعیین می‌شود، بر روی شیشه اتومبیل خود نصب نمایند.

ماده 6- طبق زمان‌بندی مصوب شورای عالی ترافیک از تردد وسایل نقلیه موتوری که فاقد برچسب موضوع ماده (5) باشند، در شهرهای تهران، اصفهان، مشهد، تبریز، شیراز، اراک، اهواز و کرج توسط مأموران انتظامی (مأموران راهنمایی و رانندگی) جلوگیری شده و رانندگان وسایل نقلیه مذکور مطابق ماده (28) قانون محکوم خواهند شد.

**تبصره 1:** وسایل نقلیه مذکور تا هنگام رفع موجبات آلودگی و انجام معاینه فنی مجدد و دریافت گواهینامه، اجازه تردد نخواهند داشت.

**تبصره 2:** شمول مقررات این ماده به سایر شهرها بنا به تصویب شورای عالی محیط زیست خواهد بود.

**تبصره 3:** از تردد موتورهای دو زمانه براساس زمان بندی که سازمان تعیین می‌کند در شهرهای یادشده جلوگیری خواهد شد.

#### فصل سوم - منابع تجاری و متفرقه

ماده 7- در اجرای ماده (7) قانون، دستورالعمل مربوط به مواقع اضطراری هوا توسط سازمان و سایر دستگاههای ذیربط تهیه و توسط وزارت کشور ابلاغ می‌شود.

ماده 8- سازمان پس از شناسایی و طبقه‌بندی منابع تجاری، خانگی و منابع متفرقه، آن دسته از منابع مذکور را که آلودگی آنها بیش از حد مجاز می‌باشد، مشخص و مراتب را با تعیین نوع و میزان آلودگی به مسئولان و یا صاحبان منابع فوق‌الذکر اعلام خواهد کرد تا در مهلت معین و مناسبی که توسط سازمان تعیین می‌شود، نسبت به رفع آلودگی اقدام نمایند.

ماده 9- بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی و سایر مراکز مجاز که به‌منظور امحای زباله‌های خود از روش سوزاندن استفاده می‌نمایند، مکلفند از دستگاه زباله‌سوز مناسب که استانداردهای آلودگی هوا را رعایت نماید، استفاده کنند.

ماده 10- سازمان مجاز است در اجرای ماده (23) قانون، در مناطقی که گاز شهری در دسترس می‌باشد، برای اشخاص حقیقی و حقوقی که با عدم استفاده از گاز موجبات آلودگی هوا را فراهم می‌سازند، اخطاریه صادر و مهلت مناسبی را جهت رفع آلودگی تعیین نماید.



## تصویب نامه هیأت وزیران راجع به استانداردهای حدمجاز خروجی از کارخانجات و کارگاههای صنعتی

(موضوع ماده 15 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374)

وزرای عضو کمیسیون مأمور تعیین حدمجاز استانداردهای محیط زیست در جلسه مورخ 1378/10/15 با رعایت تصویب نامه شماره 50467/ت 18526 ه مورخ 1377/8/3 و به استناد ماده (15) قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374 حد مجاز استانداردهای خروجی از کارخانه ها و کارگاه های صنعتی را به شرح جداول شماره 1-17 پیوست تصویب نمودند.

این تصویب نامه در تاریخ 1379/8/28 به تأیید مقام محترم ریاست جمهوری رسیده است.

### جدول شماره 1-17- استانداردهای حدمجاز خروجی از کارخانجات و کارگاههای صنعتی

(موضوع ماده 15 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374/2/3 مجلس شورای اسلامی)

| نوع واحد                         | صنایع آلاینده                                                   | استاندارد گازها  |        |        | استاندارد ذرات |        |        | درصد تیرگی |        | ملاحظات * |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|------------|--------|-----------|
|                                  |                                                                 | واحد             | درجه 1 | درجه 2 | واحد           | درجه 1 | درجه 2 | درجه 1     | درجه 2 |           |
| پالایشگاهها                      | سیستم احیای کاتالیزور                                           | CO               | 0/1    | 0/1    | ppm            | 150    | 350    | 30         | 30     | 2         |
| دستگاههای غیرمستقیم انتقال حرارت | نیروگاهها **<br>پالایشگاهها                                     | SO <sub>2</sub>  | 800    | 800    | ppm            | 150    | 350    | 20         | 20     | 4         |
|                                  |                                                                 | CO               | 150    | 150    | ppm            |        |        |            |        |           |
|                                  |                                                                 | NO <sub>x</sub>  | 350    | 350    | ppm            |        |        |            |        |           |
| کارخانه ذوب آهن                  | کارخانه تهیه کک                                                 | H <sub>2</sub> S | 180    | 360    | ppm            | 100    | 250    | 20         | ---    | 1         |
|                                  | عملیات غربال، خرد کردن، کلوخه سازی                              | ---              | ---    | ---    |                | 100    | 250    | ---        | ---    | 1         |
|                                  | کوره بلند                                                       | CO               | 435    | 435    |                | 50     | 150    | ---        | ---    | 1         |
|                                  | کوره اصلی اکسیژن                                                | CO               | 435    | 435    |                | 100    | 300    | ---        | ---    | 1         |
|                                  | کوره بوتۀ باز                                                   | ---              | ---    | ---    |                |        |        | ---        | ---    |           |
|                                  | کوره قوس الکتریکی                                               | CO               | 435    | 435    |                | 100    | 150    | ---        | ---    | 1         |
|                                  | عملیات زدودن مواد زائد از روی قطعات فولادی به وسیله شعله اکسیژن | ---              | ---    | ---    |                | 50     | 150    | 20         | ---    | 2         |
| کارخانه ذوب اولیه مس             | خنک کننده های مس                                                | ---              | ---    | ---    | ---            | 50     | 150    | 20         | ---    | 5         |
|                                  | کوره های گداز، سرخ کننده ها، تبدیل کننده های مس با کنورترهای مس | SO <sub>2</sub>  | 800    | 800    | ppm            | ---    | ---    | 20         | ---    | 5         |
|                                  | واحد سرخ کردن روی                                               | SO <sub>2</sub>  | 800    | 800    | ppm            | ---    | ---    | 20         | ---    | 2         |
| کارخانه ذوب اولیه روی            | واحد کلوخه سازی (ماشین کلوخه سازی)                              | ---              | ---    | ---    | ---            | 50     | 150    | 20         | ---    | ---       |
| کارخانه احیای اولیه آلومینیوم    | محل استقرار ظروف الکترولیت کارخانه تهیه آند                     | F <sub>2</sub>   | 6/4    | 16     | ppm            | 75     | 150    | 20         | 20     | 2         |

| نوع واحد                                                                                         | صنایع آلاینده                                                                               | استاندارد گازها                |        |        | استاندارد ذرات                       |        |        | درصد تیرگی        |        | ملاحظات * |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|--------------------------------------|--------|--------|-------------------|--------|-----------|--------|
|                                                                                                  |                                                                                             | نوع گاز                        | درجه 1 | درجه 2 | واحد                                 | درجه 1 | درجه 2 | واحد              | درجه 1 |           | درجه 2 |
| فوس الکتریکی<br>برای تهیه<br>آلیاژهای آهن<br>که در آنها<br>الکترودها در<br>یک پایه قرار<br>دارند | فلز سیلیسیم آلیاژ<br>فرو سیلیکون آلیاژ<br>کلسیم سیلیکون یا<br>سیلیکو منگنز زیر<br>کونیوم    | CO                             | 3/5    | ---    | درصد<br>حجمی<br>حداکثر<br>500<br>ppm | 0/45   | 1      | 6                 | 20     | 20        | 2      |
|                                                                                                  | آلیاژ سیلیکو منگنز<br>آلیاژ نقره و آهن و<br>آلیاژ فروکرم با<br>کربن زیاد                    | CO                             | 3/5    | ---    |                                      | 0/23   | 0/5    | 6                 | 20     | 20        | 2      |
|                                                                                                  | چارچ کرم،<br>فرومنگنز استاندارد<br>فرومنگنز سیلیکون<br>کاربید                               | CO                             | 3/5    | ---    |                                      | 0/23   | 0/5    | 6                 | 20     | 20        | 2      |
| کارخانه تولید<br>برنج یا شمش<br>برنز                                                             | کوره های روربر،<br>کوره های الکتریکی<br>و بلند مقعری                                        | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 50     | 100    | mg/m <sup>3</sup> | 20     | 20        | 7      |
| کارخانه ذوب<br>اولیه سرب                                                                         | کوره بلند، کوره<br>روربر ماشین<br>کلوخه سازی                                                | SO <sub>2</sub>                | ---    | ---    | ---                                  | 50     | 100    | mg/m <sup>3</sup> | 20     | ---       | 2      |
|                                                                                                  | ماشین<br>کلوخه سازی، کوره<br>گداز الکتریکی و یا<br>تبدیل کننده                              |                                | 800    | 800    | ppm                                  | ---    | ---    |                   | 20     | ---       | 2      |
| کارخانه<br>کاغذسازی<br>روند سولفیت<br>در تهیه سلولز                                              | تهیه کاغذ                                                                                   | SO <sub>2</sub>                | 4/5    | 15     | کیلوگرم<br>در تن<br>محصول            | ---    | ---    | mg/m <sup>3</sup> | ---    | ---       | ---    |
|                                                                                                  | ناشی از سوخت<br>مایعات مشتعل                                                                | ---                            | ---    | ---    |                                      | 150    | 250    |                   | ---    | ---       | 2      |
| کارخانه تهیه<br>گوگرد                                                                            | ---                                                                                         | SO <sub>2</sub>                | 800    | 100    | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 8      |
|                                                                                                  |                                                                                             | H <sub>2</sub> S               | 20     | 30     |                                      | ---    | ---    |                   | ---    | ---       | ---    |
| کارخانه تهیه<br>آمونیاک                                                                          | کارخانه آمونیاک                                                                             | NH <sub>3</sub>                | 50     | 100    | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | ---    |
| کارخانه تهیه<br>دوده                                                                             | فیلتر گاز مرطوب                                                                             | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 60     | 60     | mg/m <sup>3</sup> | ---    | ---       | 2      |
|                                                                                                  | برج شست و شوی<br>کارخانه، کوره ها                                                           | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 50     | 50     |                   | ---    | ---       | 2      |
|                                                                                                  | بعد سوزها                                                                                   | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 40     | 40     |                   | ---    | ---       | 2      |
|                                                                                                  | کوره ها                                                                                     | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 50     | 50     |                   | ---    | ---       | 2      |
| کارخانه<br>آجر سازی و<br>سایر<br>کارخانجات<br>مشتقات خاک<br>رس                                   | کوره پخت (فلوئور<br>خروجی از کوره<br>پخت)                                                   | F <sub>2</sub>                 | 6/4    | 16     | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
|                                                                                                  | دی اکسید گوگرد<br>خروجی (دودکش)                                                             | SO <sub>2</sub>                | 800    | 800    | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
| کارخانه تهیه<br>پی.وی.سی                                                                         | ذرات خروجی از<br>تهیه آجر                                                                   | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 100    | 250    | mg/m <sup>3</sup> | 20     | 30        | 2      |
|                                                                                                  | تهیه PVC                                                                                    | HCl                            | 67     | 201    | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
| کارخانه تهیه<br>کلورور روی                                                                       | تهیه کلورور روی                                                                             | HCl                            | 67     | 201    | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
| کارخانه تهیه<br>اسید<br>سولفوریک<br>به روش تماسی<br>یا کارخانه<br>تولید اولوم                    | سوختن گوگرد،<br>سوختن هیدروژن<br>سولفور، سوختن<br>اسید الکیل شده،<br>سوختن<br>سولفورهای آلی | SO <sub>2</sub>                | 380    | 456    | ppm                                  | ---    | ---    | ---               | 10     | 20        | ---    |
|                                                                                                  | سوختن مرکاپتانه،<br>سوختن لجن اسید                                                          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | ---    | ---    | ---                                  | 40     | 75     | mg/m <sub>3</sub> | 10     | 20        | ---    |
| کارخانه تهیه<br>سیمان                                                                            | کوره پخت                                                                                    | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 100    | 150    | mg/m <sub>3</sub> | 20     | 18        | ---    |
|                                                                                                  | آسیاب نرم کننده و<br>خرد کننده                                                              | ---                            | ---    | ---    | ---                                  | 150    | 200    |                   | ---    | ---       | ---    |

| نوع واحد                                                                                                                                                 | صنایع آلاینده                                                                                                                                                                                                                             | استاندارد گازها |        |        | استاندارد ذرات |        |                                                                                                                | درصد تیرگی            |        | ملاحظات* |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|--------|----------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|----------|--------|
|                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                           | نوع گاز         | درجه 1 | درجه 2 | واحد           | درجه 1 | درجه 2                                                                                                         | واحد                  | درجه 1 |          | درجه 2 |
| ریخته گری‌ها                                                                                                                                             | کوره‌های: مقعر،<br>القاء الکتریکی و<br>قوس الکتریکی                                                                                                                                                                                       | ---             | ---    | ---    | ---            | 100    | 250                                                                                                            | mg/m <sub>3</sub>     | ---    | ---      | 2      |
| کارخانه تهیه<br>کلرور نیکل                                                                                                                               | تهیه کلرور نیکل                                                                                                                                                                                                                           | HCl             | 67     | 201    | ppm            | ---    | ---                                                                                                            | ---                   | ---    | ---      | 2      |
| کارخانه<br>کاغذسازی<br>روند سولفات<br>(کرافت) در<br>تهیه سلولز                                                                                           | کوره بازیافت                                                                                                                                                                                                                              | ---             | ---    | ---    | ---            | 150    | 250                                                                                                            | ---                   | ---    | ---      | 2      |
|                                                                                                                                                          | گل گوگرد احیا<br>شده (تمام<br>ترکیبات گوگردی<br>احیا شده اسید<br>سولفوریک، متیل<br>مرکاپتان، دی‌متیل<br>سولفور، دی‌متیل<br>دی‌سولفور، غیره<br>برحسب اسید<br>سولفوریک)                                                                     | ---             | ---    | ---    | ---            | 5      | 10                                                                                                             | mg/m <sub>3</sub>     | ---    | ---      | 2      |
|                                                                                                                                                          | گازهای غیرقابل<br>انبساط از سایر<br>واحدها در کارخانه<br>کاغذسازی                                                                                                                                                                         | ---             | ---    | ---    | ---            | ---    | نیاید به‌هوا<br>رهاشوند مگرآنکه<br>قبلاً اکسید<br>اسیون حرارتی<br>شده باشند یا با<br>روش معادل آن<br>حذف شوند. | ---                   | ---    | ---      | 10     |
|                                                                                                                                                          | خشک‌کننده‌های<br>حرارتی                                                                                                                                                                                                                   | ---             | ---    | ---    | ---            | 75     | 150                                                                                                            | mg/m <sup>3</sup>     | ---    | ---      | 2      |
| وسایل تمیز کننده<br>زغال به‌وسیله<br>هوای فشرده                                                                                                          | ---                                                                                                                                                                                                                                       | ---             | ---    | ---    | 40             | 100    | 20                                                                                                             |                       | 30     | ---      |        |
| وسایل حمل و نقل<br>شکننده‌ها،<br>خردکننده‌ها، غربال<br>کننده‌ها، مخازن<br>ذخیره زغال سنگ،<br>نقاط نقل و انتقال<br>زغال سنگ، مراحل<br>بارگیری زغال<br>سنگ | ---                                                                                                                                                                                                                                       | ---             | ---    | ---    | 40             | 100    | 20                                                                                                             |                       | 30     | ---      |        |
| کارخانه تهیه<br>سرامیک                                                                                                                                   | کوره پخت                                                                                                                                                                                                                                  | F <sub>2</sub>  | 10     | 25     | 19             | 200    | 300                                                                                                            | mg/m <sup>3</sup>     | ---    | ---      | 2      |
| کارخانه آزیست                                                                                                                                            | تهیه آزیست                                                                                                                                                                                                                                | الیاف           | ---    | ---    | ---            | 10     | 10                                                                                                             | fibre/cm <sup>3</sup> | ---    | ---      | 2      |
| کارخانه تهیه<br>گچ                                                                                                                                       | مراحل مختلف<br>تهیه گچ                                                                                                                                                                                                                    | ---             | ---    | ---    | ---            | 250    | 600                                                                                                            | mg/m <sup>3</sup>     | ---    | ---      | ---    |
| کارخانه تهیه<br>آسفالت                                                                                                                                   | کوره‌های<br>خشک کننده،<br>الواترها، غربال‌ها،<br>مخازن ذخیره<br>آسفالت، قیفها،<br>مخلوط کننده‌های<br>آسفالت مخازن<br>ذخیره مواد معدنی<br>آسفالت و مواد<br>اولیه، وسایل و<br>دستگاه‌های هدایت<br>کننده گردوغبار<br>به‌وسایل کنترل<br>کننده | ---             | ---    | ---    | ---            | 100    | 250                                                                                                            | mg/m <sup>3</sup>     | 20     | 25       | 2      |
| تصفیه و<br>ذوب‌کننده‌های<br>ثانویه سرب                                                                                                                   | کوره‌های بلند<br>(مقعر) و<br>روربرویات                                                                                                                                                                                                    | ---             | ---    | ---    | ---            | 50     | 100                                                                                                            | mg/m <sup>3</sup>     | 20     | ---      | 2      |
| کارخانه تهیه<br>آلفا<br>کلروپروپین                                                                                                                       | تهیه اسید آلفا<br>کلروپروپین                                                                                                                                                                                                              | HCl             | 67     | 201    | ppm            | ---    | ---                                                                                                            | ---                   | ---    | ---      | 2      |

| نوع واحد                                                           | صنایع آلاینده                                                                                                                               | استاندارد گازها  |        |        | استاندارد ذرات |        |        | درصد تیرگی |        | ملاحظات * |        |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|------------|--------|-----------|--------|
|                                                                    |                                                                                                                                             | نوع گاز          | درجه 1 | درجه 2 | واحد           | درجه 1 | درجه 2 | واحد       | درجه 1 |           | درجه 2 |
| کارخانه تهیه اسید سوپرفسفات به روش توده کردن                       | مخلوط کننده‌ها، حل کننده‌هایی که در آنها واکنش نیز انجام می‌گیرد، سایر حل کننده‌ها، ذخیره کننده‌های سوپرفسفات که در آن واکنش انجام می‌گیرد. | F <sub>2</sub>   | 100    | 150    | 11 ملاحظا<br>ت | ---    | ---    | ---        | 20     | 20        | 12     |
| کارخانه تهیه سوپرفسفات به روش دانه ای                              | راکتورها، دانه کننده‌ها، خشک کننده‌ها، سردکننده‌ها، غریال کننده‌ها، آسیاب کننده ها                                                          | F <sub>2</sub>   | 100    | 150    | 11 ملاحظا<br>ت | ---    | ---    | ---        | 20     | 20        | 12     |
| مخازن ذخیره سوپرفسفات دانه‌ای                                      | توده‌های محصول (جمع شده روی هم) الواتورها، منتقل کننده‌ها، غریالها، آسیابها                                                                 | F <sub>2</sub>   | 0/5    | 0/75   | 13 ملاحظا<br>ت | ---    | ---    | ---        | 20     | ---       | 12     |
| دستگاه‌های انتقال و پرکننده اسیدکلریدریک و کارخانه شیمیایی نظیر آن | دستگاه‌های پرکننده اسید کلریدریک                                                                                                            | HCl              | 67     | 201    | ppm            | ---    | ---    | ---        | ---    | ---       | 2      |
| کارخانه تهیه اسید سیانیدریک                                        | تهیه اسید سیانیدریک                                                                                                                         | HCN              | 8      | 10     | ppm            | ---    | ---    | ---        | ---    | ---       | ---    |
| کارخانه تهیه اسیدنیتریک                                            | واحد تهیه اسید نیتریک تهیه غلیظ از اسید رقیق، عملیات استخراج، عملیات تبخیر                                                                  | NO <sub>x</sub>  | 350    | 500    | ppm            | ---    | ---    | ---        | 20     | 20        | ---    |
| کارخانه تهیه کربنات و بی کربنات دوسود                              | ---                                                                                                                                         | NH <sub>3</sub>  | 5      | 5      | kg/tom         | ---    | ---    | 16 ملاحظات | ---    | ---       | 17     |
| کارخانه تهیه سولفور کربن                                           | تهیه سولفور کربن (سولفور کربن اسید سولفیدریک اکس سولفور کربن) و هر منبع ثابت دیگر                                                           | S <sub>2</sub> C | 100    | 110    | ppm            | ---    | ---    | ---        | ---    | ---       | 12     |
| کارخانه تهیه اسیدفسفریک به روش تر                                  | راکتورها، صافیها، تانک ذخیره اسید فسفریک رقیق، دستگاه تغلیظ کننده اسید فسفریک رقیق، تانک ذخیره اسید فلوئوسیاسیلیک تانکهای تصفیه             | F <sub>2</sub>   | 10     | 25     | 11 ملاحظا<br>ت | ---    | ---    | ---        | ---    | ---       | 12     |
| کارخانه تهیه اسید سوپر فسفریک                                      | ذخیره کننده‌ها، تانک‌های سردکننده محصول دستگاه‌های تغلیظ کننده                                                                              | F <sub>2</sub>   | 5      | 10     | 11 ملاحظا<br>ت | ---    | ---    | ---        | 20     | 20        | 12     |
| کارخانه تولید فسفات دی آمونیوم                                     | راکتورها، دانه کننده‌ها، خشک کننده‌ها، غریال کننده‌ها، آسیاب کننده ها                                                                       | F <sub>2</sub>   | 30     | 50     | 11 ملاحظا<br>ت | ---    | ---    | ---        | 20     | 20        | 12     |

| نوع واحد                                                                                 | صنایع آلاینده                                                                 | استاندارد گازها  |        |        | استاندارد ذرات |        |        | درصد تیرگی        |        | ملاحظات * |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------------------|--------|-----------|--------|
|                                                                                          |                                                                               | نوع گاز          | درجه 1 | درجه 2 | واحد           | درجه 1 | درجه 2 | واحد              | درجه 1 |           | درجه 2 |
| کارخانه تهیه آهک                                                                         | کوره، آسیاب خردکننده، دستگاه‌های آبدیده کردن آهک نقل و انتقال آهک بارگیری آهک | ---              | ---    | ---    | ---            | 100    | 250    | m/m <sup>3</sup>  | 20     | 30        | 2      |
| تهیه اسید کلریدریک                                                                       | تهیه اسید کلریدریک                                                            | HCl              | 67     | 201    | ppm            | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
| عملیات تهیه ماسه و قالب‌سازی کارخانجات ریخته گری                                         | تهیه ماسه، تهیه قالب شکستن قالب                                               | ---              | ---    | ---    | ---            | 150    | 150    | mg/m <sup>3</sup> | ---    | ---       | ---    |
| کارخانه شیشه‌سازی و سایر کارخانجات که توسط آنها که فلوئور یا مشتقات آن به‌هوا تخیه میشود | تهیه شیشه                                                                     | HF               | 36/6   | 48/8   | ppm            | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
| زباله سوز معمولی (شهری و صنعتی بیش از 25 تن در شبانه روز)                                | از دودکش دستگاه زباله سوز                                                     | ---              | ---    | ---    | ---            | 150    | 250    | mg/m <sup>3</sup> | ---    | ---       | ---    |
| کارخانه تهیه کلروفریک                                                                    | تهیه کلروفریک                                                                 | HCl              | 67     | 201    | ppm            | ---    | ---    | ---               | ---    | ---       | 2      |
| سایر واحدهای صنعتی                                                                       | هر روند تولیدی                                                                | SO <sub>2</sub>  | 800    | 800    | ppm            | 100    | 250    | mg/m <sup>3</sup> | 20     | ---       | 21     |
|                                                                                          |                                                                               | H <sub>2</sub> S | 7/2    | 18     | ppm            | 100    | 250    |                   | 20     | ---       | 21     |
|                                                                                          |                                                                               | CO               | 304    | 435    | ppm            | 100    | 250    |                   | 20     | ---       | 21     |
|                                                                                          |                                                                               | F <sub>2</sub>   | 6/4    | 16     | ppm            | 100    | 250    |                   | 20     | ---       | 21     |

\* شرح شماره ستون ملاحظات در جدول صفحه بعد آمده است.

\*\* استاندارد SO<sub>2</sub> خروجی ناشی از مصرف سوخت مازوت در نیروگاه‌ها به‌عنوان استاندارد حد مجاز خروجی تلقی می‌شود.

- 1- استانداردهای درجه یک در مورد کارخانه‌ها و کارگاههای جدید و همچنین کارخانه‌ها و کارگاههای موجود که محل آنها با ضوابط استقرار موضوع ماده 12 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374/2/3 مغایرت داشته باشد، اعمال می‌شود.
- 2- استانداردهای درجه دو برای کارخانه‌ها و کارگاههای موجود که محل آنها با ضوابط استقرار فوق الذکر مغایرتی ندارد، ملاک عمل خواهد بود.

3- واحد اندازه‌گیری ppm و mg/m<sup>3</sup> در شرایط متعارفی (25 درجه سانتیگراد و فشار 760 میلی‌متر) است.

| شماره | شرح شماره ردیف ستون ملاحظات                                                                                                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | میزان متوسط یک ساعته در شرایط متعارفی و حالت خشک                                                                                                                                             |
| 2     | در شرایط متعارفی و حالت خشک                                                                                                                                                                  |
| 3     | فشار بخار واقعی بین 78 تا 580 میلی‌متر جیوه باید به سقف‌های شناور مجهز باشند.                                                                                                                |
| 4     | براساس مصرف سوخت سنگین                                                                                                                                                                       |
| 5     | تیرگی دو دقیقه در ساعت (2min/h)<br>اگر کارخانه تهیه اسید سولفوریک برای کنترل گاز انیدرید سولفور حاصل مورد استفاده قرار می‌گیرد زیاد شدن تیرگی از حد مذکور برای دو دقیقه در ساعت بلامانع است. |
| 6     | کیلوگرم در مگاوات ساعت                                                                                                                                                                       |
| 7     | استانداردها در مورد کوره پخت 100 کیلوگرم در هر ساعت و 250 کیلوگرم در ساعت در کوره‌های بلند پیوسته                                                                                            |
| 8     | اسید سولفوریک موجود به‌انیدرید سولفور تبدیل می‌شود و در هوا تخلیه می‌گردد که به‌طریق مذکور انیدرید سولفور تهیه می‌شود.                                                                       |
| 9     | کیلوگرم به‌ازای یک تن کاغذ خشک                                                                                                                                                               |
| 10    | قبل از تخلیه در هوا اکسیداسیون حرارتی یا روش معادل آن حذف گردند                                                                                                                              |
| 11    | گرم به‌ازای هر تن مواد اولیه مصرفی                                                                                                                                                           |
| 12    | برحسب انیدرید فسفریک                                                                                                                                                                         |
| 13    | گرم به‌ازای هر تن سوپرفسفات دانه‌ای ذخیره شده (انیدرید فسفریک)                                                                                                                               |
| 14    | در شرایط متعارفی و حالت خشک (اگر قطر ذرات کمتر از 30 میکرون نیز مجاز می‌باشد)                                                                                                                |
| 15    | گرم به‌ازای هر کیلوگرم لجن خشک                                                                                                                                                               |
| 16    | کیلوگرم به‌ازای هر تن سودااش                                                                                                                                                                 |
| 17    | کارخانجاتی که به‌روش سلوی کار می‌کند                                                                                                                                                         |
| 18    | 200 درجه سانتیگراد، فشار 760 میلی‌متر جیوه                                                                                                                                                   |
| 19    | میلی‌گرم در مترمکعب گاز خروجی بر حسب فلوئور                                                                                                                                                  |
| 20    | ظرفیت بیش از 25 تن در 24 ساعت                                                                                                                                                                |
| 21    | سایر واحدهای صنعتی که استاندارد برای آنها تدوین نگردیده است                                                                                                                                  |

## تصویب نامه هیأت وزیران راجع به استاندارد گازهای خروجی از اگزوز خودروهای سواری و وانت

(مصوب 1378/2/19)

جدول شماره 2-17- (به استناد مواد 8 و 11 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374)

| وزن مرجع*<br>کیلوگرم<br>آلاینده<br>gr/test | تا 1020 | بیش از<br>تا 1020<br>تا 1250 | بیش از<br>تا 1250<br>تا 1470 | بیش از<br>تا 1470<br>تا 1700 | بیش از<br>تا 1700<br>تا 1930 | بیش از<br>تا 1930<br>تا 2150 | بیش از<br>2150 |
|--------------------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|
| CO                                         | 58      | 67                           | 76                           | 84                           | 93                           | 101                          | 110            |
| HC-NOX                                     | 19      | 20/5                         | 22                           | 23/5                         | 25                           | 26/5                         | 28             |

\* وزن مرجع عبارت از وزن خودرو آماده حرکت بدون بار و سرنشین و راننده با باک پر از سوخت و ملزومات ضروری به علاوه 100 کیلوگرم

کلیه واردکنندگان و تولیدکنندگان داخلی انواع خودروهای بنزینی سواری و وانت موظفند استاندارد اروپایی ECE-15/04 یا معادل آن 83/351/ECE را در ساخت یا ورود خودروهای مذکور رعایت نمایند.

تبصره: در صورتی که کارخانجات سازنده خودروهای داخلی نتوانند استاندارد فوق را رعایت نمایند، تا پایان سال 1378 فرصت دارند تا براساس برنامه‌ای که به تأیید وزارت صنایع و سازمان حفاظت محیط زیست می‌رسانند، نسبت به تطبیق تولیدات خود با استاندارد فوق اقدام نمایند، در غیر این صورت تولید این خودروها از آغاز سال 1379 ممنوع است.

این متن جانشین تصویب نامه شماره 233/ت 10 مورخ 1373/1/29 می‌شود. از اوایل سال 1383 برای خودروهای بنزینی ساخت سال‌های قبل استاندارد 8301 و برای آنهایی که در حال حاضر ساخته می‌شوند باید استاندارد 8303 را داشته باشند.

### استانداردهای انتشار آلودگی هوا برای هیدروکربنها

گروه یک - حداکثر مجاز 20 میلی گرم در مترمکعب با جریان جرمی 0/1 کیلوگرم در ساعت

1. Acetaldehyde
2. Acrilan
3. Formic Acid
4. Ethylene Oxide
5. Aniline
6. Benzene
7. Butyric Acid
8. Decanoic Acid
9. Hexanoic Acid
10. Octanoic Acid
11. Diethyl Amin
12. Dimethyl Amin
13. Dinitro Benzene
14. Formaldehyde

15. Furfural
16. Cresols
17. Monoethyl Amin
18. Mono Methyl Amin
19. Mono Nitro Benzene
20. heptanoic Acid
21. Propenoic Acid
22. Pyridine
23. Thio Phenol
24. Triethyl Amin
25. Trimethyl Amin
26. Pentanoic Acid
27. Mercaptan
28. Thio Ether
29. Phenol

گروه دو - حداکثر مجاز 150 میلی گرم در مترمکعب با جریان جرمی 0/3 کیلوگرم در ساعت

1. Acrylic Acid and the derivatives
2. Ethyl Benzene
3. Amyl Acetate
4. Amyl Alcohol and its isomers
5. Iso butanol
6. N-Butanol
7. N-Butyl Acetate
8. Chloroform
9. Cyclohexanol
10. Diacetone Alcohol
11. Dichloro Ethan
12. Ethylene Dichloride
13. Ortho Dichloro Benzene
14. Dimethy Formaldehyde
15. Dioxan
16. Acetic Acid
17. Methyl Acetate
18. Ethyl Acetate
19. Monochloro Benzene
20. Naphthalene
21. Chloro Ethylene
22. Carbon Sulphide
23. Vinyl Benzene
24. Carbon Tetra Chloride
25. Tetrahydro Furan
26. Tetrahydro Naphthalene
27. Toluene
28. Dichloro Ethylene
29. Trichloro Ethylene
30. Vinyl Acetate
31. Xylene
32. Methyl Iso Butyl
33. Methyl Glycol
34. Methyl Cyclo Hexanone



### 35. Methylene Chloride

گروه سوم - حداکثر مجاز 300 میلی گرم در مترمکعب با جریان جرمی 0/6 کیلوگرم در ساعت

1. Acetone
2. Ethyl Acetate
3. Ethyl Glycol
4. Cyclo Hexane
5. Diethyl Ether
6. N-Heptane
7. N-Hexane
8. Methanol

جدول شماره 3-17- استانداردهای هوای آزاد بصورت راهنما سازمان جهانی بهداشت 1998

| نوع ترکیب      | غلظت                                          | میانگین زمان |
|----------------|-----------------------------------------------|--------------|
| مونوکسید کربن  | 100 میلی گرم در مترمکعب                       | 15 دقیقه     |
|                | 60 میلی گرم در مترمکعب                        | 30 دقیقه     |
|                | 30 میلی گرم در مترمکعب                        | 1 ساعت       |
|                | 10 میلی گرم در مترمکعب                        | 8 ساعت       |
| اوزن           | 120 میکروگرم در مترمکعب                       | 8 ساعت       |
| دی اکسید ازت   | 200 میکروگرم در مترمکعب                       | 1 ساعت       |
|                | 40 میکروگرم در مترمکعب                        | سالانه       |
| دی اکسید گوگرد | 500 میکروگرم در مترمکعب                       | 10 دقیقه     |
|                | 125 میکروگرم در مترمکعب                       | 24 ساعت      |
|                | 50 میکروگرم در مترمکعب                        | سالانه       |
|                |                                               |              |
| ذرات PM10      | 150                                           | 24 ساعته     |
|                | 50                                            | سالانه       |
| بنزن           | $(6 \times 10^{-6})^{-1}$ میکروگرم در مترمکعب | *UR/Lifetime |

در راهنمای سازمان جهانی بهداشت برای سایر آلاینده‌هایی که به‌طور معمول در استانداردها نیستند هم غلظت‌های مجاز را ذکر کرده است که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

### الف - ترکیبات الی

| نوع ترکیب          | غلظت (میلی گرم در مترمکعب)                 | میانگین زمان  |
|--------------------|--------------------------------------------|---------------|
| دی کلرومتان        | 3                                          | 24 ساعته      |
| فرم الدهید         | 0/1                                        | 30 دقیقه      |
| PAH <sup>(1)</sup> | $(8/7 \times 10^{-5} \text{ ng/m}^3)^{-1}$ | (UR/lifetime) |
| استایرن            | 0/26                                       | هفتگی         |
| تری کلرواتیلن      | 0/25                                       | سالانه        |
| تولوئن             | 0/26                                       | هفتگی         |

### ب - مواد معدنی

| نوع ترکیب    | غلظت (میکروگرم در مترمکعب)  | میانگین زمان |
|--------------|-----------------------------|--------------|
| آرسنیک       | $(1/5 \times 10^{-5})^{-1}$ | UR/Lifetime  |
| کادمیوم      | 5ng/m <sup>3</sup>          | سالانه       |
| کرم 6 ظرفیتی | $(4 \times 10^{-2})^{-1}$   | UR/Lifetime  |
| فلوراید      | ندارد                       | ندارد        |
| سرب          | 0/5                         | سالانه       |
| منگنز        | 0/15                        | سالانه       |
| جیوه         | 1                           | سالانه       |
| نیکل         | 1                           | سالانه       |

### ج - اثر سموم اکولوژیکی Ecotoxic effects

| نوع ترکیب                 | غلظت (میکروگرم در مترمکعب)    | میانگین زمان |
|---------------------------|-------------------------------|--------------|
| SO <sub>2</sub> حد بحرانی | 10-30                         | سالانه       |
| بار بحرانی                | 500-250 معادل در هکتار در سال | ---          |
| NO <sub>x</sub> حد بحرانی | 30                            | سالانه       |
| بار بحرانی                | 15-35 kgN در هکتار در سال     |              |
| اوزن                      | 10-0/2 پی پی بی               |              |

\* UR بیان خطر مرگ ناشی از سرطان در طول عمر است. مثلاً مورد بنزن 6 نفر در جمعیت یک میلیونی اگر در مدت عمر خود با غلظت 1 میکروگرم در مترمکعب در تماس باشند از سرطان خواهند مرد و در مورد PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)، 87 نفر از هر یک میلیون نفری که با یک نانوگرم در مترمکعب در تماس باشند از سرطان می میرند و...

### شاخص کیفیت هوا

شاخص کیفیت هوا یا (AQI) یک شاخص برای گزارش روزانه کیفیت هواست. این شاخص میزان آلودگی یا تمیزی هوا و نگرانی در خصوص سلامت افراد جامعه را بیان می کند. AQI بر اثرات بهداشتی که ممکن است در ساعات یا روزهای آینده اتفاق افتد متمرکز است. EPA از AQI برای 5 آلاینده عمده ای که قانون هوای پاک تأکید کرده است استفاده می کند.

این آلاینده‌ها شامل اوزن سطح زمین، ذرات معلق هوا، مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن هستند. برای هریک از این 5 آلاینده استانداردهایی به منظور حفاظت افراد در برابر اثر آلودگی هوا وضع شده است. AQI معیاری است که از صفر تا 500 متغیر است. هرچه AQI بزرگ‌تر باشد خطرات آلودگی هوا بیشتر است. برای مثال AQI برابر 50 نشان‌دهنده هوای خوب است که تأثیر بسیار کمی ممکن است بر سلامت انسان داشته باشد، در حالی که AQI برابر 300 معرف کیفیت خطرناک هواست.

AQI معادل 100 با استانداردهای ملی تطابق دارد و بالای 100 غیربهداشتی در درجه اول برای گروه‌های حساس است. AQI به افراد کمک می‌کند تا بفهمند کیفیت هوا برای سلامت آنها در چه وضعی است. برای فهم بهتر، AQI را به شش گروه تقسیم کرده‌اند که در جدول 17-5 ملاحظه می‌شود و در جدول 4-17 اثر هریک از آلودگی‌ها بر گروه حساس ملاحظه می‌شود.

**جدول شماره 4-17- گروه‌های حساس به هریک از آلودگی‌ها**

|                                                       |                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------|
| بچه‌ها و افراد مبتلا به آسم در معرض خطر بیشتری هستند. | اوزن              |
| افرادی با بیماری‌های ریوی یا قلبی، سالمندان و بچه‌ها  | PM <sub>2.5</sub> |
| افراد مبتلا به بیماری‌های ریوی                        | PM <sub>10</sub>  |
| افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی                        | CO                |
| افراد مبتلا به آسم                                    | SO <sub>2</sub>   |

**جدول شماره 5-17- گروه‌های شاخص کیفیت هوا و رنگ‌های مربوط به هر گروه**

| AQI         | شرح                       | رنگ نشانه |
|-------------|---------------------------|-----------|
| 50-0        | خوب                       | سبز       |
| 100-51      | متوسط                     | زرد       |
| 150-101     | غیربهداشتی برای گروه حساس | نارنجی    |
| 200-151     | غیربهداشتی                | قرمز      |
| 300-201     | خیلی غیربهداشتی           | بنفش      |
| 301 به بالا | خطرناک                    | خرمایی    |

### تهیه گزارش AQI

گزارش باید برای رسانه‌های محلی (روزنامه‌ها، رادیو، تلویزیون) برای درج یا پخش ارسال گردد و در یک یا چند محل که مردم به آن دسترسی داشته باشند نصب شود و یا در صفحات "وب" اینترنت به صورت پیام به اطلاع برسد. وقتی شاخص بیش از 100 باشد باید گزارش تا جایی که ممکن است گسترده باشد. موارد زیر باید در گزارش منظور گردد.

- منطقه مورد گزارش

- دوره مورد گزارش

- آلودگی بحرانی

- عدد شاخص AQI

- نام سایر آلاینده‌هایی که شاخص آنها بیش از 100 است

- شاخص برای مناطق مجاور
- غلظت واقعی آلودگی هوا
- علت بروز AQI غیرعادی
- اثرهای بهداشتی و مراقبت‌هایی که باید اعمال شود

### روش محاسبه AQI

محاسبه AQI با استفاده از جدول 6-17 و غلظت اندازه‌گیری شده برای هریک از آلاینده‌ها و با استفاده از رابطه 1-16 صورت می‌گیرد:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad 16-1$$

که در آن:

$I_p$  = شاخص آلودگی

$C_p$  = غلظت آلودگی (گردشده)

$BP_{Hi}$  = نقطه شکست در جدول که برابر یا بزرگ‌تر از  $C_p$  باشد.

$BP_{Lo}$  = نقطه شکست در جدول که برابر یا کمتر از  $C_p$  باشد.

$I_{Hi}$  = AQI که با  $BP_{Hi}$  تطابق دارد.

$I_{Lo}$  = AQI که با  $BP_{Lo}$  تطابق دارد.

### جدول شماره 6-17- نقاط شکست برای AQI

| وضعیت                   | AQI     | NO <sub>2</sub><br>ppm<br>24 ساعته | SO <sub>2</sub><br>ppm<br>24 ساعته | CO<br>ppm<br>8 ساعته | PM <sub>10</sub><br>μg/m <sup>3</sup><br>24 ساعته | PM <sub>2.5</sub><br>μg/m <sup>3</sup><br>24 ساعته | O <sub>3</sub><br>ppm<br>یک ساعته | O <sub>3</sub><br>ppm<br>8 ساعته |
|-------------------------|---------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| خوب                     | 0-50    | (2)                                | 0/000-0/034                        | 0/0-4/4              | 0-54                                              | 0-15/4                                             | ---                               | 0-0/064                          |
| متوسط                   | 51-100  | (2)                                | 0/035-0/144                        | 4/5-9/4              | 55-154                                            | 15/5-40/4                                          | ---                               | -0/084                           |
| غیربهداشتی برای حساس‌ها | 101-150 | (2)                                | 0/145-0/224                        | 9/5-12/4             | 155-254                                           | 40/5-65/4                                          | -0/164                            | 0/065                            |
| غیربهداشتی              | 151-200 | (2)                                | 0/225-0/304                        | 12/5-15/4            | 255-354                                           | 65/5-150/4                                         | 0/125                             | -0/104                           |
| خیلی غیربهداشتی         | 201-300 | 0/65-1/24                          | 0/305-0/604                        | 15/5-30/4            | 355-424                                           | -250/4                                             | -0/204                            | 0/085                            |
| خطرناک                  | 301-400 | 1/25-1/64                          | 0/605-0/804                        | 30/5-40/4            | 425-504                                           | 150/5                                              | 0/165                             | -0/124                           |
| خیلی خطرناک             | 401-500 | 1/65-2/04                          | 805-1/004                          | 40/5-50/4            | 505-604                                           | -350/4                                             | -0/404                            | 0/105                            |
|                         |         |                                    |                                    |                      |                                                   | 250/5                                              | 0/205                             | -0/374                           |
|                         |         |                                    |                                    |                      |                                                   | -500/4                                             | -0/504                            | 0/125                            |
|                         |         |                                    |                                    |                      |                                                   | 350/5                                              | 0/405                             | (3)                              |
|                         |         |                                    |                                    |                      |                                                   |                                                    | -0/604                            | (3)                              |
|                         |         |                                    |                                    |                      |                                                   |                                                    | 0/505                             |                                  |

(1) معمولاً مناطقی وجود دارند که لازم است AQI برای O<sub>3</sub>، هشت ساعته گزارش شود. مناطق کمی هم هستند که در آن AQI براساس O<sub>3</sub> یک ساعته خیلی ضروری است، ولی اگر لازم شد باید علاوه بر محاسبه شاخص O<sub>3</sub>، هشت ساعته، شاخص یک ساعته آن هم انجام گیرد و AQI بزرگتر گزارش شود.

(2) در NAAQS برای NO<sub>2</sub> کوتاه‌مدت عددی داده نشده است. بنابراین برای غلظت‌هایی که AQI 200 و بالا می‌دهد، محاسبه انجام می‌شود.

(3) وقتی غلظت هشت ساعته اوزن از 0/374 پی‌پی‌ام اضافه‌تر شود، AQI برابر 301 یا بیشتر با غلظت یک ساعته اوزن محاسبه می‌شود.

### مثال 1- اوزن هشت ساعته

فرض کنیم در اندازه‌گیری‌ها غلظت هشت ساعته اوزن 0/087 پی‌پی‌ام بوده است،

می‌خواهیم AQI را برای این غلظت محاسبه کنیم.

حل: با مراجعه به جدول 6-17 باید دید که غلظت 0/087 در گستره کدام مقادیر غلظت‌ها قرار می‌گیرد که مشاهده خواهد شد در 0/104 - 0/085 پی‌پی‌ام است و این ردیف با شاخص 101-150 مطابقت دارد. حال با جایگزینی این اعداد رابطه 1-17 شاخص این غلظت اوزن به‌دست می‌آید:

$$\frac{150 - 101}{0.104 - 0.085} (0.087 - 0.085) + 101 = \frac{49}{0.019} \times 0.002 + 101 = 106$$

بنابراین غلظت 0/087 اوزن هشت ساعته با شاخص 106 مطابقت دارد که برای افراد حساس غیربهداشتی است.

## مثال 2: برای چند آلاینده

فرض می‌شود که غلظت هشت ساعته اوزن 0/077 پی‌پی‌ام و ذرات  $PM_{2.5}$  54/4 میکروگرم در مترمکعب و CO، هشت ساعته 8/4 پی‌پی‌ام باشد. شاخص کیفیت هوا را برای هر سه مورد محاسبه کنید.

$$O_3 = \frac{100 - 51}{0.084 - 0.065} (0.077 - 0.065) + 51 = 82$$

$$PM_{2.5} = \frac{150 - 101}{65.4 - 40.5} (54.4 - 40.5) + 101 = 128$$

$$CO = \frac{100 - 51}{9.4 - 4.5} (8.4 - 4.5) + 51 = 90$$

نتیجه این که ذرات معلق  $PM_{2.5}$  با  $AQI = 128$  مسئول آلودگی هوا برای سلامت افراد حساس است.

## آیین‌نامه‌ها و تصویب‌نامه‌ها

### بند ج، ماده 104 قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران

به منظور کاهش عوامل آلوده کننده محیط زیست، بالاخص در مورد منابع طبیعی و منابع آب کشور، واحدهای تولیدی موظفند برای تطبیق مشخصات فنی خود با ضوابط محیط زیست و کاهش آلودگیها اقدام کنند. هزینه‌های انجام شده، در این مورد بعنوان هزینه‌های قابل قبول واحدها منظور می‌گردد.

از واحدهایی که از انجام این امر خودداری نمایند و فعالیت‌های آنها باعث آلودگی و تخریب محیط زیست گردد، جریمه متناسب با خسارات وارده اخذ و به‌درآمد عمومی واریز می‌گردد تا در قالب لوایح بودجه سنواتی برای اجرای طرح‌های سالم‌سازی محیط زیست هزینه شود. آیین‌نامه این بند مشتمل بر مبلغ و چگونگی اخذ جرایم و نحوه هزینه آن به‌پیشنهاد سازمان حفاظت محیط زیست به‌تصویب هیأت وزیران می‌رسد.

### تصویب نامه هیأت وزیران

هیأت وزیران در جلسه مورخ 1379/12/27 بنا به‌پیشنهاد شماره

105/5328-319/1473 مورخ 1379/9/6 سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور به استناد بند (ج) ماده 104 قانون برنامه سوم توسعه، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران - مصوب 1379- آیین نامه اجرایی بند یاد شده را به شرح زیر تصویب کرد:

آیین نامه اجرایی بند ج ماده 104 و 134 قانون برنامه 5 ساله سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران

ماده 1- در این آیین نامه تعاریف زیر به کار رفته است:

آلودگی: عبارت است از تعریف مذکور در ماده (9) قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست. تخریب: منظور هرگونه تغییر در منابع طبیعی است که تعادل طبیعت و تنوع زیستی را به طور جدی در معرض خطر قرار دهد.

خروجی: منظور فاضلاب، هوای آلوده، مواد زائد و یا صوتی است که از واحد به محیط تخلیه می شود.

واحد: منظور واحدهای تولیدی اعم از صنعتی، معدنی و صنایع کشاورزی است که نتیجه کار آنها مواد اولیه، محصول یا حامل انرژی است.

سازمان: منظور سازمان حفاظت محیط زیست است.

میزان آلودگی: عبارت است از مقدار افزایش آلودگی از حد مجاز (طبق جداول پیوست) تقسیم بر حد مجاز به شرح زیر:

$$\text{حد مجاز} - \text{مقدار اندازه گیری شده} \\ \text{میزان آلودگی} = \frac{\text{حد مجاز}}{\text{حد مجاز}}$$

ماده 2- کلیه واحدها موظفند خروجی خود را در حد ضوابط، معیارها و استانداردهای زیست محیطی که از طرف سازمان اعلام می شود، حفظ کنند.

ماده 3- کلیه واحدهایی که خروجی آنها آلودگی بیش از حد ضوابط، معیارها و استانداردهای زیست محیطی دارند همچنین واحدهایی که فعالیت آنها باعث تخریب محیط زیست می شود موظفند پس از اخطار سازمان و تعیین مهلت اقدامات لازم را در جهت کاهش یا رفع آلودگی و تخریب بعمل آورند. هزینه های انجام شده از نظر مالیاتی قابل قبول خواهد بود.

● ج - ضریب 2 در صورتی که زمان تولید در شب باشد.

● د - ضریب ریالی (1000 ریال بر دسی بل)

● ه - ضریب حساسیت محیط (مطابق جدول 5)

ماده 9- میزان جریمه تخریب از حاصل ضرب عوامل زیر در ضریب ریالی (طبق جدول 6) تعیین می گردد مازاد بر سطح، حجم یا تعداد مجازی که دستگاه صادر کننده در مجوز اعلام می کند:

● الف- در مورد تخریب خاک، حجم خاک جابجا شده (به مترمکعب)

● ب - در مورد تخریب اراضی، مساحت اراضی تخریب شده (به هکتار)

● ج - در مورد قطع اشجار و بوته کنی، تعداد و نوع گونه

● د - در مورد مرگ و میر جانوران وحشی، تعداد و نوع گونه

● ه - در مورد رودخانه ها و سایر جریان های آبی، طول مسیر (به کیلومتر)

● و - در تالابها و سایر آبهای ساکن (هکتار)

ماده 10- ضریب ریالی هر سال بر اساس نرخ رسمی تورم سال قبل که توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران اعلام می‌شود، افزایش می‌یابد.

ماده 11- جریمه واحدهایی که ضمن پرداخت جریمه جهت کاهش آلودگی‌های خود اقدام نکنند پس از گذشت هر سال با ضریب دو نسبت به سال قبل محاسبه می‌شود.

ماده 12- در صورتی که به تشخیص سازمان تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان آلودگی بوجود آید سازمان می‌تواند جریمه را مجدداً محاسبه و اعمال نماید.

ماده 13- در صورتی که آلودگی واحدی خطر فوری برای سلامت انسان و محیط داشته باشد مطابق تبصره ماده (11) قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست اقدام خواهد شد.

ماده 14- جریمه طبق جداول این آیین‌نامه توسط سازمان محاسبه و به‌واحد اعلام می‌گردد، در صورتی که واحدی ظرف مدت یک ماه پس از ابلاغ جریمه، از پرداخت جریمه خودداری کند مطابق قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست اقدام خواهد شد.

تبصره: جهت آگاهی واحدها نسبت به موضوع، در مهلت داده شده، جریمه واحدها محاسبه و فقط جهت اطلاع به آنها اعلام می‌گردد.

ماده 15- سازمان موظف است که با همکاری دستگاههای ذی‌ربط نسبت به تدوین و اجرای برنامه‌های آموزشی و اطلاع رسانی در زمینه تطبیق مشخصات فنی واحدهای صنعتی و تولیدی، قوانین و مقررات و استانداردهای زیست‌محیطی اقدام نماید.

تبصره: صدور اخطار و تعیین مهلت توسط سازمان از ابتدای سال 1381 آغاز خواهد شد.

ماده 16- جریمه واحدها به حساب خزانه واریز شده و معادل آن در لوایح بودجه سنواتی پیش‌بینی می‌گردد. تا جهت اجرای طرح‌های سالم‌سازی محیط زیست و جبران خسارت باهماهنگی سازمان محیط زیست و سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور از طریق دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط هزینه گردد. هزینه‌های مطالعه، آموزش، اطلاع رسانی، از محل این ماده نیز قابل تأمین خواهد بود.

ماده 17- در مورد شهرک‌های صنعتی و دیگر مجتمع‌های مشابه آن مدیریت مجموعه به‌عنوان شخصیت حقوقی پاسخگو و در جمع‌آوری سهم جریمه واحد همکاری خواهد داشت.

حسن حبیبی

معاون اول رئیس جمهور

جدول شماره 1- آب

| ردیف | عوامل آلاینده                 | حد مجاز تخلیه Mg/lit |                  |              | ملاحظات                                                |
|------|-------------------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------------------------------------------------|
|      |                               | به آبهای سطحی        | به آبهای کشاورزی | مصرف کشاورزی |                                                        |
| 1    | BOD <sub>5</sub>              | 50                   | 50               | 100          | ضریب ریالی 10                                          |
| 2    | COD                           | 100                  | 100              | 200          | 7                                                      |
| 3    | فسفات (برحسب فسفر)            | 1                    | 1                | ---          | 0/1                                                    |
| 4    | نیترات                        | 50                   | 10               | ---          | 5                                                      |
| 5    | سیانور (CN)                   | 0/5                  | 0/1              | 0/1          | 50                                                     |
| 6    | کادمیوم (Cd)                  | 0/2                  | 0/2              | 0/05         | 12                                                     |
| 7    | کروم کل (Cr)                  | 0/5                  | 1                | 1            | 30                                                     |
| 8    | جیوه (Hg)                     | آثار                 | آثار             | آثار         | 60                                                     |
| 9    | کبالت (Co)                    | 1                    | 1                | 0/05         | 60                                                     |
| 10   | مولیبدن (Mo)                  | 0/01                 | 0/01             | 0/01         | 0/6                                                    |
| 11   | نیکل (Ni)                     | 2                    | 2                | 2            | 120                                                    |
| 12   | سرب (Pb)                      | 1                    | 1                | 1            | 60                                                     |
| 13   | سلنیوم (Se)                   | 1                    | 0/1              | 0/1          | 60                                                     |
| 14   | نقره (Ag)                     | 1                    | 0/1              | 0/1          | 60                                                     |
| 15   | وانادیم (V)                   | 0/1                  | 0/1              | 0/1          | 6                                                      |
| 16   | ارسنیک (As)                   | 0/1                  | 0/1              | 0/1          | 6                                                      |
| 17   | مواد چربی و نفتی              | 10                   | 10               | 10           | 1                                                      |
| 18   | دترجنت                        | 1/5                  | 0/5              | 0/5          | 22                                                     |
| 19   | PH                            | 6/5-8/5              | 5-9              | 6-8/5        | هر درجه کاهش یا افزایش نسبت به حد مجاز در مترمکعب      |
| 20   | دما (C)                       | ---                  | ---              | ---          | هر 3 درجه کاهش یا افزایش در فاصله 200 متری از محل ورود |
| 21   | کدورت (NTU)                   | 50                   | ---              | 50           | هر واحد اختلاف TCU                                     |
| 22   | رنگ (TCU)                     | 75 واحد رنگ          | 75 واحد رنگ      | 75 واحد رنگ  | هر واحد اختلاف TCU                                     |
| 23   | اشریشیاکلی گرمابای            | 2000/1000ml          | 4000/1000ml      | 4000/1000ml  | بازاء هر میلیون عدد باکتری                             |
| 24   | تخم انگلهای کرمی (کرم نماتود) | 1/1000ml             | 1/1000ml         | 1/1000ml     | بازاء هر 10 عدد مازاد در هر مترمکعب                    |
| 25   | مجموع مواد جامد محلول (TDS)   | تبصره یک             | تبصره دو         | ---          | 2                                                      |

تبصره یک: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب خروجی، غلظت کلراید، سولفات و مواد محلول منبع پذیرنده را در شعاع 200 متری بیش از 10 درصد افزایش ندهد.

تبصره دو: تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که افزایش کلراید، سولفات و مواد محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از 10 درصد نباشد.



جدول شماره 4- هوا

| ردیف | عوامل آلاینده    | منبع آلاینده                                | واحد              | حدو مجاز تخلیه |        | ضریب ریالی | ملاحظات |
|------|------------------|---------------------------------------------|-------------------|----------------|--------|------------|---------|
|      |                  |                                             |                   | درجه 1         | درجه 2 |            |         |
| 1    | CO               | پالایشگاه                                   | PPM               | 130            | 130    | 10         |         |
|      |                  | ذوب آهن                                     | PPM               | 435            | 435    | 5          |         |
|      |                  | کوره های قوس الکتریک برای تولید آهن         | PPM               | 500            | 500    | 5          |         |
| 2    | SO <sub>2</sub>  | نیروگاهها                                   | PPM               | 800            | 800    | 2          |         |
|      |                  | ذوب اولیه مس - سرب و روی                    | PPM               | 800            | 800    | 2          |         |
|      |                  | تهیه گوگرد                                  | PPM               | 800            | 1000   | 1          |         |
|      |                  | تهیه اسید سولفوریک                          | PPM               | 1000           | 1200   | 1          |         |
|      |                  | تهیه کاغذ                                   | kg/تن             | 4/5            | 15     | 1          |         |
| 3    | NO <sub>x</sub>  | پالایشگاه                                   | PPM               | 350            | 500    | 8          |         |
|      |                  | تهیه اسید نیتریک                            | PPM               | 20             | 30     | 5          |         |
| 4    | H <sub>2</sub> S | تهیه گوگرد                                  | PPM               | 20             | 30     | 16         |         |
|      |                  | تهیه کک                                     | PPM               | 180            | 400    | 5          |         |
| 5    | NH <sub>3</sub>  | تهیه آمونیاک                                | PPM               | 50             | 100    | 13         |         |
|      |                  | تهیه کربنات و بی کربنات دو سود              | kg/تن             | 5              | 5      | ---        |         |
| 6    | HCN              | تهیه اسید سیانیدریک                         | PPM               | 8              | 10     | 20         |         |
| 7    | FH               | کارخانه تولید شیشه                          | PPM               | 25             | 30     | 16         |         |
| 8    | F <sub>2</sub>   | تهیه اسید فسفریک به روش تر                  | kg/تن             | 10             | 25     | 9          |         |
|      |                  | تهیه اسید سوپرفسفریک                        | kg/تن             | 5              | 10     | 10         |         |
|      |                  | تولید فسفات دی آمونیوم                      | kg/تن             | 30             | 50     | 6          |         |
|      |                  | کارخانه تولید آجر                           | kg/تن             | 10             | 25     | 9          |         |
|      |                  | تهیه سرامیک                                 | kg/تن             | 10             | 25     | 9          |         |
|      |                  | تهیه سوپرفسفات به روش توده کردن             | kg/تن             | 100            | 150    | 2          |         |
|      |                  | تهیه سوپرفسفات به روش دانه ای               | kg/تن             | 120            | 150    | 2          |         |
|      |                  | مخازن ذخیره سوپرفسفات دانه ای               | kg/تن             | 0/5            | 0/75   | 2          |         |
|      |                  | احیاء اولیه آلومینیوم (در ذخیره و حالت خشک) | PPM               | 8              | 20     | 18         |         |
| 9    | S <sub>2</sub> C | تولید سولفور کربن                           | PPM               | 100            | 110    | 10         |         |
| 10   | ذرات             | ریخته گری ها                                | mg/m <sup>3</sup> | 100            | 250    | 9          |         |
|      |                  | عملیات تهیه ماسه و قالبسازی                 | mg/m <sup>3</sup> | 150            | 150    | 10         |         |
|      |                  | کارخانجات ریخته گری                         | mg/m <sup>3</sup> | 40             | 75     | 14         |         |
|      |                  | تولید اسید سولفوریک                         | mg/m <sup>3</sup> | 150            | 250    | 9          |         |
|      |                  | کاغذسازی، کوره بازیافت، حمل مرکابتان        | mg/m <sup>3</sup> | 5              | 10     | 20         |         |
|      |                  | فیلتر گاز مرطوب (تهیه دوده)                 | mg/m <sup>3</sup> | 60             | 60     | 14         |         |
|      |                  | برج شستشو (تهیه دوده)                       | mg/m <sup>3</sup> | 50             | 50     | 150        |         |
|      |                  | کوره ها (تهیه دوده)                         | mg/m <sup>3</sup> | 50             | 50     | 150        |         |

| ملاحظات | ضریب ریالی | حدو مجاز تخلیه |        | واحد              | منبع آلاینده                        | عوامل آلاینده | نوع آلاینده |
|---------|------------|----------------|--------|-------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|
|         |            | درجه 1         | درجه 2 |                   |                                     |               |             |
|         | 16         | 40             | 40     | mg/m <sup>3</sup> | بعدسوزها (تهیه دوده)                |               |             |
|         | 10         | 150            | 75     | mg/m <sup>3</sup> | خشک کننده‌های حرارتی                |               |             |
|         | 10         | 100            | 40     | mg/m <sup>3</sup> | مابقی بخشها                         |               |             |
|         | 8          | 350            | 150    | mg/m <sup>3</sup> | پالایشگاهها و نیروگاهها             |               |             |
|         | 10         | 150            | 50     | mg/m <sup>3</sup> | کوره اصلی اکسیژن (ذوب آهن)          |               |             |
|         | 8          | 300            | 100    | mg/m <sup>3</sup> | کوره بوته باز (ذوب آهن)             |               |             |
|         | 9          | 250            | 100    | mg/m <sup>3</sup> | مابقی بخشها (ذوب آهن)               |               |             |
|         | 9          | 250            | 175    | mg/m <sup>3</sup> | کوره پخت (تولید سیمان)              |               |             |
|         | 9          | 200            | 50     | mg/m <sup>3</sup> | آسیاب (تولید سیمان)                 |               |             |
|         | 10         | 15             | 5      | mg/m <sup>3</sup> | کارخانه ذوب مس، روی، سرب            |               |             |
|         | 3          | 250            | 100    | mg/m <sup>3</sup> | تولید آسفالت                        |               |             |
|         | 8          | 300            | 200    | mg/m <sup>3</sup> | تهیه سرامیک                         |               |             |
|         | 19         | 30             | 20     | mg/m <sup>3</sup> | آزبست                               |               |             |
|         | 4          | 600            | 250    | mg/m <sup>3</sup> | تولید آهک - تولید آجر - تولید گچ    |               |             |
|         | 9          | 250            | 100    | mg/m <sup>3</sup> | زباله سوزها و سایر فرآیندهای تولیدی |               |             |
|         | 19         | 20             | ---    | mg/m <sup>3</sup> | هیدروکربورهای گروه اول              |               |             |
|         | 10         | 150            | ---    | mg/m <sup>3</sup> | هیدروکربورهای گروه دوم              |               |             |
|         | 8          | 300            | ---    | mg/m <sup>3</sup> | هیدروکربورهای گروه سوم              |               |             |

\* استانداردهای درجه یک در مورد کارخانه‌ها و کارگاه‌های جدید و همچنین کارخانه‌ها و کارگاه‌های موجود که محل آنها با ضوابط استقرار موضوع ماده (12) قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب 1374/2/3 مغایرت داشته باشد اعمال می‌شود. استانداردهای درجه 2 برای کارخانه‌ها و کارگاه‌های موجود که محل آنها با ضوابط استقرار فوق‌الذکر مغایرتی ندارد، ملاک عمل خواهد بود.

## راهنمای محاسبه جرایم آلودگی (برای هوا)

### جدول شماره 5- حساسیت منطقه - هوا و صدا

| نوع منطقه | شرح                                              | ضریب |
|-----------|--------------------------------------------------|------|
| غیرحساس   | اماکنی که حساسیت خاصی ندارند (مناطق خارج از شهر) | 1    |
| نیمه حساس | مناطق مسکونی و مناطق زیستی حساس                  | 2    |
| حساس      | 7 شهر آلوده از نظر آلودگی هوا                    | 3    |

جدول شماره 6- میزان جریمه ناشی از تخریب محیط زیست

| نوع تخریب                                       | واحد    | ضریب ریالی×1000 |
|-------------------------------------------------|---------|-----------------|
| خاکبرداری و خاکریزی                             | مترمکعب | 1000-10         |
| قطع اشجار (درختان و درختچه‌ها)، بوته کنی        | اصله    | 1000-10         |
| مرگ و میر جانوران وحشی                          | تعداد   | 1000-10         |
| تخریب اراضی اعم از جنگلی، مرتعی، کشاورزی و غیره | هکتار   | 20000-100       |
| رودخانه‌ها و سایر جریان‌های آبی                 | کیلومتر | 2000-100        |
| تالابها و سایر آبهای ساکن                       | هکتار   | 10000-1000      |

\* میزان ضریب‌های در محدوده معین شده فوق توسط سازمان و با همکاری وزارت جهاد کشاورزی (سازمان جنگلها) معین خواهد شد.

جدول شماره 7- طبقه‌بندی مواد زائد

| گروه | کد بین‌المللی   | نوع مواد زائد                                                                         | شاخص آلاینده‌گی | واحد | ضریب ریالی×1000 |
|------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|-----------------|
| 1    | Y <sub>10</sub> | مواد و اشیاء حاوی یا آلوده به پی‌فنیل‌های چند کلره (PCBs)                             | وزن             | kg   | 1000            |
|      | Y <sub>43</sub> | ترکیبات گروه دی- بنزو- پی- فوران‌های چند کلره (PCTs) و یا بی‌فنیل‌های چند برمه (PBBs) | وزن فوران‌ها    | kg   | 100000          |
|      | Y <sub>44</sub> | ترکیبات گروه دی- بنزو- پی- دی‌اکسین‌های چند کلره                                      | وزن دی‌اکسین‌ها | kg   | 100000          |
|      | Y <sub>41</sub> | حلالهای آلی هالوژن دار                                                                | وزن ماده        | kg   | 100000          |
|      | Y <sub>29</sub> | جیوه، ترکیبات جیوه                                                                    | وین جیوه        | kg   | 100000          |
|      | Y <sub>5</sub>  | مواد زائد حاصل از تولید، فرمولاسیون و استفاده از مواد شیمیایی نگهدارنده چوب           | وزن ماده        | kg   | 100000          |
|      | Y <sub>45</sub> | ترکیبات آلی هالوژن دار علاوه بر موادی که در فوق اشاره شد                              | وزن ماده        | kg   | 100000          |
|      | Y <sub>26</sub> | کادمیوم، ترکیبات کادمیوم                                                              | وزن کادمیوم     | kg   | 5000            |
| 2    | Y <sub>24</sub> | آرسنیک و ترکیبات آرسنیک                                                               | وزن آرسنیک      | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>21</sub> | ترکیبات کروم شش ظرفیتی                                                                | وزن کروم        | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>30</sub> | تالیوم و ترکیبات تالیوم                                                               | وزن تالیوم      | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>19</sub> | کربونیل‌های فلزی                                                                      | وزن ماده        | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>20</sub> | برلیوم ترکیبات برلیوم                                                                 | وزن برلیوم      | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>28</sub> | تلوریوم و ترکیبات تلوریوم                                                             | وزن تلوریوم     | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>27</sub> | آنتیموان، ترکیبات آنتیموان                                                            | وزن آنتیموان    | kg   | 5000            |
|      | Y <sub>25</sub> | سلنیوم و ترکیبات سلنیوم                                                               | وزن سلنیوم      | kg   | 5000            |
| 3    | Y <sub>17</sub> | مواد زائد حاصل از پرداخت سطح فلزات و پلاستیک                                          | وزن ماده        | kg   | 2000            |
|      | Y <sub>15</sub> | ضایعاتی که ماهیت انفجاری دارند و مشمول سایر مقررات نیستند                             | وزن ماده        | kg   | 100             |
|      | Y <sub>34</sub> | اسیدها به‌اشکال محلول یا جامد                                                         | وزن اسید آزاد   | kg   | 100             |
|      | Y <sub>35</sub> | بازها به‌اشکال محلول یا جامد                                                          | وزن باز آزاد    | kg   | 100             |

تصویب‌نامه هیأت وزیران

هیأت وزیران در جلسه مورخ 1379/12/27 بنا به پیشنهاد شماره 45915/31/100 مورخ

1379/8/2 وزارت نیرو و به استناد ماده (134) قانون برنامه سوم توسعه، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران - مصوب 1379- آیین نامه اجرایی بند یاد شده را به شرح زیر تصویب کرد:

### **آیین نامه اجرایی ماده (134) قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران**

ماده 1- در این آیین نامه تعاریف زیر بکار رفته است:

**واحد آلاینده:** منظور کلیه واحدهای آلاینده تولیدی، صنعتی، معدنی، دامداری، خدماتی و مجتمع ها و شهرک های صنعتی، مسکونی و سایر مواردی است که بیش از 3000 مترمکعب فاضلاب در ماه تولید می کنند.

**آلودگی:** منظور آلودگی های ناشی از فاضلاب و پساب های خروجی از واحد آلاینده است.

**سازمان:** منظور سازمان حفاظت محیط زیست و یا واحدهای استانی آن است.

**وزارت نیرو:** منظور وزارت نیرو و یا شرکت ها و یا واحدهای تابعه و وابسته به آن است.

ماده 2- سازمان رأساً یا به درخواست وزارت نیرو میزان آلودگی واحدهای آلاینده را تعیین و به واحد ذی ربط و وزارت نیرو اعلام و مهلت مناسبی جهت کنترل و رفع آلایندهی تعیین می نماید، واحد آلاینده موظف است تا زمان رفع آلودگی جرایم مربوطه را به خزانه واریز نماید.

**تبصره 1-** سازمان می تواند از امکانات وزارت نیرو برای نمونه برداری و اندازه گیری آلودگی استفاده نماید.

**تبصره 2-** سازمان می تواند مهلت تعیین شده را تمدید نماید.

ماده 3- در صورتی که واحد به آلودگی خود ادامه داده و از پرداخت جریمه خودداری کند با اعلام سازمان وزارت نیرو نسبت به قطع آب و تعلیق پروانه بهره برداری از منابع آب واحد آلاینده اقدام خواهد نمود.

همچنین سازمان طبق آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب مصوب 1363/9/24 هیأت وزیران و به استناد ماده (46) قانون توزیع عادلانه آب مصوب 1361/12/16 مجلس شورای اسلامی نسبت به تعطیل کردن واحد آلاینده و معرفی به مراجع قضایی اقدام می نماید.

ماده 4- در هر استان کمیته ای متشکل از واحدهای استانی سازمان، وزارتخانه های نیرو، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نماینده استانداری و دستگاه اجرایی ذی ربط، تشکیل می گردد تا نسبت به رفع اختلاف احتمالی در مورد مهلت داده شده به واحد اتخاذ تصمیم نماید تصمیمات کمیته با سه رأی موافق لازم الاجرا است.

ماده 5- مدیریت مجتمع ها و شهرک های مسکونی، صنعتی، تولیدی، خدماتی و مشابه آن که دارای سیستم متمرکز جمع آوری فاضلاب هستند در خصوص مفاد این آیین نامه به عنوان شخصیت حقوقی مسئول بوده و موظف به پرداخت جرایم متعلقه می باشند. مگر آنکه توافق دیگری بین آنان و سازمان به عمل آید.

ماده 6- مبالغ واریز شده به خزانه، از محل ردیفی که در قوانین بودجه سنواتی منظور خواهد شد در اختیار سازمان قرار می گیرد تا با پیشنهاد وزارت نیرو برحسب نظر سازمان بین دستگاه های اجرایی متولی طرح های حفاظت کیفی منابع آب و طرح های پیگیری تصفیه و دفع بهداشتی فاضلاب از جمله موارد زیر توزیع شود:

الف- تعیین، تملک حریم و حفاظت منابع آب سطحی و زیرزمینی

ب - پایش کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی

ج - جمع‌آوری، تصفیه و دفع بهداشتی فاضلاب‌های شهری، روستایی و شهرک‌ها و نواحی صنعتی و پادگان‌ها

ه - اطلاع‌رسانی و آموزش عمومی در جهت حفاظت کیفی منابع آب

ماده 7- جهت جلوگیری از استمرار در پرداخت جریمه و واداشتن واحدهای آلاینده به رفع آلودگی در مورد واحدهایی که نسبت به رفع آلودگی اقدام نکنند، پس از پایان مهلت جرایم با ضریب 2 محاسبه می‌شود و این ضریب پس از گذشت هر سال دو برابر سال قبل خواهد شد، به‌طوری که ضریب در مدت یکسال پس از پایان مهلت 2، برای سال دوم 4، برای سال سوم 8 و... خواهد بود.

تبصره: واحدهای که به تشخیص سازمان اقدامات مطلوبی را جهت رفع آلودگی انجام داده‌اند مشمول تا 90 درصد تخفیف از جریمه متعلقه خواهند شد.

ماده 8- سازمان مسئول حسن اجرای این آیین‌نامه بوده و موظف است گزارش عملکرد موضوع این آیین‌نامه را سالانه به هیأت وزیران و سازمان مدیریت و برنامه ریزی ارائه نماید.

ماده 9- تا زمان کاهش آلودگی و رسیدن به حد استاندارد نحوه محاسبه جرایم و جداول این آیین‌نامه مطابق با نحوه محاسبه و جداول آیین‌نامه اجرایی بند (ج) ماده (104)- تصویر پیوست - می‌باشد.

## فصل دوازدهم

### اصول کنترل آلاینده‌ها

کنترل آلاینده‌های هوا اصولاً باید در منبع و قبل از ورود به هوا انجام گیرد، زیرا پس از رها شدن فقط از طریق اثرها و یا اندازه‌گیری می‌توان به وجود آنها پی برد و در حال حاضر و با فناوری‌های موجود نمی‌توان آنها را از هوا جدا کرد. البته همان‌طور که در فصول گذشته اشاره شده است عوامل طبیعی آنها را کاهش می‌دهند، ولی قبل از تأثیر عوامل جوی و طبیعی، آسیب‌های بسیاری بر سلامت انسان و محیط‌زیست وارد می‌کنند. در فصل پانزدهم اشاره شد که آلاینده‌ها به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. بحث کنترل، بیشتر بر آلاینده‌های اولیه متمرکز است، زیرا نخست این‌که با کنترل آنها آلاینده‌های ثانویه هم که از واکنش آلاینده‌های اولیه با یکدیگر یا با مولکول‌های طبیعی هوا به وجود می‌آیند (فصل پانزدهم) کنترل می‌شوند و دوم این‌که خود آلاینده‌های اولیه که اثرهای نامساعدی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند، کاهش می‌یابند.

کنترل آلاینده‌های هوا دو جنبه عمده دارد که اول روش‌های مدیریتی (راهبردها و راهکارها) و دوم استفاده از فناوری و تجهیزات است. در راهبردها، اعم از مدیریت و یا فنی برنامه‌های 5 ساله، 10 ساله و 15 ساله برای بهبود کیفیت هوا تنظیم می‌شود. این برنامه‌ها محلی، منطقه‌ای و یا جهانی است.

جنبه دیگر کنترل کیفیت هوا که راهکارها را دربر می‌گیرد، برنامه‌های کوتاه‌مدت برای کاهش اثر حوادث و رویدادها در مقیاس شهری است که ابتدا به این مقوله پرداخته می‌شود.

### کنترل حوادث و رویدادها

حوادث نامطلوب زمانی رخ می‌دهد که در مدت کوتاهی غلظت آلاینده‌ای خاص و یا گروهی از آلاینده‌ها افزایش یابد و از حد مجاز و حتی مخاطره‌آمیز هم بیشتر شود. این جریان ممکن است به علت انفجار منبع یک ماده یا شرایط پایدار جوی روی دهد، که در نتیجه آلاینده‌های رها شده از منابع مختلف ثابت و متحرک انباشته شوند و به حد خطرناک برسند، مثل وقایع میوز، لندن، دونورا و غیره که در فصل دوم به آنها اشاره شده است. مشخصه بارز یک حادثه آلودگی هوا، تراکم و افزایش غلظت در مدتی بین 2 تا 5 روز است. در چنین مواردی مسئول آلودگی هوا یا کمیته حوادث غیرمترقبه باید تصمیم بگیرد که چه موقع و به چه ترتیب با اعمال کنترل‌های سخت با حادثه مقابله کند. شکل 1-16 و جدول 1-16 به ترتیب مدل سامانه آلودگی هوا و موارد هشدار در شرایط اضطراری را نشان می‌دهد. موارد هشدار براساس شاخص کیفیت هوا است که روش محاسبه و شرح کامل آن در فصل 17 خواهد آمد. شکل 2-16 برنامه کنترل آلودگی هوا را در شرایط بحران نشان می‌دهد. چگونگی اعمال محدودیت‌ها بر ترافیک، صنایع و سایر منابع آلوده‌ساز در این شکل نشان داده شده است. ولی مشکل این

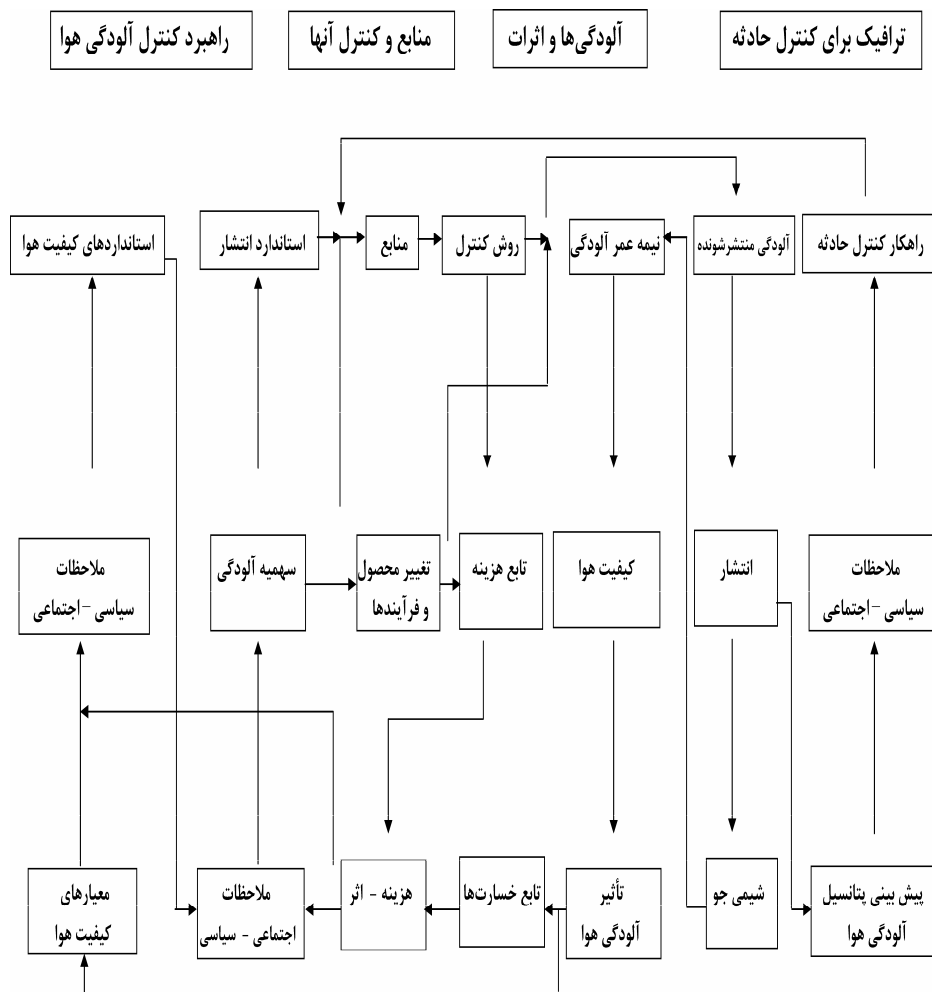
است که اگر کمیته یا شخص محدودیت‌هایی را برقرار کند، ولی رویداد کامل نشود یا به عبارت دیگر باد مساعدی بوزد و آلودگی‌ها را پراکنده کند، در این صورت هزینه‌ای برای هیچ تحمیل شده و فعالیت روزمره جامعه مختل گردیده است. به علاوه اعتماد جامعه نیز نسبت به مسئولان مخدوش می‌گردد و اگر چنین مواردی تکرار شود چوپان دروغگو را به یاد خواهد آورد که در نتیجه اگر یک بار حادثه روی دهد به هشدارها اعتنا نخواهد شد. برعکس هم، اگر حادثه اتفاق بیفتد و هشدار داده نشود و محدودیت‌ها اعمال نگردد، فرصتی که برای جلوگیری از بروز بیماری‌ها و مرگ و میر وجود داشت، از بین می‌رود.

جدول شماره 1-16- شاخص AQI برای توضیح وضعیت آلودگی هوا و PSI برای ایران

| AQI     |                           | 250 PSI برای ایران |                                                                        |
|---------|---------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| شاخص    | شرح                       | غلظت               | نوع آلودگی                                                             |
| 0-50    | خوب                       | 385                | PM <sub>10</sub> میکروگرم در مترمکعب                                   |
| 51-100  | متوسط                     | 1200               | SO <sub>2</sub> میکروگرم در مترمکعب                                    |
| 101-150 | غیربهداشتی برای گروه حساس | 25                 | CO میلی گرم در مترمکعب                                                 |
| 151-200 | غیر بهداشتی               | 600                | O <sub>3</sub> میکروگرم در مترمکعب                                     |
| 201-300 | خیلی غیربهداشتی           | 1680               | NO <sub>2</sub> میکروگرم در مترمکعب                                    |
| 301<    | خطرناک                    | 165                | SO <sub>2</sub> ×PM <sub>10</sub> ×10 <sup>3</sup> میکروگرم در مترمکعب |

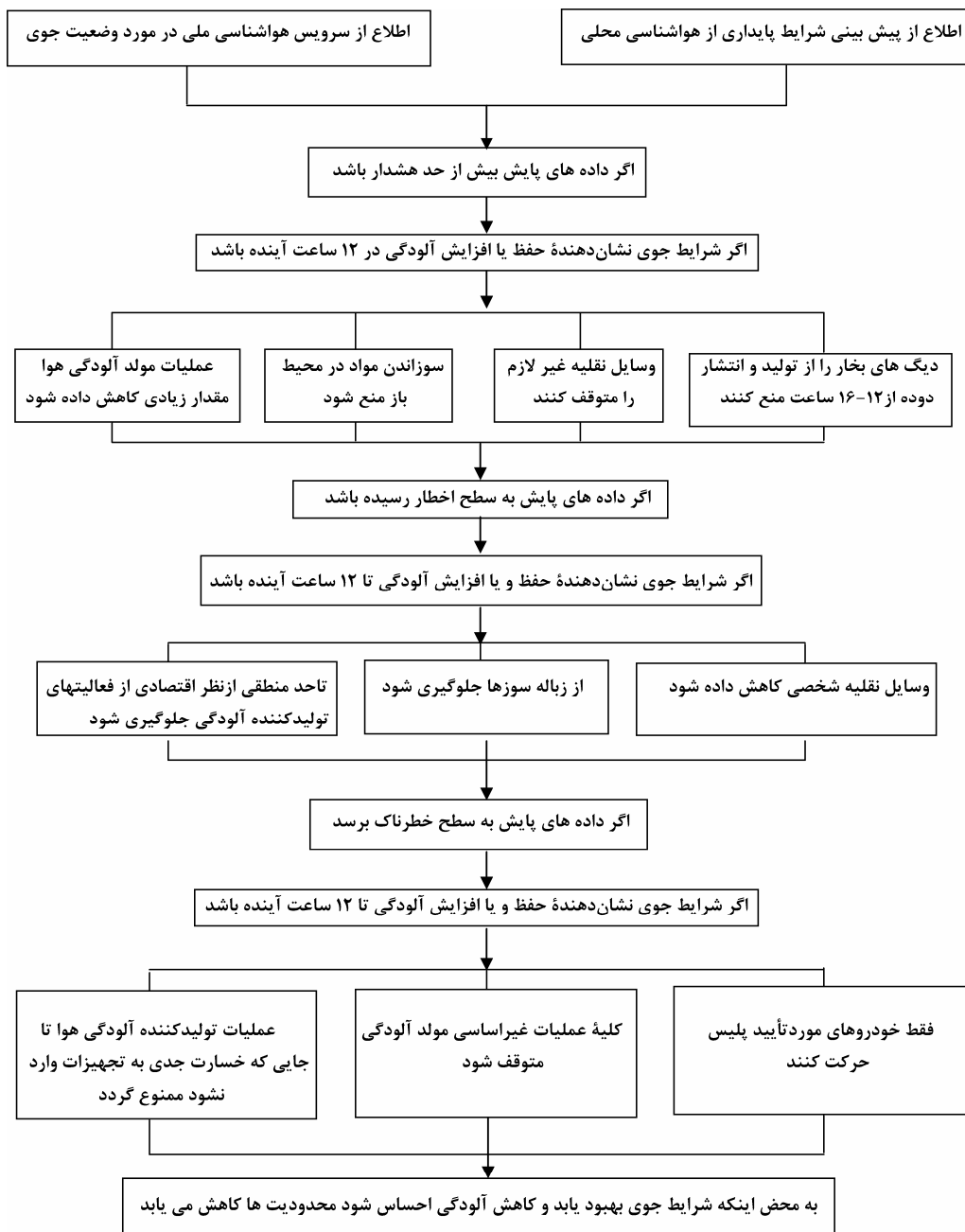
شاخص‌های بالا در تاریخ 74/10/21 در دفتر وزارت بهداشت باتوجه به ماده 7 قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا در شرایط بحرانی تعیین شد.

کمیته حوادث برای تصمیم‌گیری در مورد اعمال محدودیت‌ها نباید فقط به اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های سنجش اکتفا کند، حتی اگر آلودگی مشخص و یا چند آلاینده به غلظت حاد برسند، معلوم نیست که در ساعت‌های آینده غلظت بیشتر یا کمتر شود، زیرا اندازه‌گیری، اطلاعات لازم برای پیش‌بینی را نمی‌دهد. برای احتراز از این سرگردانی، هواشناسی باید با سازمان حفاظت محیط زیست همکاری کند تا شدت و مدت شرایط پایداری تعیین شود و کارشناسان محیط زیست تراکم آلودگی را در ساعت‌ها یا روزهای آینده محاسبه کنند. در فصل‌های هفتم و هشتم مقدمه‌ای بر اصول هواشناسی و پراکندگی آلاینده‌ها ذکر شده است، ولی برای اطلاعات بیشتر باید به کتاب‌ها و مقاله‌های هواشناسی و مدل‌های انتشار آلودگی هوا مراجعه کرد. در شکل 1-16 به خانه‌ای که پیش‌بینی پتانسیل آلودگی هوا نوشته شده است توجه کنید، خانه بعد از آن ملاحظات سیاسی - اجتماعی است که باید برای راهکارهای بعدی مورد توجه قرار گیرد.



شکل 1-16- مدل سامانه آلودگی هوا





شکل 2-16- برنامه کنترل آلودگی هوا در بحران

قبل از رویداد باید برنامه مانورهای راهکار آماده شود و زمان آغاز و پایان محدودیت باتوجه به اندازه گیری و داده های هواشناسی مشخص گردد. در تمام مراحل جامعه باید مطلع شود و همکاری مردم جلب شود. در برنامه گزینه های مختلف باید در نظر گرفته شود و پاسخ های کی، کجا و کدام فعالیت معلوم باشد. زیرا پس از شروع حادثه فرصت بحث و مجادله وجود ندارد. در تجزیه و تحلیل هر سامانه باید یک دایره بسته وجود داشته باشد و پس خورها و ارتباطات برای کنترل معلوم شود. در مدل سامانه آلودگی هوا شکل 1-16، دیده می شود که راهکار کنترل حادثه به منبع متصل شده است که مفهوم آن کنترل شدید منابع است. زیرا ممکن است فاصله

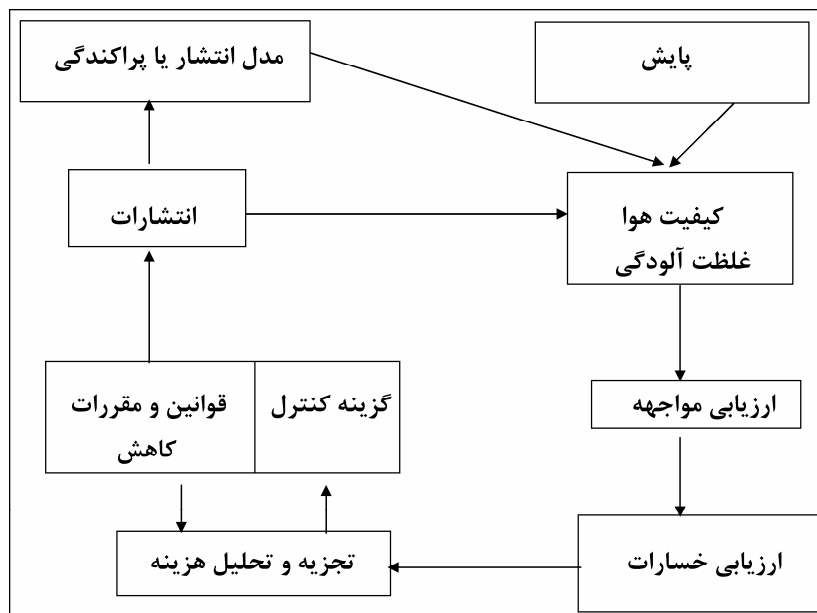
بین اعلام هشدار و پاسخ برای کنترل‌ها طولانی شود، بهتر است همیشه دستور آماده وجود داشته باشد و یا در صورت امکان به محض پیش‌بینی هواشناسی دستور ابلاغ شود. در مورد تخلیه و یا انفجار ناگهانی باید در محل‌هایی که چنین احتمالی وجود دارد از سامانه‌های هشدار و اخطار خودکار به ساکنان محل و مسئولان استفاده شود. توجه: روش تعیین حالت‌های مختلف هشدار، اخطار، خطرناک و غیره را آن‌طور که در شاخص کیفیت هوا آمده است، در فصل 17 ملاحظه کنید

### سامانه مدیریت کیفیت هوا (AQMS)

سامانه مدیریت کیفیت هوا فقط زمانی موفق می‌شود که فناوری‌ها و تجزیه و تحلیل‌های زیر توسط مقامات پایش کیفیت هوا انجام گیرد:

- سیاهه فعالیت‌های آلوده ساز و میزان انتشار آنها؛
- پایش آلودگی هوا و شاخص‌های پراکندگی؛
- محاسبه غلظت آلودگی هوا و ماژول‌های پراکندگی؛
- سیاهه جمعیت شهری، مواد، توسعه؛
- محاسبه اثر اقدامات انجام شده برای کاهش آلودگی هوا؛
- برقراری مقررات بهبود کیفیت هوا

عناصر سامانه مدیریت کیفیت هوا در شکل 3-16 آمده است.



شکل 3-16- عناصر سیستم مدیریت کیفیت هوا

یکی از موارد مهم در راهبرد مدیریت و کنترل آلودگی هوا برقراری سامانه اطلاعات کیفیت هوا (AQIS)<sup>۴۲۱</sup> است تا مسئولان و مردم از اقدامات انجام شده برای بهبود کیفیت هوا مطلع

شوند و از آنها حمایت کنند. بیشتر شهرهای آلوده آسیا پایش اطلاعات کیفیت هوا و رهنمودهای کیفیت هوا را هم دارند. در ایران هم از استانداردهای سال 1998 سازمان جهانی بهداشت، به عنوان مقررات استفاده می شود، ولی در بسیاری موارد در اجرای قوانین و مقررات به علت مسائل اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و... ضعیف عمل می شود. قوانین و مقررات اساس بهبود کیفیت هواست، به شرط آنکه اجرای آن جدی باشد و به ویژه سازمان قدرتمندی که به طور منظم وضعیت کیفیت هوا را ارزیابی کند وجود داشته باشد. ابزار خط مشی از یک فرمان ساده تا تجهیزات کنترل، که ممکن است از جایی به جای دیگر متفاوت باشد و رسانه ای جمعی برای آگاهی دادن و رسیدن به اجماع در مورد نوع مشکلات و اقدامات کنترل آلودگی هوا تشکیل شده است.

برای جلوگیری از تخریب بیشتر محیط زیست و حفظ سلامت در برابر غلظت زیاد آلاینده های هوا، باید مدیریت کیفیت هوا در تمام مناطق شهری قسمتی از برنامه های توسعه و عمران باشد. در بسیاری از شهرهای ما که به سرعت در حال رشد هستند متأسفانه اطلاعات مربوط به آلودگی هوا یا اصولاً وجود ندارد و یا آنکه بسیار ناچیز و پراکنده است. در ادامه مراحل مختلف سامانه مدیریت کیفیت هوا، به تفصیل توضیح داده می شود.

سامانه مدیریت کیفیت هوا دارای اجزای زیر است:

- ارزیابی کیفیت هوا؛
- ارزیابی خسارت زیست محیطی؛
- ارزیابی گزینه های کاهش آلودگی های هوا؛
- تجزیه و تحلیل هزینه - اثر یا سود و زیان؛
- انتخاب تدابیر کاهش آلاینده ها؛
- انتخاب راهبرد بهینه برای کنترل.

ارزیابی کیفیت هوا و کاهش خسارت های وارد بر محیط زیست، تجزیه و تحلیل سود و زیان (CBA)<sup>۴۲۲</sup> یا هزینه و اثر (CEA)<sup>۴۲۳</sup> است، CBA و CEA به وسیله اهداف کیفیت هوا (رهنمودها، استاندارد) و اهداف اقتصادی مثل کاهش خسارات هدایت می شوند. نتیجه نهایی چنین تجزیه و تحلیلی طرح یک راهبرد بهینه کنترل در شکل یک برنامه عملی با اولویت تدابیر کاهش آلودگی هواست.

### مراحل توسعه سامانه مدیریت کیفیت هوا

این مراحل دارای سه قدم اصلی است:

#### قدم اول: ارزیابی و تجزیه و تحلیل گزینه

- تشخیص منابع
- کمیت منابع
- پایش آلودگی هوا
- ارزیابی شرایط مواجهه

---

422- Cost Benefit Analysis

423- Cost Effectiveness Analysis

- تشخیص رابطه منبع - مواجهه
- برآورد اهمیت نسبی منابع آلودگی
- ارزیابی خسارت‌های زیست‌محیطی
- مطالعه در مورد گزینه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت کنترل
- انجام تجزیه و تحلیل هزینه و منافع
- ایجاد راهبرد کنترل و برنامه ریزی برای سرمایه گذاری

#### قدم دوم: کنترل آلودگی

- سازماندهی/ مقررات/ سازوکارهای اجرا
- آگاهی دادن و آموزش‌های زیست‌محیطی
- اجرای برنامه سرمایه گذاری

#### قدم سوم: مراقبت

- استقرار یک سامانه اطلاعات کیفیت هوا

در قدم اول ارزیابی و تجزیه و تحلیل گزینه در چند بند انجام می‌گیرد. جزء مهم دیگری هم در قدم اول باید مورد توجه باشد که آن هم پایش و مراقبت برای حصول اطمینان از تأثیر مثبت اقدامات انجام شده است. هدف سامانه اطلاعات کیفیت هوا مطمئن کردن سازمان یا سازمان‌های مسئول و مردم از برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت از پایش و مراقبت دایمی وضعیت آلودگی‌هاست. با این عمل امکان دریافت نظرها و پیشنهادهای دیگران برای بهبود راهبرد کنترل به وجود می‌آید. شکل 4-16 به طور کامل سامانه مدیریت کیفیت هوا را نشان داده است. در این شکل جریان از بالا به پایین همان قدم‌های سامانه مدیریت کیفیت هوا را به صورت فلوچارت آورده است. ارتباط بین پایش تا برآورد خسارات و در نهایت گزینه‌های کاهش در این شکل دیده می‌شود. در تمام موارد باید راهبرد کاهش براساس تجزیه و تحلیل هزینه‌های هر تدبیر برای کاهش خسارت‌های وارد و یا تجزیه و تحلیل هزینه‌های هر تدبیر در مقابل اثر بخشی بر (کیفیت هوا - بهبود تماس) باشد. در کامل‌ترین شکل مدیریت کیفیت هوا، پرسنل ماهر در چندین رشته علمی و فنی و تجهیزات مورد نیاز است. در شهرهای خیلی بزرگ کشورهای در حال توسعه شاید چند دهه زمان برای مجهز شدن به یک سامانه راهبرد مدیریت کیفیت هوا لازم باشد. در وضع موجود برای برنامه‌های توسعه، راهبردهای میانی برای کنترل آلودگی‌های هوا توصیه می‌شود. در این راهبرد باید از اطلاعات موجود استفاده بهینه شود.

در یک برنامه توسعه سه مرحله وجود دارد:

**مرحله اول:** اقدام فوری. راهبرد برای کنترل فوری مشکلات اضطراری. (در ابتدای فصل شرح داده شده است)

**مرحله دوم:** اقدام میان‌مدت. راهبرد برای کنترل در مقیاس میانی زمان (در حدود پنج سال) بسته به روند توسعه

**مرحله سوم:** اقدام طولانی‌مدت. راهبرد برای کنترل در مقیاس طولانی زمان (بیش از 10 سال) فعالیت‌های آلودگی هوا، منابع و انتشارات

سیاهه انتشار آلودگی هوا، فهرست آلودگی‌های مربوط به هوای یک منطقه است. این فهرست به واحدهای فعال انتشاردهنده آلودگی تقسیم می‌شود. برای مثال ترافیک، صنعت، فعالیت‌های ساختمانی و... (شکل 5-16). سیاهه، معمولاً محل جغرافیایی صنایع، بزرگراهها و جاده‌های اصلی و توزیع جمعیت را دربر دارد. بسته به مشروح فعالیت‌ها، انتشارات هر واحد به انتشار فرایند، فناوری، نوع وسایل نقلیه و سایر عوامل به صورت تابعی از زمان تقسیم می‌شود. داده‌های ورودی شامل موارد زیر است:

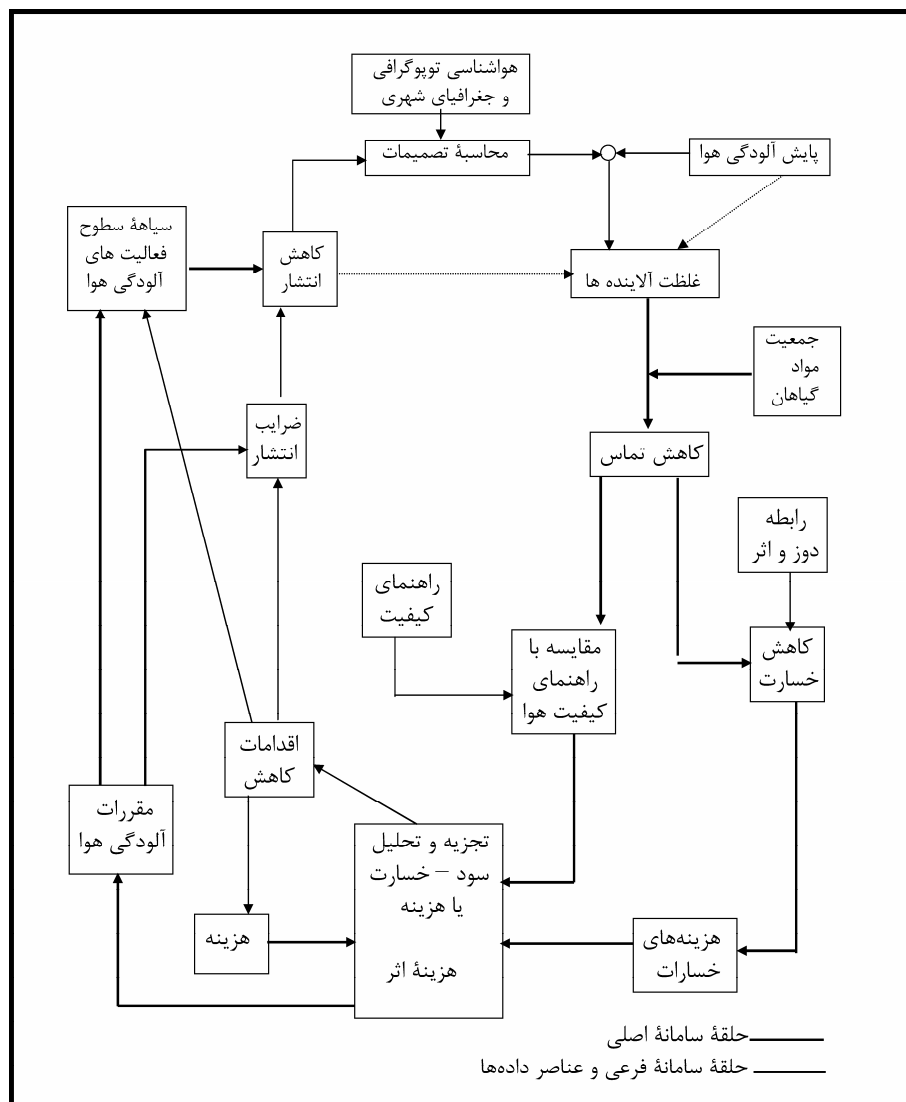
- مقدار کامل مصرف و نوع سوخت، فرایندها (حمل و نقل - خانگی - صنعتی)؛
- فعالیت‌های ترافیکی، کلاس وسایل نقلیه و دانسیته ترافیک در راه‌های اصلی؛
- منابع صنعتی: نوع، محل، تولید، انتشار، شرایط انتشار (ارتفاع دودکش، دما، سرعت خروجی، گذر حجمی یا جرمی آلاینده و...؛
- سایر منابع: سوزاندن زباله، انتشار خانگی - تجاری، فعالیت‌های اطراف شهر؛
- داده‌های جمعیت، توزیع جغرافیایی در داخل منطقه شهری؛
- ضرایب انتشار: مقدار تولید آلودگی به واحد محصول یا مواد خام (به ضمیمه‌های فصل 17 مراجعه شود).

یک ماژول، توزیع مقدار انتشار را در شبکه‌بندی‌های مختلف شهر محاسبه می‌کند. برای مثال بسته به محل منبع یا منابع آلودگی ممکن است منطقه به بخش‌های یک کیلومتر مربعی تقسیم شود و یا آنکه با توجه به توزیع جمعیت و کاربری‌های زمین شهری بخش‌ها مشخص گردند. انتشار در بخش‌ها، داده‌های ورودی لازم برای محاسبه مدل پراکندگی غلظت آلودگی هوا در منطقه شهری را آماده می‌کند. همچنین پایه‌ای برای تعیین اثر تدابیر مشخص برای کاهش آلودگی هوا خواهد بود. ماژول انتشار ممکن است به شکل پایگاه کامپیوتری داده‌ها باشد.

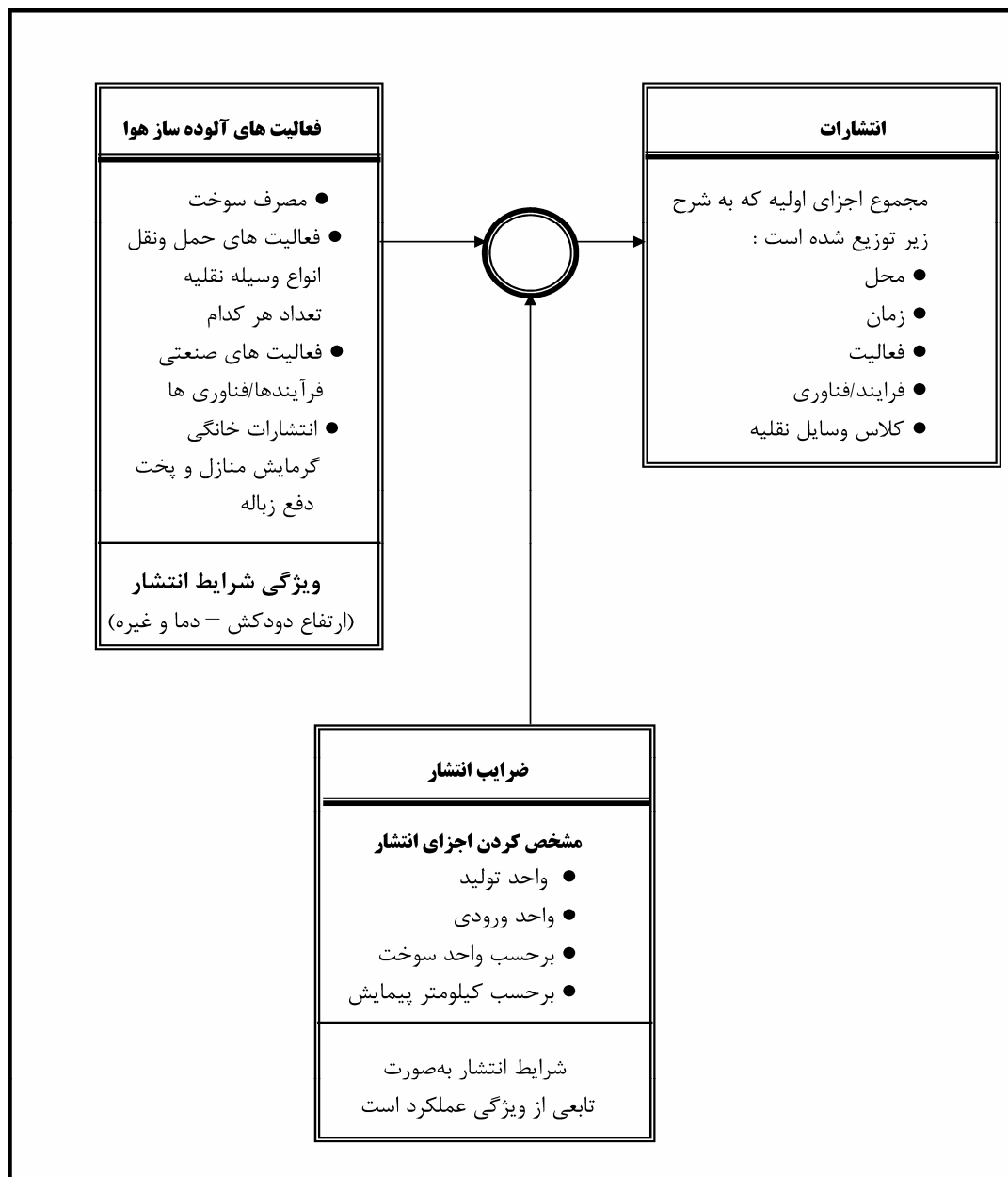
### شرایط پراکندگی و ماژول‌ها

ماژول‌های پراکندگی توان محاسبه غلظت آلودگی هوا را در مناطق شهری به صورت تابعی از زمان و مکان تأمین می‌کند، (در فصل هشتم در مورد مدل‌های پراکندگی بحث شده است). برای آلاینده‌های اولیه (انتشار به همان شکل موجود در منبع) ماژول‌ها سهم غلظت آلودگی برای هر فعالیت و یا بخش‌های فناوری را می‌تواند محاسبه نماید. عناصر ماژول‌های پراکندگی در شکل 6-16 نشان داده شده‌اند.

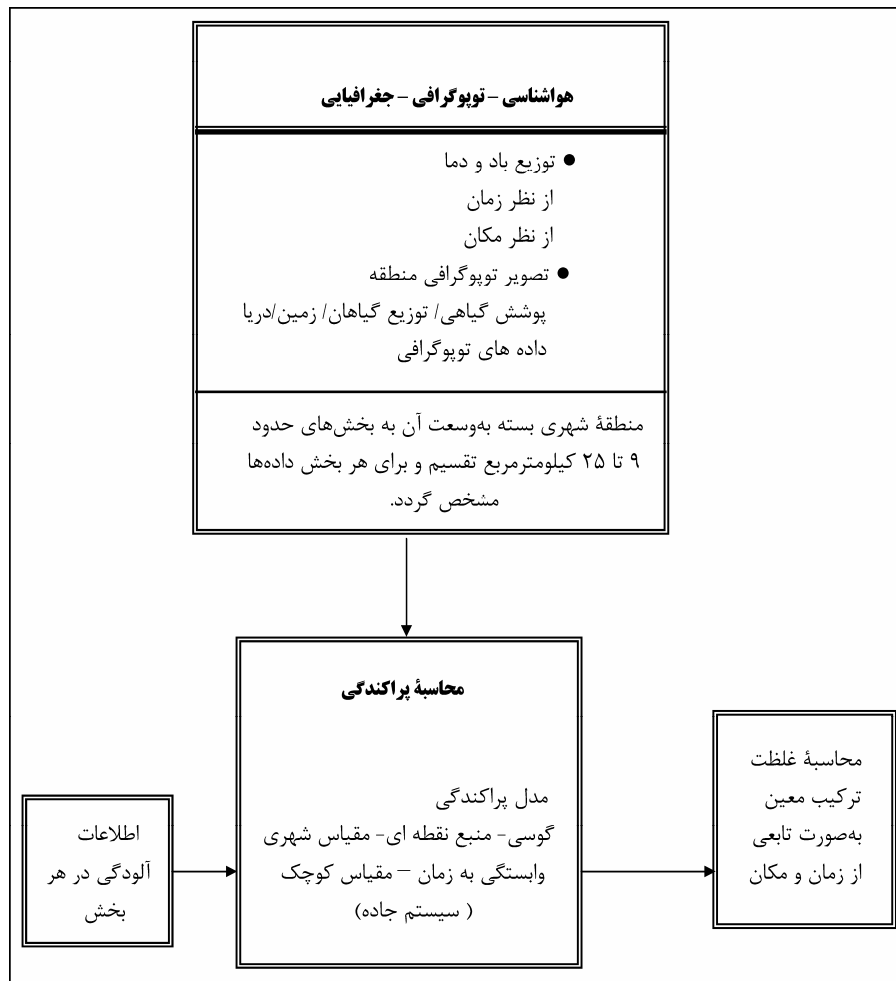
ورودی‌ها برای محاسبه پراکندگی شامل هواشناسی، توپوگرافی، ویژگی انتشار، منابع و داده‌های ماژول انتشار است. داده‌های اصلی هواشناسی میانگین سرعت و سمت باد و یا داده‌های سینوپتیک (گلباد سالانه و فصلی، دمای هوا و تغییرات دما نسبت به ارتفاع و...) از شاخص‌های مهم‌اند. توپوگرافی و وجود منابع آب، زمین و پوشش گیاهی بر شرایط پراکندگی و در نتیجه بر غلظت آلودگی تأثیر می‌گذارد. نتیجه محاسبات مدل از داده‌های ذکر شده در بالا به دست می‌آید.



شکل 4-16- ماژول سامانه مدیریت کیفیت هوای شهری



شکل 5-16- مازول طرح انتشار



شکل 6-16- ماژول طرح پراکندگی

### تماس با آلودگی هوا و ارزیابی خسارات

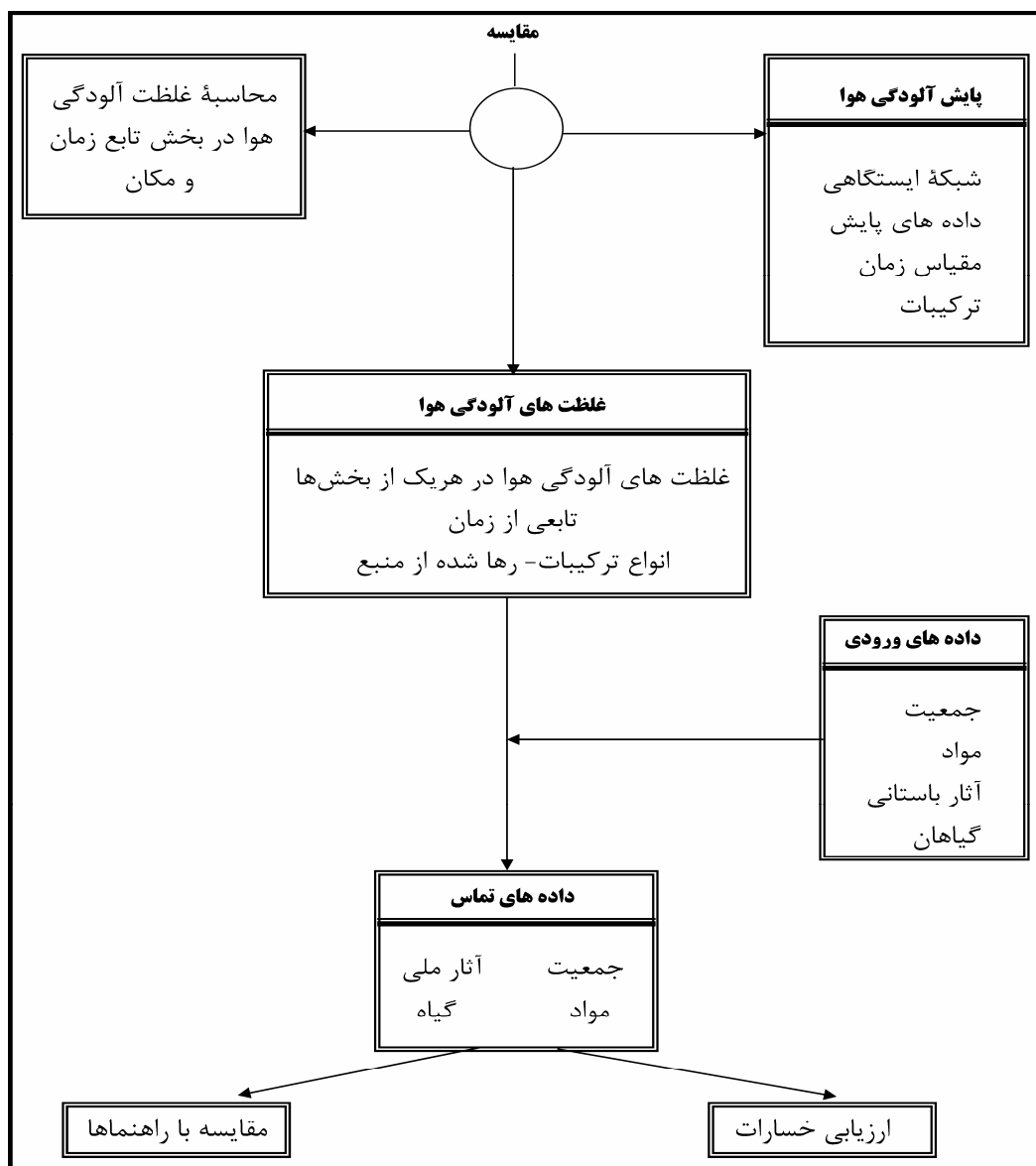
ماژول تماس در شکل 7-16 تأثیر آلودگی هوا را بر سلامت انسان، اکوسیستم، ساختمان و مواد نشان می دهد. تماس و یا اثر، معرف حاصل ضرب، غلظت آلودگی هوا (در یک بخش) و تعداد مواردی که در آن مکان وجود دارند (مردم، ساختمان ها، ...) است، که به صورت یک معادله ساده (غلظت  $\times$  جمعیت = تماس) نشان داده می شود. این محاسبه تعداد جمعیتی را که با بالاتر از حد مجاز تماس دارند تعیین می کند. این ماژول توزیع تماس جمعیت برای هر مطالعه و هر برنامه کاهش آلودگی را نشان می دهد.

غلظت را می توان به صورت میانگین سالانه، ماهانه، روزانه و یا ساعتی بسته به ترکیب ماده مورد سؤال و میانگین زمانی که در رهنمودهای استاندارد آمده است، محاسبه کرد. برای ترکیباتی که اثر حاد دارند، مثل  $SO_2$ ،  $O_3$  و  $CO$  میانگین ساعتی دارای اهمیت است، درحالی که برای ترکیباتی که اثرات مزمن دارند، مثل  $TSP$ ،  $Pb$  و ترکیبات آلی پایدار، میانگین های بلندمدت، سالانه و ماهانه بیشتر مورد توجه است.

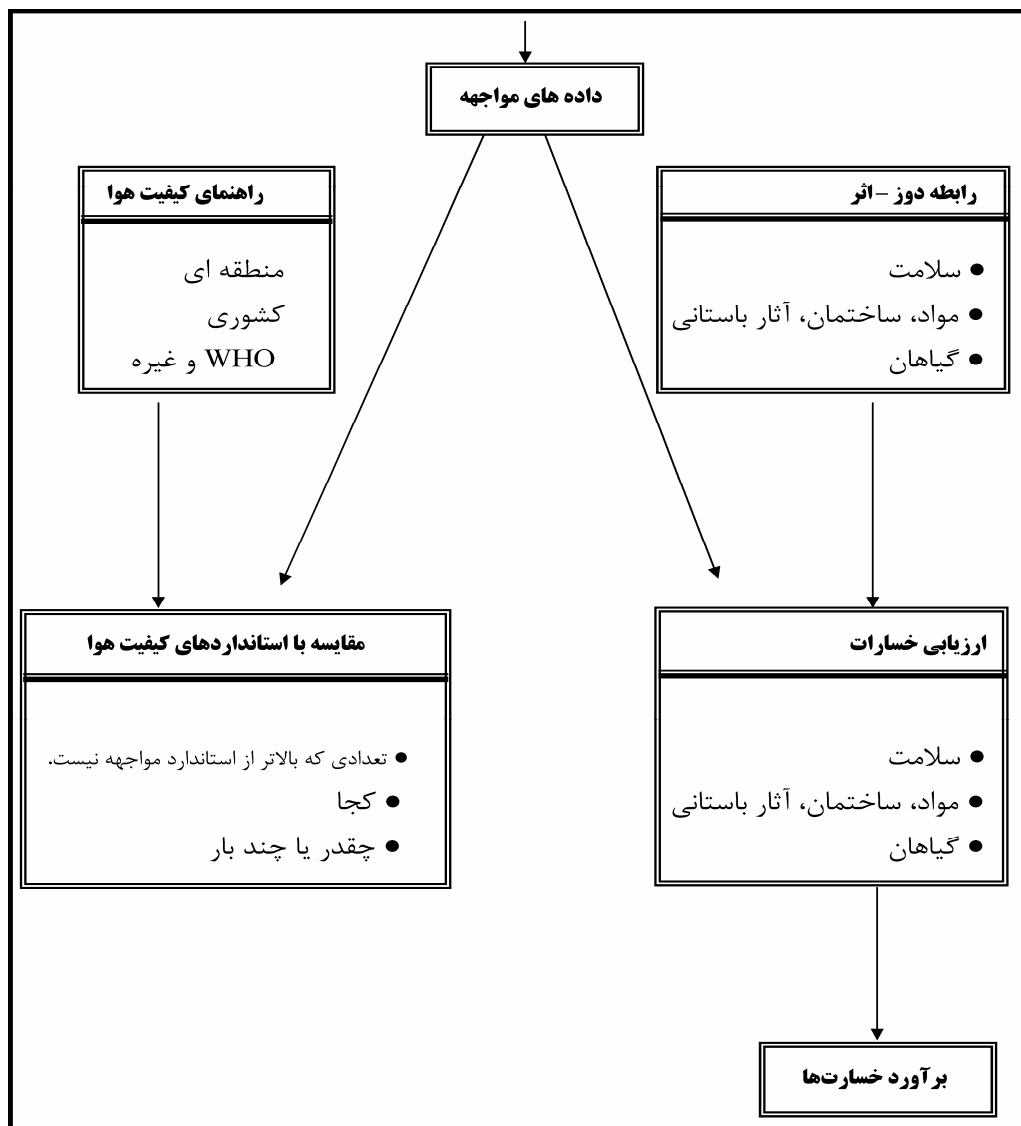


## ارزیابی خسارت‌ها

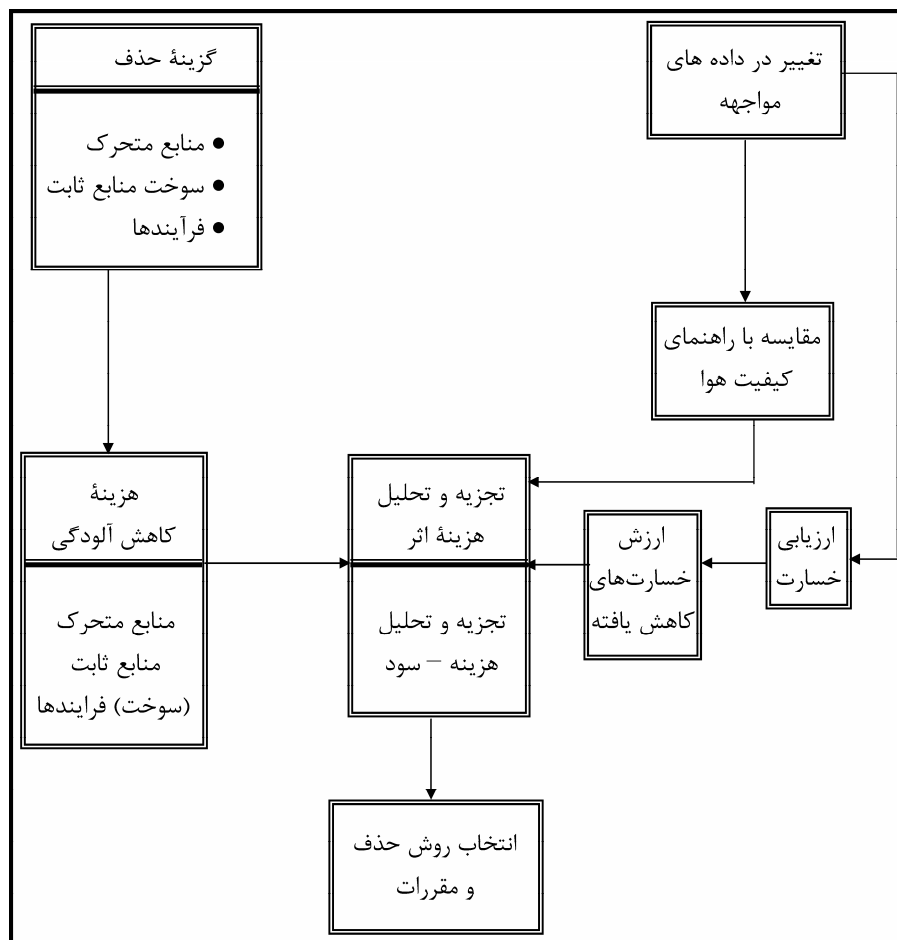
ارزیابی خسارت‌ها، شامل تأثیرهای بهداشتی، تخریب و فساد مواد، استهلاک ساختمان و آثار باستانی، اثر بر گیاهان و هزینه بیشتر برای شرکت‌ها برای رسیدن به استانداردهای هوای پاک است. برای ارزیابی فیزیکی خسارت، باید رابطه دوز- پاسخ برای تعیین اثر سطوح چندین آلودگی مختلف مثل ذرات،  $PM_{10}$ ،  $SO_2$ ،  $O_3$  و  $NO_2$  بر جنبه‌های مختلف بهداشت عمومی مورد استفاده باشد. خسارت‌های ناشی از مرگ‌های زود هنگام، بستری شدن به علت بیماری‌های تنفسی، مراجعه به اورژانس، از دست دادن روزهای کاری، موارد برونشیت‌های مزمن، حمله‌های آسمی، روزهایی با علائم ناراحتی‌های تنفسی، عفونت‌های مجاری تحتانی تنفسی در اطفال که با آلودگی هوا ارتباط دارند قابل ارزیابی و برآورد است. روش تعیین ارزش ریالی خسارات شامل بهای کاهش تولید، هزینه‌های اجتناب از جرایم و تمایل به پرداخت برای اجتناب از خسارت و سرانجام، برآوردهای قابل محاسبه در بازار و آنچه که در بازار وجود ندارد، است.



شکل 7-16- مازول طرح مواجهه



شکل 8-16- مدل ارزیابی خسارات



شکل 9-16- مدل تجزیه و تحلیل هزینه - سود

### ماژول تجزیه و تحلیل سود و زیان و هزینه - اثر

هدف از تجزیه و تحلیل سود و زیان و یا هزینه - اثر، بررسی بهترین و مناسب ترین مجموعه اقدامات است. در سود و زیان، مجموعه هزینه های اقدامات با سود حاصل مقایسه می شود. برای محاسبه سود ارزش ریالی خسارت های زیست محیطی کاهش یافته محاسبه می گردد. چون ارزش ریالی خسارت های کاهش یافته (سود) آن قدر دقیق نیست که با هزینه های انجام شده برای این سود مقایسه شود، تجزیه و تحلیل هزینه - اثر را معمولاً به عنوان گزینه انتخاب می کنند. در مورد هزینه - اثر، مثل سود و زیان کاهش خسارت های زیست محیطی به پول تبدیل نمی شود، بلکه اقدام برای رسیدن به استاندارد انتشار یا غلظت هوای آزاد با کمترین هزینه انتخاب می گردد. ماژول 9-16 این تجزیه و تحلیل را نشان می دهد.

هر دو روش باید سه نوع هزینه را تجزیه و تحلیل کنند که شامل سرمایه گذاری - راهبری و نگهداری است.

## راهبرد مدیریت کنترل آلودگی هوا

اعمال سامانه‌های مدیریتی در کاهش آلاینده‌های هوا می‌تواند تأثیرهای بسیار سودمندی داشته باشد. این روش‌ها در مورد حمل و نقل شهری و صنایع کاملاً متفاوت است و باید با مطالعه و اطلاع کامل از فرایندهای صنعتی و گره‌ها و مشکلات ترافیکی اعمال شود.

مهم‌ترین عامل در مدیریت کنترل آلودگی هوا تصویب قوانین و مقررات است که برای ایران قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا در 1374/2/3 به تصویب مجلس شورای اسلامی و تأیید شورای نگهبان رسیده و ابلاغ شده است و ایین نامه اجرایی آن در تاریخ 1379/6/16 به تصویب هیأت وزیران رسید و برای اجرا آماده شد. این قانون و ایین نامه اجرایی آن را می‌توانید در فصل هفدهم ملاحظه کنید. علاوه بر این باید مدیریت شهری نیز اقداماتی را به عمل آورد تا مشکل آلودگی هوا ناشی از ترافیک تا حدودی التیام یابد که در اینجا فهرست‌وار به‌هم آنها اشاره می‌شود.

بهبود حمل و نقل عمومی، انجام آموزش‌های عمومی در سطوح مختلف برای توسعه فرهنگ ترافیکی، اعمال مقررات سخت برای جلوگیری از هرج و مرج و نابسامانی‌های موجود، اعمال مقررات معاینه فنی در دوره‌های شش ماهه برای اتومبیل‌های غیرانژکتوری و دو ساله برای خودروهای انژکتوری، اصلاح هندسی گذرگاه‌ها و توسعه معابر هرچاکه ممکن باشد، ایجاد پارکینگ‌های عمومی تا حدی که جوابگوی دانسیته خودروها در هر شهر باشد، اصلاح بهبود کیفیت بنزین و استفاده از سوخت‌های جایگزین در دسترس نیز از گزینه‌های برتر به‌ویژه برای وسایل نقلیه عمومی است. سوخت‌های جایگزین برای خودروهای بنزینی و دیزلی عبارتند از:

**1- گاز طبیعی فشرده (CNG):** برای خودروهای بزرگ و گاز مایع نفت (LPG) و (CNG) برای خودروهای سواری عمومی و شخصی که در این مورد اقداماتی صورت گرفته است و ادامه دارد به‌تازگی استفاده از CNG برای خودروهای کوچک، بیشتر متداول شده است.

**2- متانول و اتانول:** هرچند از متانول در ایران هنوز استفاده نشده است، ولی در بعضی نقاط به‌ویژه امریکای جنوبی مورد استفاده است. متانول با استفاده از گاز طبیعی به‌دست می‌آید قیمت آن هم مناسب است و از نظر انتشار آلودگی نسبت به بنزین مزایای زیادی دارد. در مورد اتانول شاید فقط به‌عنوان ماده افزودنی آن را به بنزین اضافه کرد. به‌هر حال توزیع این ماده به‌صورت خالص توصیه نمی‌شود.

**3- هیدروژن:** شاید پاک‌ترین سوخت هیدروژن باشد که اگر مشکلات تهیه، توزیع و ایمنی آن حل شود و از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد مناسب‌ترین جایگزین برای بنزین است. در ضمن اگر هیدروژن از نفت یا گاز به‌دست آید تولید آن آلودگی دارد و اگر از هیدرولیز آب به‌دست آید نیاز به برق دارد که انتظار می‌رود برق بادی مشکل را حل کند.

**4- برق:** اتومبیل‌های برقی که نیروی محرک آنها توسط باتری قابل شارژ یا خورشیدی تولید می‌شود تاکنون در حد آزمایش و برای مسافت‌های کوتاه با موفقیت مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، ولی به‌علت گرانی قابل رقابت با بنزین و یا حتی سوخت‌های جایگزین نیستند.

**5- بهبود سوخت‌های موجود:** شامل حذف سرب از بنزین، کاهش گوگرد تا حد استانداردهای بین‌المللی از گازوئیل و افزایش اکتان بنزین از مواردی است که مورد توجه وزارت

نفت است و اقداماتی هرچند محدود صورت گرفته که باید توسعه یابد تا فراورده‌های اصلاح شده در سطح وسیعی توزیع گردد. خوشبختانه حذف سرب از بنزین در سراسر کشور عملی شده است و در حال حاضر مشکل آلودگی هوا به سرب تقریباً وجود ندارد.

### سایر توصیه‌ها

در بررسی انجام شده توسط دانشجویان کارشناسی ارشد واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی حدود 13 برنامه مختلف دیده می‌شود که چند مورد در اینجا ذکر می‌شود.

#### برنامه 2:

کاهش 10000 تاکسی و مسافر بنزینی و اضافه کردن همان تعداد خودروی گازسوز  
نتیجه: کاهش 20200 تن آلودگی در سال با افزایش هزینه ناچیز

#### برنامه 3:

تبدیل 30000 تاکسی و مسافر به گازسوز  
نتیجه: کاهش 60600 تن آلودگی در سال و کاهش  $131841 \text{ E}+13$  ریال از هزینه

#### برنامه 5:

تبدیل تمام تاکسی‌ها و مسافر به گازسوز نتیجه: 103042 تن آلودگی کاهش خواهد یافت و کاهش هزینه نیز  $0/00488 \text{ E}+13$  ریال در سال خواهد بود.

#### برنامه 9:

حذف 4000 مینی‌بوس و جایگزین کردن 2000 اتوبوس گازسوز نتیجه: کاهش آلودگی 70226 تن در سال و افزایش هزینه  $0/0034 \text{ E}+13$  ریال

#### برنامه 13:

به کارگیری 294 واگن در راه آهن شهری با توسعه خطوط که به کاهش تردد 88200 سواری شخصی و وانت منجر می‌شود و در نتیجه 826140 تن آلودگی در سال کاهش می‌یابد. البته در جایگزینی مترو هزینه سرمایه‌ای بسیار زیاد است که باتوجه به کاهش مصرف بنزین و حذف تعداد زیادی خودروی سواری هزینه جبران می‌شود و حتی ممکن است سودآور باشد. شایان یادآوری است که در این برنامه‌ها بررسی سود حاصل از کاهش خسارت‌های ناشی از آلودگی هوا یا به عبارت دیگر هزینه‌های اجتماعی آلودگی هوا در محاسبه منظور نشده است. چنانچه همان‌طور که در قسمت‌های قبلی اشاره شد سود حاصل از کاهش خسارت ناشی از کم شدن بار آلودگی در نظر گرفته شود، اقدامات پیشنهادی به‌ویژه برنامه 13 از نظر اقتصادی کاملاً قابل توجیه است. امید است باتوجه مسئولان، اقدامات سریع‌تری در بهبود کیفیت هوای شهرهای بزرگ به‌ویژه تهران صورت گیرد تا سلامت و رفاه بیشتری برای شهروندان فراهم شود. در مورد صنایع نیز، استفاده از فناوری‌های پاک به جای فناوری‌های قدیمی و خارج از رده نتایج مفیدی خواهد داشت. کنترل آلودگی هوای صنایع دارای سه روش کلی است که به‌نوع کار، مراحل و فناوری آن بستگی دارد. این سه روش کلی عبارتند از:

- تغییر در مراحل عملیاتی کارخانه به نحوی که آلودگی کمتری تولید گردد؛
- تغییر سوخت به ماده‌ای که آلودگی کمتر یا کم خطرتری به وجود می‌آورد؛
- نصب وسایل و دستگاه‌های کنترل کننده آلودگی و جداسازی آلاینده از گاز خروجی قبل از تخلیه در هوا؛

به مورد اخیر در ادامه اشاره خواهد شد و در مورد تغییر سوخت نیز همان‌طور که در مورد وسایل نقلیه گفته شد در اینجا نیز چنانچه از زغال سنگ به نفت و از نفت به گاز طبیعی صورت گیرد، آلودگی کمتر خواهد شد. اما مورد تغییر مراحل عملیاتی که یک تفکر مدیریتی است با یک مثال توضیح داده می‌شود. در این مورد هم می‌توان وضع موجود را تغییر داد و هم روش دیگری را جانشین روش موجود کرد. فرض کنیم مدیر کارگاهی سال‌هاست که حلال A را برای چربی زدایی قطعات به کار می‌برد. او به تجربه دریافته است که اگر این حلال در دمای 80 درجه سلسیوس مصرف شود و نقاله نیز با سرعت 100 واحد در حرکت باشد بهترین بازدهی را خواهد داشت. با تصویب قانون، بر کاهش انتشار حلال از جمله حلال A تأکید شده است. حال ببینیم مدیر کارخانه چه کارهایی می‌تواند انجام دهد تا خروجی کارخانه را با قانون جدید وفق دهد:

- 1- حلال B را که فشار تبخیر کمتری دارد و آلودگی کمتری هم ایجاد می‌کند، ولی قیمت آن گران‌تر است جانشین کند.
- 2- دمای 80 درجه را کمتر کند، ولی برای دستیابی به همان بازدهی باید سرعت نقاله را هم کاهش دهد که ناچار می‌شود یا ساعت کار را افزایش دهد و یا یک خط جدید احداث کند.
- 3- هود، کانال تهویه و وسایل جمع‌آوری نصب کند و حلال تبخیر شده را جمع‌آوری و بازیافت نماید تا به مصرف مجدد برساند که در این صورت قسمتی از هزینه‌های کنترل با مصرف مجدد جبران می‌شود.
- 4- هود و کانال تهویه نصب کند و حلال را جمع‌آوری کند و بسوزاند تا به ماده‌ای بی‌ضررتر تبدیل شود.

گاهی بهتر است روش قبلی کنار گذاشته شود و از فناوری‌های جدیدتر که آلودگی کمتری دارند استفاده شود که درعین حال ممکن است تولید بیشتر، بهتر و کم هزینه‌تر هم باشد. مثلاً در ذوب آهن اگر کوره‌های ذوب قدیمی کنار گذاشته شوند و از روش‌های جدیدتر مثل قوس الکتریکی استفاده شود آلودگی کمتری ایجاد می‌شود و بهره‌وری بهتری هم دارد. یا کارخانه کاغذسازی کرافت وقتی با مقررات جدید آلودگی هوا مواجه شد، تغییر کوره‌های قدیمی را با صرفه‌تر از نصب تجهیزات کنترلی یافت و چون محصول مرغوب‌تر و ظرفیت بیشتری به دست آورد، مخارج اضافی جبران شد. بسیاری از کشورهای صنعتی برای رسیدن به استانداردهای خروجی تغییر فرایندهای قدیمی را با صرفه‌تر یافتند و کارخانه‌های قدیمی را جمع‌آوری کردند و به کشورهای در حال توسعه فروختند (با توجه به مسائل جهانی و انسانی این بدترین نوع مدیریت بود).

## فناوری و تجهیزات کنترل آلودگی هوا

### 1- منابع متحرک

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، برای کاهش انتشارات گازهای اگزوز وسایل نقلیه تغییراتی در مهندسی و ساخت خودروها به‌وجود آمده است که ساخت خودروهای سبک‌تر با بهره‌وری بیشتر و استفاده از طراحی آئرودینامیک برای اصطکاک کمتر از آن جمله است. بهبود سامانه احتراق، بازچرخش گازها از جعبه میل‌لنگ، کاربراتور و باک بنزین، تغییر در سرشیلنگ‌های سوخت، تغییر در ترکیبات سوخت، بازچرخش گاز اگزوز و در نهایت نصب مبدل‌های کاتالیزوری از دیگر اقدامات انجام شده است که شرح مختصری در مورد آنها داده می‌شود.

### 1- بهبود سامانه احتراق

برای جلوگیری از تشکیل NO نسبت هوا به سوخت تا 18 به 1 وزنی افزایش داده شده است و به‌جای اختلاط هوا و سوخت در کاربراتور، بنزین به‌طور مستقیم به‌داخل سیلندر تزریق می‌شود (سیستم انژکتوری). این اقدام هرچند تشکیل  $\text{NO}_x$  را کاهش داده است، ولی این کاهش به‌حد لازم (بیش از 90 درصد) نبوده است و در مقایسه با کاتالیست که در ادامه شرح داده می‌شود بازده کمتری داشته است.

### 2- باز چرخش گازهای نشتی از جدار پیستون<sup>۴۲۴</sup>

جعبه میل‌لنگ یا کارتر یک محفظه بسته است که جزیی از گاز احتراق از جدار پیستون وارد آن می‌شود. به‌منظور جلوگیری از تراکم گازهای نفوذی، تهویه‌ای در این محفظه تعبیه می‌شود تا گازها را خارج کند. این گازها که علاوه بر حاصل احتراق کامل و ناقص، بخارهای روغن را نیز همراه دارند، به‌شدت هوا را آلوده می‌کنند و نباید در هوا تخلیه شوند. برای جلوگیری از این کار، آنها را به‌محفظه احتراق برمی‌گردانند تا دوباره سوخته شوند.

### 3- کنترل ورود بخارات بنزین

کشورهای مختلف روش‌های متفاوتی را به‌کار برده‌اند. در آمریکا یک کانیستر که محتوی زغال فعال است بخارهای کاربراتور و باک بنزین را در زمان توقف خودرو جذب می‌کند و در موقع حرکت به‌ورودی محفظه احتراق می‌فرستد.

بعضی کشورها سرشیلنگ پمپ بنزین را طوری ساخته‌اند که به‌هنگام بنزین‌گیری در باک آب‌بندی می‌شود و بخارهای بالای باک بنزین به‌خارج نفوذ نمی‌کند.

یکی دیگر از کارهای انجام شده در ترکیب سوخت است تا فرار بودن و تبخیرپذیری سوخت کاهش یابد که به‌آن فشار تبخیر رید<sup>۴۲۵</sup> گفته می‌شود که آن فشار بخار در دمای استاندارد 34/4 درجه سلسیوس است. با اضافه کردن مواد اکسیژنه به سوخت انتشار CO و VOC کاهش می‌یابد و در ضمن تبخیرپذیری این مواد هم کم است. معمول‌ترین اکسیژنه‌ها متانول و اتانول و دو ترکیبی که از آنها به‌دست می‌آید، است:

424- Blowby gas

425- Reid Vapour Pressure معیاری برای اندازه‌گیری فرار بودن سوخت است.



الف:  $MTBE^{۴۲۶}$  متیل تر شیارى بوتیل اتر که از متانول به دست می آید.  
ب:  $ETBE^{۴۲۷}$  اتیل ترشیاری بوتیل اتر که از اتانول تولید می شود.  
این ترکیبات به جای سرب به بنزین اضافه می شوند و نسبت به الکل های اولیه فشار تبخیر کمتری دارند.  $ETBE$  اکتان بالاتری نسبت به  $MTBE$  دارد و کمتر هم تبخیر می شود.

#### 4- بازپرخش گاز آگروز

جزیی از گاز آگروز به ورودی هوا برگردانده می شود تا نسبت هوا به سوخت، رقیق تر شود و دمای احتراق کاهش یابد. نتیجه این کار کاهش تشکیل  $NO_x$  حرارتی است.

#### 5- مبدل کاتالیزوری

وقتی هیدروکربن وارد منطقه احتراق می شود، خواه ناخواه می سوزد، ولی واکنش ها برای ترکیبات مختلف موجود در سوخت با یک سرعت انجام نمی گیرد. تمام فرایندها در زمان اتمام ضربه احتراق و شروع ضربه تخلیه پایان می یابد. بنابراین گازهای خروجی مخلوطی از موادی است که ممکن است قسمتی سوخته، قسمتی نیم سوخته و جزئی هم نسوخته باشد. زیرا برای تمام ترکیبات موجود در سوخت شاید زمان و دمای کافی برای تکمیل واکنش ها موجود نباشد. منظور از کاتالیست تکمیل احتراق در دمای کمتر است.

استفاده از مبدل کاتالیستی در کشورهای امریکا و ژاپن سال ها پیش از 1993 که در بعضی کشورها و اتحادیه اروپا اجباری شد رایج بوده است. در حال حاضر 75 درصد از خودروهای بنزینی انگلیس به مبدل کاتالیستی مجهز شده اند که قرار است این رقم تا سال 2008 به 98 درصد برسد (تا آن زمان خودروهای فرسوده کنار گذاشته می شوند). سایر کشورها هم به تدریج استفاده از کاتالیست در خودروها را قانونمند می کنند. هند از سال 1995 نصب کاتالیست در خودروهای چهار شهر بزرگ را اجباری کرد. ایران هم خودروسازها را موظف به نصب مبدل کاتالیستی در خودروهای جدید کرده است که در حال حاضر (1383) کلیه اتومبیل های ساخت ایران انژکتوری و مجهز به مبدل کاتالیستی هستند.

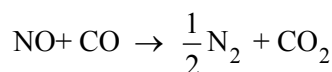
#### ساختمان کاتالیست

مبدل کاتالیستی معمولاً از شبکه نگه دارنده سرامیکی (کوردیرات)<sup>۴۲۸</sup>، کانسنگ الومینو سیلیکات منیزیم ارتومبیک آبی رنگ ( $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ ) یا دانه های مدور آلومینا هستند تا سطح تماس زیادی را به وجود آورد. فلزات نجیب مثل پلاتین (Pt)، پالادیم (Pd)، رودیم (Rh) به قطر حدود 20 میکرون روی بستر نشانداده می شوند. منافذ لانه زنبوری معمولاً 1 میلی متر و یا در هر سانتیمتر مربع 30 تا 60 روزنه است. زمان ماند گاز در کاتالیست تقریباً 50 میلی ثانیه است. شکل 10-16 یک کاتالیست لانه زنبوری دو بستری را نشان می دهد. کاتالیست تا حدود 10 درصد از توان موتور را کاهش می دهد و بنابراین مصرف سوخت قدری اضافه می شود. افزایش افت فشار برای خروج گاز آگروز زیاد نیست، ولی وجود دارد. ترکیبات زیادی از فلزات نجیب برای کاهش افت فشار و قیمت تمام شده مورد آزمایش قرار

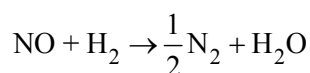
گرفته‌اند.

اثر کاتالیست بعد از 80 هزار کیلومتر از بین می‌رود و باید تعویض شود. اگر بعضی از مواد مثل سرب در بنزین وجود داشته باشد کاتالیست به‌سرعت فاسد می‌شود که در اصطلاح می‌گویند سمی شده است و کاری انجام نمی‌دهد. بعضی ترکیبات خنثی هم سطح فعال کاتالیست را می‌پوشانند و آن را غیرفعال می‌کنند.

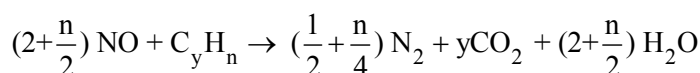
در یک مبدل کاتالیستی، گاز اگزوز از قسمت‌های مختلف آن عبور داده می‌شود. اولین قسمتی که گاز از آن می‌گذرد رادیوم است که در آن احیای NO در اثر واکنش با یکی از ترکیبات CO، H<sub>2</sub> و یا HC که حاصل سوخت ناقص هستند انجام می‌گیرد:



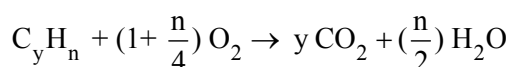
و یا



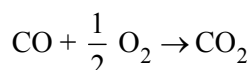
و یا



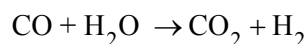
بقیه CO و HC با عبور از کاتالیست دوم که پالادیم یا پلاتینیوم است اکسیده می‌شوند، برای انجام این واکنش باید اکسیژن اضافی وجود داشته باشد.



یا

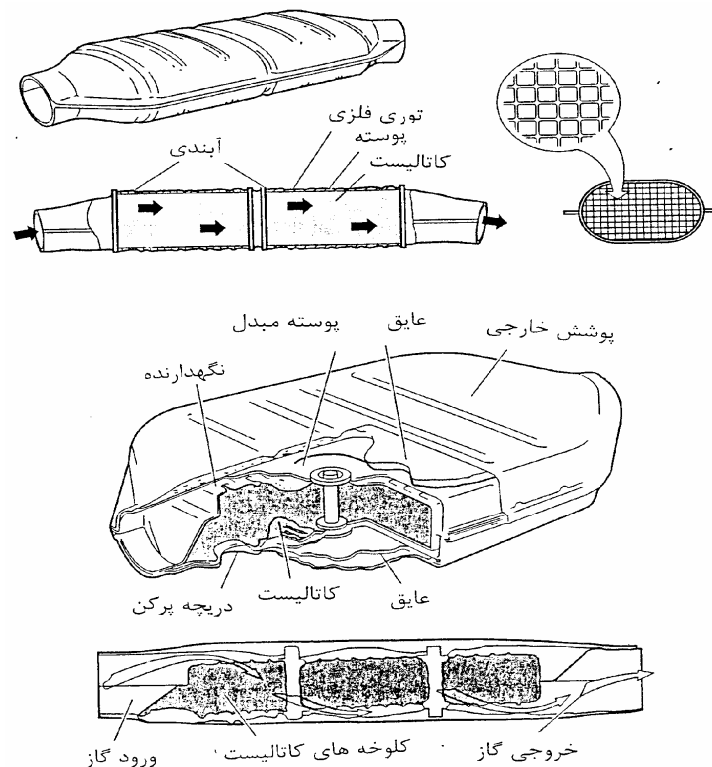


و یا



بدین ترتیب همه اکسیدکننده‌ها با احیا کننده‌ها ترکیب و به‌مواد غیرآلوده تبدیل می‌شوند. فلز پایه کاتالیست مثل CuO و NiO در دمای 350 تا 600 درجه سلسیوس NO را احیا می‌کند. فلز نجیب روی نگه‌دارنده آلومینا هم NO را در حضور CO و H<sub>2</sub> احیا می‌کند. اگر مخلوط هوا - بنزین از نظر بنزین غنی باشد نتیجه عکس گرفته می‌شود، زیرا NO به NH<sub>3</sub> یا HCN تبدیل می‌شود.

واکنش شیمیایی در کاتالیست نوعی احتراق است که در دمای بالا انجام می‌گیرد. تا زمانی که دما به 300 درجه سلسیوس نرسیده باشد بازده کاتالیست صفر است و چون برای رسیدن به این دما چند دقیقه زمان لازم است، بنابراین در مسافت‌های کوتاه عملاً کاتالیست کاری انجام نمی‌دهد. بعضی‌ها پیشنهاد کرده‌اند که گاز را با برق به‌سرعت به این حرارت برسانند.



شکل 10-16- مبدل کاتالیستی برای موتورهای جرقه ای. بالا مدار یک پارچه و پایین طرح گلوله ای (هیوود، 1998)<sup>۴۲۹</sup>

### موتورهای دیزلی

در سال 2000 حدود 3 درصد از وسایل نقلیه کالیفرنیا موتورهای دیزلی داشته‌اند. این تعداد وسیله نقلیه، 5 درصد از کل مسافت پیموده شده توسط خودروهای منطقه را طی کرده‌اند و مسبب حدود 35 درصد از انتشار  $\text{NO}_x$  و 56 درصد انتشار ذرات بوده‌اند. شرایط احتراق در دیزل‌ها با موتورهای بنزینی متفاوت است. مخلوط سوخت رقیق و بازدهی حرارتی بیشتر به کاهش دمای گاز اگزوز (200-500 درجه سلسیوس) می‌انجامد و با شرایط اکسیدکنندگی بالا، سبب کاهش انتشارات HC می‌شود. این انتشارات را باز هم می‌توان با کاتالیست اکسیدکنندگی دیزل (DOC)<sup>۴۳۰</sup> کاهش داد (کاتالیست دیزل بعداً توضیح داده می‌شود). همین شرایط اکسیدکنندگی، احیای NO به  $\text{N}_2$  را محدود می‌کند. DOC با حذف SOF<sup>۴۳۱</sup> انتشار ذرات را کاهش می‌دهد، ولی تولید ذرات سولفات توسط  $\text{SO}_2$  این بهبود را تعدیل می‌کند.

شارژ توربینی<sup>۴۳۲</sup> هم  $\text{NO}_x$  و PM را تا حدود 30 درصد کاهش می‌دهد و اگر با سردکننده بعدی همراه شود این کاهش بیشتر هم می‌شود. مهم‌ترین مسأله این است که چگونه می‌توان انتشار NO را در موتورهای دیزلی بدون افزایش ذرات کاهش داد یا برعکس چطور می‌توان

429- Heywood

430- Diesel Oxidising Catalyst

431- SOF= Soluble Organic Fraction

432- Turbocharging

ذرات را بدون افزایش NO کم کرد. تأخیر در تزریق سوخت، دمای شعله را کاهش می‌دهد و بنابراین تشکیل NO<sub>x</sub> کاهش می‌یابد، ولی بازدهی سوخت کم می‌شود و به‌طور کلی ذرات بیشتری تولید می‌شوند. در آمریکا برای کاهش هر تن از پیش‌نیازهای تشکیل اوزن در موتورهای دیزلی که NO<sub>2</sub> از آن جمله است 1500 دلار هزینه برآورد شده است.

### صافی برای ذرات دیزل

ساده‌ترین راه برای کنترل ذرات دیزل، صافی ذرات دیزل DPF<sup>۴۳۳</sup> یا تله ذرات است. این صافی‌ها دارای شکل‌ها و جنس‌های مختلف‌اند. صافی اسفنج سرامیکی یا فلزی پشم سرامیک یا مش سیمی از آن جمله است. همه اینها ذرات را در محدوده فرایند معمولی تصفیه و جداسازی می‌کنند. با جمع شدن ذرات روی این صافی‌ها افت فشار افزایش و بازدهی موتور کاهش می‌یابد. بنابراین باید پیش از این که افت فشار خیلی زیاد شود سوزانده شوند. اگر دمای اگزوز به‌قدر کافی زیاد باشد ذرات خود به‌خود می‌سوزند، ولی به‌طور معمول عاملی برای کمک لازم است. این عامل ممکن است برق یا حرارت احتراق باشد و یا آنکه موتور به‌طور موقت با بازدهی کم کار کند تا دمای اگزوز را افزایش دهد. در نهایت می‌توان کاتالیست را به‌صافی اضافه کرد تا سوخته شدن ذرات را در دمای کمتر بهبود بخشد. (کاتالیست به‌طور مداوم صافی ذرات را احیا می‌کند) بهتر است NO به NO<sub>2</sub> اکسیده شود که بعد اکسیژن لازم برای سوخت کربن را تأمین کند. این وسیله نمی‌تواند با سوخت محتوی گوگرد زیاد کار کند، زیرا ذرات سولفات تولیدی، صافی را مسدود می‌کند. 50 پی‌پی‌ام گوگرد در سوخت مقدار سولفات اگزوز را ده برابر افزایش می‌دهد.

### کاتالیست اکسیدان دیزل DOC<sup>۴۳۴</sup>

فناوری کاهش گوگرد گازوئیل امکان پالایش گاز اگزوز دیزل را با روش کاتالیست فراهم کرده است. DOC می‌تواند HC، CO و PM را تا حدودی کنترل کند، مشروط بر این‌که گوگرد در گازوئیل کمتر از 50 پی‌پی‌ام وزنی باشد. هرچه کاتالیست فعال‌تر باشد، کاهش انتشار گازها بیشتر خواهد بود. ولی در عوض ذرات سولفات بیشتری تولید می‌شود. در آمریکا از سال‌های 1960 استفاده از کاتالیست دیزل در کامیون‌ها و اتوبوس‌های برون شهری شروع شد. در سال 1990 حدود 1/5 میلیون کامیون و اتوبوس به‌این کاتالیست مجهز بودند. با کاتالیست‌های سوخت می‌توان بازدهی را 10 تا 15 درصد بهبود بخشید. انواع تلفیقی از لعاب و کاتالیست مورد آزمایش قرار گرفته است. این کاتالیست‌ها در دمای کمتر کار می‌کنند و با غیرفعال شدن حرارتی مواجه نیستند. اینها با P و Zn روغن موتور که در دیزل بیشتر از بنزینی سوخته می‌شود سمی می‌شوند. آزمایش نشان داده است که با تلفیق این فناوری‌ها می‌توان آلودگی‌های کامیون‌های سنگین با موتورهای استاندارد و خوب نگهداری شده را به‌خوبی کنترل کرد و در ضمن سروصدا را هم کاهش داد. البته این روش خیلی ارزان نیست و برای کاهش هر تن ذرات چند هزار دلار هزینه در بر دارد. یکی دیگر از راه‌های مهم کاهش آلودگی موتورهای دیزلی نگهداری، تنظیم موتور و تعمیرات به‌موقع است.

---

433- Diesel Particulate Filter

434- Diesel Oxidation Catalyst

## 2- کنترل آلودگی هوا در منابع ثابت

کنترل آلودگی هوا در منابع ثابت یا با روش‌های مدیریتی و راهبردی که در ابتدای این فصل اشاره شده است و یا با کاربرد تجهیزات و فناوری‌های کنترل که در این قسمت به آن پرداخته می‌شود صورت می‌گیرد، ولی محاسبات و طراحی وسایل، مورد بحث این کتاب نیست. با این حال در مورد وسایل ساده‌تر و عملی‌تر جمع‌آوری ذرات موجود در گاز خروجی بیشتر بحث خواهد شد.

یکی از مهم‌ترین منابع ثابت انتشار آلودگی هوا، تولید انرژی است که آن را به دو نوع می‌توان تقسیم کرد. اول مصرف سوخت و تولید انرژی حرارتی برای مصارف خانگی و تجاری که معمولاً با توجه به دود تنظیم می‌شوند هرچند ممکن است آلاینده دیگری هم در این دود وجود داشته باشد. به هر حال در این مورد از وسایل و فناوری کنترل استفاده نمی‌شود. تنظیم نسبت هوا به سوخت در مشعل‌ها و یا کاربرد سوخت‌های پاک مثل گاز طبیعی در کاهش آلاینده‌ها به‌ویژه دود قابل رؤیت بسیار مؤثر است و در کشور ما بهترین و تنها روش کنترل منابع خانگی و تجاری است. مورد دوم مصرف سوخت‌های فسیلی برای تولید برق و استفاده‌های عمومی و صنعتی است. در اینجا نیز نوع سوخت مصرفی در کاهش آلاینده‌ها بسیار مهم است، ولی در بسیاری از موارد هنوز از سوخت‌های مایع فسیلی سنگین و یا جامد استفاده می‌شود که کنترل آلاینده بدون استفاده از تجهیزات کنترل و فناوری‌های روز امکان‌پذیر نیست.

با توجه به مسئولیت‌هایی که قوانین و مقررات از یک‌سو و جامعه از سوی دیگر متوجه حرفه مهندسی نموده است، مهندسان هم کوشش زیادی را در توسعه فناوری‌های کنترل آلودگی هوا به کار برده‌اند تا سهم خود را در بهبود کیفیت هوا ادا کنند. دامنه مسئولیت حرفه مهندسی تا حد زیادی وابسته به محدودیت‌هایی است که به علت سه نوع ملاحظات اصولی تحمیل شده است:

1- محدودیت‌های قانونی که برای حفاظت از محیط زیست، سلامت و رفاه عمومی وضع شده و یا می‌شود؛

2- محدودیت‌های اجتماعی توسط جامعه‌ای که در آن منبع آلودگی وجود دارد و یا بوجود خواهد آمد تحمیل می‌گردد؛

3- محدودیت اقتصادی که توسط بازار تحمیل می‌شود.

ارزیابی دقیق در چارچوب این سه محدودیت اکنون اساس و اغلب جزئی از فرایند راهبرد کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌طور کلی و آلاینده‌های هوا به‌طور ویژه است.

از آنجا که هزینه‌های خرید، راهبری و نگهداری، تجهیزات سامانه‌های کنترل آلودگی هوا زیاد است، بیشتر مدیران صنایع باید در درجه اول اقدامات راهبردی را که در ابتدای فصل به آنها اشاره شد مورد توجه قرار دهند. برای یادآوری، بررسی گزینه ساخت و فناوری دستگاه‌های تولید، جایگزینی مواد خام، بهبود روش‌های کنترل فرایند و... از آن جمله‌اند. متأسفانه در بعضی موارد از چنین گزینه‌هایی نمی‌توان استفاده کرد و ناچار باید تجهیزات کنترل مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به هزینه زیاد این تجهیزات، انتخاب باید درست و با دقت زیاد صورت گیرد تا در

حالی که جوابگوی مقررات است، کمترین هزینه را هم بر صنعت تحمیل کند. در طراحی این سامانه‌ها بر روش‌های راهبری و نگهداری هرچه ساده‌تر و ارزان‌تر تأکید می‌شود. ضمن این‌که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه زیاد است، افزایش هزینه‌های انرژی، کارگر، مواد و نگهداری هم ممکن است در برابر بهای اولیه دستگاه تأثیرگذار باشد.

### عوامل مؤثر در انتخاب تجهیزات کنترل

در انتخاب سخت‌افزارهای کنترل آلودگی‌ها سه گروه از عوامل شامل عوامل محیطی، مهندسی و اقتصادی مؤثرند.

#### عوامل محیطی

- 1- محل استقرار؛
- 2- فضای مناسب و کافی؛
- 3- شرایط محیط؛
- 4- نیازهای مصرفی (برق، آب و غیره)، امکانات معین (تصفیه فاضلاب و دفع آن)؛
- 5- حداکثر مجاز انتشار آلودگی؛
- 6- زیبایی (منظر، بخار آب و...)
- 7- سهم سامانه کنترل آلودگی هوا در تولید فاضلاب و مواد زاید جامد؛
- 8- سهم سامانه کنترل آلودگی‌ها در ایجاد سروصدا.

#### مهندسی

- 1- ویژگی آلاینده‌ها (خواص فیزیکوشیمیایی، غلظت و در مورد ذرات شکل و دانه‌بندی (توزیع اندازه)، تمایل به جذب آب، تمایل به انعقاد، مقاومت الکتریکی و برای گازها واکنش شیمیایی، خوردگی، سمی بودن و غیره)؛
- 2- ویژگی جریان گاز (گذر حجمی، دما، فشار، رطوبت، ترکیبات، لزجیت، دانسیته، واکنش‌پذیری، قابلیت احتراق)؛
- 3- طرح سامانه و ویژگی عمل‌کرد وسیله [ابعاد، وزن، منحنی بهره‌وری جزء به جزء (در مورد ذرات) انتقال جرم، ظرفیت تخریب آلودگی (در مورد گازها و بخارها به فصل 5 مراجعه شود)، افت فشار، قابلیت اطمینان، قابلیت تغییر ظرفیت، نیاز انرژی، نیاز مصرفی‌ها، محدودیت دما، نیاز نگهداری، قابلیت افزایش بهره‌وری برای مواردی که استانداردها سخت‌تر می‌شوند و غیره].

#### ملاحظات اقتصادی

- 1- سرمایه‌گذاری (تجهیزات، نصب، مهندسی و غیره)؛
- 2- هزینه راهبری (مصرفی‌ها، نگهداری و غیره)؛
- 3- عمر مفید مورد انتظار و بهای فرسوده؛

تجربه نشان داده است که قبل از خرید دستگاه بر موارد زیر باید تأکید شود.

- 1- تجهیزات کنترل نباید خریداری شود، مگر یک مؤسسه صلاحیت‌دار بی‌طرف آن‌را آزمایش کرده باشد و داده‌های آزمایش ارائه شود. همچنین سازنده باید اطلاعات در باره عملکرد دستگاه و مشخصات طراحی را در اختیار قرار دهد.
  - 2- زمانی که اطلاعات کافی از عملکرد دستگاه در اختیار نیست، تأمین‌کننده باید دست‌کم اطلاعات ارزیابی یک پیلوت را که در شرایط واقعی آزمایش شده باشد، ارائه دهد.
  - 3- شرکت مقامات زیست‌محیطی محلی در انتخاب وسیله، بسیار توصیه می‌شود.
  - 4- باید ضمانت‌نامه‌ای معتبر از عملکرد دستگاه از کارخانه سازنده گرفته شود که تضمین کند دستگاه تمام الزامات قانونی را تأمین می‌کند.
  - 5- اصول مسائل اقتصادی باید به‌خوبی مطالعه شود. تجارب آلودگی‌ها، امکان مبادله و موازنه و یا استفاده از مفهوم حباب ارزیابی شود. مفهوم حباب اجازه می‌دهد که کارخانه کاراثرین راه برای کل آلودگی‌های منتشر شونده واحدهای خود را به‌جای تک تک واحدها انتخاب کند. برای مثال اگر با کنترل انتشارات یک یا دو واحد از مجموعه با قیمت ارزان‌تر بتواند به‌سهمیه تعیین شده برای کل مجموعه دست یابد، اجازه این کار را خواهد داشت (این کار در آمریکا رایج است).
  - 6- مطالعه دقیق توازن مواد<sup>۴۳۵</sup>، قبل از اجازه برای آزمایش انتشار یا دستور خرید وسایل کنترل باید انجام گیرد.
  - 7- هزینه نصب باید قبل از خرید برآورد و به‌قیمت دستگاه اضافه شود.
  - 8- در فهرست عوامل انتخاب تجهیزات باید به‌هزینه‌های راهبری و نگهداری اولویت زیادی داده شود.
  - 9- قبل از خرید باید از تأمین‌کننده یا تأمین‌کنندگان آب و برق و... تعهد تأمین مصرف گرفته شود. باید مطمئن شویم که سیستم جدید می‌تواند از سوخت موجود، کنترل‌ها، صافی‌ها، موتورها و امثال آن استفاده کند. به‌عبارت دیگر باید با آنچه موجود و یا تهیه آن مقدور است سازگار باشد.
  - 10- در شرح تجهیزات باید نوشته شود که کمک‌های فنی و وسایل یدکی از طرف سازنده یا فروشنده به‌سرعت تأمین می‌شود. این نوشته باید همراه با دستورالعمل بهره‌برداری و فهرست وسایل یدکی همراه دستگاه داده شود. گاهی به‌علت عجله این کار فراموش می‌شود.
  - 11- برنامه زمان‌بندی تحویل، نصب و راه‌اندازی باید در موقع خرید به‌دقت تهیه و جریمه‌های مربوط، مشخص گردد.
  - 12- دستگاه نباید افت کارایی داشته باشد و در ضمن باید نمایه‌ای برای نشان دادن خرابی‌ها در آن نصب شود.
  - 13- قسمتی از قیمت خرید (10 تا 15 درصد) باید به‌عنوان ضمانت تا اطمینان کامل از کارکرد صحیح آن نگهداری شود.
- زمان شروع و ختم طراحی معمولی از ساخت تا حل مشکلات راه‌اندازی، می‌تواند با یک یا چند مورد زیر جمع‌بندی شود.
- 1- عدم آشنایی مهندس فرآیند با مهندسی آلودگی هوا؛

- 2- مقررات جدید و یا تغییرات آن؛
  - 3- یک فروشنده جدید دستگاه‌ها که مورد تأیید نباشد؛
  - 4- عدم وجود استانداردهای صنعتی در بعضی مناطق کلیدی؛
  - 5- برداشت نادرست توسط کارشناس صحرایی سازمان کنترل کننده؛
  - 6- برنامه‌های سازگاری که خیلی سخت هستند؛
  - 7- شرح مبهم؛
  - 8- ضمانت ضعیف برای دستگاه کنترل؛
  - 9- برنامه تحویل نامطمئن؛
  - 10- کارکرد نامطمئن فرایند (متغیر بودن فرایند).
- انتخاب مناسب یک سامانه برای یک کاربرد مشخص بسیار مشکل و پیچیده است. با توجه به پیچیدگی‌های متعدد و مقررات گاه مبهم، بهتر است که از ابتدا با مسئولان کنترل آلودگی هوای محل تماس داشت و از توصیه‌های آنان استفاده کرد. سرانجام بر تجربیات گذشته نمی‌توان بیش از حد تأکید کرد. به‌ویژه درباره محیط زیست هر مورد ویژگی‌های خاص خود را دارد.

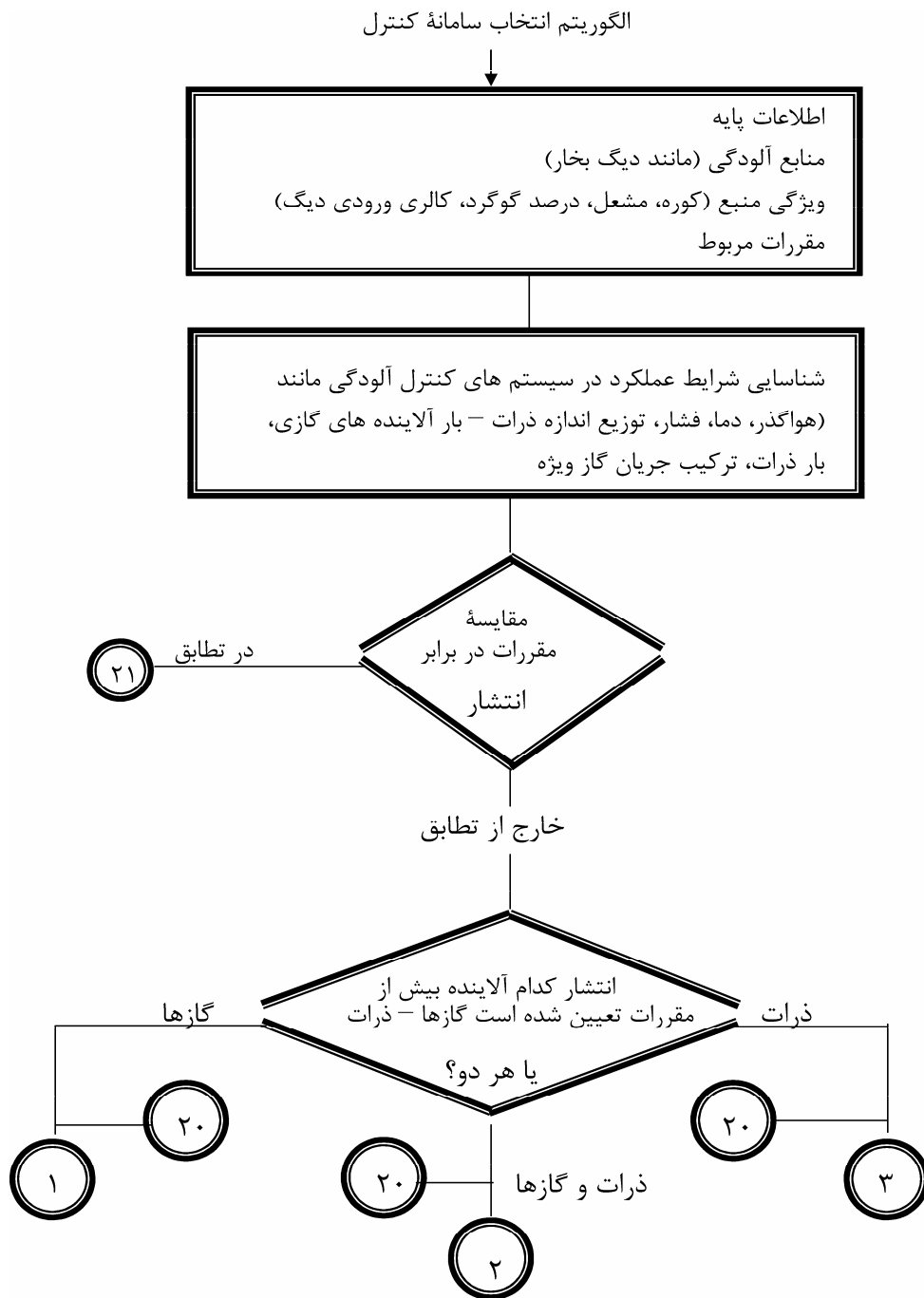
### مراحل مرور عمومی طرح

مرور طرح برای تجهیزات کنترل آلودگی هوا باید به‌چند دلیل از جمله موارد زیر انجام گیرد:

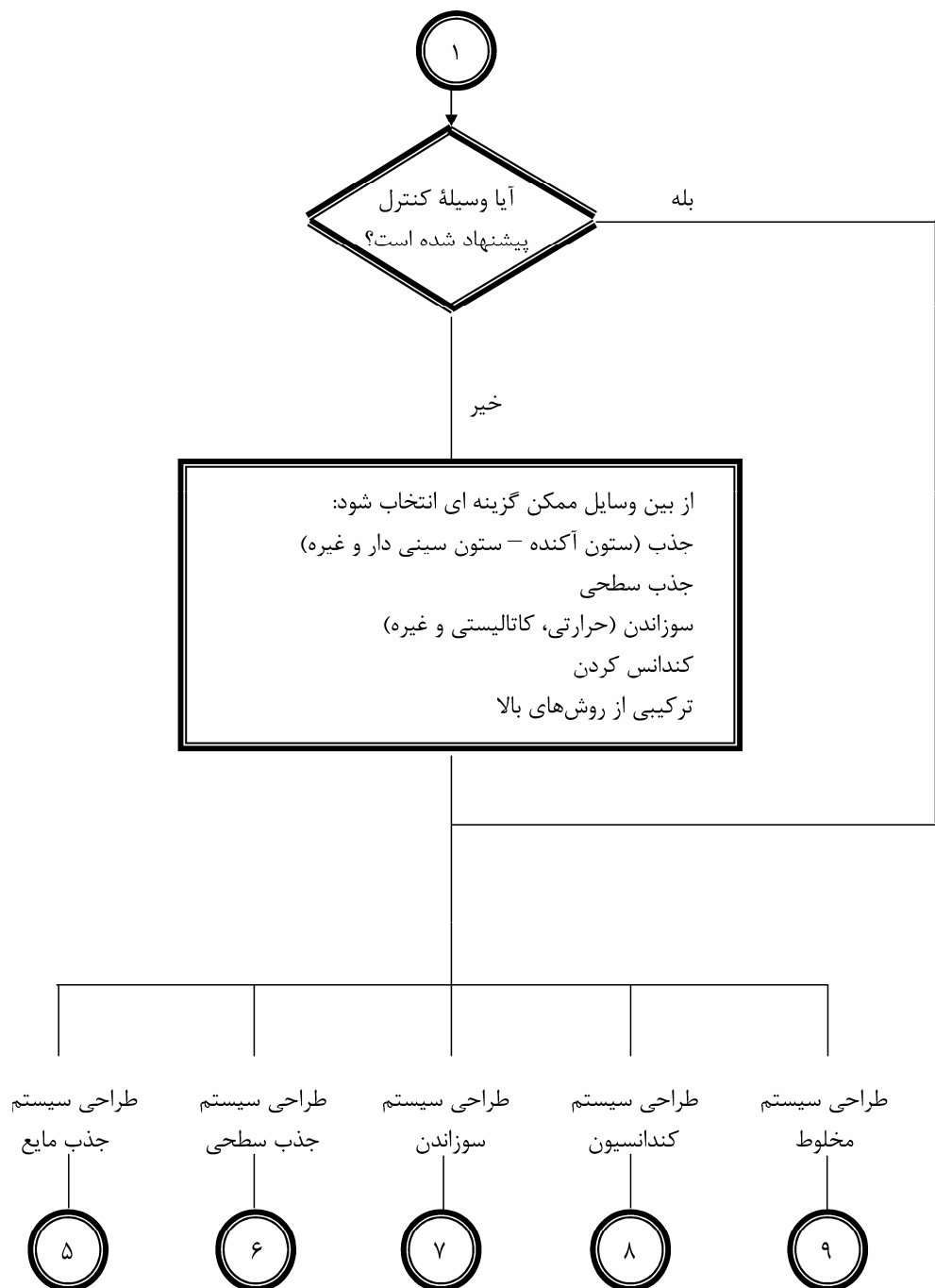
- 1- پیش‌بینی سازگاری با کد آلودگی هوای موردنظر؛
  - 2- برآورد تجهیزات کنترلی موجود؛
  - 3- ارزیابی امکانات طرح تجهیزات پیشنهادی؛
  - 4- بررسی اثر بر تجهیزات کنترل تغییر فرایند؛
- یک مرور معمولی طرح در شکل 11-16 به‌صورت الگوریتم داده شده است. مرور طرح فعالیتی است که در ابتدای ارزیابی فرایند انجام می‌شود. برای مقایسه تجهیزات با یکدیگر و انتخاب مناسب، دانش، کاربرد مخصوص وسیله و محل استفاده لازم است. غربال کردن اولیه را می‌توان با بررسی مزایا و محدودیت وسیله‌های کنترل آلودگی انجام داد. برای مثال اگر آب و امکان جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب در محل نباشد روش اسکرابتر حذف می‌شود و به‌جای آن از روش‌های خشک مثل سیکلون، صافی یا الکتروفیلتر استفاده می‌شود. اگر سوخت کمکی وجود نداشته باشد، سوزاندن گازها و بخارات در زباله‌سوز منتفی است. اگر بیشتر ذرات در گاز خروجی از ذرات ریز باشند، سیکلون جوابگو نخواهد بود. اگر بخارهای آلوده کننده هوا قابل استفاده مجدد باشند، روش کنترل به‌طرف سامانه‌های جذب هدایت می‌شود. در بسیاری از موقعیت‌ها که دانش کنترل آلودگی هوا همراه با هوش مهندس باشد، انتخاب روش کنترل ساده می‌شود.

انتخاب وسیله کنترل برای صنعت مشخص را می‌توان براساس الگوریتم زیر انجام داد

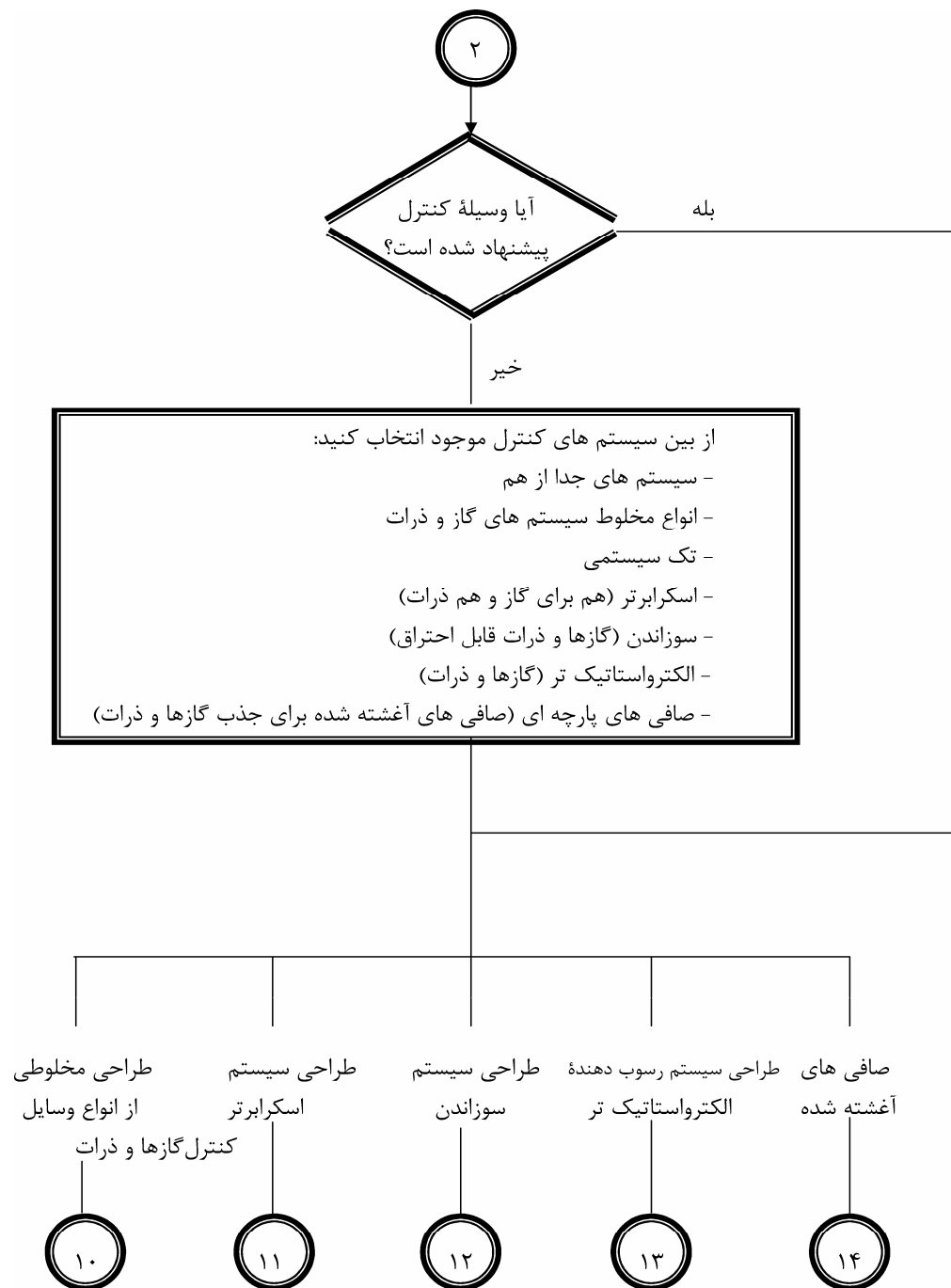




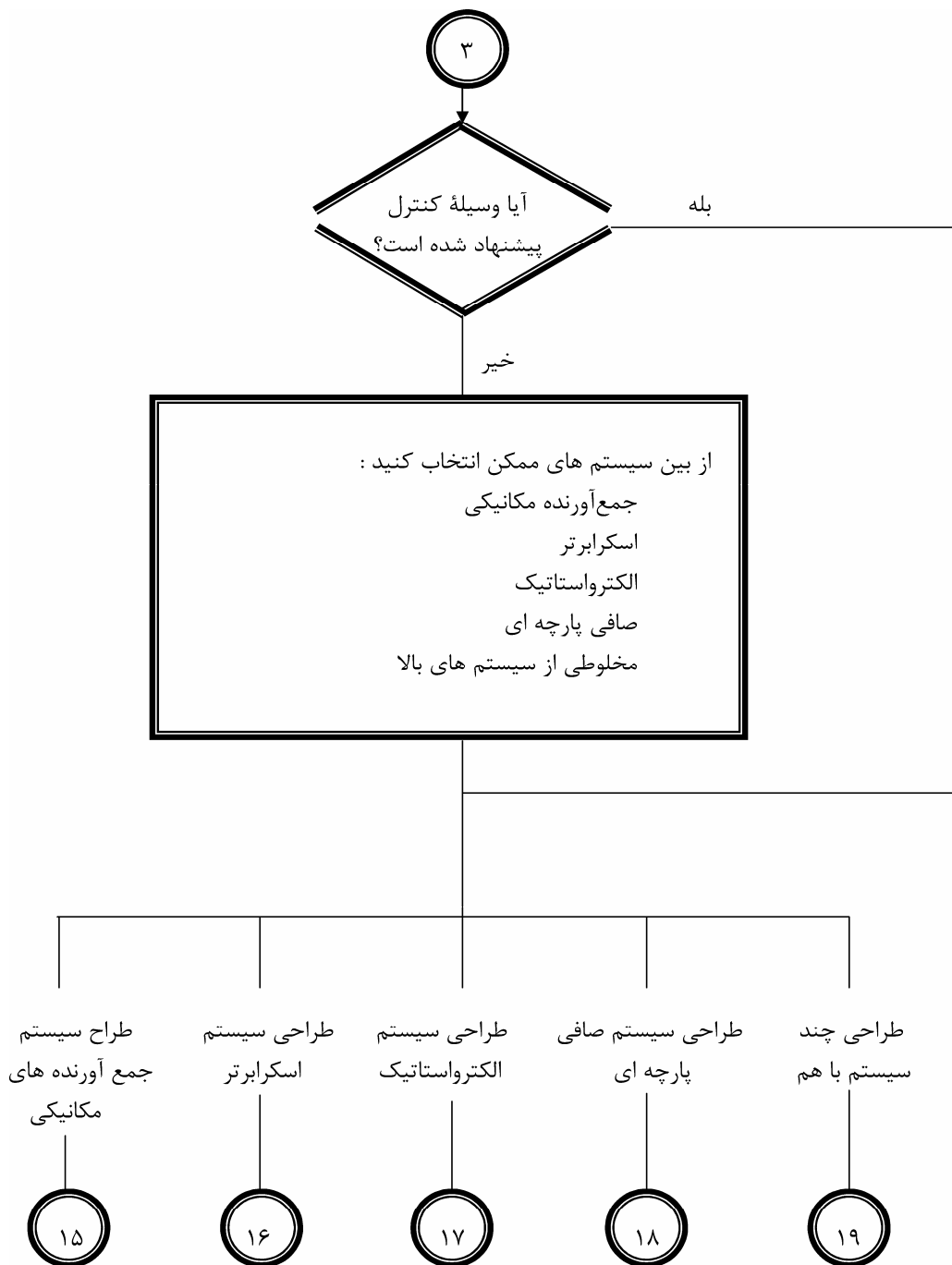
شکل 11-16- بررسی و مطالعه کلی طرح برای انتخاب وسیله مناسب



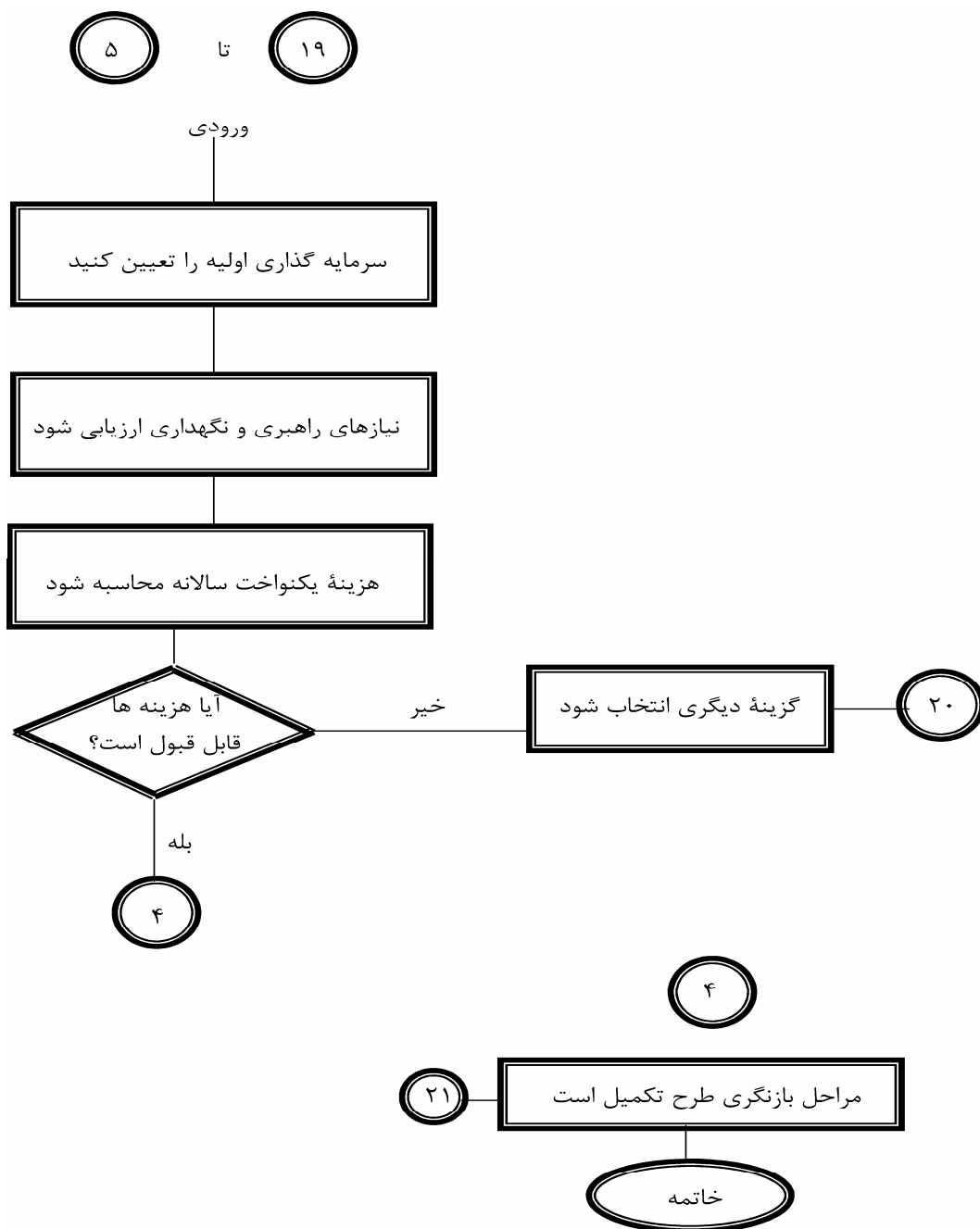
ادامه شکل 11-16- بررسی و مطالعه کلی طرح برای انتخاب وسیله مناسب



ادامه شکل 11-16- بررسی و مطالعه کلی طرح برای انتخاب وسیله مناسب



ادامه شکل 11-16- بررسی و مطالعه کلی طرح برای انتخاب وسیله مناسب



ادامه شکل 11-16- بررسی و مطالعه کلی طرح برای انتخاب وسیله مناسب

## تجهیزات کنترل آلودگی هوا در منابع ثابت

### 1- کنترل گازها

چهار روش کنترل گازها معمول است که عبارتند از:

جذب در مایع<sup>۴۳۶</sup>

جذب سطحی<sup>۴۳۷</sup>

چگالش<sup>۴۳۸</sup>

سوزاندن<sup>۴۳۹</sup>

انتخاب روش به: نوع آلاینده موردنظر، بازدهی مورد نیاز، ویژگی‌های آلاینده، شرایط خاص محل منبع آلودگی و جریان گاز حامل بستگی دارد. تجربه نشان داده است که موارد کلی متعددی وجود دارد که باید مورد نظر قرار گیرد.

1- اگر غلظت آلودگی در گاز حامل کم باشد (کمتر از 100 پی‌پی‌ام)، سوزاندن حرارتی می‌تواند بین 90 تا 95 درصد بازدهی داشته باشد و تا حدودی بهتر از سوزاندن کاتالیستی است.

2- در غلظت‌های بیشتر از 100 پی‌پی‌ام حجمی سوزاندن حرارتی معمولاً بازدهی را به‌بیش از 95 درصد و شاید 99 درصد می‌رساند.

3- سوزاندن ممکن است به‌احتراق ناقص و محصولات ناخواسته منجر شود.

4- جذب به‌وسیله کربن به‌طور معمول برای غلظت‌های تا چند صد پی‌پی‌ام حجمی، کمی بیش از 90 درصد بازده دارد و در غلظت‌های بیش از 1000 پی‌پی‌ام حجمی ممکن است بازده تا 95 درصد هم برسد.

5- اگر ترکیبات آلی را نتوان با حداقل کارهای اضافی بازیافت و قابل برگشت به‌چرخه تولید وارد کرد، جذب سطحی فناوری مورد توجه صنایع نیست. در چنین مواردی شاید اگر موارد جذب شده بازیافت و سوزانده شود، اقتصادی‌تر باشد.

6- بازدهی جذب در مایع به‌غلظت آلاینده در ورودی سامانه جذب بستگی دارد. در غلظت‌های کم، در حدود 90 درصد و در غلظت‌های زیاد، بیش از 95 درصد بازدهی به‌دست می‌آید.

7- اگر برای جریان مایع جذب کننده (فاضلاب سامانه جذب) تسهیلات جمع‌آوری، تصفیه و دفع فاضلاب وجود نداشته باشد، جذب در مایع فناوری مناسبی نیست.

8- چگالش زمانی مفید است که نخست غلظت ماده موردنظر بیش از چند هزار پی‌پی‌ام باشد و دوم ماده چگالیده استفاده مجدد داشته باشد.

9- اگر چگالش در دمای بسیار کم (استفاده از نیتروژن مایع) انجام نشود، بازده خوبی برای حذف آلودگی نخواهد داشت.

10- به‌طور معمول فقط سوزاندن (حرارتی یا کاتالیستی) و جذب در مایع می‌تواند تا 99 درصد بازده حذف آلاینده‌ها را داشته باشد.

حال با توجه به‌این موارد، برای هریک از چهار روش ذکر شده توضیحاتی داده می‌شود تا سازوکار هر کدام بهتر معلوم شود.

### جذب در مایع

یکی از مهم‌ترین کارها برای کاهش گازهای آلاینده در منبع، جذب در مایع است. در این

437- Adsorption

438- Condensation

439- Incineration

فرایند، جریان گاز با حلال جذب کننده تماس نزدیک می‌یابد که به حل، واکنش و یا انتقال جرم قسمتی از یک یا چند ترکیب موجود در گاز به مایع حلال منجر می‌شود. این فرایند یا به صورت پاشیدن مایع بر گاز یا دمیدن گاز در مایع انجام می‌گیرد. وسیله مورد استفاده اسکرابر نامیده می‌شود که ممکن است به صورت برج پاشش خالی، آکنده و سینی دار باشد. حلال مورد استفاده، آب، روغن‌های معدنی، آب آهک و امثال آن است. گازهایی که معمولاً بدین ترتیب کنترل می‌شوند شامل  $\text{HCl}$ ،  $\text{SO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ،  $\text{HCN}$ ،  $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{NH}_3$ ،  $\text{Cl}_2$  و بخارهای آلی مانند فرمالدئید، اتیلن و بنزن هستند.

شرط لازم برای تکمیل چنین فرآیندی انتخاب صحیح مایع برای گاز جذب‌شدنی است. سرعت انتقال جرم جزء آلاینده گاز حامل در مایع جذب کننده، به پخش در هر دو طرف سطح مشترک فازهای گاز و مایع بستگی دارد. برای مثال اگر اسید کلریدریک در گاز خروجی از صنعت وجود داشته باشد، وقتی در داخل اسکرابر با آب تماس یابد، آن تعداد از مولکول‌های اسید که با آب تماس پیدا کرده‌اند در آن حل می‌شوند. اسیدی که در سطح آب حل شده با نفوذ ثانوی در تمام آب توزیع می‌شود و از طرفی مولکول‌های خود اسید هم در گاز حامل پخش هستند. در نتیجه سرعت جذب با سرعت نفوذ در هر دو فاز گاز و مایع تعیین می‌شود.

عامل مهم دیگر در فرایند جذب تعادل است که باید در نظر گرفته شود.

سرعت پخش آلودگی در مایع جذب کننده، به انحراف از تعادل نگهداری شده بستگی دارد. سرعتی که در آن تعادل برقرار شده است، به پخش آلودگی باقی مانده و جذب‌نشده گاز حامل و آنچه در مایع جذب کننده حل شده است، بستگی دارد. سرعت انتقال جرم آلودگی از یک فاز به فاز دیگر به عامل انتقال جرم یا ضریبی که مقدار جرم قابل انتقال را با نیروی رانش متعادل می‌کند، بستگی دارد. همان‌طور که گفته شد و انتظار هم می‌رود فرایند انتقال به تعادل می‌انجامد. در عمل جذب، تعادل مورد توجه بین مایع تبخیر نشدنی (حلال) و گاز قابل حل (معمولاً آلودگی) به وجود می‌آید.

آلودگی که جزو کوچکی از کل گاز است و یا به عبارت دیگر در حجم بزرگی از گاز خروجی صنعت وجود دارد، از آن جدا شده و در مایع حلال، حل می‌شود. اما حل گاز حامل آلودگی در مایع جذب کننده ناچیز است و قابل توجه نیست. دما، فشار، غلظت آلودگی متغیرهایی مستقل از یکدیگرند. به‌طور کلی انتقال جرم بین دو فاز، تابع نیروی رانش تقسیم بر مقاومت است.

طرح مهندسی تجهیزات جذب گاز باید بر پایه کاربرد صحیح، اصول پخش، تعادل و انتقال جرم باشد. برای تکمیل هرچه بهتر فرایند و کارایی بیشتر باید حداکثر تماس بین مایع جذب کننده و گاز تأمین شود و برای تجدید فصل مشترک دو فاز سرعت زیاد باشد و مقاومت حداقل و نیروی رانش حداکثر باشد. چنین مواردی در بیشتر تجهیزات قابل دستیابی است. از موارد دیگری که باید مورد توجه باشد، افت فشار است. اگر برای مثال در یک اسکرابر سینی دار افت فشار آن قدر زیاد باشد که اسب بخار زیادی مصرف کند، شاید بهتر باشد از ستون آکنده‌ای که افت فشار کمتری دارد، استفاده شود. در مورد بسیاری از فرایندهایی که در آن جذب گازهای آلاینده از جریان گاز خروجی مورد نظر است، چون خود گاز خروجی یک سیال حاصل از فرایندهای صنعتی است، ویژگی‌های آن مثل هواگذر، ترکیب، دما و فشار معلوم است. دما و ترکیب مایع ورودی به ستون جذب کننده و گاز خروجی از آن هم معمولاً مشخص می‌شود.

مهم‌ترین نکات ستون جذب‌کننده تعیین سرعت جریان حلال و محاسبه ابعاد اصلی آن (قطر، ارتفاع) است. با بررسی انتخاب حلال در سرعت جریان داده شده و تعداد واحدهای داخل ستون (واحدهای آکنده - سینی‌ها) می‌توان به نکات بالا رسید.

طراحی کلی فرایند جذب در چند مرحله باید انجام گیرد:

1- انتخاب حلال؛

2- ارزیابی داده‌های تعادل؛

3- برآورد داده‌های عمل‌کرد (موازنه جرم و انرژی و تعادل انرژی مشخص می‌کند که آیا فرایند جذب یک روند ایزوترمال است یا بی‌درو)؛

4- انتخاب ستون (انتخاب نهایی ستون جذب‌کننده با توجه به ملاحظات اقتصادی خواهد بود)؛

5- محاسبه قطر ستون (برای ستون‌های آکنده، باید به شرایط سیلابی شدن توجه شود و در سینی دارها سرعت گاز و ظرفیت مایع روی سینی مهم است)؛

6- برآورد ارتفاع ستون (تعداد سینی، تعداد فضاها، آکنده، تعادل و غیره)؛

7- تعیین افت فشار در داخل ستون (در ستون‌های آکنده به‌نوع مواد آکنده و ارتفاع فضای آکنده و در سینی‌دارها به‌تعداد سینی‌ها بستگی دارد)؛

انتخاب حلال که با توجه به آلاینده موجود در گاز صورت می‌گیرد بسیار مهم است. در بسیاری موارد آب که هم فراوان و هم ارزان است انتخاب می‌شود، ولی ویژگی‌های زیر برای حلال باید در نظر گرفته شود:

1- حلالیت گاز، حلالیت زیاد گاز مهم است زیرا نرخ جذب با حلالیت گاز تغییر می‌کند و مقدار مایع حلال را هم به کمترین حد می‌رساند. حلالی با ویژگی شیمیایی مشابه با ماده‌ای که باید جذب شود نتیجه خوبی را تأمین می‌کند.

2- حلال باید دارای فشار تبخیر کم باشد و فرار نباشد.

3- حلال نباید خوردگی داشته باشد.

4- قیمت حلال (به‌جز آب) باید تعیین شود.

5- حلالی با لزجیت کم ارجح است، زیرا آهنگ جذب سریع، بهبود ویژگی سیلابی شدن، افت فشار کمتر و انتقال حرارت بهتر را در پی خواهد داشت.

6- حلال باید دارای پایداری شیمیایی خوب بوده و در صورت امکان غیرقابل اشتعال باشد.

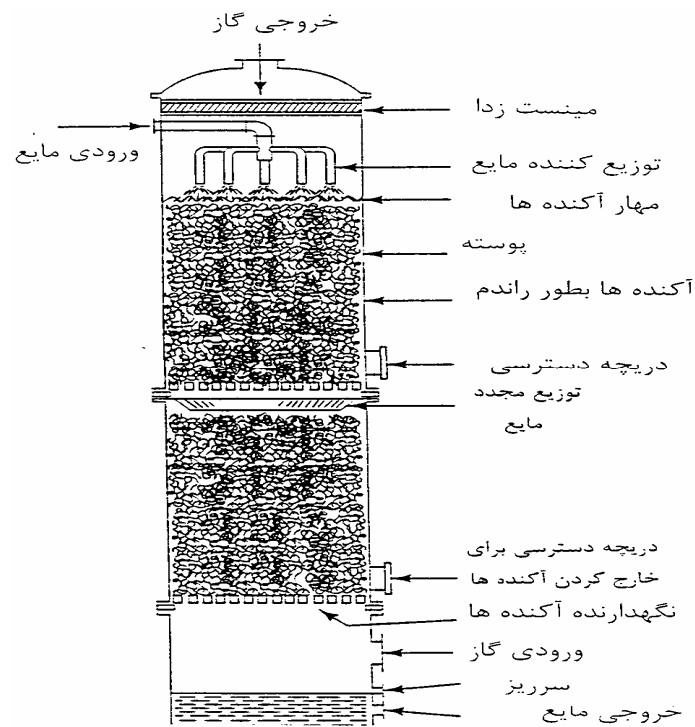
7- حلال نباید سمی باشد.

8- نقطه انجماد آن باید پایین باشد، زیرا انجماد مایع در داخل ستون مشکل‌ساز است.

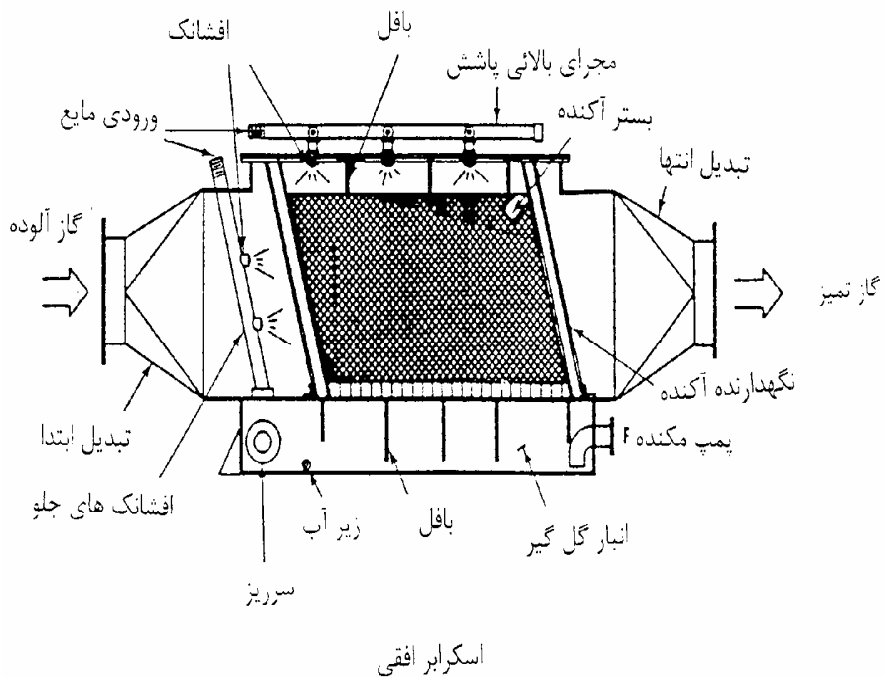
در شکل‌های 12-16 و 13-16 دو نوع ستون آکنده دیده می‌شود.

وقتی حلال انتخاب شد و خواص مشخص گردید، می‌توان ستون را طراحی کرد.





شکل 16-12- یک ستون آکنده که در آن گاز از پایین و مایع جذب کننده از بالا تزریق می شود.



شکل 16-13- یک ستون آکنده افقی

جدول 2-16- مزایا و محدودیت‌های اسکرابرها

| مزایا                                                                             | محدودیت                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1- منبع ثانوی انتشار ذرات نیست.                                                   | 1- ممکن است مشکل دفع فاضلاب داشته باشد.                              |
| 2- نسبتاً به فضای کمی نیاز دارد.                                                  | 2- محصول آن تر است و به سادگی قابل بازیافت نیست.                     |
| 3- توان جمع‌آوری گازها و ذرات (به‌ویژه ذرات چسبنده) را دارد.                      | 3- نسبت به روش‌های خشک مشکل خوردگی جدی است.                          |
| 4- کارکرد آن برای گازهای داغ و مرطوب، خوب است.                                    | 4- تولید بخار و تیرگی و نیز ریزش قطرات آب ممکن است مورد اعتراض باشد. |
| 5- اگر تصفیه فاضلاب لازم نباشد، سرمایه‌گذاری اولیه آن زیاد نیست.                  | 5- افت فشار و نیروی اسب بخار لازم ممکن است زیاد باشد.                |
| 6- در بعضی فرایندها که جریان گاز خروجی فشار زیادی دارد، افت فشار چندان بارز نیست. | 6- تشکیل قشر جامد در فصل مشترک خشک و خیس می‌تواند مشکل‌ساز باشد.     |
| 7- برای ذرات ریز بازده خوبی دارد (با هزینه افت فشار).                             | 7- هزینه نگهداری آن نسبتاً زیاد است.                                 |

### جذب سطحی

همان‌گونه که اشاره شد به‌خوبی مشخص شده است که نیروی مولکولی در سطح مایع در حالت جامد که در آن تمام نیروی مولکولی یا یون‌ها به‌وسیله پیوند با سایر مولکول‌ها یا ذرات اشباع نشده است، هم صادق است. در نتیجه این عدم اشباع سطح جامد یا مایع به‌اشباع نیروی باقی مانده به‌وسیله جذب و نگهداری گازها یا مواد محلولی که با آنها تماس می‌یابد، تمایل دارد. پدیده تراکم ماده در سطح جامد یا مایع را جذب سطحی می‌گویند. ماده جذب‌شده را فاز جذب‌شدنی<sup>۴۴۰</sup> و ماده‌ای را که روی آن جذب صورت می‌گیرد جذب‌کننده<sup>۴۴۱</sup> می‌نامند. جذب سطحی باید از جذب در مایع به‌خوبی تشخیص داده شود. در جذب با مایع مواد در سطح جذب‌کننده باقی نمی‌مانند بلکه در تمام محیط آن توزیع می‌شوند. در صورت تردید نسبت به این که جذب سطحی، یا درون مایع است، از اصطلاح جذب<sup>۴۴۲</sup> استفاده می‌شود.

دو نوع جذب سطحی شناخته شده است یکی جذب فیزیکی یا جذب واندروال<sup>۴۴۳</sup> و دیگری جذب شیمیایی که به آن جذب فعال<sup>۴۴۴</sup> شده گفته می‌شود.

جذب فیزیکی نتیجه نیروی بین مولکولی یا کشش بین ماده جامد جذب‌کننده و ماده‌ای که باید جذب شود، می‌باشد. برای مثال وقتی کشش مولکولی بین جامد و گاز (بخار) بیش از نیروی کشش بین خود مولکول‌های گاز باشد، روی سطح جذب‌کننده چگال می‌شود. این پدیده حتی اگر فشار گاز کمتر از فشار بخار برای آن دما باشد، باز هم اتفاق می‌افتد. اگر ماده جذب‌کننده دارای روزه‌های زیادی باشد و از دانه‌های ریز تشکیل شده باشد گاز جذب‌شدنی از درزها و شکاف‌ها عبور می‌کند و به سطوح زیادی که وجود دارد، جذب می‌شود. جذب‌کننده‌های معمولی مثل زغال فعال و سیلیکاژل برای هر کیلوگرم حدود 2 کیلوگرم مربع سطح جذب دارند و ظرفیت جذب آنها 0/5 کیلوگرم در هر کیلوگرم است.

440- Absorbate

441- Absorbent

442- Sorption

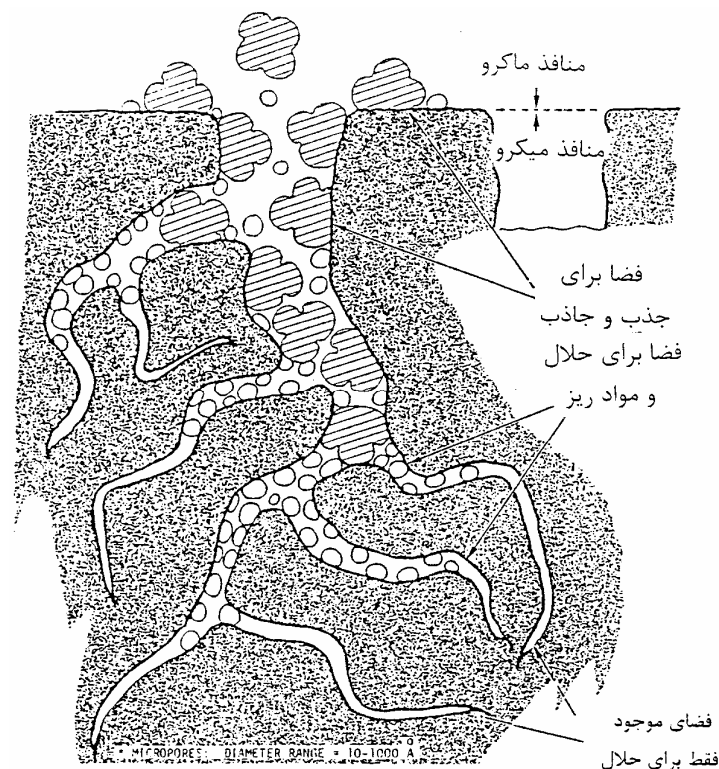
443- Van der Waals adsorption

444- Activated adsorption

ماده جذب شده به داخل شبکه کریستالی جامد نفوذ نمی کند و در آن حل هم نمی شود، بلکه به طور کامل روی سطح باقی می ماند. اگر جسم جامد دارای روزنه های موئین باشد، گاز به داخل این شکاف ها نفوذ می کند. در حالت تعادل فشار جزئی ماده جذب شده با فشار گاز در تماس برابر است. با کم کردن فشار فاز گازی یا افزودن دما، ماده جذب شده جدا می شود. جذب فیزیکی دارای ویژگی جذب در حرارت کم (حدود 40 بی تی یو یا کمتر به پوند مول جذب شدنی) و قابل برگشت است. جذب شیمیایی یا فعال شده، برخوردی بین جذب کننده جامد و ماده جذب شدنی است و نیروی چسبندگی آن بیشتر از جذب فیزیکی است. جذب در مایع با تعادل گرمای زیادی همراه است (80 تا 400 بی تی یو به پوند - مول). فرایند اغلب غیرقابل برگشت است و در باز یافت یا احیا به طور معمول ماده اصلی تغییر شیمیایی پیدا می کند.

با آنکه امکان جذب توسط همه جذب کننده جامد وجود دارد، ولی زمانی جذب سطحی کامل تر خواهد بود که سطح کافی برای جرم گاز جذب شدنی وجود داشته باشد. برای چنین منظوری جذب کننده های سیلیکاژل، زغال فعال و الک مولکولی<sup>۴۴۵</sup> از عوامل مؤثر جذب سطحی اند. این مواد سطح زیادی برای جذب گازها دارند و سطح وسیع جذب حجم زیادی از گاز را بر سطح خود جذب می کند. مقدار جذب را با فعال کردن این مواد (که از راه های مختلف ممکن است) می توان افزایش داد. برای مثال زغال چوب را با حرارت دادن در 350 و 1000 درجه سلسیوس در خلأ با حضور بخار و چند گاز دیگر تا نقطه ای که در آن مثلاً در دمای 24 درجه سلسیوس هر گرم زغال بتواند بجای 0/011 گرم تتراکلرید کربن 1/48 گرم جذب کند ادامه می دهند. فعال کردن شامل جدا کردن ناخالصی های هیدروکربنی از زغال است که به ایجاد سطح وسیعی برای تماس و جذب منجر می شود.

مقدار گاز یا بخار جذب شده توسط مواد جامد به ویژگی جذب شونده، سطح جذب کننده، دما و فشار گاز بستگی دارد. همان طور که انتظار می رود، افزایش سطح جذب کننده، مجموع گاز جذب شده را افزایش می دهد. به سادگی نمی توان سطح جذب کننده را تعیین کرد، بنابراین از جرم جذب کننده به عنوان سطح موجود استفاده می شود و به صورت مقدار جذب شده بر جرم عامل جذب کننده بیان می گردد. برای هر مولکول سطح مؤثر جذب فقط در روزنه هایی است که مولکول بتواند در آن داخل شود. در شکل 14-16 سعی شده که این مفهوم نشان داده شود که در آن دو مولکول در حال جذب شدن بر جذب کننده با هم رقابت می کنند. به علت حرکت مداوم مولکول ها، روزنه های کوچک به وسیله مولکول های بزرگ بسته نمی شوند، بلکه روزنه ها برای ورود مولکول های کوچک تر آزادند. حرکات شدیدتر مولکول های کوچک و پخش سریع تر آنها سبب می شود که این مولکول ها قبل از رسیدن مولکول های بزرگ تر وارد منافذ های جذب کننده شوند. به طور خلاصه جذب کننده های سطحی مهم شامل کربن فعال، آلومینا، سیلیکاژل و الک مولکولی توضیح داده می شود.



شکل 14-16- مفهوم جداسازی مولکول‌ها در منافذ میکرونی جذب‌کننده (قطر منافذ  $1000\text{\AA}$  - 10)

### کربن فعال

زغال از کربنیزه کردن چوب تهیه می‌شود. به‌علاوه انواع مختلفی از مواد خام برای تهیه زغال به‌کار می‌رود، که بعداً به‌زغال فعال تبدیل می‌شود. زغال فعال از قدرت جذب بیشتری نسبت به‌زغال معمولی برخوردار است. زغال به‌صورت صنعتی از پوست سخت گیاهانی چون گردو، بادام، فندق و میوه‌های مشابه در محیط بدون هوا با حرارت دادن صورت می‌گیرد و سپس در دمای زیاد به‌وسیلهٔ بخار فعال می‌شود. سایر مواد کربنی مثل پوست نارگیل، پیت و پوست میوه‌ها نیز برای تهیهٔ زغال استفاده شده است. برای فعال کردن، به‌جای بخار، از کلرید روی، کلرید منگنز، کلرید کلسیم و اسید سولفوریک هم استفاده می‌شود. بعضی از ویژگی‌های جذب‌کننده زغال فعال در جدول 3-16 آمده است.

جدول 3-16- ویژگی‌های زغال فعال

|                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| 0/35-0/55 gr/cm <sup>3</sup> | دانسیته              |
| 0/27-0/36Btu-Lb°F            | ظرفیت حرارتی         |
| 0/56-1/20cm <sup>3</sup> /gr | حجم منفذها           |
| 600-1600 cm <sup>2</sup> /gr | سطح                  |
| 15-25 °A                     | میانگین قطر روزنه‌ها |
| 100-140°C                    | دمای احیا (بخار)     |
| 150°C                        | حداکثر دمای مجاز     |

جذب کننده زغال فعال در کنترل آلودگی‌ها، بازیافت حلال‌ها، جمع‌آوری بخارهای هیدروکربن، حذف بو و خالص‌سازی گازها به کار می‌رود.

### آلومینای فعال

آلومینای فعال (اکسید آلومینیوم هیدراته) با حرارت دادن آلومینیوم رسوب می‌کند و یا بکسیت تولید می‌شود. آلومینا به صورت دانه‌های گرد یا عدسی شکل وجود دارد. خواص مخصوص آن در جدول 4-16 آمده است. آلومینای فعال بیشتر برای خشک کردن گازها و به‌ویژه برای خشک کردن گاز تحت فشار مصرف می‌شود.

جدول 4-16- ویژگی‌های آلومینای فعال

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| 0/60-0/67 gr/cm <sup>3</sup>  | دانه‌ای     |
| 0/72-0/92 gr/cm <sup>3</sup>  | عدسی        |
| 0/21-0/25 Btu-Lb°F            | گرمای ویژه  |
| 0/29-0/37 cm <sup>3</sup> /gr | حجم منفذها  |
| 210-360 cm <sup>2</sup> /gr   | سطح         |
| 18-48 °A                      | قطر روزه‌ها |
| 200-250°C                     | دمای احیا   |
| 500°C                         | پایداری تا  |

### سیلیکاژل

ساخت سیلیکاژل شامل خنثی کردن سیلیکات سدیم و مخلوط کردن آن با اسید معدنی رقیق شده و شست‌وشوی ژل تشکیل شده برای حذف نمک تولیدی (طی واکنش خنثی‌سازی) است. سپس خشک کردن، برشته کردن و فرایند درجه بندی انجام می‌شود. نام ژل شکل ژله مانند است که در یک مرحله از تولید به وجود می‌آید. معمولاً به شکل دانه‌ای مصرف می‌شود. درحالی‌که به شکل دانه‌های تسبیح هم وجود دارد. این ماده ویژگی‌های فیزیکی خاصی دارد که در جدول 5-16 آمده است. سیلیکاژل برای خشک کردن گازها و همچنین جدا کردن SO<sub>2</sub> از گازهای صنعتی نیز کاربرد پیدا کرده است.

جدول 5-16- ویژگی‌های سیلیکاژل

|                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 70-74 gr/cm <sup>3</sup> | دانسپته             |
| 0/22-0/26 Btu-Lb°F       | ظرفیت حرارتی        |
| 0/37 cm <sup>3</sup> /gr | حجم منفذها          |
| 750 cm <sup>2</sup> /gr  | سطح                 |
| 22 °A                    | میانگین قطر روزه‌ها |
| 120-250°C                | دمای احیا           |
| 400°C                    | پایداری             |

## الک مولکولی

برخلاف جذب کننده های بی شکل مانند زغال فعال، آلومینا و سیلیکاژل، الک مولکولی کریستال هایی است که اساساً از زئولیت دهیدراته سیلیکات های آلومینیومی که اتم های آن با الگوی مشخصی مرتب شده اند، تشکیل شده است. واحدهای ساختمان پیچیده الک مولکولی دارای فضاهایی در مرکز است که دسترسی به آن فضاها به وسیله منافذ و یا دریچه هایی است که وجود دارد. در بعضی از زئولیت های کریستالی این منافذ قطره های یکنواخت دارند. به علت ساختمان کریستالی، یکنواخت و کوچک بودن منافذ، فقط مولکول هایی جذب می شوند که اندازه آنها به قدر کافی کوچک باشد و شکل مناسب برای ورود به حفره ها از طریق فضاهای خالی داشته باشند.

هر بلوک ساختمانی یک کریستال هرمی متشکل از چهار انیون اکسیژن است که توسط سیلیکون های کوچک تر و یا کاتیون های آلومینیوم احاطه شده است. یون های سدیم یا سایر کاتیون ها کمبود بار مثبت هرم های آلومینیومی را جبران می کنند. هریک از چهار انیون اکسیژن هم با یک سیلیکا و یا هرم آلومینیومی شریک می شوند تا شبکه کریستالی را در سه بعد گسترش دهند. کریستال به دست آمده به صورت لانه زنبوری با فضاهای نسبتاً بزرگ است. هر فضا به شش فضای مجاور خود چسبیده شده است. الک ها با رشد کریستالی هیدروترمال، از ژل آلومینوسیلیکات که با روش مخصوص حرارت دادن، آب آن گرفته می شود، ساخته می شوند. ویژگی الک مولکولی در جدول 6-16 درج شده است.

جذب دارای سه مرحله الزامی است. نخست این که سیال باید با جذب کننده تماس یابد و جذب شونده به طور انتخابی جذب شود. دوم سیال جذب نشده باید از مجموعه جذب کننده - جذب شونده جدا شود و در نهایت با جدا کردن سیال جذب شده، جذب کننده احیا گردد و یا جذب کننده اشباع شده دفع و جذب کننده تازه جایگزین شود. احیای جذب کننده بسته به ویژگی جذب شونده با روش های مختلف انجام می گیرد. گازها و بخارات معمولاً با افزایش دما یا کاهش فشار از ماده جذب کننده جدا می گردند. پرتفردارترین روش، چرخه حرارتی با عبور گاز داغ در جهت عکس جریان چرخه جذب از بستر جذب کننده می باشد. با احیا یا تعویض بستر جذب کننده این اطمینان حاصل می شود که گاز عبوری از واحد جاذب با بیشترین فعالیت جذب مواجه می شود و بهترین فرآیند حذف آلودگی انجام می گیرد.

در مرحله نخست که در بالا اشاره شد وقتی ماده جذب شونده با جذب کننده تماس گرفت، تعادلی بین آنچه جذب شده است با آنچه هنوز در سیال وجود دارد برقرار می گردد.

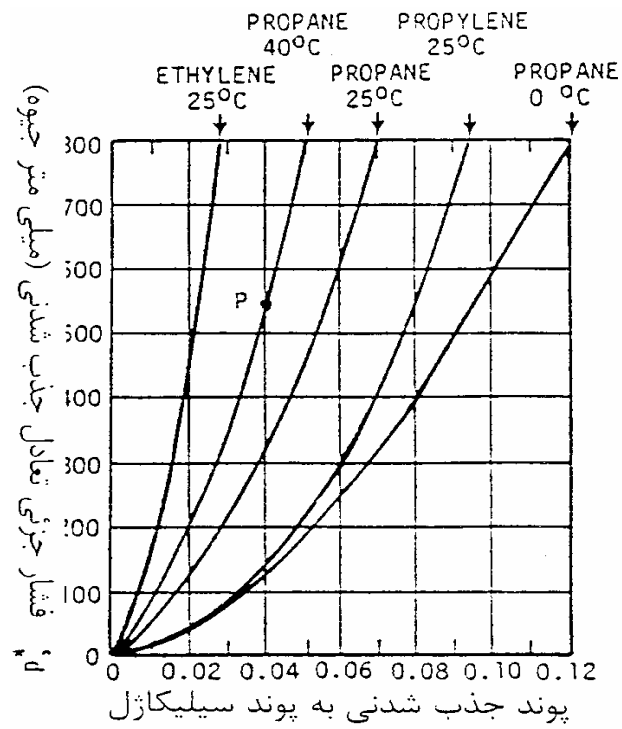
جدول شماره 6-16- ویژگی های الک مولکولی

| آلومینو سیلیکات<br>بی آب                      | آلومینو سیلیکات<br>کلسیم بی آب               | آلومینو سیلیکات<br>سدیم بی آب                |                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13X<br>0/8<br>---<br>13<br>200-300°C<br>600°C | 5A<br>0/7<br>0/19<br>5<br>200-300°C<br>600°C | 4A<br>0/7<br>0/19<br>4<br>200-300°C<br>600°C | نوع<br>دانسیته بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب<br>گرمای ویژه Btu/Lb-°F<br>قطر مؤثر روزنه ها<br>دمای احیا<br>دمای پایداری (در کوتاه مدت) |

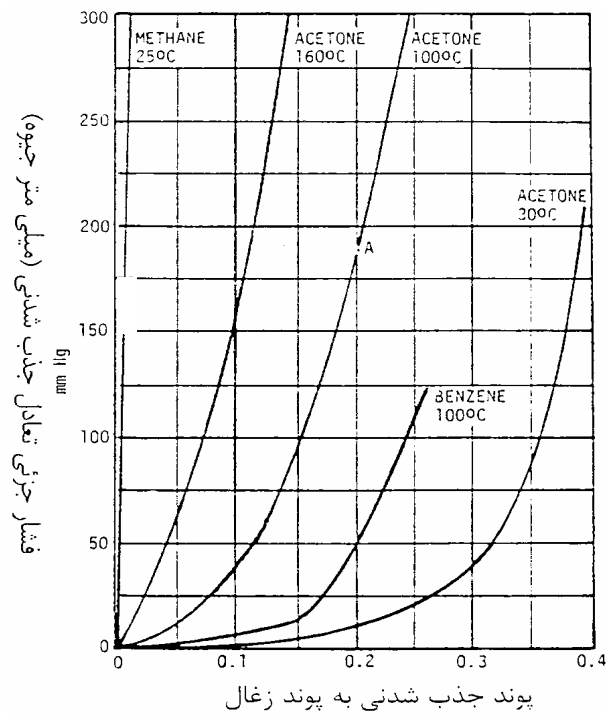
شکل های 15-16 تا 17-16 ایزوترم های تجربی جذب را نشان می دهند. به شکل 15-16 که در آن غلظت گاز جذب شده در برابر فشار جزئی تعادل ( $P^*$ ) در دمای ثابت رسم شده است توجه کنید. برای مثال در دمای 40 درجه سلسیوس بخار پروپان خالص، در فشار 550 میلیمتر جیوه با غلظت جذب شدنی در نقطه  $P$  به تعادل رسیده است. این نقطه تعادل معادل 0/04 پوند پروپان جذب شده به هر پوند سیلیکاژل بوده است. با افزایش فشار پروپان مقدار بیشتری از آن جذب می گردد. اگر فشار سامانه در  $P$  کاهش داده شود قسمتی از پروپان جذب شده آزاد می شود.

در فرایند اگزوترمیک، با افزایش دما در فشار تعادل، غلظت گاز جذب شده کاهش می یابد. این رفتار در منحنی های ایزوترم مشهود است.

فرایند یک گاز یا بخار که با یک جامد متخلخل تخلیه شده تماس یابد و قسمتی از آن به وسیله جامد جذب گردد، همیشه با آزاد شدن گرما همراه است. این که تا چه حد گرما آزاد می شود به اگزوترمیک بودن فرایند و نوع سیستم جذب بستگی دارد. در جذب فیزیکی مقدار گرمای آزاد شده، معمولاً معادل گرمای نهان چگالش ماده جذب شدنی به اضافه گرمای خیس شدن جذب کننده جامد است. گرمای خیس شدن معمولاً جزء کوچکی از گرمای جذب است. در جذب شیمیایی گرمای رها شده تقریباً معادل گرمای واکنش شیمیایی است.

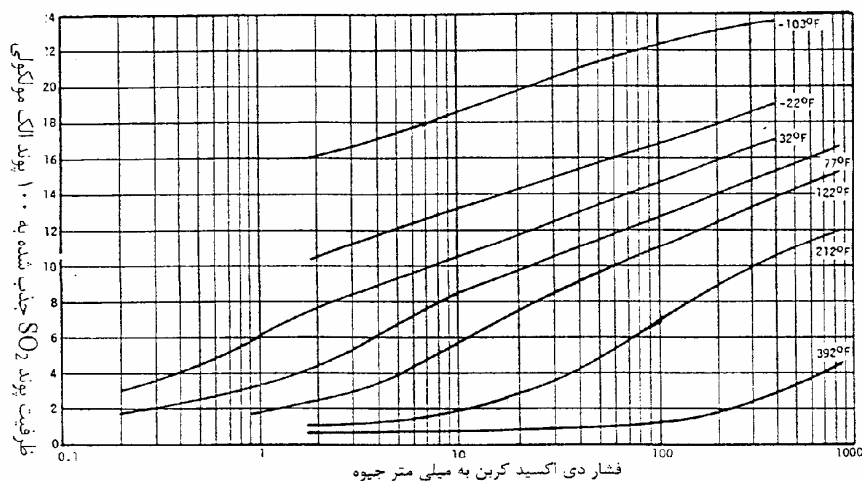


شکل 15-16- ایزو ترم جذب هیدروکربن ها بر سیلیکاژل



شکل 16-16- تعادل بخار - جامد





شکل 16-17- تعادل بخار - جامد

### چگالش

چگالش فرایندی است که در اثر آن گاز یا بخار به مایع تبدیل می‌شود. هر بخاری را می‌توان با کاهش دما و یا افزایش فشار به مایع تبدیل کرد. معمول‌ترین کار کم کردن دمای جریان بخار است. زیرا افزایش فشار هزینه‌بر است. چگالنده‌ها وسیله ساده و نسبتاً ارزانی هستند که در آنها بخارها را با آب یا هوا سرد و به مایع تبدیل می‌کنند. چگالنده‌ها را به‌عنوان پیش‌تصفیه به کار می‌برند. چگالنده‌ها را قبل از جذب‌کننده‌های سطحی یا جذب‌کننده‌های مایع یا گازسوزها قرار می‌دهند تا حجم گاز ورودی به آنها کاهش یابد و از هزینه اضافی جلوگیری شود. وقتی یک بخار داغ با یک محیط سرد تماس یابد، گرما از بخار داغ به محیط سرد منتقل می‌شود. با سرد شدن جریان بخار داغ، میانگین انرژی جنبشی بخار کاهش می‌یابد. در نهایت حرکت مولکول‌های بخار کند می‌شود و مولکول‌ها به هم نزدیک می‌شوند و نیروی جذب (نیروی واندروال) بین مولکول‌ها موجب چگالش و تبدیل به مایع صورت می‌گیرد. دو شرطی که به چگالش گازها کمک می‌کند، دمای کم که انرژی جنبشی مولکول‌های گاز را کاهش می‌دهد و فشار زیاد که مولکول‌ها را به هم نزدیک می‌کند هستند. شرایط واقعی که مولکول‌های گاز به‌خصوص چگالیده می‌شوند، به خواص فیزیکی و شیمیایی گاز بستگی دارد. زمانی چگال یک آلاینده اتفاق می‌افتد که فشار جزیی آن با فشار بخار ماده خالص آن در دمای عملکرد برابر گردد. چگالش یک گاز به سه روش انجام می‌گیرد.

(1) در دمای داده شده فشار آن قدر افزایش داده شود (فشردن گاز) تا فشار جزیی آن برابر فشار بخار خودش گردد.

(2) در فشار ثابت گاز آن قدر سرد شود تا فشار جزیی آن برابر فشار بخار شود.

(3) ادغام دو روش بالا که گاز هم فشرده و هم سرد می‌شود تا جایی که فشار جزیی آن با فشار بخار برابر شود.

یکی از روش‌های چگالش تماس مستقیم گاز با محیط سرد است که با اختلاط این دو فاز امکان پذیر شود. روش دیگر تماس غیرمستقیم گاز داغ با محیط سرد است.

## سوزاندن

در سوزاندن باید به اصول احتراق توجه کرد که در فصل پنجم شرح داده شده است. فرایند سوزاندن اغلب برای ترکیبات آلی کاربرد دارد. در حرارت کافی و زمان ماند لازم، مواد هیدروکربنی در اثر سوختن به  $\text{CO}_2$  و آب تبدیل می‌شوند. تجهیزات سوخت ضایعات گازی نسبتاً ساده و قادر به تخریب مواد آلی با بازدهی مطلوب‌اند. این وسایل از یک مشعل برای اشتعال سوخت و مواد آلی و یک اتاقک برای زمان ماند لازم به منظور تکمیل فرایند اکسیداسیون، تشکیل شده‌اند. به علت هزینه زیاد سوخت که موجب کاهش مصرف آن می‌شود می‌توان طراحی را برای بازیافت حرارت در نظر گرفت. سوزاندن را می‌توان برای مواد زاید خطرناک با بازدهی مناسب به کار برد. وقتی احتراق به کار برده می‌شود ممکن است مشکلاتی هم به وجود آید. سوخت ناقص مواد آلی به تولید آلدئیدها و اسیدهای آلی منجر می‌شود که خود یک مشکل آلودگی هوا است. اکسیداسیون مواد آلی محتوی گوگرد یا هالوژن‌ها، مواد آلاینده ناخواسته‌ای مانند  $\text{SO}_2$ ، اسید کلریدریک، اسید فلوریدریک و فسفوژن را وارد هوا می‌کند. اگر چنین عناصری در مواد آلی وجود داشته باشند شاید حذف آنها پیش از سوزاندن ضروری باشد. چندین روش اصلی برای احتراق مواد زاید به کار می‌روند. هرچند این وسایل از نظر فیزیکی با هم تشابه دارند، ولی شرایط کاری آنها ممکن است متفاوت باشد. انتخاب وسیله مناسب به عوامل زیادی بستگی دارد که شامل نوع آلاینده خطرناک، غلظت مواد قابل احتراق در جریان گاز یا مواد زاید، گذر جریان گاز، میزان کنترل مورد نیاز و ارزیابی اقتصادی است. برای احتراق خوب سه شرط اصلی مورد نیاز است که شامل زمان، دما و اختلاط است که در زبان انگلیسی به سه T معروف است (Turbulence, Temperature, Time). این سه عامل بر بهبود و سرعت واکنش تأثیر دارند. این عوامل متغیرهای مستقل نیستند. تغییر هر کدام سبب تأثیر بر کل فرایند و دو متغیر دیگر می‌شود. تخریب حرارتی بسیاری از مواد آلی در دمای 650 تا 950 درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد. تخریب بسیاری از مواد زاید خطرناک در دمای 980 تا 1200 درجه سلسیوس انجام می‌گیرد. وقتی یکی از سه متغیر افزایش یابد، متغیرهای دیگر را می‌توان کاهش داد و همان نتیجه را هم به دست آورد. در شکل 16-18 اثر زمان و زمان ماند در نرخ اکسیداسیون آلودگی نشان داده شده است. انتخاب بین افزایش دما یا زمان ماند به تحلیل اقتصادی بستگی دارد. زمان ماند گاز در اتاقک احتراق با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$t = V/Q$$

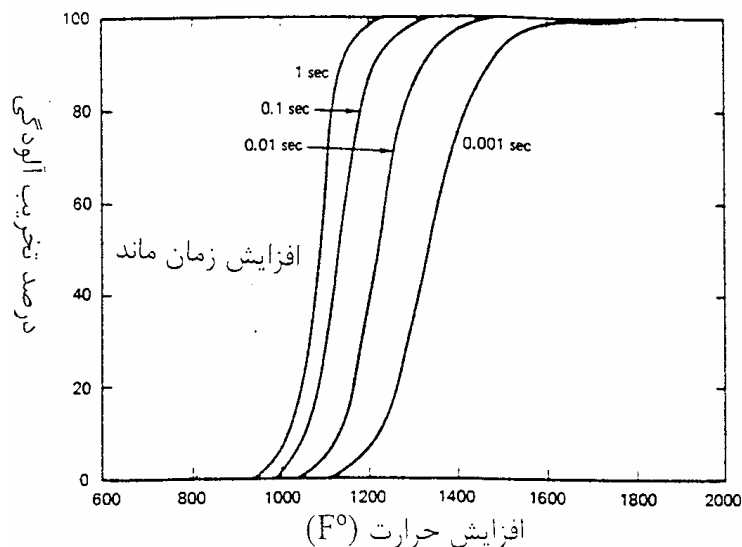
$t$  = زمان ماند برحسب ثانیه

$V$  = حجم اتاقک احتراق برحسب مترمکعب

$Q$  = جریان حجمی گاز در شرایط احتراق برحسب مترمکعب در ثانیه

$Q$ ، کل گاز داغ در اتاقک احتراق است. برای تنظیم گذر جریان باید هوای بیرون هم که برای احتراق وارد می‌شود، به حجم کل گاز ورودی اضافه شود.

نوع دیگر سوزاندن، اکسیداسیون کاتالیستی است که همانطور که در کنترل منابع متحرک ذکر شد در صنعت نیز به‌ویژه برای حذف  $\text{NO}_x$  و  $\text{SO}_2$  کاربرد دارد. با توجه به توضیحی که پیشتر در مورد عملکرد کاتالیست داده شده است، در اینجا از این بحث خودداری می‌شود. در صورت لزوم به قسمت اول این فصل مراجعه کنید.



شکل 16-18- اثرهای همزمان دما و زمان ماند بر نرخ اکسیداسیون آلاینده

علاوه بر روش‌های بالا که بیشترین کاربرد را در حذف آلودگی‌های صنعتی دارند، فناوری‌های دیگری هم معرفی شده‌اند که در مقیاس کوچک‌تری کاربرد داشته‌اند.

#### 1- جذب خشک

در این روش گازها از صافی‌هایی که به‌پودر  $\text{CaCO}_3$  و  $\text{NaHCO}_3$  و زغال فعال آغشته شده‌اند، عبور داده می‌شود. این روش اگر با استفاده از بی‌کربنات سدیم انجام گیرد، محصول آن سولفیت سدیم خواهد بود که در بعضی صنایع کاربرد دارد.

#### 2- استفاده از فناوری غشایی برای کاهش تشکیل $\text{NO}_x$

در توربین‌های گاز، غشا از سرامیک معدنی ساخته شده است که هوا ضمن عبور از یک مبدل حرارتی وارد ماژول‌های غشایی می‌شود. براساس اختلاف فشاری که در دو طرف غشا وجود دارد، 30 درصد جریان هوا به‌دو بخش غنی از نیتروژن (حدود 94 درصد) و عاری از نیتروژن تقسیم می‌شود. بخش غنی از نیتروژن با 70 درصد هوای بقیه مخلوط و در حالی که غلظت اکسیژن به‌کمتر از 17 درصد کاهش می‌یابد وارد توربین می‌شود. با این غلظت اکسیژن، تشکیل  $\text{NO}_x$  حرارتی در توربین به‌کمترین حد کاهش می‌یابد.

#### 3- استفاده از بیورآکتورها با استفاده از بستر کمپوست یا لجن برای حذف گاز $\text{SO}_2$ .

در این روش باکتری‌های احیاکننده  $\text{SO}_2$  روی بستر رشد داده می‌شوند و یون سولفید تولید می‌شود که طی مراحل می‌توان از آن و  $\text{SO}_2$  گوگرد به‌دست آورد.

#### 4- فناوری پلاسمایی

توده پلاسما خاصیت تخریب‌کنندگی دارد که اگر این خاصیت کنترل شود برای هدف

معین می‌توان از آن استفاده کرد. در حذف آلودگی‌های هوا از پلاسما ی غیر حرارتی که رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند استفاده می‌شود. این رادیکال‌های آزاد و دیگر ذرات فعال برای تخریب آلاینده‌ها مفیدند. از این روش برای حذف  $\text{NO}_x$  و  $\text{SO}_2$  استفاده شده است.

### مشعل با تولید $\text{NO}_x$ کم

طراحی اتاقک احتراق طوری انجام می‌شود که اختلاط سوخت و هوا را کند می‌کند و سپس می‌سوزاند که در نتیجه تعداد نقطه‌های داغ کمتر می‌شود. در این حالت N از سوخت آزاد می‌شود و در شرایط احیا قرار می‌گیرد. بنابراین به جای NO بیشتر  $\text{N}_2$  به وجود می‌آید. این نوع مشعل‌ها را می‌توان در دیگ‌های بخار موجود به کار برد که قابلیت کاهش 40 درصد NO سوخت را دارند. این مقدار کاهش در بعضی موارد با مقررات استاندارد  $\text{NO}_x$  مطابقت ندارد. از این رو باید از روش‌های دیگر کاهش  $\text{NO}_x$  نیز استفاده کرد که (کاتالیست)  $\text{De NO}_x$  از آن جمله است.

## 2- جمع‌آوری ذرات

انتخاب روش و وسیله برای کنترل ذرات به عوامل متعددی مانند توزیع اندازه ذرات، خواص فیزیکی و مکانیکی ذرات، خواص شیمیایی، مقدار رطوبت موجود در گاز حامل ذرات، دمای گاز حامل و محیط، حجم گاز حامل، غلظت ذرات در گاز حامل و مهم‌تر از همه بازدهی موردنظر که معمولاً توسط مقررات هر محل تعیین می‌شود، بستگی دارد.

مهم‌ترین انواع جمع‌آورنده‌های ذرات عبارتند از:

الف - اتاقک رسوب‌دهی وزنی؛

ب - جداسازهای گریز از مرکز (سیکلون‌ها)؛

ج - شست‌وشو دهنده‌های تر (اسکراورها که برای گازها نیز شرح داده شد)؛

چ - صافی‌ها؛

ح - رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک (الکتروفیلترها)؛

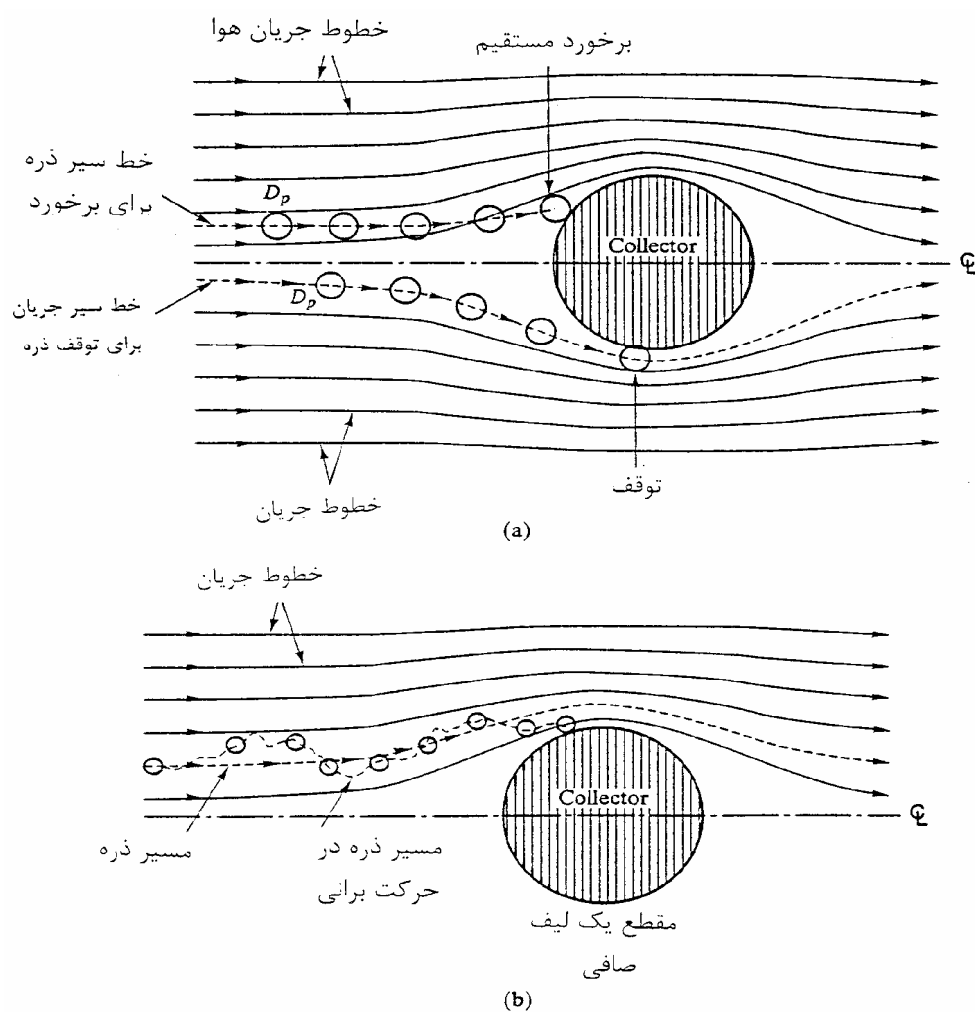
خ - رسوب‌دهنده‌های مافوق صوت.

وسیلهٔ اخیر برای به هم چسباندن ذرات به منظور افزایش قطر و سرعت رسوب آنها صورت می‌گیرد. بنابراین ممکن است جمع‌آوری در وسیلهٔ دیگری انجام شود.

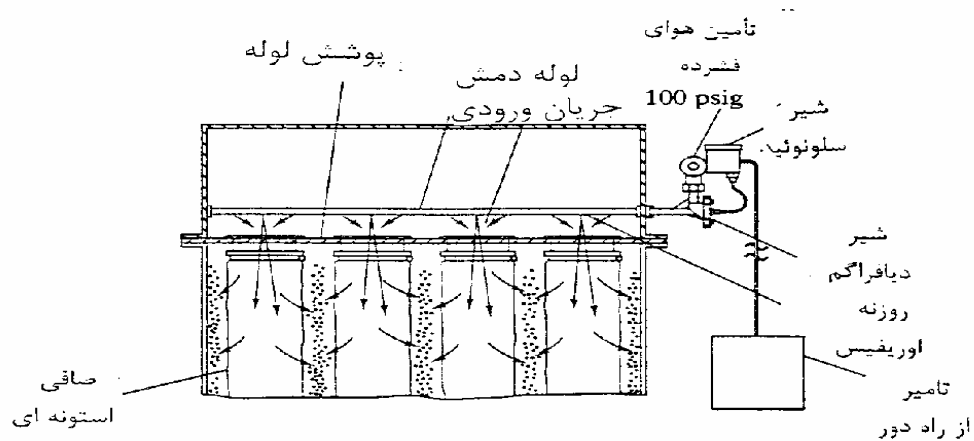
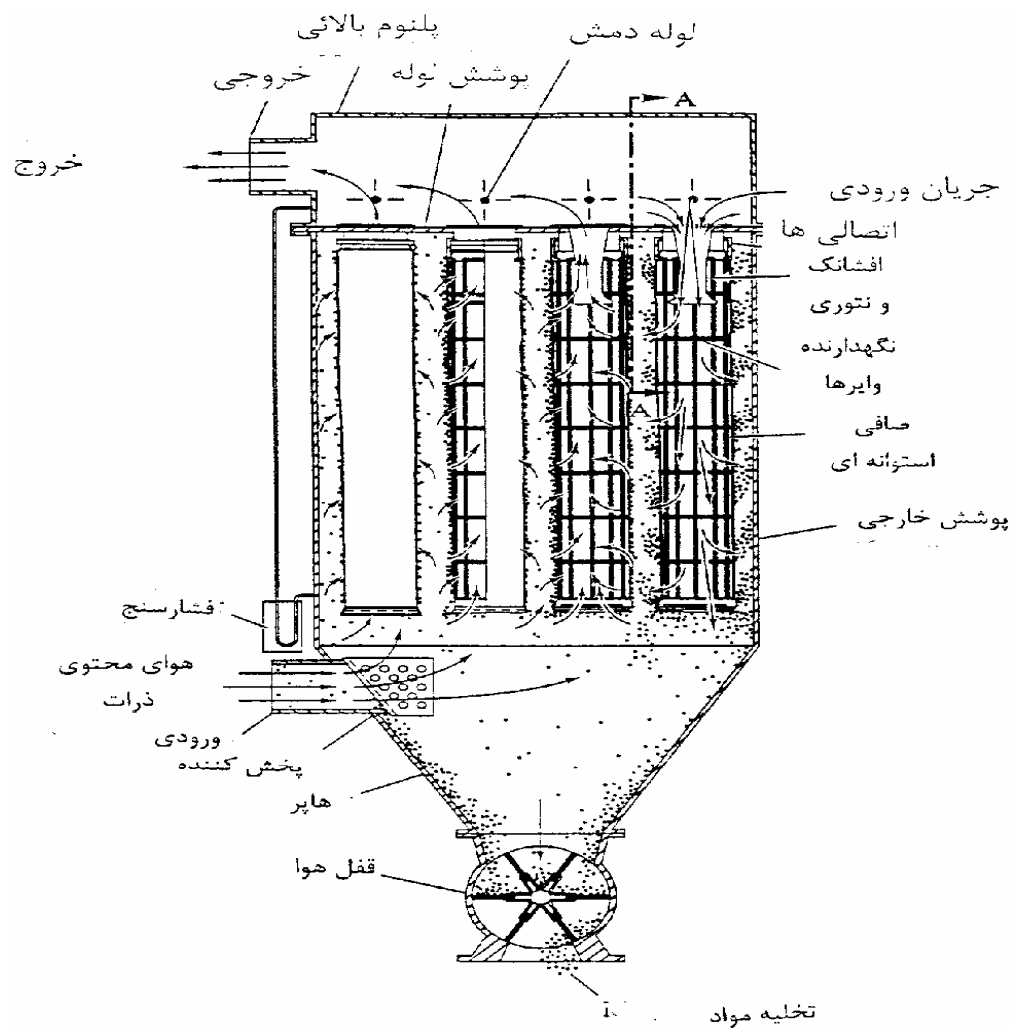
سازوکار جمع‌آوری ذرات به اندازه و سرعت حرکت ذرات بستگی دارد. رسوب‌دهی وزنی در اتاقک رسوب‌دهی سازوکاری بدیهی است که به آن اشاره خواهد شد. سیکلون‌ها نیز رسوب دهنده وزنی هستند که با اعمال نیروی گریز از مرکز عمل رسوب را تسریع و بازدهی را نسبت به اتاقک رسوب‌دهی افزایش می‌دهند. در مورد شست‌وشو دهنده‌های تر پیش از این توضیح داده شده است.

صافی‌ها انواعی دارند. برخی ممکن است از الیاف طبیعی یا مصنوعی ساخته شده باشند، دارای بافت پارچه و تار و پود باشند یا به صورت الیاف متراکم و فشرده (نمدی) درست شده باشند. صافی‌ها در صنعت به صورت کیسه‌هایی ساخته می‌شوند که تا 25 سانتیمتر و گاهی بیشتر قطر و تا 5 متر و گاهی بیشتر طول دارند. تعداد زیادی از این کیسه‌ها در داخل یک

جعبه قرار می‌گیرند که به آن جعبه صافی<sup>۴۴۶</sup> گفته می‌شود. معمولاً کیسه‌ها طوری تنظیم می‌شوند که دفع مداوم ذرات جمع شده در رو یا داخل آنها امکان پذیر باشد. سازوکارهای گوناگون جمع‌آوری ذرات به وسیله صافی در شکل 16-19 آمده است. مهم‌ترین محدودیت صافی‌ها، افت فشار، گرفتگی منافذها و گاهی پارگی و فرار ذرات است. از مزایای صافی‌ها این است که برای ذراتی با هر اندازه، امکان انتخاب با بازدهی مناسب وجود دارد و به‌طور کلی بسته به نوع جنس و بافت صافی برای دماهای مختلف گاز و همچنین ذرات بسیار کوچک هم با بازدهی زیاد صافی وجود دارد. شکل 16-20 یک جعبه صافی را نشان می‌دهد. جدول 7-16 انواع صافی‌های پارچه‌ای و خواص آنها را نشان داده است.



شکل 16-19- حرکت جریان گاز حامل ذرات از یک المان صافی - (a) سازوکارهای برخورد قطع مسیر و دیفیوژن ذره در مواجهه با یک لیف صافی و (b) حرکت برانی ذرات ریز نشان داده شده است.



شکل 20-16- یک جعبه صافی دارای سیستم پالس جت برای تمیز کردن مداوم

جدول 7-16- انواع صافی‌های الیافی

| جنس         | حداکثر دما (°C) | مقاومت در برابر اسید | مقاومت در برابر فلوراید | مقاومت در برابر قلیایی ها | انعطاف پذیری و مقاومت در برابر ساییدگی |
|-------------|-----------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| پنبه        | 82              | ضعیف                 | ضعیف                    | خوب                       | خیلی خوب                               |
| پلی پراپیلن | 93              | عالی                 | ضعیف                    | عالی                      | خیلی خوب                               |
| پلی استر    | 135             | خوب                  | متوسط                   | خوب                       | خیلی خوب                               |
| نومکس       | 227             | ضعیف تا مناسب        | خوب                     | عالی                      | عالی                                   |
| تفلون       | 232             | عالی                 | ضعیف تا مناسب           | عالی                      | مناسب                                  |
| فایبرگلاس   | 260             | مناسب تا خوب         | ضعیف                    | مناسب تا خوب              | مناسب                                  |

### رسوب دهنده‌های الکترواستاتیک

در مواردی که جداسازی ذرات از حجم زیادی از گاز حامل موردنظر است، شاید مناسب‌ترین وسیله رسوب‌دهنده الکترواستاتیک باشد. مزیت این وسیله افت کم فشار در حدود 2/5 سانتیمتر آب، بازدهی زیاد حتی برای ذرات خیلی ریز، کاربرد آنها در میست‌ها و آئروسول‌های مایع و همچنین سهولت روبیدن و جمع‌آوری ذرات جدا شده و سرانجام امکان استفاده مجدد در صورتی که ذرات جمع‌آوری شده ارزش اقتصادی داشته باشند، است.

در فرایند رسوب دهنده‌های الکترواستاتیک چهار مرحله وجود دارد:

1- باردار کردن ذرات در میدان الکتریکی با ولتاژ زیاد (حدود 60 کیلوولت)؛

2- حرکت ذره به سوی الکتروود جمع‌آورنده؛

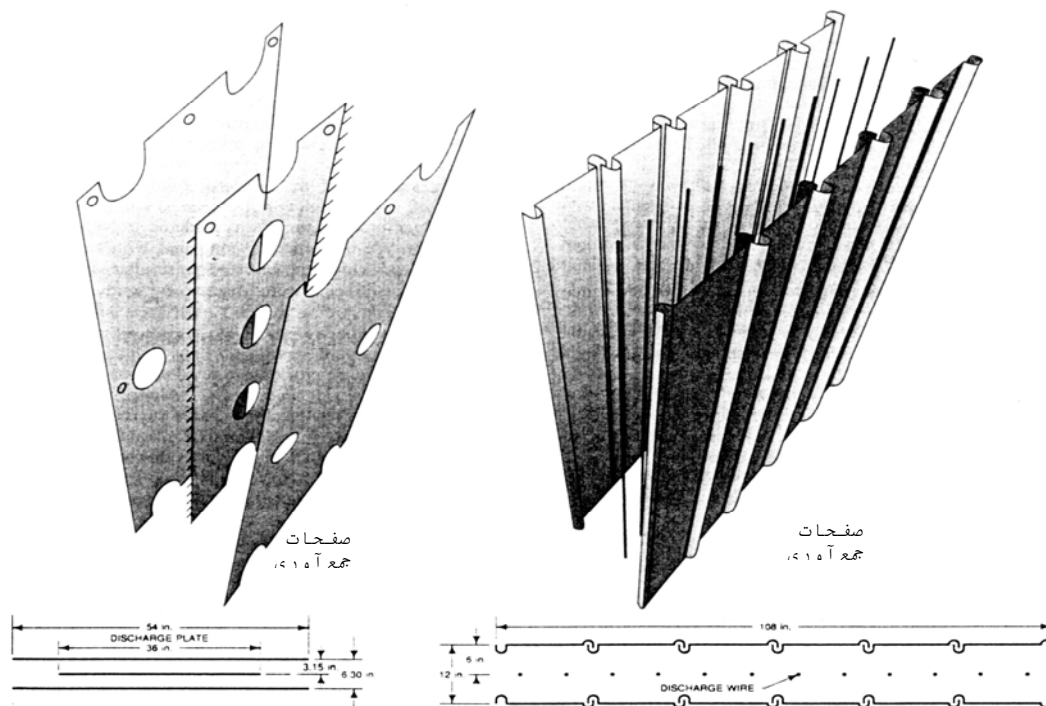
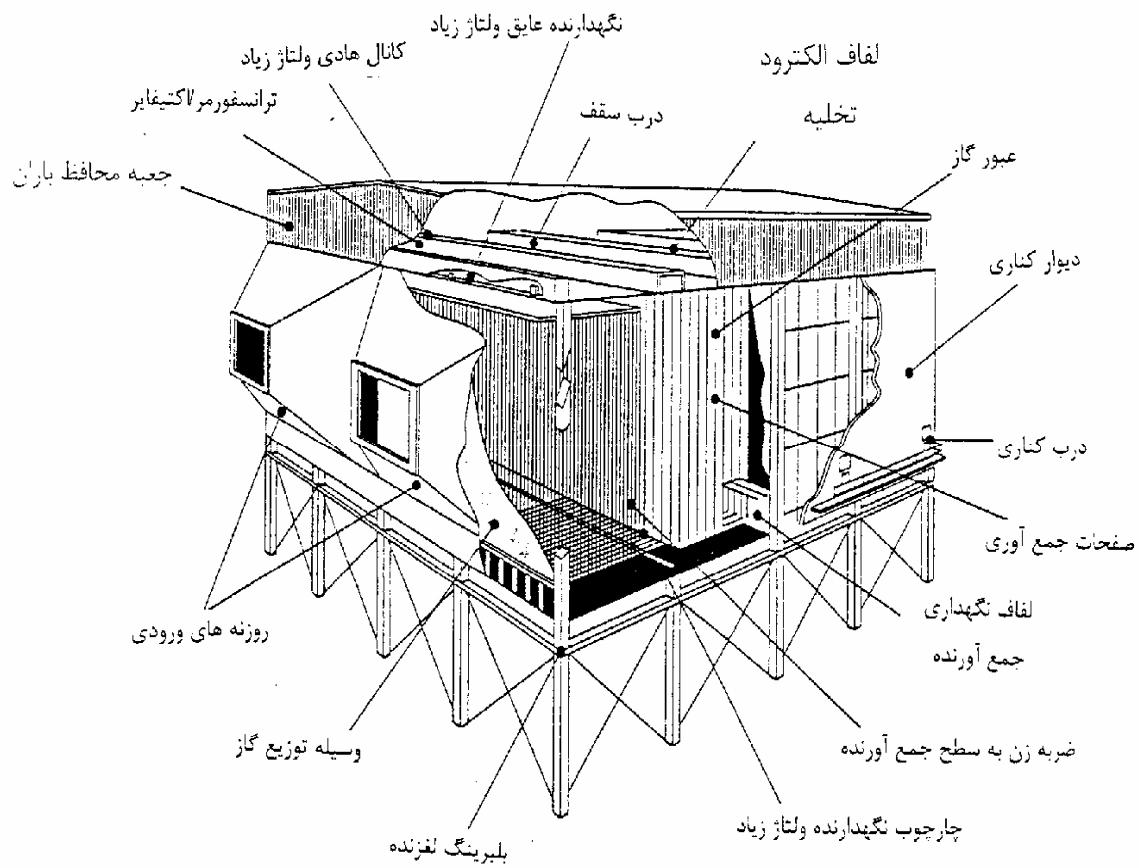
3- خنثی شدن بار ذره در الکتروود جمع‌آورنده؛

4- روبیدن ذرات از الکتروود جمع‌آورنده معمولاً با استفاده از روش‌های مکانیکی

در شکل 16-21 یک الکتروفیلتر مشاهده می‌شود.

از محدودیت‌های این وسیله نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد اولیه، هزینه راهبری و نیاز به کاربران متخصص است.

همان‌طور که در ابتدای این فصل گفته شد در اینجا دو نوع وسیله جمع‌آوری ذرات که طراحی و ساخت آنها ساده و در شرایط مختلف امکان پذیر می‌باشد و در عین حال کاربرد زیادی هم دارند، شرح داده می‌شود.

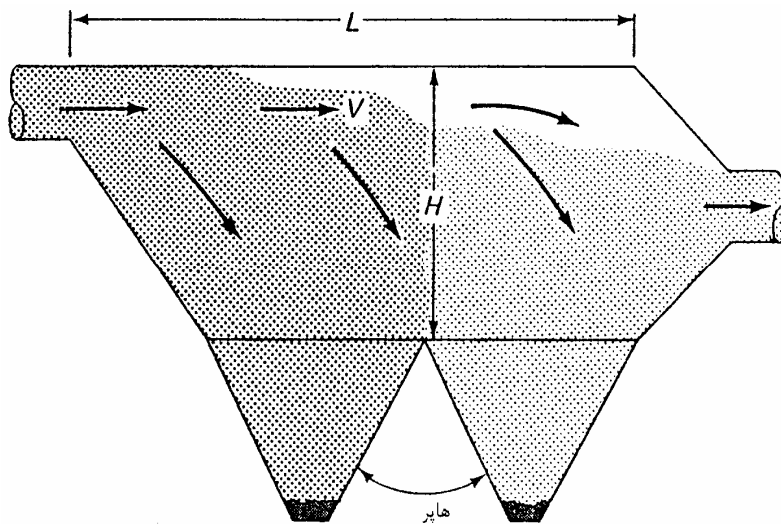


شکل 21-16- شمای کلی رسوب دهنده الکترواستاتیک، صفحه های جمع آورنده و الکترودهای تخلیه



## 1- اتاقک رسوب دهی

یکی از راه‌های جدا کردن ذرات از جریان گاز حامل، استفاده از نیروی ثقل ذرات است. برای این که بتوان از این نیرو استفاده کرد باید با استفاده از افزایش سطح مقطع جریان، سرعت گاز و در نتیجه سرعت حرکت ذرات را کاهش داد. رسوب‌دهی ذراتی را که سرعت نشست آنها بیش از 15 سانتیمتر در ثانیه باشد می‌توان با اتاقک رسوب‌دهی انجام داد. چنین ذراتی اگر سبک باشند باید قطری بیش از 50 میکرون داشته باشند و در صورتی که سنگین باشند (مثل ذرات فلزی) تا قطر 10 میکرون هم سرعت رسوب مناسب برای این روش را به‌دست خواهند آورد. چنانچه بخواهند ذرات کوچک‌تر از این اندازه را رسوب دهند باید طول اتاقک را افزایش دهند که این خود موجب حجیم شدن دستگاه و چه بسا غیرعملی بودن آن خواهد شد. شکل 16-22 یک اتاقک رسوب‌دهی را نشان می‌دهد. برای این که ذرات بهتر رسوب کنند و کمتر وارد جریان مجدد شوند، نخست، حرکت گاز باید یکنواخت باشد و دوم، سرعت افقی آن باید کمتر از 300 سانتیمتر در ثانیه و به‌طور ترجیحی کمتر از 30 سانتیمتر در ثانیه تنظیم شود.



شکل 16-22- شمای یک اتاقک رسوب‌دهی

به‌طور نظری می‌توان با روش زیر کوچک‌ترین ذره‌ای را که با بازدهی 100 درصد از جریان گاز جدا می‌شود و رسوب می‌کند حساب کرد. با مراجعه به شکل 16-22 مدت زمانی را که ذره‌ای به قطر  $d_p$  نیاز دارد تا فاصله  $H$  را طی کند و در نتیجه از جریان گاز برای رسوب شدن جدا گردد باید برابر یا کمتر از زمانی باشد که فاصله افقی  $L$  را طی می‌کند. پس برای جریان یکنواخت یعنی زمانی که عدد رینولدز کمتر از 2300 باشد می‌توان رابطه 16-1 را نوشت:

$$t = \frac{H}{V_s} = \frac{L}{V} \quad 16-1$$

فرض بر این است که تمام ذرات با سرعت  $V$  یعنی سرعت گاز حامل در داخل اتاقک حرکت می‌کنند و سرعت رسوبی دارند که از معادله 16-2،  $V_s$  محاسبه می‌شود:

$$V_s = \frac{VH}{L} = \frac{Q}{LW} \quad 16-2$$

که در آن Q مقدار جریان و W عرض اتاقک است. با دانستن V، H و L یا Q، L و W مقدار  $V_s$  به دست می آید و سپس با مراجعه به قانون استوکس (رابطه 3-16) قطر ذره ای را که چنین سرعتی را داراست می توان پیدا کرد. این قطر ذره ای است که به طور نظری با بازدهی 100 درصد در اتاقک مورد بحث رسوب می کند.

$$V_s = \frac{gd_p^2(\rho_p - \rho_g)}{18\mu} \quad 16-3$$

با جایگزینی  $V_s$  از رابطه 2-16 و محاسبه  $dp$  چنین خواهد شد:

$$d_{\min} = \left( \frac{18\mu H v}{gL \rho_p} \right)^{1/2} \quad 16-4$$

یادآوری می شود که در اینجا از  $\rho_g$  در برابر دانسیته ذره صرف نظر شده است. از معادله 4-16 نتیجه می شود که قطر کوچک ترین ذره رسوب شده را می توان با کوچک تر کردن نسبت  $H/L$  باز هم کوچک تر کرد، یعنی ارتفاع را کاهش و طول را افزایش داد، ولی به جای یک اتاقک دراز و کم عمق می توان از یک اتاقک نسبتاً عمیق تر و کوتاه تر استفاده کرده مشروط بر این که در عرض اتاقک تعدادی صفحه افقی به صورت سینی قرار داده شود و این در واقع مانند چندین اتاقک رسوب دهی موازی خواهد بود. در چنین طرحی هر چند بازدهی بیشتر خواهد بود ولی هم هزینه ساخت آن بیشتر و هم تمیز کردن آن مشکل تر است. برای ذرات کوچک تر از قطر  $d_{\min}$  که از معادله 4-16 به دست می آید بازدهی را از رابطه 5-16 می توان محاسبه کرد.

$$\eta_d = \frac{V_s L}{HV} (100) = \frac{V_s LW}{Q} (100) \quad 16-5$$

که در آن  $\eta_d$  بازدهی برای ذره با قطر  $d$  است.

چنانچه از صفحات افقی استفاده شده باشد رابطه 2-16 به صورت 6-16 در می آید.

$$V_s = \frac{VH}{nL} = \frac{Q}{nLW} \quad 16-6$$

در این رابطه  $n$  تعداد اتاقک های موازی یا تعداد سینی ها به اضافه کف اتاقک می باشد و برآورد برای ذرات با قطرهای مختلف عبارت است از:

$$\eta_d = \frac{nV_s L}{HV} (100) = \frac{nV_s LW}{Q} (100) \quad 16-7$$

اغتشاش در داخل اتاقک رسوب دهی موجب تغییر در سرعت رسوب ذرات و انحراف از جریان یکنواخت کانال می شود. همچنین باید در نظر داشت که ذرات رسوب شده هم ممکن است دوباره وارد جریان شده و از اتاقک خارج شوند. اگر سرعت رسوب ذرات نصف محاسبه شده در نظر گرفته شود بین محاسبه نظری و عملی هماهنگی بیشتری دیده خواهد شد. بنابراین یا باید مقدارهای طرف راست معادله 2-16 را در عدد 2 ضرب کرد و یا به جای عدد 18 معادله 4-16 را عدد 36 قرار داد. سرانجام اگر برآورد محافظه کارانه تری برای بازدهی اجزای ذرات لازم باشد مخرج کسر رابطه 5-16 را باید با ضریب 2 تصحیح کرد. بازدهی کلی اتاقک رسوب دهی با کاهش جریان زیاد و با افزایش جریان گاز کم می شود.

## مثال 1

قطر کوچک‌ترین ذره‌ای را که با بازدهی 100 درصد می‌توان توسط یک اتاقک رسوب‌دهی به‌طول 7 متر و ارتفاع 1/2 متر جداسازی نمود، تعیین کنید. سرعت گاز 30 سانتیمتر در ثانیه و دمای گاز 27 درجهٔ سلسیوس و دانسیته ذره 2/5 کیلوگرم بر مترمکعب است.

## حل

ویسکوزیتهٔ هوا در دمای 27 درجهٔ سلسیوس معادل 0/068 کیلوگرم بر متر - ساعت است با کاربرد ضریب 36 (به‌جای 18) در معادلهٔ 16-4 داریم:

$$d_{\min} = \left( \frac{36 (0.067)(1.2)(30)}{9.8(7)(2.5)36000} \right)^{\frac{1}{2}} = 3.75 \times 10^{-3} \text{ cm} = 37.5 \text{ میکرون}$$

کمترین قطری که در اینجا محاسبه شد نسبتاً کوچک است، زیرا دانسیتهٔ ذرات بزرگ انتخاب شده است. چنانچه دانسیته 1 گرم بر سانتیمتر مکعب باشد، کم‌ترین قطر 60 میکرون خواهد بود.

## جریان آرام و جمع‌آورندهٔ سینی‌دار

شکل 16-22 را که شمای یک اتاقک رسوب‌دهی با صفحات یا سینی‌های افقی را نشان می‌دهد، در نظر بگیرید. فرض می‌شود که این اتاقک دارای n سینی است که شامل کف اتاقک هم می‌شود هرچند جریان آرام کمتر دیده می‌شود، ولی وجود دارد. همان‌طور که پیشتر اشاره شد جریان آرام موقعی است که عدد رینولدز کمتر از 2300 باشد و در مورد اتاقک رسوب‌دهی از رابطه 16-8 قابل محاسبه است.

$$R_e = \frac{2Q}{\gamma (nW+H)} \quad 16-8$$

Q = مقدار جریان

$\gamma$  = ویسکوزیتهٔ کینماتیک که برای هوای 25 درجهٔ سانتیگراد و فشار 101326 نیوتون بر مترمربع معادل  $1/55 \times 10^{-5}$  متر مربع بر ثانیه است.

n = تعداد سینی

W = عرض سینی

H = کل ارتفاع

اگر در نظر گرفته شود که لایه‌ای از غبار به‌ضخامت Hd روی سینی‌ها نشست می‌کند، رابطهٔ 16-9 را استفاده می‌کنیم.

$$dH = \frac{H}{n} = H_d \quad 16-9$$

و رابطهٔ 16-8 به‌صورت 16-10 در می‌آید.

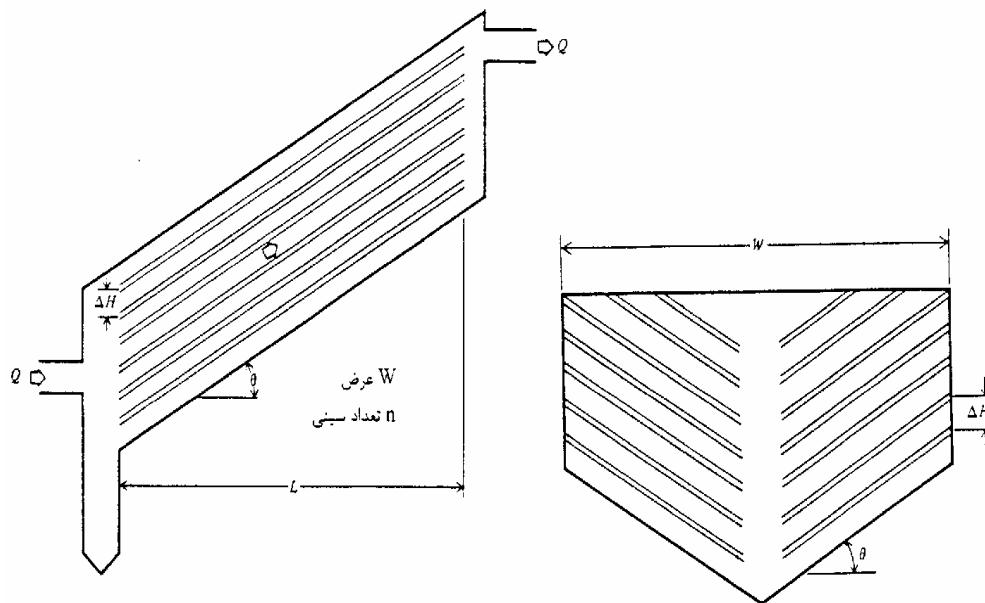
$$Re = \frac{2Q}{\gamma (nW+H-nH_{Hd})} \quad 16-10$$

و به‌طور تقریبی

$$Re \cong \frac{2Q}{\gamma nW} \quad 16-11$$

$n$  = تعداد سینی

$W$  = عرض اتاقک



شکل 23-16- جریان آرام در یک اتاقک رسوبدهی سینی دار

حال با این اطلاعات چنانچه بخواهیم بازدهی یک اتاقک رسوبدهی را حساب کنیم، فرض می‌کنیم یک ذره وارد فاصله بین دو سینی می‌شود و فاصله آن از سینی زیرین و سرعت افقی آن همان سرعت گاز حامل یا  $V$  باشد و سرعت حرکت عمودی آن هم همان‌طور که گفته شد معادل سرعت استوکس که پیشتر گفته شده باشد که در هوای استاندارد و جریان آرام:

$$V_s = 29609 \rho_p d^2 \quad (16-12) \quad \text{(خلاصه شده رابطه استوکس)}$$

است. در ضمن با توجه به این که ذرات کوچک در این وسیله مورد توجه نیستند، بنابراین احتیاج به تصحیح کانینگهام نیست. برای سادگی کار فرض می‌شود که سرعت حد در فاصله تمام سینی‌ها یکی است. خطا که ممکن است از این فرض وارد شود ناچیز است. زمان لازم برای این که ذره فاصله  $y$  را طی کند و به قسمت زیرین برسد برابر است با:

$$t = \frac{y}{V_s} \quad (16-13)$$

و اگر ذره درست در انتهای سینی و نزدیک خروجی نشست نماید زمان لازم برای طی مسافت طولی برابر است با:

$$t = \frac{L}{V} \quad (16-14)$$

حال با برابر کردن این دو رابطه،  $y$  به دست می‌آید:

$$y = \frac{LV_s}{V} \quad (16-15)$$

اینک با این فرض که ذرات به‌طور یکنواخت پخش شده‌اند و فاصله بین دو سینی  $dH$

است:

$$\eta = \frac{y}{dH} = \frac{LV_s}{VdH} = \frac{nWLV_s}{Q} \quad 16-16$$

و اگر لازم باشد بازدهی برابر واحد شود، طول وسیله از رابطه (16-17) قابل محاسبه است:

$$L = \frac{Q}{n W V_s} \quad 16-17$$

در عمل کمتر اتفاق می افتد که بازدهی محاسبه شده با واقعیت برابر باشد. به علاوه به علت بی نظمی در حرکت گازهای خروجی، وجود جریان آرام نیز مورد تردید است.

## مثال 2

برای جمع آوری ذراتی به قطر 50 میکرومتر دانستیه 2000 کیلوگرم بر مترمکعب از جریان گازی با گذر حجمی 10 مترمکعب در ثانیه، طول اتاقکی را حساب کنید که 1/5 متر عرض، 1/5 متر ارتفاع و با محاسبه کف دارای 9 سینی باشد و تعیین کنید:

الف - آیا محاسبه شما با جریان آرام مطابقت دارد؟

ب - عدد رینولدز را حساب کنید و ببینید اگر جریان آرام نیست چند سینی باید اضافه شود تا جریان داخل اتاقک با معیار حرکت آرام تطبیق نماید؟

ج - بازدهی جمع آوری برای ذرات 25 میکرونی چقدر است؟

حل

$$V_s = 29609 \rho_p d^2 = 29609 \times 2000 (0.5 \times 10^{-4})^2 = 0.148 \text{ متر بر ثانیه}$$

رابطه 16-18 طول را می دهد

$$L = \frac{10}{9 \times 1.5 \times 0.148} = 5 \text{ متر}$$

$$Re = \frac{2 \times 10}{1.55 \times 10^{-5} [9 (1.5) + 1.5]} = 86022$$

این عدد خیلی از جریان آرام دور است، برای محاسبه تعداد سینی باید عدد رینولدز را تا 2300 کاهش داد. از رابطه 16-12:

$$n = \frac{2 \times 10}{1.55 \times 10^{-5} (1.5) (2300)} = 374$$

و اگر سایر ابعاد ثابت باشند:

$$L = \frac{10}{374 (1.5) (0.148)} = 0.12 \text{ متر}$$

لذا همانطور که ملاحظه می شود برای داشتن جریان آرام طرح بسیار نامتناسبی بدست می آید و حرکت هوا نیز خیلی کند باید باشد.

ج - برای ذرات 25 میکرونی سرعت:

$$V_s = 0.037 \text{ متر در ثانیه}$$

$$\eta = \frac{374 (1.5) (0.12) (0.037)}{10} = 0.249$$

یا 24/9 درصد.

### جریان متلاطم در اتاقک رسوب دهی

همان‌طور که در مثال 2 دیده شد، چنانچه اتاقک رسوب‌دهی بر پایه جریان آرام طراحی شود باید اندازه آن خیلی بزرگ باشد و یا تعداد غیرعادی سینی در آن تعبیه شود. با وجودی که در جریان آرام این مزیت وجود دارد که بازدهی برای ذرات مورد طرح خیلی خوب است، ولی در برابر برای ذرات کوچک‌تر بازدهی به سرعت کاهش می‌یابد.

طراحی اتاقک‌های رسوب‌دهی متلاطم عملی‌تر است، ولی هر قدر هم بزرگ باشند به‌طور نظری بازدهی 100 درصد به دست نمی‌آید. ولی خواهیم دید که طراحی برای جمع‌آوری 99 درصد از ذرات معین و بزرگ‌تر در حد کاملاً منطقی مقدور است. شکل 16-24 (الف) مقطع طولی و شکل 16-24 (ب) مقطع عرضی بین دو سینی یک اتاق و یا اتاقک بدون سینی را نشان می‌دهد.

روابط مربوط به این طرح بر پایه دو فرضیه است: نخست این که در سطح مجاور کف سینی و ته اتاقک یک لایه آرام وجود دارد که تلاطم به آنجا نفوذ نمی‌کند. دوم این که در لایه تلاطم به دلیل به هم خوردگی دائمی، ذرات به اندازه‌های مختلف به‌طور یکنواخت پراکنده‌اند.

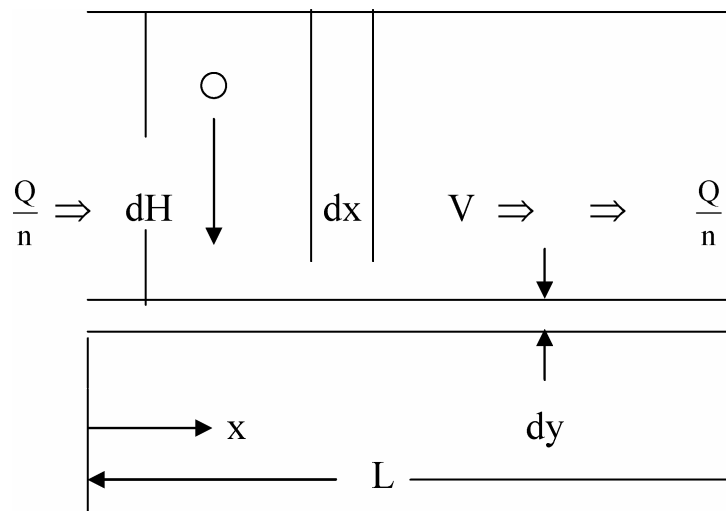
ابعاد عرض  $W$  و ارتفاع  $dH$  و طول  $dx$  را مورد نظر قرار دهید. اگر  $dy$  ضخامت لایه آرام باشد، ذراتی که وارد این لایه می‌شوند و مسافتی را معادل  $dx$  طی کنند رسوب خواهند کرد. چون سرعت رسوب ذرات در این لایه  $V_s$  است پس فاصله‌ای که باید طی شود تا ذره به کف اتاقک برسد برابر است با:

$$dx = V_s dt \quad 16-19$$

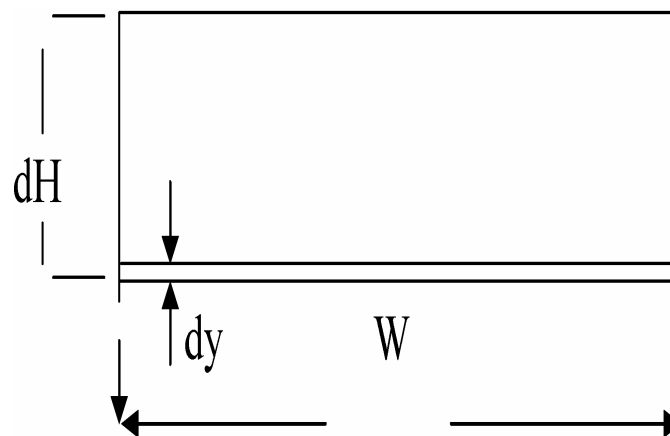
$$dt = \frac{dy}{V_s} \quad 16-20$$

و با استفاده از رابطه‌های 16-19 و 16-20:

$$dy = \frac{V_s dx}{V} \quad 16-21$$



(الف) برش طولی



(ب) برش طولی

شکل 16-24- عبور جریان متلاطم از فاصله بین دو سینی

حال باتوجه بهفرض توزیع یکنواخت کلیه ذرات که بهدلیل تلاطم حاصل شده است، آن جزء از ذرات که در ابتدای ورود بهالمان  $dx$  در داخل لایه آرام  $dy$  قرار می گیرند، معادل نسبت سطح داخل لایه آرام به کل سطح است. ازآنجاکه تمام ذرات ورودی بهاین لایه از گاز جدا و جمع آوری می شوند، پس ذرات با قطر مشخص از کل ذرات داخل  $dy$  که در طول  $dx$  جمع آوری می شوند، بنابر رابطه 16-22 است:

$$-\frac{dN}{N} = \frac{Wdy}{WdH} = \frac{dy}{dH} = \frac{V_s dx}{VdH} \quad 16-22$$

با انتگرال طول عبور ذرات از ورودی تا محل معینی (مثلاً فاصله  $x$ ) خواهیم داشت:

$$\ln N = -\frac{V_s}{VdH} x + \ln C \quad 16-23$$

برای تعیین مقدار ثابت  $C$  دیده می شود که وقتی  $x=0$  باشد  $N=N_0$  است و در نتیجه

C=No خواهد شد. پس رابطه 16-23 به صورت:

$$N = N_0 e^{-V_s/vdH} \quad 16-24$$

در می آید.

بازدهی جمع آوری برای تمام طول L اتاقک را می توان با رابطه 16-25 برآورد کرد:

$$\eta = 1 - \frac{N_L}{N_0} \quad 16-25$$

در رابطه 16-24،  $x=L$  و جایگزینی در رابطه 16-25

$$\eta = 1 - e^{-V_s L / vdH} \quad 16-26$$

و باتوجه به رابطه استمرار

$$V = \frac{Q}{\eta dHW} \quad 16-27$$

رابطه 16-27 را به صورت زیر می توان نوشت:

$$\eta = 1 - e^{-nLWV_s/Q} \quad 16-28$$

### مثال 3

با استفاده از معلومات مثال 2، طول اتاقک رسوب دهی را که بتواند با بازدهی 99 درصد ذرات 50 میکرونی را از جریان گاز خارج نماید، حساب کنید. اگر لازم باشد بازدهی به 99/9 درصد برسد طول اتاقک چقدر می شود و اگر طولی را که در قسمت اول این مسأله بدست آوردید برای ذرات 25 میکرونی به کار ببرید چه بازدهی ای خواهد داشت:

### حل

باتوجه به رابطه 16-28:

$$L = \frac{-Q}{nWV_s} \ln(1-\eta) = \frac{-10}{9(1.5)(0.148)} \ln(1-0.99) = 23 \text{ متر}$$

برای بازدهی 99/9 درصد:

$$L = \frac{-10}{9(1.5)(0.148)} \ln(1-0.999) = 34.6 \text{ متر}$$

برای ذرات 25 میکرونی با اتاقکی به طول 23 متر و سرعت رسوب 0/037 متر در ثانیه:

$$\eta = 1 - \exp - \frac{9(23)(1.5)(0.037)}{10} = 0.683$$

### نتیجه

به طوری که از این بخش معلوم می شود اتاقک رسوب دهی ساده ترین، کم خرج ترین و در عین حال خام ترین وسیله برای کنترل ذرات است. همان طور که در مثال ها دیده شد می توان این وسیله ساده و ارزان را برای ذرات بزرگ که از نظر وزنی شاید بیشترین جزء ذرات را تشکیل می دهند، به کار برد. مهم ترین کاربرد این وسیله به صورت پیش صافی برای دستگاه های کارامدتر و گران تر است که با جمع آوری قسمتی از ذرات، هم حجم وسیله دوم را کاهش می دهد و هم راهبری آن را آسان تر می کند، و در مجموع موجب صرفه جوئی در هزینه کنترل



می‌شود. در مواردی که بازیابی مواد ارزش اقتصادی داشته باشد این گونه وسایل اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

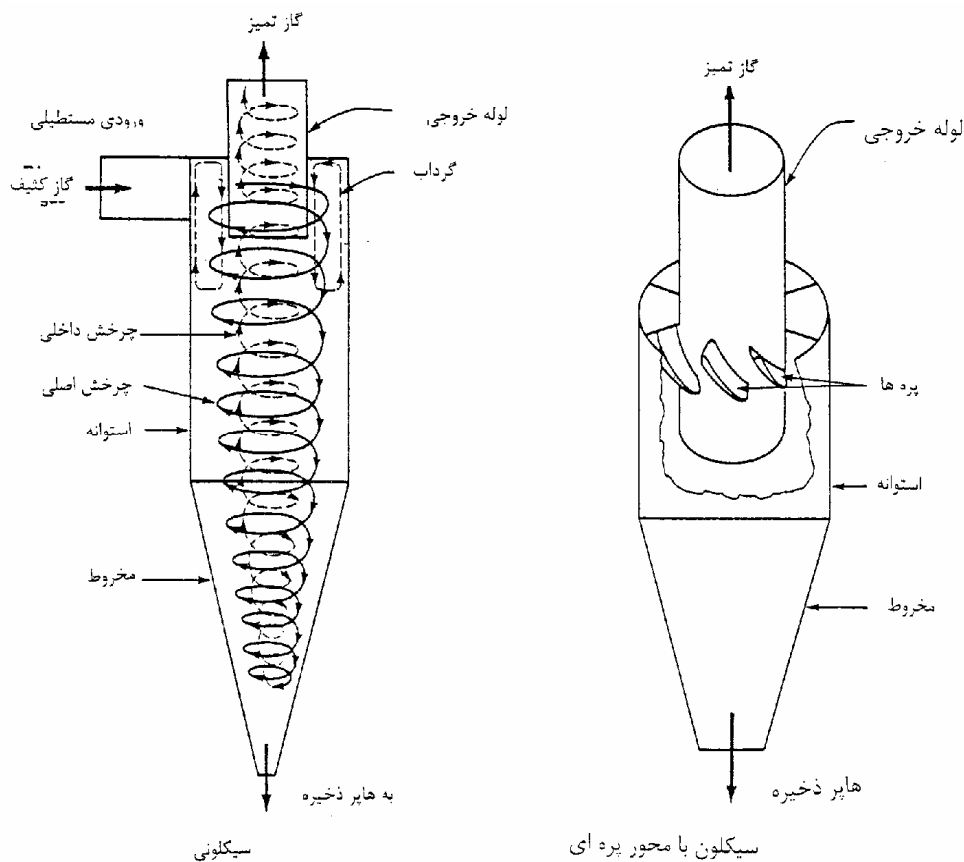
به‌هر حال اتاقک رسوب‌دهی به‌عنوان یک وسیله مستقل کنترل آلودگی هوا کمتر کاربرد دارد و همان‌طور که ملاحظه شد در اندازه‌های اقتصادی برای ذرات 100 میکرونی و بزرگ‌تر بازدهی خیلی خوبی را ارائه می‌دهند و طرح‌های مخصوص ذرات تا 50 میکرونی را نیز با بازیابی مناسبی از گاز حامل جدا می‌کند.

### جمع‌آوری ذرات آلوده کننده با نیروی گریز از مرکز (سیکلون‌ها)

رسوب‌دهنده‌های سیکلونی از جمله تجهیزات پاکسازی هوا هستند که با نیروی گریز از مرکزی که در اثر گردش گاز ورودی تولید می‌شود ذرات جامد یا مایع را از گاز حامل جدا می‌کنند. این رسوب‌دهنده‌ها ممکن است به‌صورت یک واحد بزرگ و یا چند واحد کوچک‌تر که به‌طور موازی یا سری کنار هم قرار می‌گیرند به‌کار گرفته شوند. واحدهای موازی حجم بیشتری از گاز را پالایش می‌کنند، در حالی که واحدهای سری، بازدهی بهتری برای جداسازی ذرات دارند. سیکلون‌ها بیشتر دارای دو کلاس عمده با ورودی مارپیچی و ورودی پره‌ای هستند. تنها اختلاف این دو کلاس همان‌طور که از طبقه‌بندی پیداست در طرز ورود گاز برای ایجاد چرخش است. در سیکلون ساده که در شکل 16-25 دیده می‌شود ورودی مارپیچی آن جانبی با مقطع راست‌گوش است که به‌تدریج با یک پیچ 180 درجه به‌بدنه استوانه‌ای سیکلون متصل می‌شود. در نوع دوم پره‌هایی که به‌طور محوری در اطراف لوله خروجی تعبیه شده‌اند به‌دوران گاز ورودی کمک می‌نمایند. در هر دو نوع، عملکرد به‌این‌رسی ذرات بستگی دارد که در موقع تغییر جهت گاز راستای خود را حفظ می‌کنند و به‌سوی دیواره سیکلون روان می‌شوند. به‌همین علت این دستگاه‌ها را رسوب‌دهنده‌های اینرسی هم می‌گویند. نخستین سیکلون در سال 1886 طراحی شد. از آن زمان تاکنون یکی از موفق‌ترین وسیله جمع‌آوری ذرات بوده و هنوز هم به‌عنوان پیش‌صافی یا جمع‌آورنده اصلی کاربرد وسیعی دارد.

### ساختمان سیکلون

سیکلون دارای شش قسمت اصلی به‌شرح زیر است: قسمت اول بدنه است که استوانه‌ای شکل بوده و قطر آن از 10 میلیمتر (انواع آزمایشگاهی برای نمونه‌برداری) تا 1200 میلیمتر و گاهی بیشتر متغیر است. مناسب‌ترین قطر برای این قسمت از سیکلون بین 800 تا 1000 میلیمتر توصیه شده است. قسمت دوم مخروط ناقصی است که در دنباله استوانه قرار می‌گیرد. شیب مخروط طوری است که ذرات از دیواره آن به‌سوی پایین بلغزند. شیب مناسب 7 تا 8 درجه نسبت به‌بدنه اصلی است. سوم قسمت ورودی گاز است که معمولاً مقطع مستطیلی است و به‌بدنه اصلی، در قسمت بالای آن متصل می‌شود. چهارمین قسمت خروجی گاز پالایش شده است که در محور و بالای استوانه اصلی واقع شده است. در بعضی از انواع سیکلون‌ها، خروجی ممکن است جانبی باشد.



شکل 25-16- سیکلون

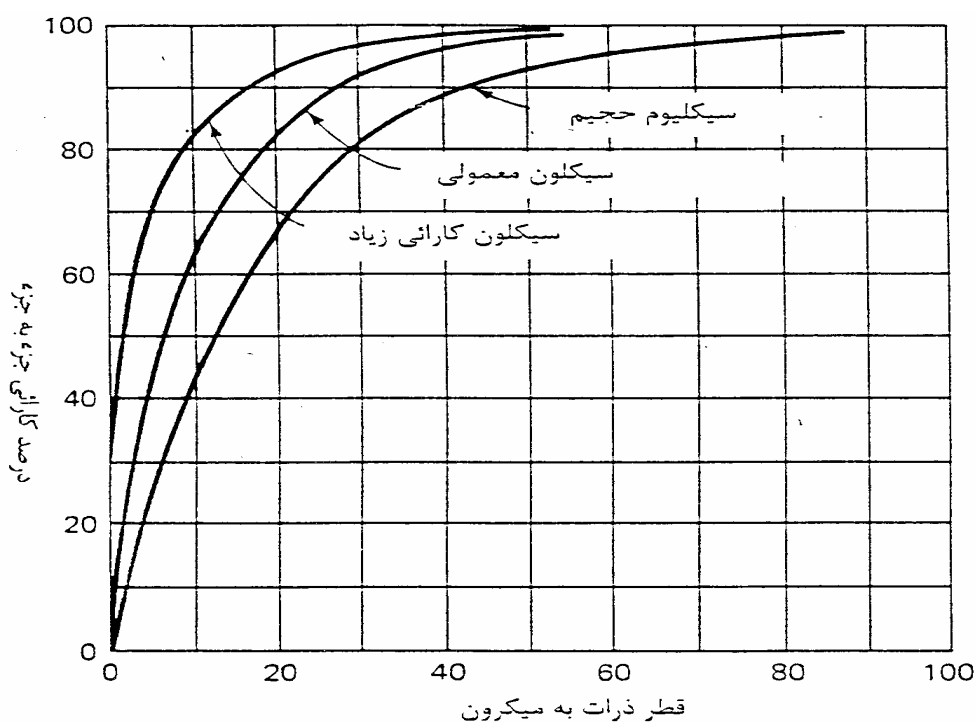
قسمت بعدی دهانه خروجی ذرات است که در انتهای مخروط قرار گرفته و طوری ذرات را به خارج هدایت می کند که هوا به داخل سیکلون نفوذ نمی کند و سرانجام سیستم انتقال ذرات به انبار یا محل دفع است که به خروجی ذرات متصل است و به طوری که شرح آن بعد از این خواهد آمد مانع نفوذ هوا است.

### طرز کار سیکلون

همان طور که اشاره شد گاز حامل ذرات از راه ورودی وارد قسمت استوانه ای شده و با حرکت دورانی مارپیچی بسوی پایین جریان می یابد. نیروی گریز از مرکز که به علت گردش گاز بر ذرات وارد می شود آنها را به سوی بدنه سیکلون می راند و موجب جدا شدن آنها از گاز و نشست بر دیواره سیکلون می شود. وقتی گاز با حرکت مارپیچی خود به انتهای مخروط رسید ناچار جهت خود را تغییر می دهد و از پایین به بالا با پیچشی به شعاع کوچکتر از میانه مارپیچ اولیه به حرکت درمی آید و از خروجی گاز که در محور استوانه قرار دارد خارج می شود. سیکلون ها معمولاً برای ذرات 10 میکرون به بالا به کار برده می شوند، ولی برای ذرات 25 میکرون و بیشتر حدود 90 درصد بازدهی دارند. قطر کوچکتر و سرعت بیشتر گاز بازدهی را برای ذرات کوچکتر افزایش می دهد، ولی چنانچه سرعت گاز خیلی زیاد شود، به علت ایجاد تلاطم سبب حرکت ذرات در جهت مخالف و یا موجب ورود مجدد ذرات نشست کرده به داخل

گاز خروجی می‌شود که پیامد آن کاهش بازدهی است. غلظت گرد و غبار در گاز محدودیتی ندارد. بعضی عقیده دارند بار بیشتر ذرات به سود بازدهی است. با سیکلون‌ها تا میزان 27000 گرم غبار در مترمکعب پالایش شده است.

بازدهی سیکلون برای ذرات کوچک‌تر به سرعت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر همان‌طور که در شکل 16-26 دیده می‌شود کارکرد سیکلون برای قطر مشخصی از ذرات به سرعت قطع می‌شود.



شکل 16-26- بازدهی جزیی به صورت تابعی از اندازه ذرات برای سه نوع سیکلون

### طرح سیکلون

جمع‌آوری ذرات به وسیله سیکلون آن قدر پیچیده است که با معادلات نظری نمی‌توان آن را طرح کرد، ولی به طور نظری می‌توان اثر نیروهای وارد بر ذرات را نشان داد و برآوردی از ابعاد سیکلون به عمل آورد. وقتی گاز حامل ذرات با سرعت وارد سیکلون می‌شود و به چرخش درمی‌آید دو نیرو بر ذرات وارد می‌شود. یکی نیروی گریز از مرکز که حرکت شعاعی ذرات را به سوی دیواره سیکلون به وجود می‌آورد و دیگر نیروی مقاومت گاز بر ذرات که در جهت مخالف اعمال می‌شود. وقتی این دو نیرو به تعادل رسیدند، ذره تحت تأثیر نیروی اینرسی با سرعت یکنواخت در جهت دیواره روان می‌شود.

نیروی گریز از مرکزی که ذرات را از گاز در حال چرخش جدا و به سوی دیواره سیکلون می‌راند، تابع سرعت گاز، جرم ذرات و فاصله بین مرکز چرخش و ذره است.

$$F_c = \frac{m\omega^2}{R} \quad 16-29$$

با اعمال این نیرو ذره با سرعت  $\omega_r$  به طور شعاعی به سوی دیواره سیکلون رانده می‌شود و

در همین زمان با نیروی مخالف جریان گاز چرخان روبه‌رو می‌شود که همان نیروی دراگ است این نیرو تابع سرعت ذره، قطر ذره و سیکوزیته گاز حامل است.

$$F_D = 3\pi\omega_r d_p \mu \quad 16-30$$

در محل ورودی نیروی گریز از مرکز  $F_c$  خیلی بیش از نیروی دراگ  $F_D$  است، زیرا در این محل سرعت اولیه شعاعی ذره صفر است. اما به محض آنکه این سرعت افزایش یابد (عملاً در چند صد م ثانیه) نیروها با هم برابر شده و ذرات به‌طور شعاعی و با سرعت یکنواخت به‌سوی دیواره سیکلون روانه می‌شوند. در این موقع:

$$\frac{m\omega^2}{R} = 3\pi\omega_r d_p \mu \quad 16-31$$

چون جرم ذره به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$m = \frac{\pi d_p^3 \rho_p}{6} \quad 16-32$$

پس سرعت ذره به‌طور شعاعی:

$$\omega r = \frac{d_p^2 \omega^2 \rho_p}{18 R \mu} \quad 16-33$$

دورترین فاصله‌ای که ممکن است ذره با دیواره سیکلون داشته باشد موقعی است که ذره نزدیک لوله خروجی وارد سیکلون شود. این مسیر معادل است با  $R_2 - R_1$  که در آن شعاع سیکلون و  $R_1$  شعاع لوله خروجی است. بنابراین زمان لازم برای رسیدن دورترین ذره به دیواره سیکلون و در نتیجه جدا شدن از گاز برابر خواهد بود با:

$$t = \frac{R_2 - R_1}{\omega r} \quad 16-34$$

باید توجه داشت که  $R$  در معادله 16-33 متغیر است زیرا ذرات در فاصله‌های مختلف نسبت به دیواره سیکلون قرار می‌گیرند، ولی میانگین فاصله را برابر  $(R_2 - R_1)/2$  می‌توان در نظر گرفت. بدین ترتیب رابطه 16-33 به شکل زیر درمی‌آید:

$$\omega r = \frac{2d_p^2 \omega^2 \rho_p}{18 (R_2 + R_1) \mu} \quad 16-35$$

و اگر مقدار  $\omega r$  از رابطه 16-35 در 16-34 جانشین شود، رابطه 16-36 بدست می‌آید:

$$t = \frac{(R_2 - R_1) 18(R_2 - R_1) \mu}{2d_p^2 \omega^2 \rho_p} = \frac{9 (R_2^2 - R_1^2)}{d_p^2 \omega^2 \rho_p} \quad 16-36$$

در واقع  $d_p$  قطر کوچک‌ترین ذره‌ای است که در مدت زمان  $t$  از مسیر گاز خروجی خارج شده و به دیواره سیکلون می‌رسد یا به عبارت دیگر نشست می‌کند: در واقع  $d_p$  همان  $d_{min}$  است که در رابطه 16-37 محاسبه شده است:

$$d_{min} = \left[ \frac{9\mu (R_2^2 - R_1^2)}{\rho_p \omega^2 t} \right]^{1/2} \quad 16-37$$

از طرفی مدت زمانی که یک ذره در مارپیچ داخلی باقی می‌ماند با توجه به تعداد چرخش‌ها

از رابطه 16-38 محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{2\pi RN}{\omega} \quad 16-38$$

بدین ترتیب با حذف  $t$  رابطه 16-39 به دست می‌آید:

$$d_{\min} = \left[ \frac{9\mu (R_2^2 - R_1^2)}{2\pi RN\omega\rho_p} \right]^{1/2} \quad 16-39$$

برای تعیین تعداد چرخش‌ها یک برآوردی تقریبی وجود دارد. ولی باید توجه داشت که در سیکلون‌های معمولی تعداد چرخش‌ها به‌طور متوسط 4 دور است:

$$N = \frac{1}{H} \left[ L_1 + \left( \frac{L_2}{2} \right) \right] \quad 16-40$$

### بازدهی سیکلون

برای بررسی بازدهی سیکلون فرض می‌شود که در ورودی سیکلون ذرات به‌طور یکنواخت در داخل گاز پخش هستند. حال ذره‌ای با قطر  $d_p$  که در محل خروجی یعنی در فاصله  $R_1$  از مرکز سیکلون وارد می‌شود در صورتی 100 درصد رسوب خواهد کرد که قبل از تکمیل  $N$  دور با نیروی گریز از مرکز به‌فاصله  $R_2$  از مرکز سیکلون یعنی به‌دیواره برسد. بدیهی است تمام ذرات به‌این اندازه که در شعاع  $R$  یعنی در محلی بین  $R_1$  و  $R_2$  وارد سیکلون می‌شوند، صد درصد رسوب خواهند کرد. از طرفی دیگر از ذراتی با قطر  $d_p$  که قبل از  $N$  دور به‌طور کامل از جریان گاز خارج نشده‌اند فقط آنهایی که در فاصله  $R_2 - R_1$  قرار می‌گیرند، به‌طور کامل جدا خواهند شد،  $R'$  کمترین شعاعی است که اگر ذرات با قطر  $d_p$  در آنجا قرار گیرند به‌طور کامل جمع‌آوری خواهند شد. بنابراین بازدهی جزئی با رابطه 16-41 به دست می‌آید:

$$\eta_d = \frac{R_2 - R'}{R_2 - R_1} \quad 16-41$$

بازگشت به رابطه 16-33 و 16-34:

$$R_2 - R' = \frac{d_p^2 \omega^2 \rho_p t}{18 R \mu} \quad 16-42$$

با جایگزینی  $t$  از رابطه 16-38 رابطه 16-43 را خواهیم داشت:

$$R_2 - R' = \frac{\pi N \rho_p d_p^2 \omega}{9 \mu} \quad 16-43$$

چون  $R_2 - R_1$  معادل عرض ورودی  $W$  است با استفاده از رابطه 16-41 چنین نتیجه می‌شود:

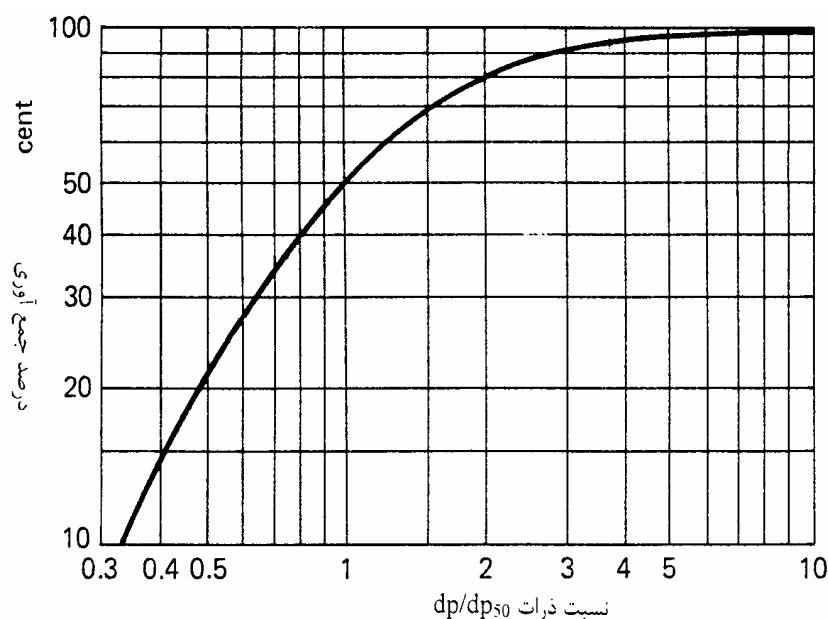
$$\eta_d = \frac{\pi N \rho_p d_p^2 \omega}{9 W \mu} = \frac{\pi N \rho_p d_p^2 Q}{9 H W^2 \mu} \quad 16-44$$

در رابطه 16-44 متغیرهایی که بر بازدهی جمع‌آوری مؤثرند نشان داده شده‌اند، ولی اشکال عمده‌ای که در این رابطه دیده می‌شود این است که بازدهی سیکلون با توان دوم قطر ذره متناسب است، ولی یک عدد نهایی برای  $d_p$  وجود دارد که از آن به‌بعد بازدهی صددرصد

می‌شود. بنابراین برخلاف آنچه گفته شد تجربه نشان داده است که قطع سریع بازدهی برای قطر معینی از ذرات وجود ندارد. برای رفع این نارسایی گرین<sup>۴۴۷</sup> و همکاران (1964) و کچ و لیخت<sup>۴۴۸</sup> (1980) و دیگران روابطی را برای اندازه ذرات با بازدهی 50 درصد نوشته‌اند. لاپل (1951) با استفاده از رابطه 16-44 که در آن  $\eta_d$  را 0/5 قرار داده،  $d_{p50}$  را که قطر ذراتی با بازدهی 50 درصد است به دست آورده است (رابطه 16-45). لاپل سپس با استفاده از سیکلون‌هایی با همان نسبت ابعاد منحنی کلی شکل 16-27 را برای بازدهی سیکلون در برابر نسبت قطر ذرات به قطر 50 درصد رسم کرده است.

$$d_{p50} = \left[ \frac{9\mu W}{2\pi N \omega \rho_p} \right]^{1/2} = \left[ \frac{9\mu W^2 H}{2\pi N \rho_p Q} \right]^{1/2} \quad 16-45$$

در جدول 16-8 نسبت ابعاد ذرات یک سیکلون استاندارد به قطر قسمت استوانه‌ای داده شده است. از ویژگی‌های منحنی این است که به‌طور غیرتقارن بازدهی به‌صورت درصد می‌رسد و این برخلاف نظریه‌ای است که پیش از این داده شده که با شیب تند به‌صورت درصد می‌رسد. با وجودی که منحنی لاپل براساس تجربه بدست آمده، ولی اعداد ارائه شده توسط بعضی از سازندگان بازدهی کمی کوچک‌تر را برای نسبت  $d_p$  به  $d_{p50}$  لاپل نشان می‌دهد.



شکل 16-27 - بازدهی سیکلون در برابر نسبت اندازه (اقتباس از لاپل، 1951)

447- Green HL & Lane WR; (1964);

448- Koch & Lict 1980

**جدول 8-16 تناسب ابعاد سیکلون نسبت به قطر (D)**

|           |                |
|-----------|----------------|
| $L_1=2D$  | طول استوانه    |
| $L_2=2D$  | طول مخروط      |
| $H=D/2$   | ارتفاع ورودی   |
| $W=D/4$   | عرض ورودی      |
| $D_e=D/2$ | قطر خروجی      |
| $D_d=D/4$ | قطر خروجی ذرات |

به طور خلاصه چنانچه بازدهی سیکلون با رابطه 16-46 نشان داده شود بازدهی افزایش می یابد که طرف راست رابطه بیشتر شود.

$$\eta_{col} \propto \frac{F_c}{F_D} \frac{\omega \rho_p d_p^2}{R\mu} \quad 16-46$$

$F_c$  = نیروی گریز از مرکز

$F_D$  = نیروی دراگ

و به طوری که دیده می شود بازدهی با سرعت ذرات که عملاً همان سرعت ورودی گاز است، با دانسیته ذرات و مجذور قطر ذرات افزایش و برعکس با افزایش قطر سیکلون و ویسکوزیته گاز کاهش می یابد. یادآوری می شود که ویسکوزیته گاز که در اینجا بیشتر هواست، با دما زیاد می شود. تجربه و نیز رابطه 16-44 نشان می دهد که بازدهی با افزایش طول سیکلون و تعداد چرخش ها و غلظت ذرات در گاز ورودی، افزایش می یابد. صیقلی بودن دیوار سیکلون، شاخص دیگری برای افزایش بازدهی است.

روابط بالا نشان می دهند که سیکلون با قطر کوچک تر، مفیدتر از سیکلون با قطر بزرگ تر است. ولی این نتیجه گیری برای سیکلون هایی که نسبت ابعاد آن ثابت باشند، صادق است. با تغییر بعضی از ابعاد ممکن است یک سیکلون با قطر بزرگ تر بازدهی بیشتری داشته باشد. به هر حال بهبود بازده برای حجم معینی از گاز با افزایش ارتفاع سیکلون یا افزایش سرعت و یا هر دو ممکن است. از آنجا که افت فشار بیشتر، انرژی زیاده تری هم لازم دارد، معاوضه بین بازدهی بیشتر یا افت فشار بیشتر باید با دقت انجام گیرد. و این نظریه موقعی بیشتر مورد توجه قرار می گیرد که به رابطه تجربی که برای افت فشار تهیه شده است توجه شود.

$$\Delta p = \frac{K Q^2 P \rho_p}{T} \quad 16-47$$

K ضریبی است که با قطر سیکلون نسبت عکس دارد و در جدول 9-16 داده شده است.

**جدول 9-16 پارامتر افت فشار K برای اقطار مختلف سیکلون**

|           |           |           |           |                    |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| 4/4       | 8/1       | 16        | 29        | قطر سیکلون به اینچ |
| $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | K                  |

رسم منحنی k در برابر قطر سیکلون روی کاغذ تمام لگاریتمی به صورت خط مستقیم خواهد بود. اگر گاز حامل هوا باشد رابطه 16-47 به صورت رابطه 16-48 خلاصه می شود:

$$\Delta p = \frac{39.7 K Q^2 P^2}{T^2} \quad 16-48$$

همانطور که دیده می‌شود افت فشار با مجذور حجم گاز حامل و در نتیجه سرعت آن رابطه مستقیم دارد و انتظار هم همین است که هرچه سرعت بیشتر شود افت فشار نیز افزایش یابد از طرفی دیگر رابطه 16-46 نشان می‌دهد بازدهی جمع‌آوری نیز وابسته به سرعت است. یعنی هرچه سرعت بیشتر شود بازدهی افزایش می‌یابد. بنابراین هم افت فشار و هم بازدهی هر دو به‌طور مستقیم با سرعت گاز و یا می‌توان گفت با حجم جریان رابطه دارند. بنابراین انتخاب سرعت جریان باید طوری باشد که یک سیکلون مشخص در حد معقول هر دو نظر را تأمین کند.

افت فشار در سیکلون‌های معمولی بین 15 تا 50 میلیمتر آب و در سیکلون‌های با بازدهی زیاد بین 50 تا 150 میلیمتر آب در نظر گرفته می‌شود.

### اطلاعات مورد نیاز برای طرح و انتخاب سیکلون

باتوجه به گفتار گذشته در باره طراحی سیکلون و روابط و معادلات موجود برای محاسبه سیکلون اطلاعات زیر مورد نیاز است که باید با مطالعه عملی و منابع موجود آنها را به‌دست آورد:

- 1- درجه کوچکی ذراتی که باید جمع‌آوری شوند، با روش مناسب و یا در جریان کار محاسبه شوند؛
- 2- مقدار گازی که باید تصفیه شود، در شرایط کار تعیین و تغییرات آن در فرایندهای مختلف مشخص شود؛
- 3- دانسیته گاز در شرایط استاندارد تعیین و برای شرایط کار محاسبه شود؛
- 4- دانسیته ذرات تعیین گردد؛
- 5- دمای گاز اندازه‌گیری شود؛
- 6- افت فشار مورد قبول برحسب نیوتن به‌مترمربع یا میلیمتر آب پیش‌بینی گردد؛
- 7- درصد بازدهی موردنیاز برای ذرات در نظر گرفته شود؛
- 8- مقدار بار ذرات گاز ورودی محاسبه و یا اندازه‌گیری شود؛
- 9- مقدار فشار (مکش) گاز در محل ورودی مدنظر قرار گیرد؛
- 10- مقدار آب موجود در گاز تعیین شود. در صورت لزوم برای جلوگیری از چگالش اقدام شود؛

11- نوع و مقادیر گازهای خورنده مانند، اسید سولفوریک، اسید کلریدریک، اسید فلوریدریک و غیره که علاوه بر خوردگی دیواره سیکلون بر نقطه شبنم گاز و انعقاد ذرات نیز اثر می‌گذارد تعیین گردد.

جنس سیکلون را باتوجه به‌اندازه و حجم گاز معمولاً از ورق آهن 4 تا 8 میلیمتری می‌سازند و اگر ذرات خورنده باشند باید ضخیم‌تر انتخاب شوند.

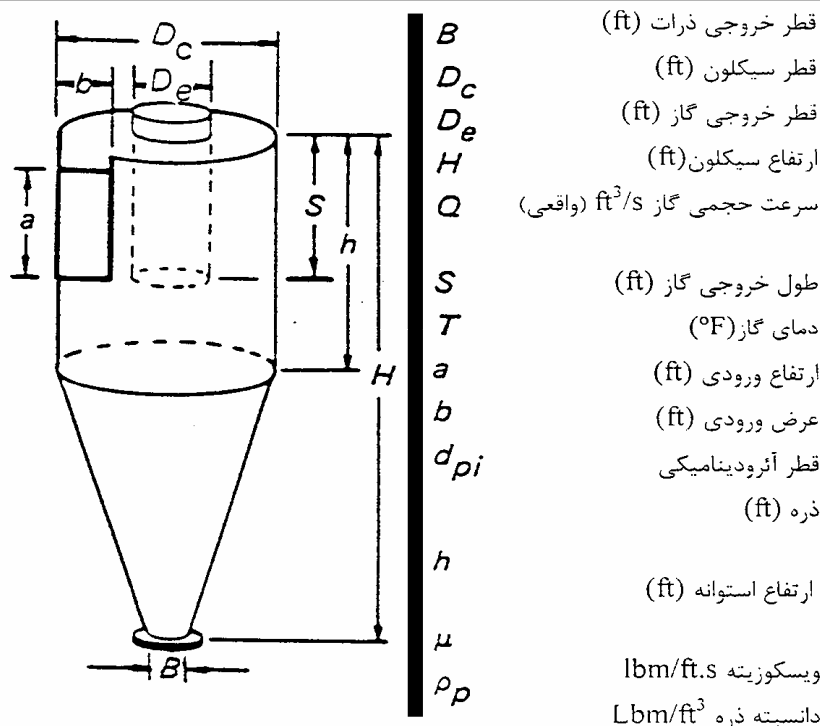
### نسبت ابعاد سیکلون

ابعاد سیکلون در بازدهی آن بسیار مؤثر است لاپل، سویفت، استیرماند، پترسون و ویتبی



برای سیکلون‌های با بازدهی زیاد و معمولی ابعاد قسمت‌های مختلف سیکلون را نسبت به قطر بدنه اصلی داده‌اند که در جدول 10-16 آمده است. بدین ترتیب چنانچه قطر بدنه محاسبه شود سایر اندازه‌ها را با استفاده از این جدول می‌توان به‌دست آورد.

### متغیرهای ورودی معادله



جدول شماره 10-16- نسبت ابعاد قسمت‌های مختلف سیکلون نسبت به قطر بدنه اصلی

| معمولی             |       |        | بازدهی زیاد |           | شرح نام‌گذاری‌ها    |
|--------------------|-------|--------|-------------|-----------|---------------------|
| Peterson & Whit by | Swipt | Lapple | Swift       | Stairmand |                     |
| 1                  | 1     | 1      | 1           | 1         | $D_e$ قطر بدنه اصلی |
| 0/583              | 0/5   | 0/5    | 0/44        | 0/5       | a ارتفاع ورودی      |
| 0/208              | 0/25  | 0/25   | 0/21        | 0/2       | b عرض ورودی         |
| 0/583              | 0/6   | 0/625  | 0/5         | 0/5       | S طول خروجی         |
| 0/5                | 0/5   | 0/5    | 0/4         | 0/5       | $D_e$ قطر خروجی     |
| 1/333              | 1/75  | 2/0    | 1/4         | 1/5       | h ارتفاع استوانه    |
| 3/17               | 3/75  | 4      | 3/9         | 4         | H کل ارتفاع         |
| 0/5                | 0/4   | 0/25   | 0/4         | 0/375     | B قطر خروجی ذرات    |
| 1/8                | 2/30  | 2/30   | 2/04        | 2/48      | l طول طبیعی         |
| 324/8              | 381/8 | 402/9  | 699/2       | 551/3     | G ضریب شکل          |