



## نمونه برداری از آلاینده‌های هوا (عوامل شیمیایی)

(ویژه داوطلبان آزمون‌های HSE، بهداشت حرفه‌ای، ارگونومی)

■ درسنامه جامع براساس آخرین سرفصل‌های مصوب

■ همراه با نمونه سوالات آزمونی

مؤلف: محمد عنبری

انتشارات  
**اندیشه‌ارشد**

## فهرست

- فصل اول: کلیاتی در خصوص عوامل شیمیایی محیط کار ..... ۵
- فصل دوم: آشنایی با وسایل کالیبراسیون ..... ۲۲
- فصل سوم: روش های آماده سازی نمونه ..... ۲۵
- فصل چهارم: دستگاه گاز کروماتوگراف ..... ۳۶
- فصل پنجم: دستگاه جذب اتمی ..... ۴۲
- فصل ششم: دستگاه نشر اتمی در تجزیهی آلایندههای هوا ..... ۴۸
- فصل هفتم: نمونه برداری توسط لوله های زغال فعال ..... ۵۰
- فصل هشتم: استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در تجزیهی آلاینده ها ..... ۵۵
- فصل نهم: نمونه برداری و تجزیهی ترکیبات آلاینده هوا با روش های الکتروشیمیایی ..... ۵۷
- فصل دهم: مبانی روش ریز استخراج فاز جامد و کاربرد آن در تجزیهی نمونه های هوا و ادرار ..... ۵۸
- فصل یازدهم: روش استخراج فاز جامد مایع ..... ۶۰
- فصل دوازدهم: نمونه برداری و تجزیهی آلاینده های اختصاصی هوای محیط کار ..... ۶۲
- فصل سیزدهم: وسایل اندازه گیری قرائت مستقیم ..... ۶۷
- فصل چهاردهم: دستگاه های قرائت مستقیم برای اندازه گیری آلاینده های خاص .. ۷۰
- فصل پانزدهم: وسایل قرائت مستقیم با پایش عمومی برای نمونه برداری از گازها و بخارات ..... ۷۳
- فصل شانزدهم: دستگاه های قرائت مستقیم اختصاصی چندگانه برای اندازه گیری گازها و بخارهای دستگاه های پرتابل ..... ۷۵

- فصل هفدهم: اندازه‌گیری گازها و بخارات در هوا به شیوه‌ی رنگ‌سنجی ..... ۷۶
- فصل هیجدهم: اندازه‌گیری گازها و بخارات اشتعال‌پذیر ..... ۷۹
- فصل نوزدهم: روش‌های ارزیابی و کالیبراسیون وسایل نمونه‌گیر ..... ۸۰
- فصل بیستم: روش‌ها و دستگاه‌های نمونه‌برداری از آئروسول‌ها ..... ۸۲
- فصل بیست و یکم: نمونه‌برداری از آئروسول‌ها به شیوه‌ی قرائت مستقیم و شمارش و شاخص‌های آماری ..... ۹۴
- فصل بیست و دوم: کاربرد پراش اشعه ایکس در تجزیه‌ی ذرات هوای محیط کار ..... ۹۷
- فصل بیست و سوم: نمونه‌برداری از آئروسول‌ها در محیط کار ..... ۹۸
- فصل بیست و چهارم: روش‌های اندازه‌گیری رادون در هوا ..... ۱۰۰
- فصل بیست و پنجم: نمونه‌برداری از آلاینده‌های داخل کانال و دودکش ..... ۱۰۴
- فصل بیست و ششم: نمونه‌برداری از توده‌ی مواد ..... ۱۰۶
- فصل بیست و هفتم: روش‌های نمونه‌برداری سطحی ..... ۱۰۸
- فصل بیست و هشتم: نمونه‌برداری از اتاق‌های پاک ..... ۱۱۱
- فصل بیست و نهم: روش‌های کالیبراسیون وسایل نمونه‌گیر با آئروسول‌ها ..... ۱۱۲
- فصل سی‌ام: روش‌های ارزیابی ریسک سلامت شاغلان ..... ۱۱۴
- فصل سی و یکم: پایش بیولوژیکی ..... ۱۱۵
- فصل سی و دوم: کنترل کیفیت نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی ..... ۱۱۷
- فصل سی و سوم: اندازه‌گیری گازها و بخارات قابل اشتعال ..... ۱۲۲
- خلاصه ۱ ..... ۱۲۴
- خلاصه ۲ ..... ۱۳۰

**محل نمونه برداری:**

سه محل نمونه برداری وجود دارد:

- ۱) منطقه‌ی تنفسی کارگر ← این روش پر اهمیت‌ترین روش نمونه برداری بوده چون آلاینده‌های نمونه برداری شده در مجاورت منطقه‌ی تنفسی کارگر است.
- ۲) نزدیک‌ترین نقطه به منبع تولید آلودگی ← این نمونه برداری جهت تعیین مقدار انتشار آلاینده‌ها در هوای محیط کار و بررسی کیفیت دستگاه‌های کنترل آلودگی در داخل استفاده می‌شود.
- ۳) نمونه برداری از هوای عمومی کارگاه

**مدت نمونه برداری:**

تعیین مدت نمونه برداری به عواملی چون حساسیت روش تجزیه، دبی نمونه برداری، نوع وسیله‌ی نمونه گیر و حد آستانه مجاز و تراکم مواد آلاینده در هوا بستگی دارد.

**نکته:** در صورتی که تراکم آلاینده زیاد باشد مدت زمان نمونه برداری کاهش می‌یابد.

اگر وسیله‌ی نمونه‌گیری جذاب سطحی باشد زمان نمونه‌گیری باید کمتر از ۲ ساعت لحاظ شود. هرچه حساسیت دستگاه بالاتر باشد، مدت زمان نمونه برداری کاهش می‌یابد، مثل دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره که قادر به تشخیص کمترین مقدار عناصر است و مدت نمونه برداری کمتر می‌باشد. در حالی که دستگاه جذب اتمی با شعله حساسیت آن پایین است و زمان نمونه برداری طولانی می‌باشد.

**حجم نمونه برداری:**

عواملی که بر مدت زمان نمونه برداری موثرند بر حجم هوا نیز موثر می‌باشند.

فرمول محاسبه‌ی حداقل حجم نمونه‌برداری در دمای ۲۵ درجه و فشار هوای 760 mmHg:

$$MVR = \frac{S \times 24450}{TLV \times M_w}$$

$M_w$ : وزن مولکولی -S: حساسیت روش تجزیه، tlV: حد آستانه مجاز

$V = Q \times T$  حجم هوای نمونه‌برداری:

(پارامترهای دبی و مدت زمان)

دبی بهینه جهت نمونه‌برداری جاذب‌های سطحی بین ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه است.

در بعضی مواقع در نمونه‌برداری با جاذب سطحی از دبی ۰/۵ لیتر در دقیقه هم استفاده می‌شود.

با افزایش آلودگی در محیط کار دبی نمونه‌برداری کاهش می‌یابد چون باعث ترک آلاینده می‌گردد.

تعداد نمونه بستگی به هدف نمونه‌برداری، غلظت آلاینده و نحوه‌ی انتشار مواد آلاینده دارد.

$$N = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{d^2}$$

( $\sigma$  = انحراف معیار،  $d$  = دامنه تغییرات،  $Z$  = میانگین)

**نکته:** اگر انتشار مواد آلاینده در محیط کار یکنواخت باشد ۲ تا ۵ نمونه کافی است.

در صورتی که هدف بررسی و کنترل مواد مخاطره‌آمیز باشد ۱ یا ۲ نمونه قبل گذاشتن وسایل کنترلی و ۱ یا ۲ نمونه بعد گذاشتن وسایل کنترلی گرفته شده و سپس با هم مقایسه می‌شوند.

**روش‌های نمونه‌برداری از گازها و بخارات در هوای محیط کار:**

**روش غیرفعال<sup>۱</sup>:**

در این روش گازها و بخارات آلاینده توسط فرآیندهای فیزیکی نظیر انتشار و نفوذ از طریق غشا بدون نیاز به پمپ جمع‌آوری می‌شوند.

<sup>۱</sup> Passive

اولین نمونه‌بردار به این روش توسط پلمز به صورت لوله‌ای شکل برای سولفور دی‌اکساید ارائه شد.

نمونه‌برداری اختصاصی برای گازها و بخارات مثل آمونیاک، مونوکسید کربن، در اکسید سولفور، در اکسید نیتروژن، جیوه، فرمالدئید، اوزون، استون و اکسید اتیلن توسط نمونه‌گیرهای پسیو انجام می‌گیرد.

معمولی‌ترین و رایج‌ترین بسترهای جامد مورد استفاده زغال فعال، تناکس و سیلیکاژل می‌باشند.

نمونه‌بردار حاوی جاذب مایع هم می‌تواند به شکل بج‌های مستطیلی یا بطری‌های شیشه‌ای مشابه ایمپینجر باشند.

**نکته:** بعضی از نمونه‌بردارهای پسیو بر مبنای تغییر رنگ عمل می‌کنند.

#### مزایای نمونه‌بردارهای پسیو:

- ۱) مزیت آشکار و اصلی این‌ها آسانی و سهولت استفاده می‌باشد.
- ۲) هیچ تداخلی با فعالیت کارگر ایجاد نمی‌کند.
- ۳) به علت عدم استفاده از پمپ در محیط‌های حاوی گازهای قابل انفجار استفاده وسیعی دارند.
- ۴) سبکی و کوچکی ابعاد آنها کم هزینه بودن و عدم نیاز به کالیبراسیون و قابلیت استفاده مجدد در بازیافت حرارتی.

#### معایب نمونه‌بردارهای پسیو:

- ۱) جهت دستیابی به نتیجه معتبر به تعداد زیادی از آنها نیاز می‌شود.
- ۲) دقت آن‌ها تحت تاثیر شرایط محیطی (دما، رطوبت، سرعت جریان هوا) است.
- ۳) مستعد آلودگی ثانویه هستند.
- ۴) چون برای نمونه‌برداری نیاز به حداقل جریان هوا دارند در محیط‌های هوای ساکن خطای نمونه‌برداری افزایش می‌یابد.
- ۵) در نمونه‌بردار پسیو غشایی نباید غشا لمس شود چون سوراخ می‌گردد.
- ۶) به علت مقدار کم آلاینده نیاز به مراقبت‌های ویژه دارند.

📌 **نکته:** دقت و صحت نمونه‌برداری پسیو به مدت زمان نمونه‌برداری، جریانات هوا، اثرات رطوبت و دما بستگی دارد.

📌 **نکته:** با روش پسیو می‌توان از فضاهای بسته و مشکل نمونه‌برداری کرد.

📌 **نکته مهم:** تغییرات دمایی تاثیر بسیار زیادی در ایجاد خطا در نمونه‌برداری پسیو دارد، چون با افزایش و کاهش دما، دانسیته هوای ورودی به حسگر تغییر می‌کند و تغییرات در غلظت قرائت شده محسوس است.

جمع‌آوری گازها و بخارات از طریق نمونه‌برداری پسیو به دو اصل « انتشار » و « نفوذ » وابسته است.

**الف- انتشار:** در خصوص اصل انتشار نمونه‌برداری به این صورت کاربرد بیشتری دارد و در این نمونه‌بردارها میزان جریان بخارات از قانون فیکس پیروی می‌کند. براساس قانون فیکس میزان جرم انتشار یافته به ضریب انتشار گاز یا بخار، سطح مقطع جاذب، شیب غلظت و طول مسیر انتشار وابسته می‌باشد.

**ب- نفوذ:** در نمونه‌برداری‌های نفوذی آلاینده‌های مورد نظر در غشا پلی‌متریک حل می‌شوند و سپس بر روی بستر جمع‌آوری منتقل می‌شوند.

#### فاکتورهای موثر بر نفوذ:

ضخامت و یکنواختی غشاء، میل ترکیبی آلاینده با غشاء، کاهش یا افزایش سطح غشاء و خوردگی شیمیایی به وسیله‌ی مواد شیمیایی خورنده می‌باشد. کارایی این وسایل بستگی به انتخاب غشایی دارد که آلاینده‌ی مورد نظر به راحتی در آن نفوذ کرده و در مقابل ترکیبات دیگر نفوذناپذیر باشد.

یکی از منابع اصلی خطا در نمونه‌گیری‌های انتشاری ناشی از خصوصیت ثابت زمان نمونه‌بردار در هنگام نمونه‌برداری از هوایی است که غلظت با سرعت زیادی در نوسان است.

#### فاکتورهای مهم در نمونه‌برداری انتشاری:

(۱) فاصله انتشار

(۲) زمان نمونه‌برداری

- ۳) گستره غلظت آلاینده
- ۴) واسطه مناسب جمع‌آوری برای آلاینده
- ۵) صحت و دقت مورد نیاز
- ۶) نوع روش تجزیه ای که قرار است استفاده شود
- ۷) دما
- ۸) رطوبت
- ۹) سرعت دهانه
- ۱۰) پایداری و واکنش پذیری آلاینده پس از جمع‌آوری
- ۱۱) وجود مداخله‌گرها
- ۱۲) فشار
- ۱۳) راندمان جمع‌آوری
- ۱۴) نگهداری نمونه
- ۱۵) حجم نمونه

**نمونه‌بردارهای پسیو غیر اختصاصی:**

برای جمع‌آوری هم زمان چندین ترکیب از یک خانواده به کار می‌رود.

**الف - بابلهای پسیو:** برای جمع‌آوری گازها و بخارات هوای محیط کار به صورت نمونه‌برداری فردی و محیطی کاربرد دارد، جذب نمونه گازها از طریق انتشار صورت می‌گیرد.

**ب - بچ‌های بخارات آلی فرار<sup>۱</sup>:** مقدار جاذب جامد در بچ‌های آلی معمولاً دو برابر لوله زغال معمولی می‌باشد.

بیشتر بچ‌های شامل دولایه متفاوت از زغال فعال می‌باشد، هدف از بخش پسین و مکمل در این بچ‌ها به دام‌اندازی آلودگی‌هایی است که احتمالاً از لایه‌ی جذب بالایی نشأت می‌نمایند این مورد باید در هنگام نمونه‌برداری غلظت‌های بالا، ترکیبات فرار و رطوبت‌های بالا مورد توجه قرار گیرد.

<sup>۱</sup> VOCs



در این بچها روش بازیافت معمولاً  $CS_2$  و تجزیه با دستگاه گاز کروماتوگرافی است. دقت این بچهای نمونه برداری به غلظت نمونه برداری شده و دوره‌ی نمونه برداری بستگی دارد.

نمونه برداری‌های پسیو که از زغال فعال استفاده می‌کنند همانند لوله‌های جاذب دارای محدودیت‌هایی شامل عوامل مداخله‌گر، رطوبت، دما و Breakthrough می‌باشند.

#### نمونه برداری پسیو فرمالدئید و جیوه:

در نمونه برداری‌های پسیو فرمالدئید از بی‌سولفات سدیم به عنوان بستر نمونه برداری به صورت محلول و یا آغشته با فیلتر استفاده می‌کنند.

محیط‌های فوق العاده مرطوب باعث کاهش و فرسوده شدن بی‌سولفات سدیم به عنوان بستر جمع‌آوری در بچهای خشک می‌شوند.

**فنول:** یک عامل مداخله‌گر در روش نمونه برداری بی‌سولفات، فرمالدئید مطرح است. دزیمترهای فرمالدئید کالیبراسیون نمونه برداری ۱ تا ۷ روزه دارند و در دراز مدت دقت بالایی ندارند.

جمع‌آوری و نمونه برداری پسیو جیوه معمولاً در ارتباط با بخارات جیوه است؛ و این عمل بر اساس خاصیت انتشار از یک غشاء مانع و انتقال آلاینده بر روی فویل خاص صورت می‌گیرد. مقدار بخارات اندازه‌گیری شده از لحاظ کمی بر اساس اندازه‌گیری میزان تغییرات هدایت الکتریکی در طول فویل تعیین می‌شود.

**کلرین:** یک عامل مداخله‌گر در جمع‌آوری جیوه است.

در این دزیمتر دبی تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد.

#### نکاتی که باید در نمونه برداری‌های پسیو رعایت گردد:

(۱) اگر محل نمونه برداری منطقه‌ی تنفسی کارگر است باید نمونه‌گیر را به یقه‌ی کارگر وصل نمود به طوری که قسمت رو باز بچ به سمت محیط نمونه برداری باشد.

(۲) اگر محل نمونه برداری منطقه‌ی عمومی کارگاه است وسیله‌ی نمونه بردار باید در ارتفاع ۱.۵ تا ۲ متری از سطح زمین استقرار یابد.

۳) در نمونه‌برداری از نواحی با هوای ساکن مانند گوشه‌ی اتاق یا مقابل دیوار باید خودداری کرد.

۴) حداقل زمان نمونه‌برداری توسط دبی نمونه‌برداری و حساسیت روش تجزیه تعیین می‌شود.

۵) حداکثر زمان نمونه‌برداری توسط دبی نمونه‌برداری و ظرفیت جاذب زغال فعال تعیین می‌شود.

۶) زمانی که حداکثر زمان نمونه‌برداری کمتر از مدت زمان نمونه‌برداری طراحی شده باشد دو یا چند نمونه‌بردار باید به صورت سری مورد استفاده قرار گیرد تا مدت زمان طراحی شده فراهم گردد.

فرمول محاسبه‌ی حداقل و حداکثر زمان نمونه‌برداری (برحسب دقیقه) :

$$\min. st = \frac{S}{0.2 \times TLV \times K} \quad \max. st = \frac{C}{0.2 \times TLV \times K}$$

S: حساسیت روش تجزیه، C: ظرفیت نمونه‌گیر در جاذب آلاینده بر حسب نانوگرم، K: ضریب دبی نمونه‌برداری بر حسب (cm<sup>3</sup>/min)

نمونه‌گیرهای غیرفعال معمولاً از زغال فعال، تناسک و کربوترپ هستند و اخیراً نمونه‌گیر مابعد جهت تعدادی از آلاینده‌ها نظیر فرمالدئید استفاده می‌شود.

بیشتر نمونه‌گیرها پسیو دزیمترهایی هستند که بیشتر جهت بخارات آلی به‌کار می‌روند. زمان نمونه‌برداری از روزها تا هفته‌هاست این دزیمترها به صورت بچ‌های نمونه‌برداری می‌باشند که غلظت جمعی آلاینده را نشان می‌دهند.

انواع دیگر به صورت دتکتور پسیو یا Dosimeter tube هستند که بر اساس « طول رنگ » و « شدت رنگ » میزان آلاینده را نشان می‌دهند.

این دزیمترها یک تیوب شیشه‌ای حاوی گرانول‌های خاص می‌باشند که با گاز و بخار واکنش می‌دهند سرعت در این دزیمترها ۰.۱ میلی متر بر دقیقه است.

نوع دیگر این دزیمترها (Passive) جزو وسایل رنگ‌سنجی بوده و جهت ارزیابی بصری طراحی شده‌اند که دارای نوارهای معرف و یا دکمه‌های معرف می‌باشند که با توجه به غلظت گاز تغییر رنگ می‌دهند.

🔍 **نکته:** روش نمونه‌برداری غیرفعال با استفاده از وسایل نمونه‌گیر به روش جذب سطحی انجام می‌شود.

### روش فعال<sup>۱</sup>:

در این روش وسیله‌ی نمونه‌گیر به یک پمپ وصل شده و هوا به وسیله‌ی پمپ از روی محیط جاذب عبور داده شده و آلاینده‌ها با عبور از جاذب جمع‌آوری می‌شوند.

### عمده‌ترین وسایل در نمونه‌برداری فعال:

(۱) جاذب سطحی

(۲) فیلترهای نمونه‌برداری

(۳) بطری‌های گازشوی

(۴) سیکلون

### جاذب سطحی:

مهمترین و پر استفاده‌ترین روش جهت نمونه‌برداری از گازها و بخارات.

### مهمترین جاذب‌های سطحی:

زغال فعال، سیلیکاژل، کرموزرب و پروپاک (که بیشتر در تهیه‌ی نمونه از هوای محیط کار استفاده می‌شود)، کربوترپ و مولکولرسیو (بیشتر در نمونه‌برداری از هوای شهرها مورد استفاده قرار می‌گیرد)، تناکس (در نمونه‌برداری از هوای محیط کار مورد استفاده قرار می‌گیرد).

🔍 **نکته:** عمده‌ترین کاربرد تناکس در نمونه‌برداری از ترکیبات آلی فرار در هوای شهرهاست (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا)

🔍 **نکته:** نمونه‌برداری از محیط کار با جاذب سطحی، در داخل لوله‌های شیشه‌ای بوده در حالی‌که در نمونه‌برداری از هوای خارج کارگاه با جاذب سطحی که در یک لوله‌ی فلزی<sup>۲</sup> قرار گرفته است انجام می‌گیرد.

<sup>1</sup> Active sampling

<sup>2</sup> Cartridge

نکته مهم: بزرگترین مشکل جاذب‌های سطحی در نمونه‌برداری از هوا ترک آلاینده (break through) است.

ترک آلاینده از جاذب سطحی زمانی رخ می‌دهد که قسمت جلویی جاذب سطحی از آلاینده مورد نظر اشباع شده و آلاینده به مقدار زیادی وارد بخش عقبی جاذب شده و شروع به خارج شدن و ترک کردن از طرف دیگر جاذب سطحی نماید. هنگامی که مقدار آلاینده در بخش عقبی جاذب سطحی بیش از یک دهم بخش جلویی باشد آلاینده از طرف دیگر جاذب سطحی خارج شده و لذا ترک آلاینده صورت گرفته و نمونه فاقد اعتبار است. مشکل دیگر در نگهداری جاذب سطحی قبل از تجزیه مهاجرت<sup>۱</sup> می‌باشد که شبیه ترک آلاینده است.

عوامل موثر بر جذب آلاینده به وسیله‌ی جاذب سطحی:

(۱) دما: افزایش دما باعث کاهش جذب سطحی و افزایش ترک آلاینده از سطح جاذب سطحی می‌شود.

(۲) رطوبت: افزایش رطوبت باعث افزایش ترک آلاینده از سطح جاذب سطحی می‌شود.

(۳) دبی: افزایش دبی بیش از 500ml/min باعث افزایش ترک آلاینده می‌شود.

(۴) غلظت: افزایش غلظت آلاینده در محیط باعث افزایش ترک آلاینده‌ها می‌شود.

(۵) وجود چند ترکیب شیمیایی به‌طور توأم: ترکیب شیمیایی که جذب سطحی کمتری دارد راحت‌تر می‌تواند جاذب را ترک کند. مثل چند ترکیب قطبی جذب می‌شوند (ترکیبات قطبی) ترکیبی که قطبیت بالاتری دارد جذب سطحی بیشتری دارد و ترکیبات غیرقطبی که به وسیله‌ی جاذب سطحی جذب می‌شوند ترکیبی که حجم مولکولی بزرگ‌تری با نقطه جوش بالاتری دارد بهتر توسط جاذب نگه داشته می‌شود.

<sup>1</sup> migration

۶) شکل ظاهری جاذب: کوچک بودن ابعاد ذرات جاذب باعث افزایش باردهی جاذب سطحی می‌گردد.

۷) اندازه‌ی لوله‌ی جاذب: افزایش طول لوله باعث کاهش ترک آلاینده و استفاده از دو لوله‌ی جاذب به طور سری مدت زمان ترک آلاینده را به دو برابر کاهش می‌دهد.

### زغال فعال:

فرم بی‌شکل کربن که با حرارت دادن همراه با بخار مواد کربن‌دار در درجه حرارت ۸۰۰-۹۰۰ به زغال فعال تبدیل می‌گردد. موسسه ی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا، زغال فعالی که منشأ پوست نارگیل یا پترولیوم است را برای نمونه برداری از مواد شیمیایی توصیه کرده است (زغال فعال یا منشأ پترولیوم ظرفیت جذب آن کمتر از زغال فعال با منشأ پوست نارگیل است).

زغال فعال مهمترین و پر استفاده‌ترین وسیله‌ی نمونه برداری از گازها و بخارات در هوای محیط کار می‌باشد که برای تعداد وسیعی از گازها و بخارات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زغال فعال با بعضی از ترکیبات وارد واکنش می‌شود پس برای نمونه برداری از آن‌ها مناسب نیست این مواد شامل: آلدئیدها و مرکاپتان‌ها، اوزون، در اکسید نیتروژن، کلرین، سولفید هیدروژن و دی اکسید گوگرد.

زغال فعال یک ترکیب غیرقطبی است و رطوبت موجود در هوا را جذب می‌نماید، پس این مسئله باعث کاهش راندمان جذب و در بعضی مواقع باعث ترک آلاینده می‌گردد.

مناسب‌ترین دبی برای زغال فعال ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه است.

در مواقعی که غلظت آلاینده در محیط کار زیاد است استفاده از دو لوله‌ی زغال فعال به صورت سری توصیه می‌شود.

دی‌سولفید کربن<sup>۱</sup> حلال مناسب جهت بازیافت شیمیایی آلاینده از زغال فعال می‌باشد. زیرا دستگاه گاز کروماتوگرافی با آشکارساز شعله‌ای یونی به دی‌سولفید کربن حساسیت ندارد.

<sup>۱</sup> CS<sub>2</sub>

**نکته:** برای نمونه برداری از ۱،۱، دی کلو ۱ نیترو اتان باید از زغال فعال پترو لیوم استفاده شود.

**نکته:** زغال فعال در لوله به دو قسمت با مش ۲۰/۴۰ تقسیم می شود. (در بخش جلویی ۱۰۰ میلی گرم و در بخش عقبی ۵۰ میلی گرم زغال فعال وجود دارد).

برای نمونه برداری از دی سولفید کربن، علاوه بر زغال فعال معمولی از لوله های شیشه ای با طول ۷ سانتی متر که حاوی ۲۷۰ میلی گرم از گرانول های سولفات سدیم است (سولفات سدیم رطوبت را در حجم هوای ۶ لیتر حذف می کند).

**نکته:** باید لوله ی زغال فعال به صورت عمودی در مسیر جریان هوا قرار گیرد.

**نکته:** نمونه هایی که از دی سولفید کربن تهیه می گردند، باید در کیسه ی یخ نگهداری شوند. این عمل از حرکت  $CS_2$  به سمت بخش عقبی زغال فعال جلوگیری می کند.

#### سلیکاژل:

فرم بی شکل سیلیس که در نتیجه واکنش بین اسید سولفوریک و سیلیکات سدیم به وجود می آید. سلیکاژل ترکیبی قطبی است پس ترکیبات قطبی را جذب می نماید. به همین دلیل جاذب رطوبت بوده و افزایش جذب رطوبت باعث افزایش ترک آلاینده از آن می شود.

#### عواملی که در جذب شیمیایی به وسیله ی سلیکاژل موثرند شامل:

حدود ذرات ژل، قطر و طول لوله، دمای نمونه برداری، غلظت آلاینده در محیط، رطوبت هوا، مدت زمان نمونه برداری و قطبیت (هرچه قطبیت ماده بیشتر باشد جذب آلاینده بهتر).

در مواردی که سلیکاژل به صورت بسته های داخل لوله تهیه نمی شود باید سلیکاژل را قبل از استفاده با اسید سولفوریک شسته و تصفیه نمود.

برای نمونه برداری از دی اکسید نیتروژن از مولکول آغشته به تری اتانول آمین استفاده می شود.

از سیلیکاژل برای جمع‌آوری آمین‌های آلی، نیترو بنزن‌ها، ترکیبات آمینواتانول و آمین‌های آروماتیک استفاده می‌گردد.

معمول‌ترین حلال برای بازیافت ترکیبات شیمیایی از سیلیکاژل اتانول و متانول است.

### مزایای نمونه‌برداری با سیلیکاژل :

امکان پذیر بودن حمل وسیله‌ی نمونه‌گیر، سهولت نمونه‌برداری، استفاده نشدن از مایعات در موقع نمونه‌برداری، امکان تجزیه مجدد و استفاده هم زمان برای نمونه‌برداری از چند ترکیب شیمیایی.

### مولکولرسیو:

به بنیان‌های کربنی گرافیتی مشهور است که در نتیجه پیرولیز پلیمرهای مصنوعی یا بعضی ترکیبات پترولیوم تهیه می‌گردد و دارای انواع اسفروکرب، کربوکسن، کربوسیو و پوراسیو می‌باشد.

**نکته:** از مولکولرسیو به منظور نمونه‌برداری از هیدرو کربن‌های فرار موجود در هوای شهرها استفاده می‌گردد.

### کربوترپ:

شکل گرافیتی کربن است که در نتیجه ی حرارت دادن ترکیبات کربن تا ۲۰۰۰ درجه تحت عبور یک گاز بی‌اثر تولید می‌گردد. (قابلیت به دام‌اندازی ترکیبات زیادی را دارد و تا ۴۰۰ درجه حرارت را تحمل می‌کند).

**نکته:** قابلیت به دام‌اندازی مواد در کربوترپ بیشتر از تناس می‌باشد.

**نکته:** کربوترپ ترکیبات با وزن مولکولی بالا را نمی‌تواند به راحتی به دام اندازد.

### انواع کربوترپ:

**کربوترپ ۳۷۰:** قابلیت به دام‌اندازی مواد چند حلقه ای را دارد.

**کربوترپ ۳۰۰:** جهت نمونه‌برداری از مواد فرار کاربرد دارد این نوع کربوترپ دارای یک بخش کربوسیو است و جهت به دام‌اندازی مولکول‌های کوچک مثل وینیل کلراید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**کربوترپ ۲۰۰:** برای ترکیبات مولکولی با وزن مولکولی بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

🔍 **نکته:** کربوترپ یک جاذب سطحی بسیار حساس بوده به طوری که با باز بودن دو طرف آن حتی در مدت یک دقیقه باعث جمع آوری مواد آلاینده در سطح آن می گردد.

🔍 **نکته:** کربوترپ قابلیت استفاده مجدد تا ۵۰۰ بار را داشته همچنین روش بازیافت آن از طریق بازیافت حرارتی است.

در خصوص نمونه برداری با کربوترپ (کربن گرافیت) دبی ۵۰ تا ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه با هدف تهیهی حجم هوای ۱ تا ۶ لیتر پیشنهاد شده است.

#### کروموزب و پروپاک:

این دو جاذب سطحی در نمونه برداری از آلاینده ها و پر کردن ستون های کروماتوگرافی کاربرد دارند که شامل ترکیبات مختلفی از استیرن با دی وینیل بنزن، اتیل وینیل بنزن و سایر ترکیبات قطبی وینیل بنزن هستند .

🔍 **نکته:** کروموزب و پروپاک در بازیافت حرارتی و شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرند.

🔍 **نکته:** جاذب های سطحی با نام XAD و ORBO در دو گروه کروموزب و پروپاک وجود دارند.

XAD<sub>2</sub> ، معادل کروموزب ۱۰۲ است که برای نمونه برداری از آلاینده های مختلف استفاده می شود .

ORBO-2 معادل کروموزب ۱۰۱ است که شامل پلیمر استیرن و دی وینیل بنزن است (به دلیل تحمل حرارت زیاد از این جاذب های سطحی در دستگاه بازیافت حرارتی استفاده می شود).

#### تناکس:

تناکس جاذب آب و CO<sub>2</sub> نیست به همین دلیل کاربرد زیادی در نمونه برداری شغلی و محیطی دارد.

🔍 **نکته:** تناکس جهت نمونه برداری از ترکیبات آلی با غلظت خیلی کم کاربرد دارد.



تناکس درجه حرارت ۳۵۰ درجه را تحمل می کند و در نتیجه بازیافت حرارتی دارد. تناکس با مواد اکسیدکننده همچون کلرین، اوزون، اکسید نیتروژن و اکسیدهای سولفور وارد واکنش می شود. راه جلوگیری از ورود مواد اکسیدکننده به تناکس استفاده از سدیم تیوسولفات بر روی فیلتر الیاف شیشه ای یا فیلترهای تفلونی در زمان نمونه برداری می باشد.

#### جهت تمیز کردن و استفاده مجدد از تناکس:

شستشو با متانول یا استون و عبور یک گاز بی اثر در درجه حرارت ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه تا کاملاً تمیز گردد.

تناکس با دو نام تجاری تناکس GC و تناکس TA در دسترس است. آمبرزرب: ترکیباتی بین کربن فعال و پلیمرهای خلل و فرج دار است. آلومیناژل: ترکیبی از اکسید آلومینیوم که به ندرت برای نمونه برداری استفاده می گردد.

**کله نکتہ:** ترکیبات قطبی و ترکیبات با وزن مولکولی بالا به وسیلهی آلومیناژل جذب می شود.

**فلورسیل:** ساختمان شیمیایی آن بر اساس اسید سیلیسیک است که جهت نمونه برداری از بی فنیل پلی کلرینتند و بعضی از آفت کش ها مورد استفاده قرار می گیرد.

#### بطری های گاز شوی:

برای جمع آوری گازها و بخاراتی که به سهولت در مایع جاذب محلول بوده یا با آن واکنش می دهند مناسب است، اساس کار بطری های گاز شوی ایجاد تماس کافی بین هوای نمونه برداری شده و سطح مایع جهت جذب کامل مادهی آلاینده می باشد. عواملی در جمع آوری آلاینده به وسیله بطری های گاز شوی موثرند ← دبی، حلالیت آلاینده در محلول جاذب، پخش و انتشار آلاینده در مایع، فشار بخار آلاینده در دمای نمونه برداری (فراریت)، فراریت مایع جاذب، واکنش پذیری آلاینده با محلول، مدت زمان نمونه برداری، نوع آلاینده.

نکته: بیشترین کاربرد را در بین بطری‌های گازشوی متوسط<sup>۱</sup> و بالبرهای متخلخل<sup>۲</sup> دارند.

در بطری‌های متخلخل لوله‌های ورودی هوا در انتها به صورت یک بستر متخلخل در آمده که هوای وارد شده از بستر متخلخل عبور کرده و این سطوح متخلخل باعث می‌شوند که سطح تماس گاز با بخار افزایش یافته و به همین خاطر کارایی آن‌ها بالاست. (اگر در محیط ذره وجود داشته باشد باید از پیش‌فیلتر استفاده کرد).

#### فیلتر:

روش متداول جهت نمونه‌برداری از آئروسول‌های موجود در هوا استفاده از فیلتر است.

#### مکانیسم‌های جمع‌آوری مواد روی فیلتر :

برخورد روی سطح فیلتر، جلوگیری از خروج مواد، چسبندگی، انتشار و الکتریسیته ساکن.

#### عوامل موثر در انتخاب فیلتر :

خلل و فرج فیلتر، نوع آلاینده در محیط کار، رطوبت محیط، بار فیلتر و افت فشار. فیلترهایی که جهت جمع‌آوری ترکیبات آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند: غشایی استر سلولوزی، پلی وینیل کلراید، پلی تترا فلوئورو اتیلن و فایبرگلاس.

#### انواع فیلتر های غشایی استر سلولزی:

استر نیترات، استراستان، استرهای مخلوط (مخلوطی از استر نیترات و استر استان)

فیلترهای استراستات نسبت به فلوی بالاو تبادلات شیمیایی مقاوم بوده و خاصیت بی‌اثر بودن این فیلتر ها بیش از استرهای مخلوط است.

معایب فیلترهای استرسلولزی: نازکی، تردی و مسدود شدن آن‌ها به وسیله‌ی قطرات مایع

<sup>1</sup> Midjet impinge

<sup>2</sup> Fritted bubblers

🔍 **نکته:** فیلترهای استرسلولزی به راحتی در اسید حل می شوند و جهت جمع آوری فلزات و تجزیه ی با جذب اتمی کاربرد دارند.

#### فیلترهای غشایی نقره ای:

جهت آماده سازی نمونه های تعیین شده در هوا در تجزیه با دستگاه پراش اشعه X کاربرد دارد.

🔍 **نکته:** تنها فیلتری که بعد از خشک شدن قابلیت استفاده مجدد را دارد فیلترهای غشایی نقره ای هستند.

🔍 **نکته:** در صورتی که آئروسول ها در هوا وجود داشته باشد نباید از فیلترهای نقره ای استفاده گردد. زیرا عاملی مزاحم است و باعث ایجاد سولفید نقره در فیلتر می شود. (این فیلترها برای جمع آوری آئروسول های مایع مناسب هستند).

🔍 **نکته:** فیلترهای پلی وینیل کلراید<sup>۱</sup> بیشتر جهت نمونه برداری از ذرات استفاده می شوند.

فیلترهای PVC کمتر جاذب رطوبت بوده و به راحتی در استون حل می شوند. از این فیلترها جهت نمونه برداری از سیلیکا، اکسید روی، و ترکیباتی که تجزیه ی آنها با پراش X است استفاده می گردد.

🔍 **نکته:** قدرت مکانیکی فیلترهای PVC ضعیف است و قطرات مایع باعث جمع شدن فیلتر می شوند.

فیلتر پلی تترا فلورو اتیلن<sup>۲</sup>: نسبت به اسیدهای رقیق، ترکیبات و حلال های آلی و مایعات خورنده مقاوم بوده و بخارات با درجه حرارت ۱۰۰-۲۶۰ درجه را تحمل می کنند.

#### فیلتر فایبر گلاس:

راندمان جمع آوری آن زیاد بوده و مقاومت حرارتی مناسبی دارد، در مقابل

<sup>۱</sup> PVC

<sup>۲</sup> PTFE