

تصفیه کننده های هوا (پالایشگرها) Air Cleaning Devices (Collectors)

معیارهای انتخاب پالایشگر

▶ معیارهای فنی

- ویژگیهای آلاینده
- ویژگیهای جریان حامل آلاینده
- بازده تصفیه

▶ معیارهای محیطی

- فضای فیزیکی
- تأسیسات جانبی مورد نیاز

▶ معیارهای اقتصادی

- هزینه اولیه، نگهداری و عملیاتی سیستم
- امکان بازیافت آلاینده

طبقه بندی پالایشگرها

▶ غبارگیرها (Dust Collectors):

شامل اتاقکهای ته نشینی، سیکلونها، فیلتراسیون، الکتروفیلترها،

اسکرابرهای تر

▶ گاززداها (Gas Cleaning Devices):

شامل جاذبهای سطحی، اکسیداسیون حرارتی و کاتالیستی، میعان،

بیورآکتورها، اسکرابرها و ...

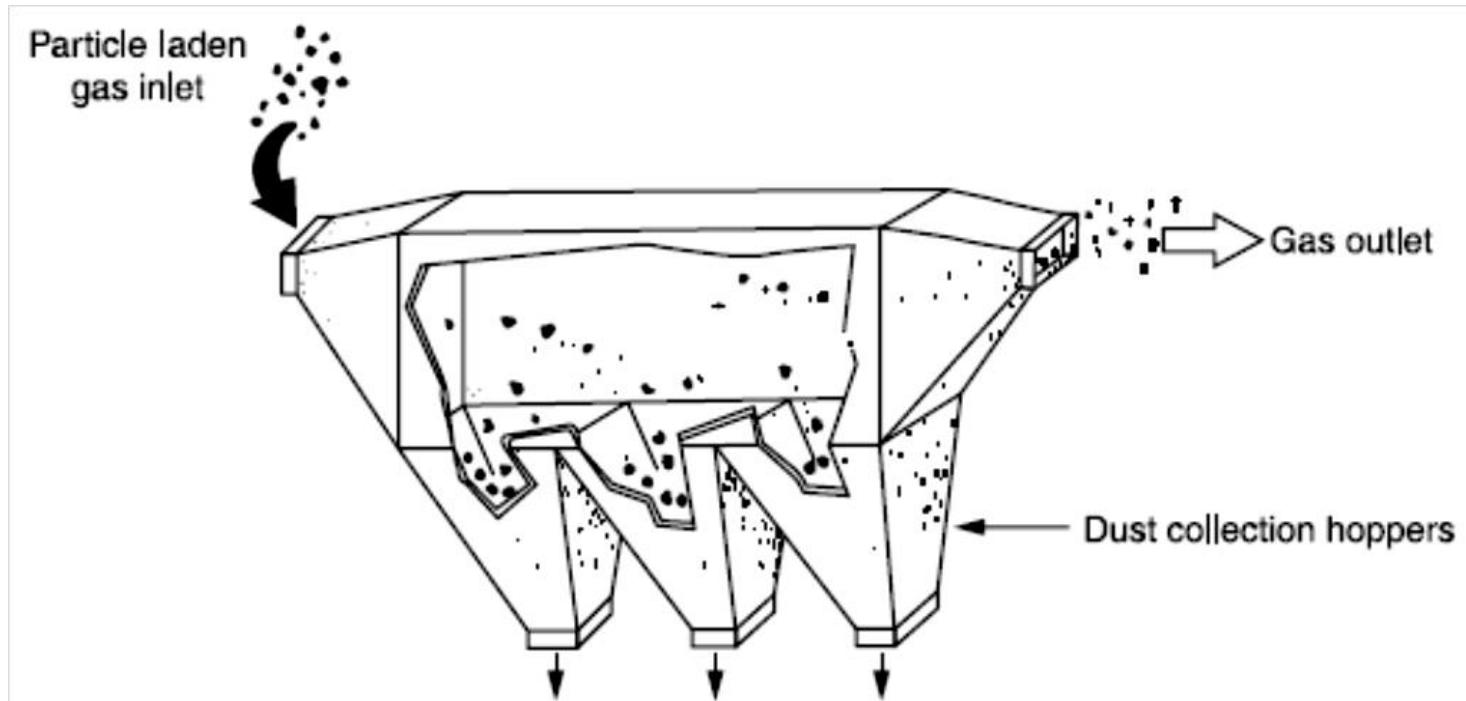
اتاقکهای ته نشینی

- ▶ یکی از وسایل اولیه کنترل ذرات منتشره که از یک اتاقک انبساطی تشکیل شده است. سرعت گاز در این اتاقک تا حدی کاهش می یابد که ذرات با استفاده از نیروی ثقل قادر به ته نشینی باشند.
- ▶ در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته و عمدتاً برای حذف ذرات درشت جریان هوا تا محدوده سایز ۴۰-۶۰ میکرومتر بکار می رود.
- ▶ مکانیسم اصلی جداسازی ذرات در این غبارگیر مبتنی بر نیروی ثقل زمین است در حالیکه در غبارگیرهای دیگر جداسازی ذرات با این مکانیسم سهم اندکی در جمع آوری ذرات دارد.
- ▶ افت فشار این اتاقکها کم و معمولاً کمتر از ۲ in.w.g می باشد.
- ▶ مزایا: ساختار ساده، هزینه اولیه و نگهداری کم، افت فشار پائین و دفع ساده ذرات گرفته شده
- ▶ معایب: بازده پائین حذف ذرات ریز، نیاز به فضای فیزیکی بزرگ

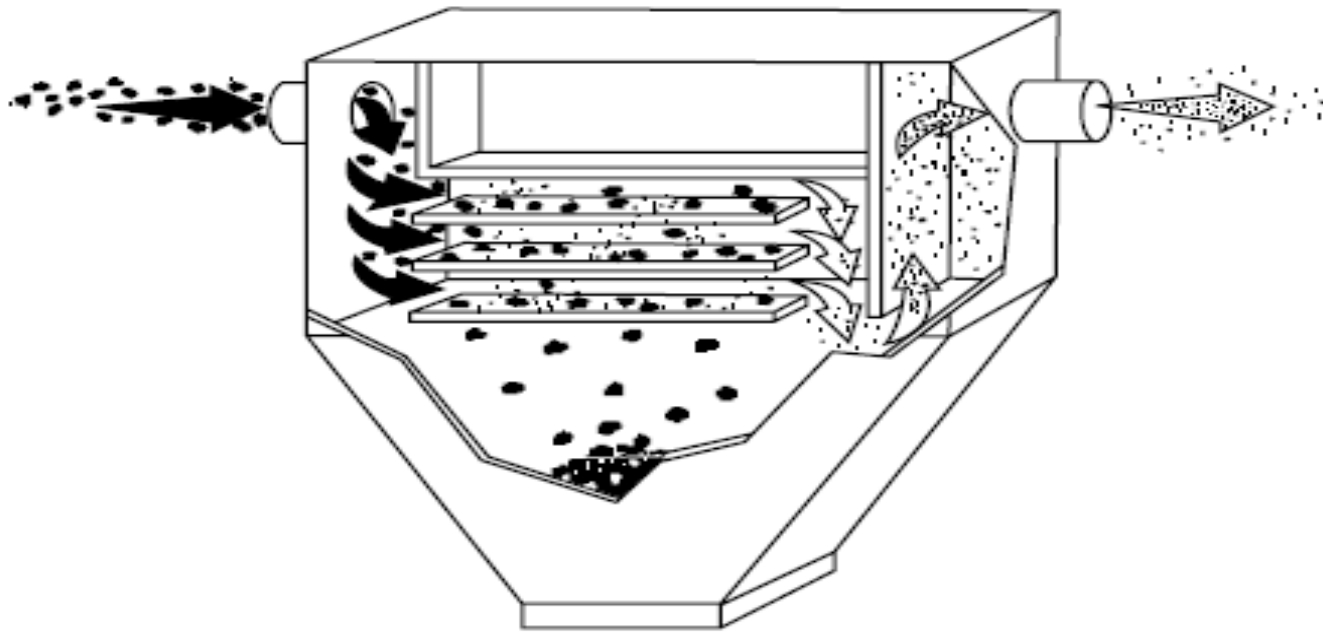
طبقه بندی

- ▶ اساساً دو نوع رسوب دهنده ثقلی وجود دارد که عبارتند از : اتاقک انبساطی ساده و اتاقک ته نشینی چندطبقه
- ▶ اتاقک انبساطی شبیه یک جعبه افقی بلند متشکل از یک ورودی، خروجی و هاپر می باشد. جریان هوا با عبور از ورودی دستگاه وارد اتاقک انبساطی شده و در آنجا سرعت جریان هوا کاهش می یابد.
- ▶ کاهش سرعت جریان هوا تا حد $1-10 \text{ ft/s}$ باعث ته نشینی ذرات درشت تحت تأثیر نیروی ثقل زمین می شود.
- ▶ از لحاظ تئوریکی اتاقک ته نشینی با طول نامحدود قادر به جمع آوری ذرات خیلی کوچک ($10 \mu\text{m}$) نیز می باشد.
- ▶ نرخ ته نشینی مؤثر ذرات با افزایش آشفتگی جریان، کاهش می یابد لذا بایستی سرعت جریان گاز در این اتاقک تا حد امکان کم باشد. سرعت بالا باعث بلند شدن مجدد ذرات ته نشین شده نیز می شود. از طرفی سرعتهای خیلی کم نیز باعث افزایش فوق العاده اندازه اتاقک می شود.

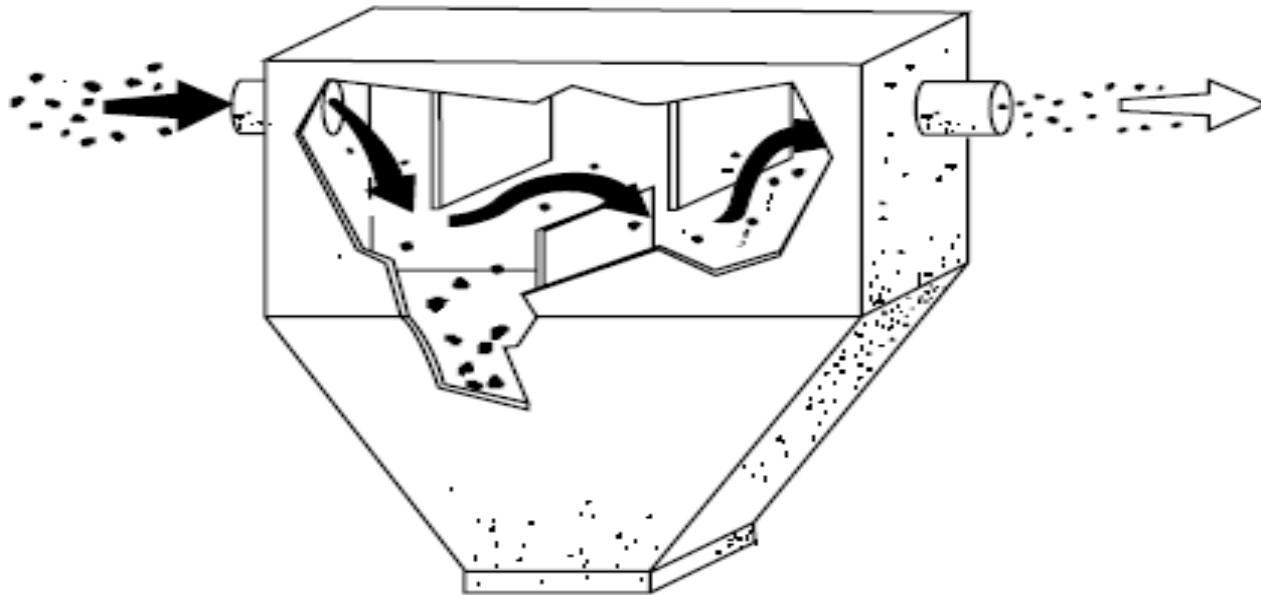
اتاقک ته نشینی با جریان افقی



اتاقک ته نشینی چند طبقه



اتاقک ته نشینی سپردار



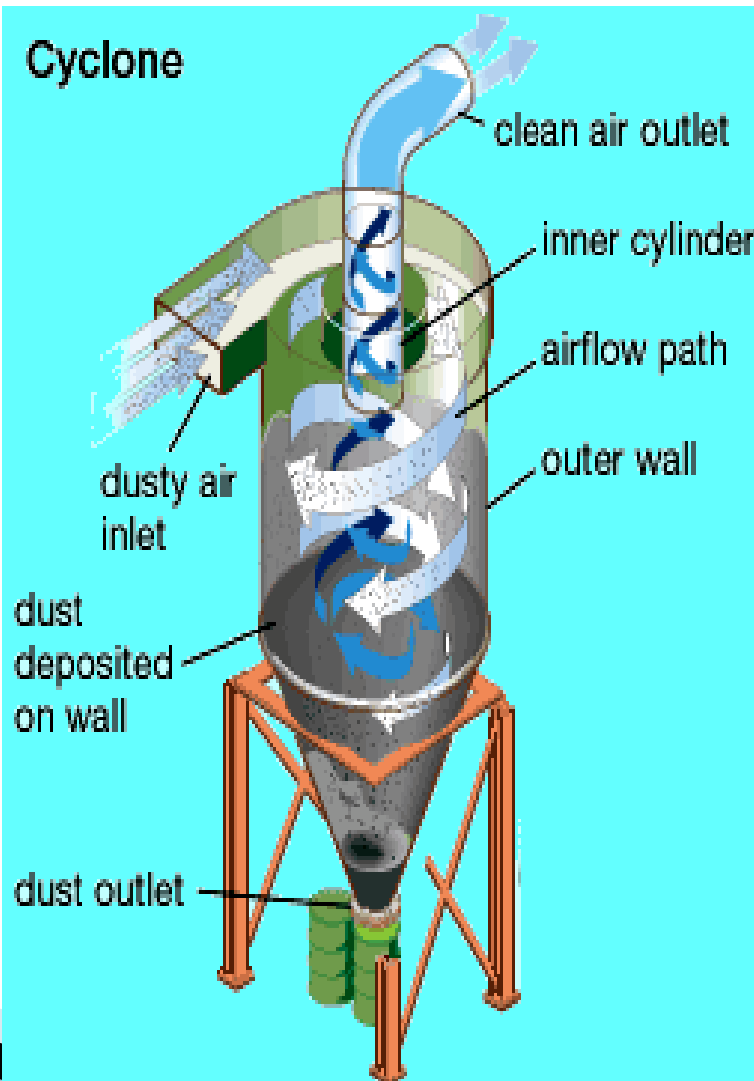
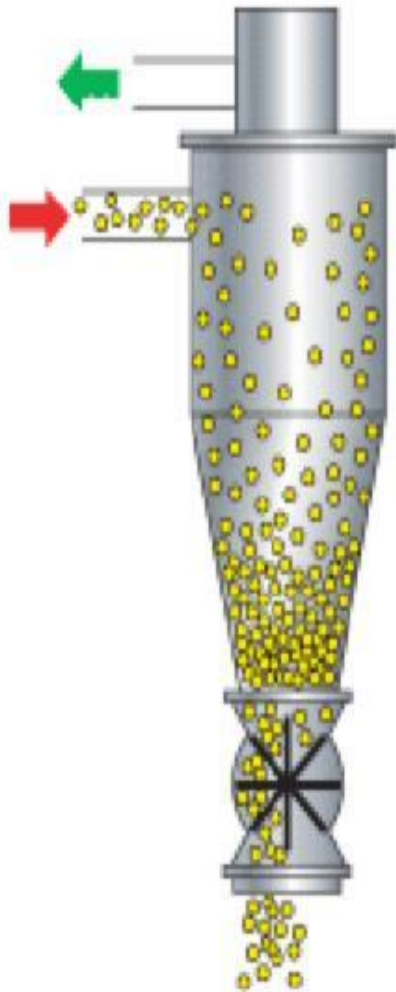
سیکلون (Cylone)

- ▶ وسیله ای شناخته شده برای جداسازی جامدات از سیالات
- ▶ اولین سیکلون در سال ۱۸۸۶م ساخته شده و بیش از یک قرن است که بطور گسترده در صنایع هم به عنوان غبارگیر و هم به عنوان سرت کننده مواد پودری مورد استفاده قرار می گیرد
- ▶ وسایلی ساده و ارزان قیمت که نیاز به نگهداری چندانی ندارند.
- ▶ به عنوان پالایشگر اصلی یا پیش پالایشگر مورد استفاده قرار می گیرند.
- ▶ برای جداسازی ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرون کارائی خوبی داشته و برای ذرات کوچکتر از آن کارائی کم دارند.
- ▶ برای ذرات چسبنده و مرطوب چندان توصیه نمی شوند.

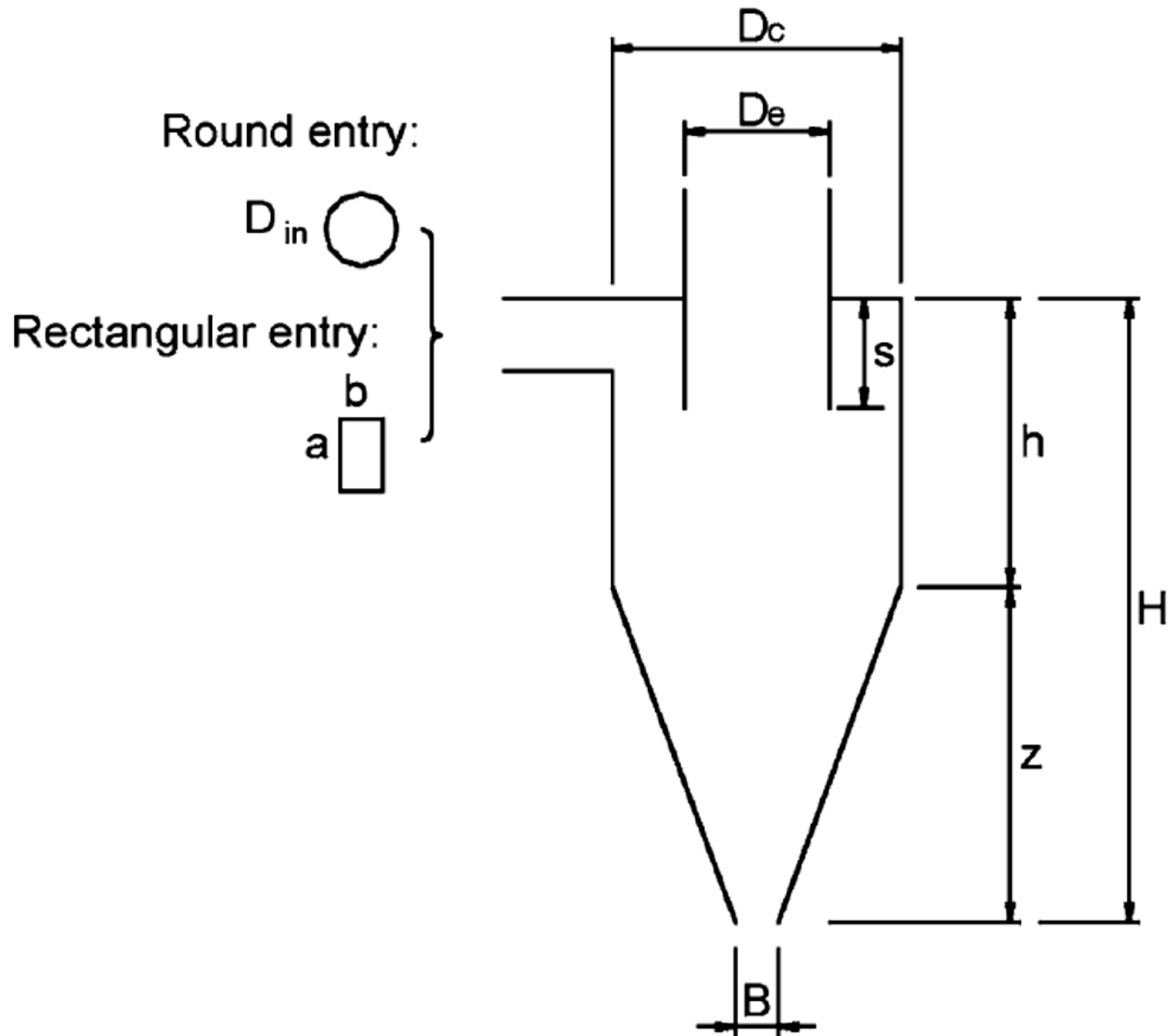
ساختار و اصول کار

- ▶ دارای بدنه ای استوانه ای شکل است که با زاویه ۷-۱۰ درجه به یک مخروط ناقص متصل شده است.
- ▶ دارای ورودی مماسی است که توسط آن یک سوسپانسیون گازی وارد سیکلون شده و بصورت چرخشی (Vortex) بصورت نزولی حرکت می کند.
- ▶ جریان هوا توسط نیروی گریز از مرکز با دیواره سیکلون برخورد کرده و ذرات موجود در آن بدلیل جرم و اینرسی از جریان جدا شده و سقوط می کنند.
- ▶ جریان چرخشی نزولی پس از طی کل ارتفاع سیکلون مجدداً بصورت جریان چرخشی با شعاع کمتر اما صعودی حرکت و از بالای سیکلون خارج می شود.

ساختار و اصول کار سیکلون



پارامترهای هندسی سیکلون



طراحی سیکلون

- ▶ انتخاب مدل مناسب سیکلون بر اساس بازده مورد انتظار
- ▶ انواع سیکلون

- ۱- سیکلون با هواگذر بالا (High Throughput) یا بازده پائین
- ۲- سیکلون متداول (Conventional)
- ۳- سیکلون راندمان بالا (High Efficiency)

تعیین سایر مشخصات هندسی سیکلون با توجه به نسبت مشخص آنها با قطر بدنه

جدول راهنمای تعیین قطر بدنه و سایر ابعاد هندسی سیکلون

Dimensions for the Design of Standard Cyclones

Family: Use:	Lapple General purpose	Swift General purpose	Stairmand High efficiency	Swift High efficiency	Stairmand High flow rate ^a	Swift High flow rate ^a
Q/D_c^2 (m ³ /h)	6,860	6,680	5,500	4,940	16,500	12,500
a/D_c	0.5	0.5	0.5	0.44	0.75	0.8
b/D_c	0.25	0.25	0.2	0.21	0.375	0.35
H/D_c	4.0	3.75	4.0	3.9	4.0	3.7
h/D_c	2.0	1.75	1.5	1.4	1.5	1.7
D_e/D_c	0.5	0.5	0.5	0.4	0.75	0.75
B/D_c	0.25	0.4	0.375	0.4	0.375	0.4
S/D_c	0.625	0.6	0.5	0.5	0.875	0.85
ΔH	8.0	7.6	6.4	9.2	7.2	7.0

^aHalf-scroll entry.

فیلتراسیون

- ▶ در ۴ دسته کلی فیلترهای لیفی، منسوج، غشایی و گرانولی تقسیم می شوند.
- ▶ فیلترهای لیفی بدلیل ساختار بازشان، مقاومت کمی در برابر عبور جریان هوا داشته و یکبار مصرف هستند.
- ▶ فیلترهای منسوج از الیاف پارچه ای ساخته شده اند که در یک فرم فشرده بصورت بافته شده **Woven** و یا نمد مالی شده (**Felted or Non Woven**) فرآوری می شوند. اگرچه بخشی از غبار به شکل فیلتراسیون عمقی جدا می شوند اما عمده غبار به شکل کیک بر روی سطح فیلتر جمع می شود. این فیلترها قابل تمیز شدن و استفاده مجدد هستند و در شرایطی که تراکم یا بار غبار زیاد است به کار می روند. مقاومت آنها نسبت به عبور جریان هوا بالا است.
- ▶ فیلترهای گرانولی از بسترهای پر شده با دانه های هم سایز تشکیل شده اند که عمدتاً به روش فیلتراسیون عمقی عمل می کنند (مقاومت بالا)
- ▶ فیلترهای غشایی: از مواد متخلخل یا لیفی بسیار فشرده ساخته شده اند که فقط چند میکرومتر ضخامت دارند و اصولاً بر اساس فیلتراسیون سطحی عمل می کنند.
- ▶ رایجترین فیلترها در تصفیه ذرات، فیلترهای لیفی و منسوج است که جنس الیاف آنها ممکنست طبیعی یا مصنوعی باشد.

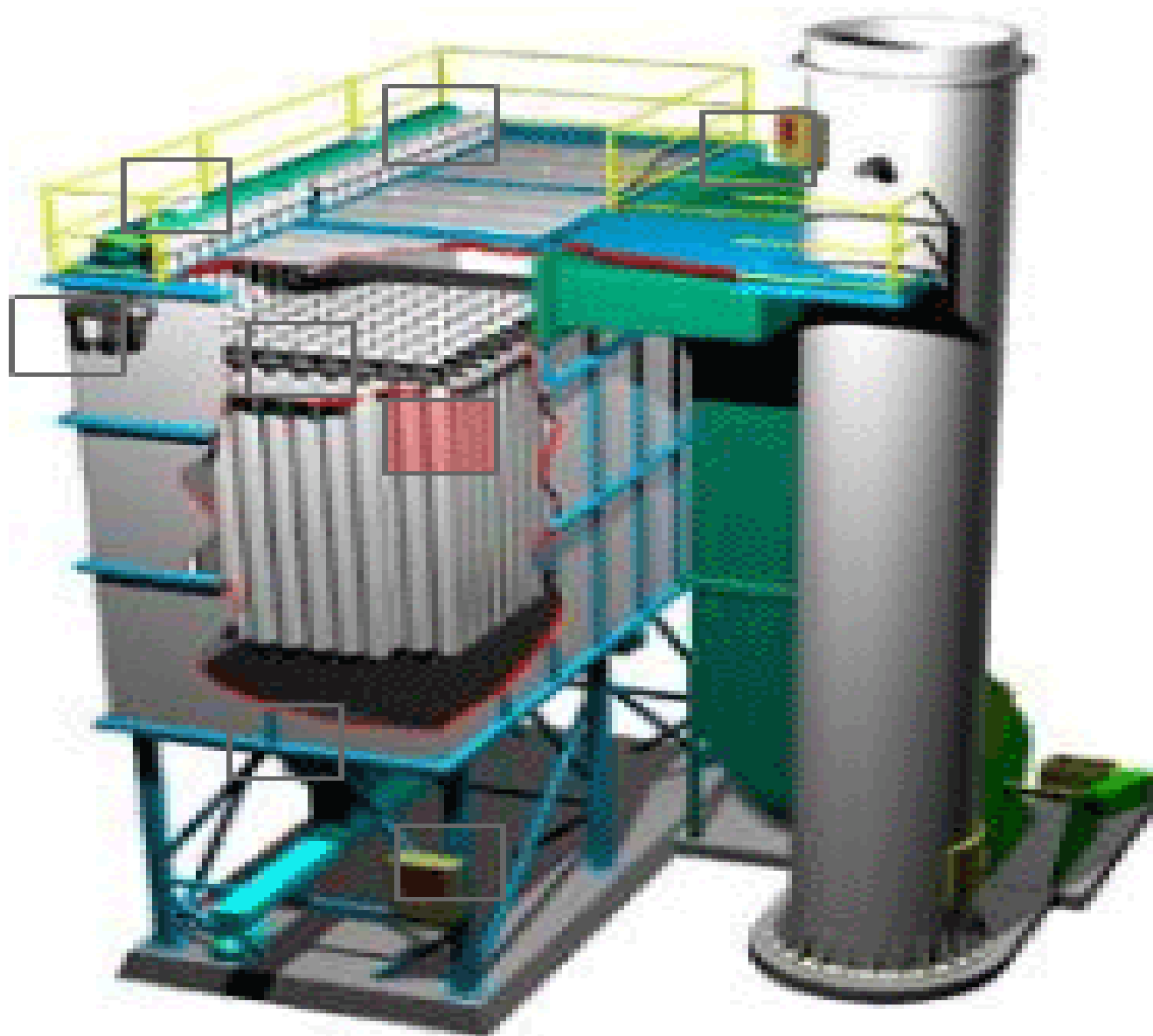
Media filtration

- ▶ کاربرد جهت کنترل غبار اتمسفری، غبار آزاردهنده و بازیافت مواد
- ▶ پروسه های پاک (کلاس تمیزی)
- ▶ مشخصات مدیا: پیش فیلتر و فیلتر اصلی
- ▶ فیلترهای اصلی شامل انواع هپا، اولپا و سولپا
- ▶ مشخصات فیلترها شامل افت فشار اولیه، افت فشار نهایی، ظرفیت غبارگیری، راندمان ربایش غبار اتمسفری و راندمان ربایش غبار مصنوعی
- ▶ تعیین افت فشارها
- ▶ تعیین سه مشخصه بعدی (دو دسته آزمون)

فیلترهای کیسه ای (Bag Houses)

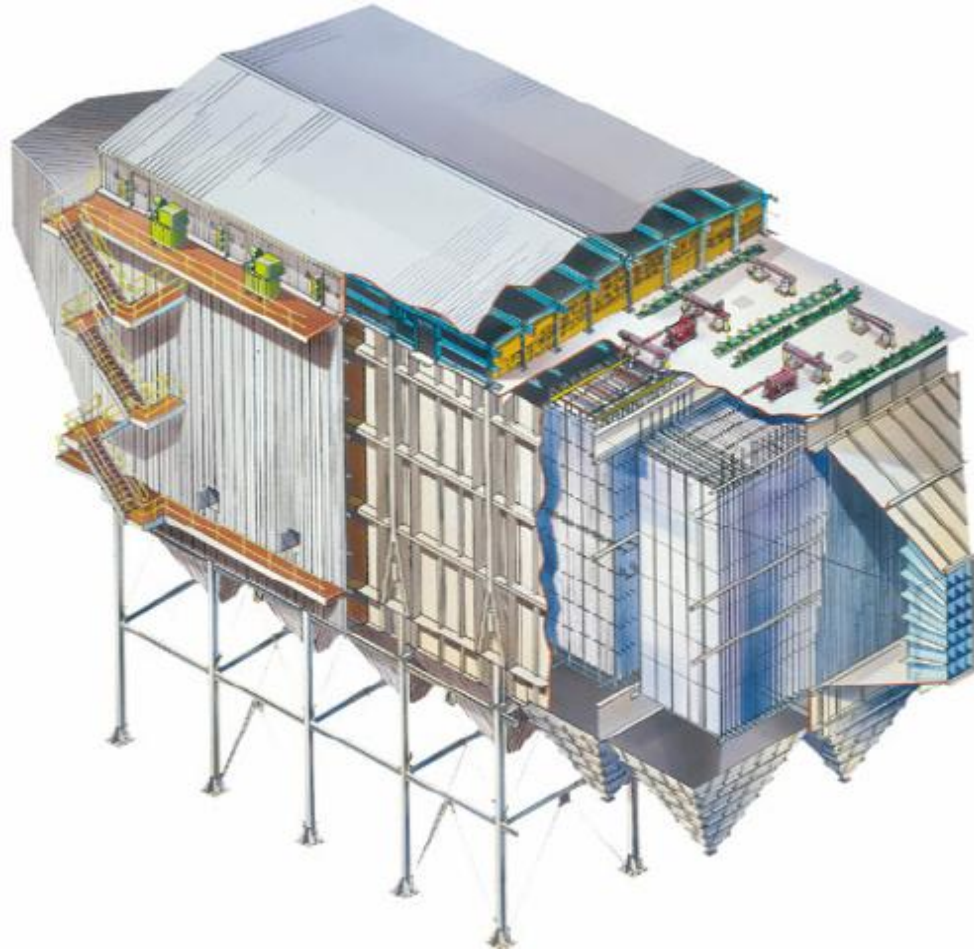
- ▶ طرح رایج فیلترها در صنایع
- ▶ جنس فیلترها عمدتاً منسوج
- ▶ دارای بازده بالا در کنترل ذرات
- ▶ انتخاب جنس مناسب فیلتر، تعداد و ابعاد فیلترها و روش پاکسازی مناسب فیلترها
- ▶ فیلترها یکبار مصرف نبوده و پس از پاکسازی مجدداً بکار می روند
- ▶ افت فشار معمول فیلترها حدود ۴-۸ in.w.g

طرح یک فیلتر کیسه ای



رسوب الکترواستاتیکی

Electrostatic Precipitation



رسوب دهنده های الکترواستاتیکی (الکتروفیلتر)

- ▶ یکی از پرکاربردترین وسایل کنترل آلودگی هوا است که ظرفیت پذیرش حجمهای بزرگی از هوای آلوده با دما، فشار، حجم غبار بالا و گازهای اسیدی را دارد. در ضمن آنها قادرند رنج گسترده ای از ذرات با سایزهای مختلف را در شرایط خشک و تر جمع آوری نمایند.
- ▶ برای بسیاری از صنایع، بازده جمع آوری آنها می تواند به بیش از ۹۹ درصد برسد.
- ▶ اولین ESP تجاری توسط **Hutchings** و **Walker** طراحی و در یک کارگاه ذوب سرب در **Baggily** واقع در شمال ولز به کار رفت (۱۸۸۵ م) اما چندان موفقیت آمیز نبود.
- ▶ اصول **ESP** اولین بار توسط یک دستیار شیمی دانشگاه کالیفرنیا در برکلی به نام دکتر **Frederick G. Cottrell** ارائه و در سال ۱۹۰۶ م اولین **ESP** تجاری موفق
- ▶ اولین انحصار نامه (ثبت و بهره برداری از اختراع) در ۱۹۰۸ م برای **ESP** یک مرحله ای استوانه ای شکل با ولتاژ بالا ثبت شده است.
- ▶ **ESP** نوع دو مرحله ای در دهه ۱۹۳۰ م ساخته شد. انواع کوچکتر و کارآتر در اواخر دهه ۱۹۳۰ م توسط شرکت **Westinghouse** ساخته شد
- ▶ مدلهای امروزه دارای بازدهی ۹۹/۹ درصد و بالاتر هستند اما اگر درست طراحی و ساخته نشده باشند، کوچکترین تغییر در خواص ذره یا قطره یا جریان گاز می تواند تأثیر عمده ای روی بازده **ESP** داشته باشد.

مزایا و معایب ESP

مزایا

- ▶ بازده حذف بالا برای ذرات و قطرات ریز
- ▶ قابلیت پذیرش حجم زیاد هوا با افت فشار کم
- ▶ امکان جمع آوری مواد پودری خشک و میستها و دمه های تر
- ▶ تحمل دماهای بالا (تا حدود 700°C)
- ▶ هزینه های عملیاتی پائین (بجز در بازده های بالا)

معایب

- ▶ هزینه های اولیه و سرمایه گذاری بالا
- ▶ عدم کنترل آلاینده های گازی
- ▶ نیاز به فضای فیزیکی زیاد
- ▶ انعطاف پذیری کم به تغییر شرایط کاری
- ▶ تغییر بازده حذف با خواص ذره یا قطره

تئوری و اصول کار

► این فرآیند در چهار مرحله به شرح زیر انجام می شود:

- ۱- ذرات یا قطرات در حین عبور از یک میدان الکتریکی باردار می شوند.
- ۲- ذرات یا قطرات باردار شده توسط یک نیروی الکترواستاتیکی بر روی سطوح الکتروندهای جمع آوری متصل به زمین با بار مخالف منتقل می شوند.
- ۳- ذرات یا قطرات باردار شده با رسیدن به سطوح الکتروندهای جمع آوری خنثی می شوند.
- ۴- ذرات یا قطرات جمع شده توسط **Rapper** یا وسایل دیگر از سطوح جمع آوری جدا شده و به سمت هاپر زیر **ESP** هدایت می شوند.

اسکرابرهای تر

- ▶ تعریف و کاربرد اسکرابرهای تر
 - ▶ طبقه بندی از جنبه های مختلف انجام شده است. برای اسکرابرهای مخصوص ذرات، طبقه بندی اسکرابرها براساس افت فشار آنها است:
 - ۱- اسکرابرهای کم انرژی : افت کمتر از ۵ in.w.g
 - ۲- اسکرابرهای با انرژی متوسط : افت فشار بین ۵ تا ۱۵ in.w.g
 - ۳- اسکرابرهای پرانرژی: افت فشار بیشتر از ۱۵ in.w.g
- عملاً بدلیل دامنه گسترده عملکرد یک اسکرابر برای افت فشارهای مختلف چنین طبقه بندی در برخی موارد مشکل است
- ▶ روش دوم طبقه بندی اسکرابرها بر اساس کاربرد آنها برای کنترل ذرات یا گازها (تمایز کامل امکانپذیر نیست)
 - ▶ روش دیگر طبقه بندی بر اساس روش تماس فازهای مایع و گاز است

مقایسه مزایا و معایب اسکرابر تر نسبت به غبارگیرهای دیگر

مزایا:

- ▶ قابلیت تحمل رطوبت و دماهای بالا
- ▶ امکان حذف همزمان ذره و گاز
- ▶ خنکتر شدن گاز خروجی و کوچکتر شدن تجهیزات لازمه
- ▶ خنثی کردن گازهای خورنده
- ▶ عدم امکان آزاد شدن مجدد غبار گرفته شده
- ▶ حداقل خطر احتراق یا انفجار

معایب:

- ▶ لزوم حذف میست خروجی
- ▶ مشکلات تصفیه یا دفع فاضلاب تولیدی
- ▶ افزایش توان مصرفی در راندها
- ▶ بالای حذف ذرات
- ▶ بازیافت مشکل مواد گرفته شده
- ▶ مشکلات اقلیمی

اصول کار اسکرابرهای تر

ذرات:

- ▶ متغیرهای فرآیندی مؤثر در ربایش ذره شامل اندازه ذره، اندازه قطره و سرعت نسبی برخورد ذره و قطره است
- ▶ اندازه ذره مهمترین عامل است
- ▶ کلید ربایش مؤثر ذره، ایجاد هسته قطرات ریز است

گازها و بخارات:

- ▶ آلاینده باید در مایع اسکرابر قابل حل باشد
- ▶ زمان ماند و اختلاط خوب بین مایع و گاز برای حل شدن فراهم شود
- ▶ مقدار مایع تزریق شده نسبت به حجم جریان گاز (L/G) عامل مهمی است (هم برای گازها و هم برای ذرات)

برخی از طرحهای رایج اسکرابرهای تر

- ▶ **اسکرابر ونچوری:** ساختار مشابه ونچوری، بازده حذف بالای ذرات (حتی در حد میکرون) و بازده حذف متوسط گازها، دارای افت فشار بالا (100 in.w.g - ۲۰)
- ▶ **اسکرابر بستردار:** گزینه ای مناسب برای کنترل آلاینده های گازی، با استفاده از بسترها در داخل اسکرابر سطح تماس خوب بین جریان گاز و مایع جادب فراهم می شود. دارای افت فشار 1 in.w.g - ۰٫۲۵ به ازاء هر فوت ارتفاع بستر
- ▶ **اسکرابر مه پاش:** بازده حذف خوب برای ذرات با سایزهای بزرگ و تا حد ۲-۸ میکرومتر، بازده خوب برای حذف گازهای انحلال پذیر، افت فشار کم در حد 3 in.w.g - ۰٫۵، نیازمند فشار مایع بالا و قطرات ریز برای کارایی مناسب
- ▶ دیگر طرحهای اسکرابرها شامل برجهای صفحه ای، اسکرابرهای اریفیزی، ونچوریهای افشانکی، مه پاشهای سیکلونی، بستر متحرک، تر دینامیک، مه پاش سپردار، اسکرابرهای خشک و ... می باشد.

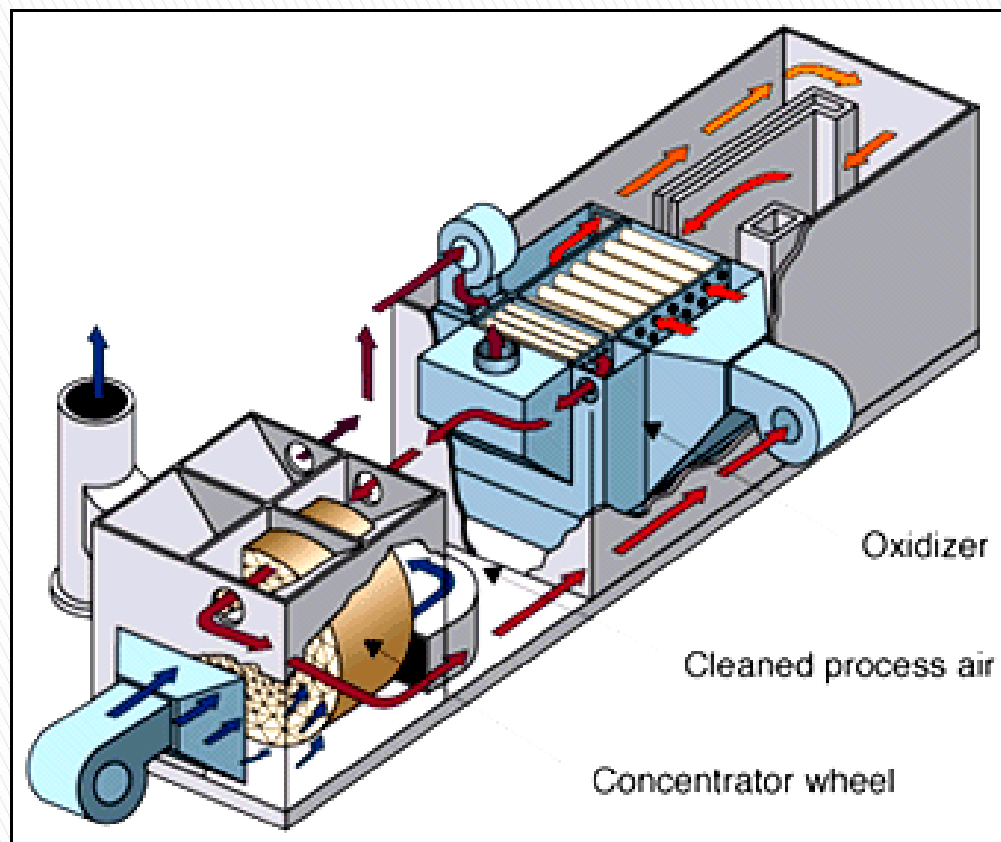
اکسیداسیون حرارتی و کاتالیستی

- ▶ جهت کنترل آلاینده های گازی بخصوص VOC ها بکار می رود.
- ▶ تجزیه آلاینده گازی از طریق اکسیداسیون آنها در دمای بالا (دمای بیش از 1000°f برای اکسیداسیون حرارتی و دمای $600-900^{\circ}\text{f}$ در اکسیداسیون کاتالیستی) و تبدیل آلاینده به CO_2 و بخار آب
- متغیرهای عملیاتی مهم ($3T$): شامل درجه حرارت، زمان ماند و میزان اختلاط
- فرمول شیمیائی آلاینده: مهمترین آن وجود هالوژنها در فرمولاسیون شیمیائی VOC
- ▶ انرژی مصرفی در این فرآیند به دو روش بازیافتی (Recuperative) و احیائی (Regenerative) مجدداً برای پیش گرم کردن هوای آلوده ورودی به دستگاه مورد استفاده قرار گرفته و باعث صرفه جوئی در هزینه های عملیاتی می شود.
- ▶ در اکسید کننده های کاتالیستی از کاتالیستهای از جنس فلزات باارزش یا اکسیدهای فلزی استفاده می شود.

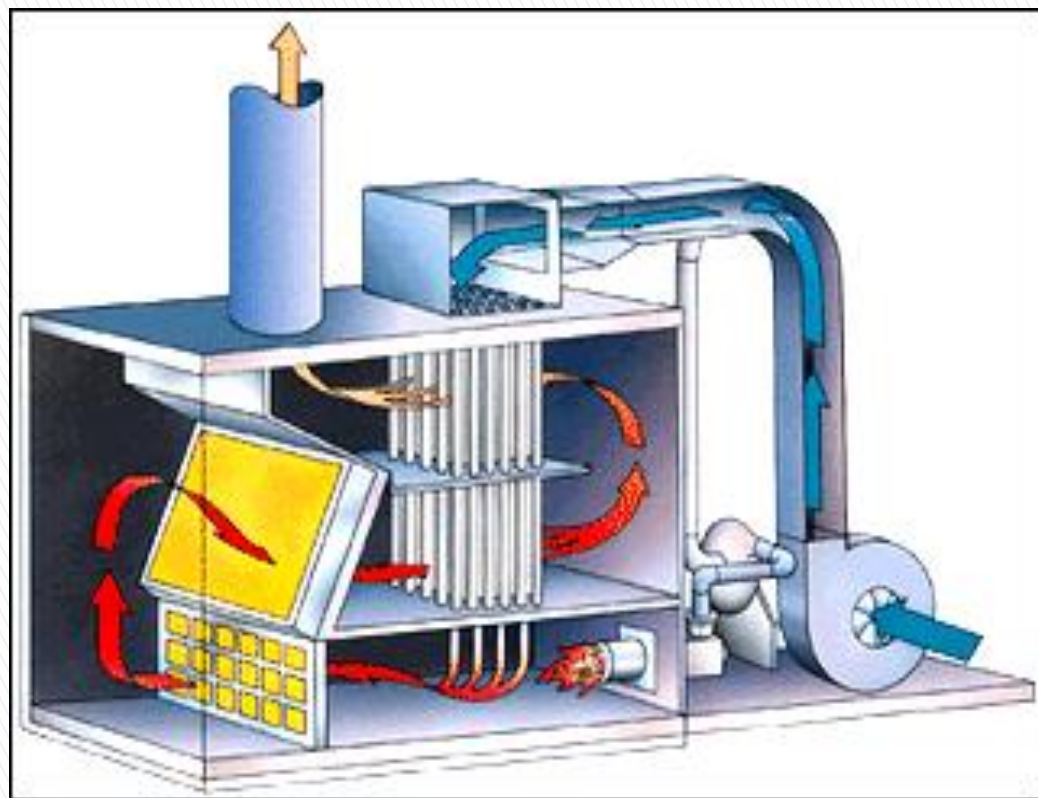
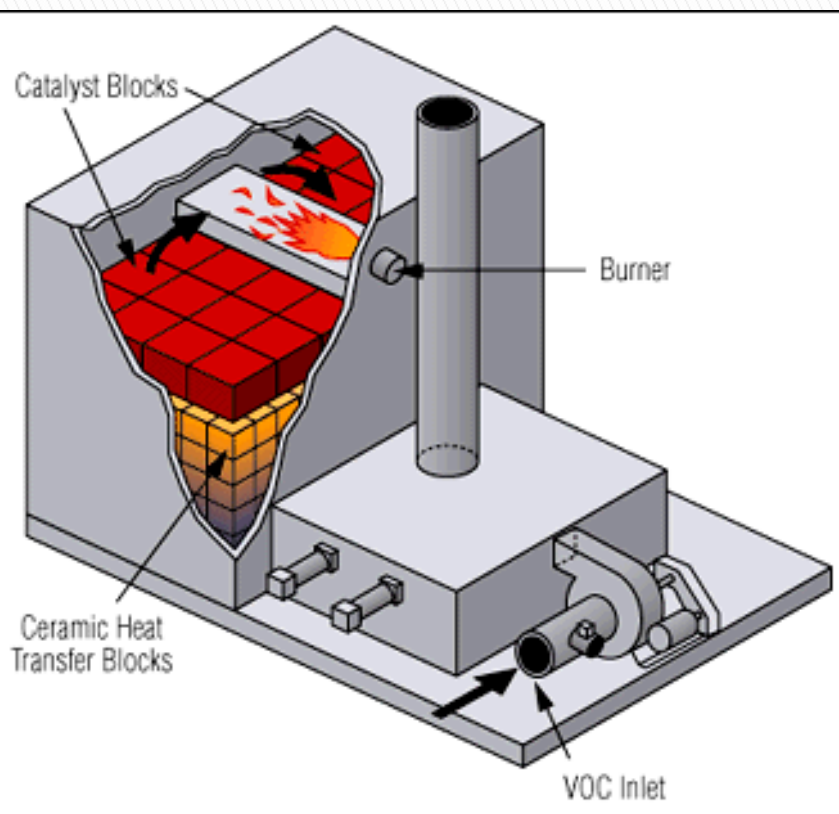
اکسید کننده حرارتی احیائی



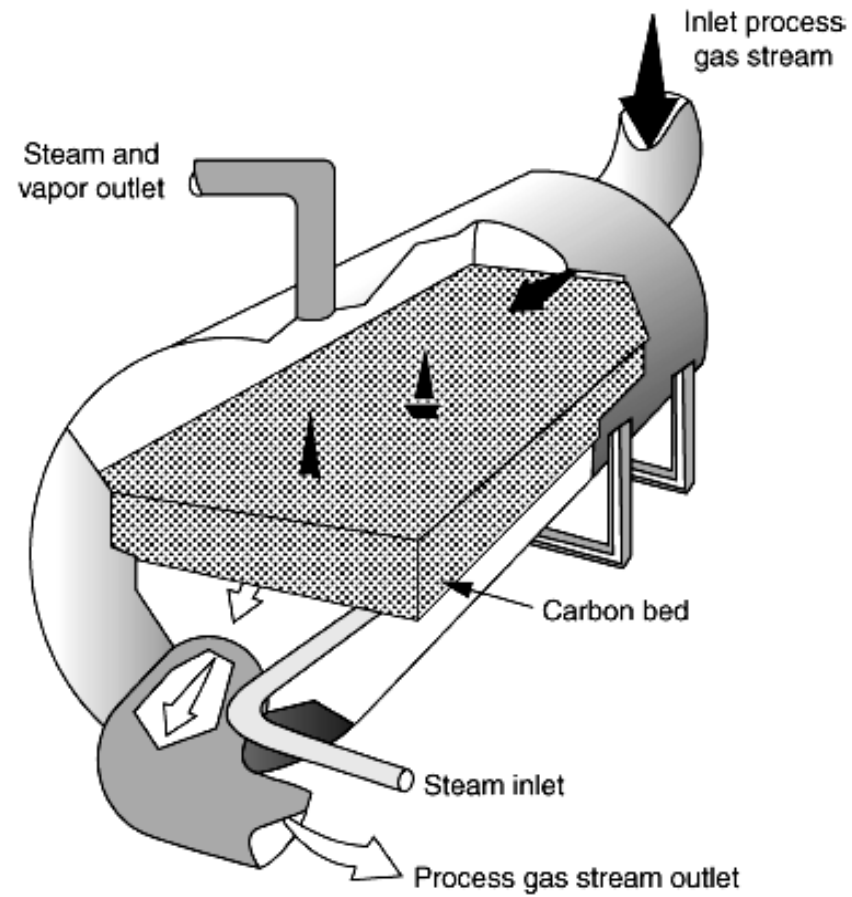
اکسید کننده حرارتی بازیافتی



اکسید کننده کاتالیستی احیائی



جذب سطحی



کلیات

- ▶ پدیده ای که در آن مولکولهای یک سیال (گاز یا مایع) بطور انتخابی حتی در تراکمهای خیلی کم از جریان حامل، به سطح ماده جامد متصل می شوند.
- ▶ ماده جذب شده را **Absorbate** و جاذب را **Adsorber** و فرآیند را **Adsorption** گویند.
- ▶ مکانیسم جذب سطحی پیچیده است و در کلیه تعاملات سیالات با مواد جامد، جذب سطحی ممکن است تا **حدودی** رخ دهد مگر آنکه ماده جامد دارای دو ویژگی زیر باشد (ویژگیهای جاذب خوب):
 - ▶ ۱- نسبت سطح به حجم بزرگ (تخلخل زیاد) ۲- تمایل ممتاز برای جذب ترکیبی خاص (**Affinity** بالا)

جذب سطحی کربن فعال

- ▶ رایجترین جذب سطحی مورد استفاده در کنترل آلودگی هوا کربن فعال است. این ماده صرفنظر از تغییرات تراکم، رطوبت و ... تقریباً قادر است کلیه بخارهای آلی را کم و بیش جذب کند.
- ▶ جذب بخارهای آلی توسط کربن فعال شامل دو مرحله اصلی جذب و اشباع انجام می شود که میزان جذب و حد اشباع برای ترکیبات و کربنهای مختلف یکسان نمی باشد.
- ▶ جذب فیزیکی مؤثر ترکیبات آلی عمدتاً برای بخارهای با وزن مولکولی بیشتر از هوا یا اجزاء آن و گازهای با وزن مولکولی بیشتر از ۴۵ امکانپذیر است که شامل بخارهای کلیه حلالها بجز متانول می باشد.
- ▶ ظرفیت ماند و نقطه شکست (Breakpoint) جذب پارامترهای عملیاتی مهم
- ▶ جذب کربنی فرآیندی گرمازا است.

جایگاه روشهای مختلف تصفیه آلاینده های گازی بر اساس تراکم آلاینده ودبی جریان

