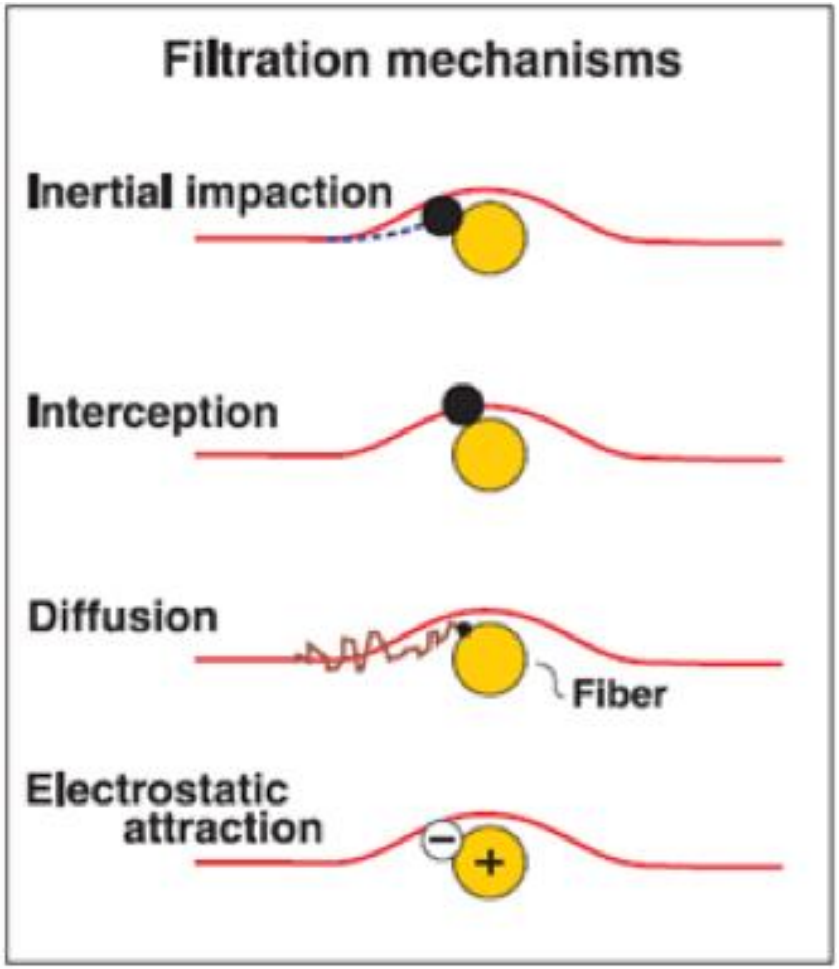
به‌نام خدا



کارشناسی پیوسته مهندسی بهداشت حرفه‌ای- ترم ۳

دانشگاه علوم پزشکی نیشابور

دانشکده بهداشت

مهدی جلالی

مربی و عضو هیئت علمی

دانشگاه علوم پزشکی نیشابور

jalalim1@nums.ac.ir
m_jalali63_hse@yahoo.com

❖روش های تولید و مکانیسم تشکیل آئروسل ها با منشأ مصنوعی:

- تولید مکانیکی آئروسل های خشک
- تولید مکانیکی آئروسل های قطرات مایع
- ایجاد آئروسل از طریق فرایندهای مولکولی

❖روش‌های تکامل آئروسل‌ها

- رشد ذره در اثر لخته‌سازی (Coagulation) یا توده‌شدن (Agglomeration)
- کوچکتر شدن در اثر واپاشی (Disintegration)
- تراکم (Condensation)
- تبخیر (Evaporation)

ویژگی‌های آئروسل‌ها

۱– تعریف واژه‌ها

تعاریف

- ذره (particle): هر نوع ماده پراکنده اعم از جامد یا مایع که هر واحد آن از یک مولکول بزرگتر (در حدود ۰.۰۰۰۲ میکرون قطر) و از ۵۰۰ میکرون کوچکتر باشد، ذره نامیده می‌شوند.

- آئروسل (Aerosol): پراکندگی ذرات جامد یا مایع در محیط گازی. این ذرات ممکن است میکروسکوپی باشند یا با چشم غیرمسلح دیده شوند. آئروسل ها شامل گردوغبار، مه، میست و ... است.

- هسته اتکین: ذراتی که شعاع آن‌ها کمتر از ۰/۱ میکرون است و رفتار آن‌ها در برخی جنبه ها شبیه مولکول های هوا است. ذرات هسته اتکین در تهیه کندانسیون برای تشکیل باران یا مه در طبیعت اهمیت دارد.

- ذرات تاری (Haze particle): ذراتی که قطر آن‌ها در حد طول موج نور مرئی یعنی بین ۰/۳۸ تا ۰/۷۶ میکرون است. این ذرات مزاحم عبور نور هستند.

تعاریف

- ذرات معلق کلی (TSP): ذرات با دامنه قطری ۰/۱ تا حدود ۳۰ میکرومتر در این گروه قرار می‌گیرند.ذرات معلق کلی دامنه وسیعی از ذرات شامل ذرات ریز و درشت و بسیار درشت را در بر می‌گیرد

- PM_{10}: ذراتی با قطر ۱۰ میکرومتر و کمتر که در دستگاه نمونه‌برداری با راندمان ۵۰٪ جمع‌آوری گردند (تعریف EPA). این ذرات به علت آنکه در دامنه ذرات قابل تنفس محسوب می‌شوند در مطالعات بهداشتی و آلودگی هوا اهمیت فراوانی دارند. بخش عمده‌ای از ذرات آلاینده تولیدی در محیط‌های کار و صنایع در دامنه PM_{10} قرار دارند.

- $PM_{2.5}$: ذراتی با قطر ۲/۵ میکرومتر و کمتر که در دستگاه جمع‌آوری PM2.5 با راندمان ۵۰٪ جمع‌آوری شوند (EPA). روش‌های سنجش انتشار و کنترل آلاینده‌های ذره‌ای که برای این ذرات بکار می‌رود با روش‌هایی که برای ذرات درشت و بسیار درش بکار می‌رود متفاوت است.

- ذرات زیر یک میکرومتر (Submicron): این ذرات معمولاً از لحاظ کنترل سخت‌ترین قسمت کار را تشکیل می‌دهند. ذرات با قطر ۰/۲ تا ۰/۵ میکرومتر در بسیاری از فرآیندهای احتراق، زباله‌سوزها و صنایع متالوژیکی به میزان قابل ملاحظه‌ای تولید می‌شوند.

- ذرات زیر ۰/۱میکرومتر: فرآیندهای مختلف صنعتی مثل فرآیندهای متالوژیکی و فرآیندهای احتراق قادر به تولید ذراتی با ابعاد ۰/۰۱ تا ۰/۱ میکرومتر می‌باشند. این ذرات را نانو ذره نیز می‌نامند. یکی از مهم‌ترین منابع تولید این ذرات در محیط‌های شغلی عمل جوشکاری می‌باشد.

ویژگی‌های آئروسل‌ها

۲– شکل آئروسل‌ها

۲- شکل آئروسل‌ها

- ذرات منتشر شده در هوا از منابع صنعتی و یا آنهایی که از فرآیندهای طبیعی تشکیل شده‌اند اشکال و چگالی‌های متفاوتی دارند.
- شکل ذرات به ترکیب و روش شکل گیری آنها بستگی دارد.
- **یکی از تقسیم‌بندی‌های متداول:**
  - ذرات ایزومتریک: به ذراتی گفته می شود که هر سه بعد آنها با هم برابر است و معمولاً اشکال کروی و چند ضلعی دارند.
  - ذرات صفحه ای: به ذراتی گفته می شود که طول آنها از عرض و ارتفاعشان بزرگتر است.
  - الیاف: به ذراتی گفته می شود که نسبت طول آنها به ضخامت حداقل ۳ به ۱ است.

ذرات به اشکال کروی، منشوری، میله‌ای، مکعبی، ورقی، متراکم و نامنظم بسته به نوع کار در محیط پخش می‌گردند.

۲- شکل آئروسل‌ها

- ذرات آئروسل مایع اشکال متقارن‌تر و نزدیک به کروی دارند. اما ذرات جامد دارای شکل‌های پیچیده‌تر می‌باشند.
- در معرفی تئوریهای ویژگی‌های آئروسل‌ها معمولاً فرض می‌شود که ذرات کروی شکل هستند و با استفاده از ضرایب تصحیح و استفاده از قطرهای معادل، این تئوریها را قادر می‌سازد تا برای ذرات غیرکروی نیز قابل استفاده باشند.
- اگرچه اندازه ذره در ارتباط با ویژگیهای ذرات در نگاه اول مهم می باشد، شکل ذره نیز به همان اندازه از اهمیت بالایی برخوردار است. بعضی مواقع اثر شکل ذره غالب تر از اثر اندازه ذره می باشد. برای مثال در فیبرها یا ذرات ورقه ای، شکل مهم تر از اندازه ذره می باشد.
- البته تأثیر شکل روی مقادیر خواص فیزیکی آئروسل‌ها بسیار عمده و قابل توجه نیست (به ندرت شکل باعث تغییر دو برابری یک ویژگی خاص از آئروسل‌ها می‌شود) و لذا برای تحلیل تقریبی، تأثیر شکل می‌تواند قابل صرفنظر باشد.

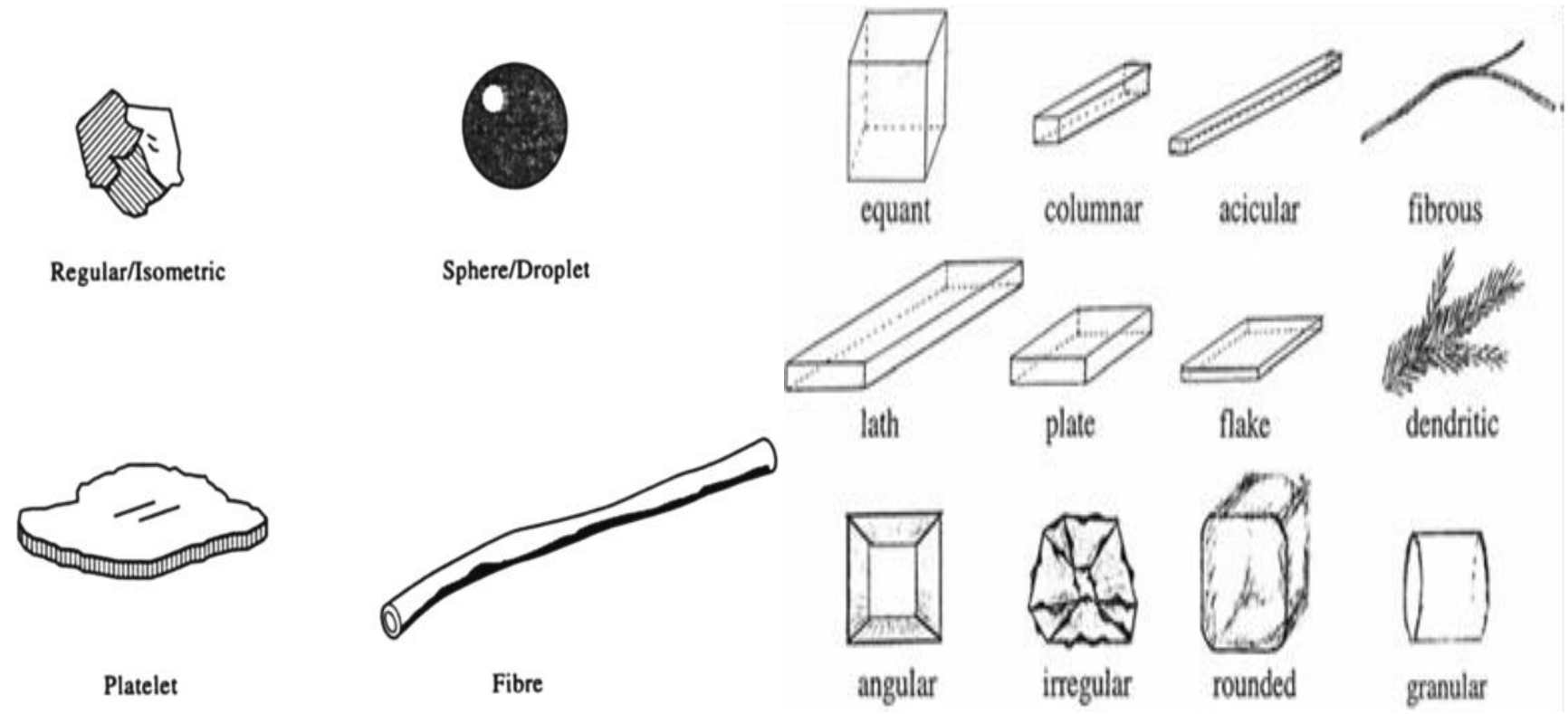
۲- شکل آئروسل‌ها

❖ دانسیته آئروسل:

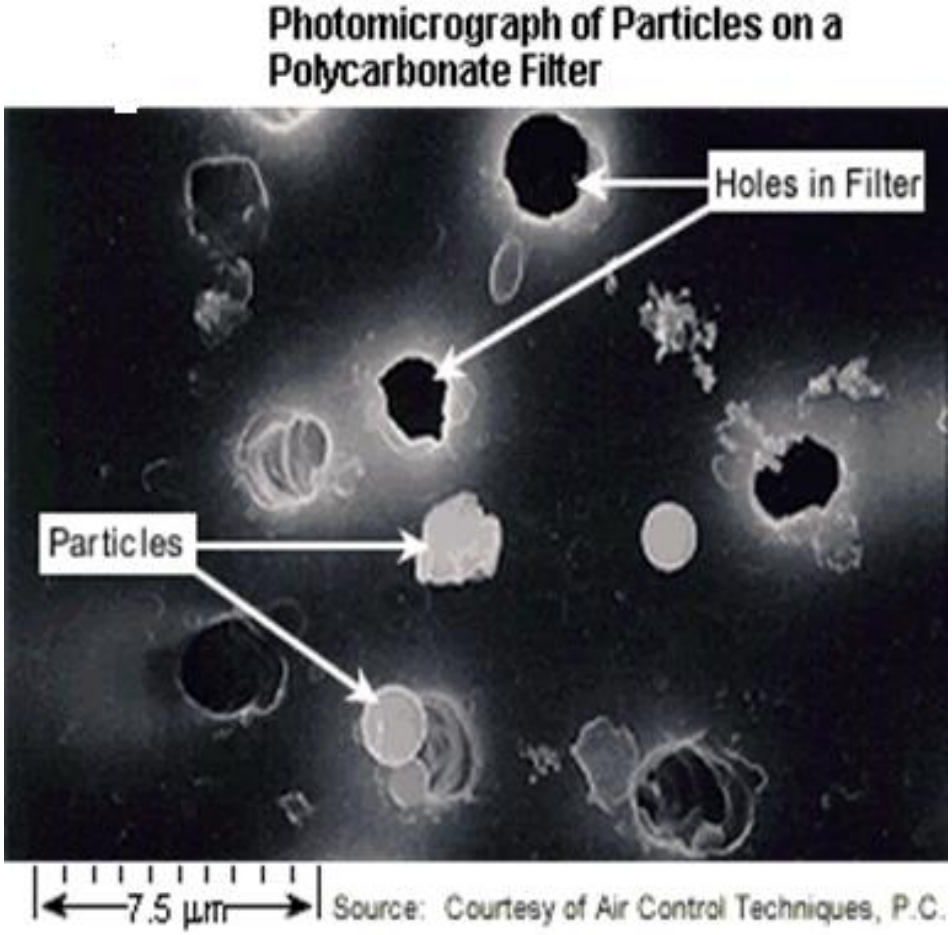
- ذرات جامد یا مایع حاصل از خردکردن، شکستن یا آسیاب‌کردن ماده اولیه معمولاً دارای دانسیته مشابه ماده اولیه خود هستند.
- اما ذرات دود و دمه بدلیل فضای خالی خیلی زیاد در بین ساختار خود، به مراتب دانسیته کمتر از ماده اولیه خود با فرمولاسیون شیمیایی مشابه می‌باشند.

۲- شکل آئروسل‌ها

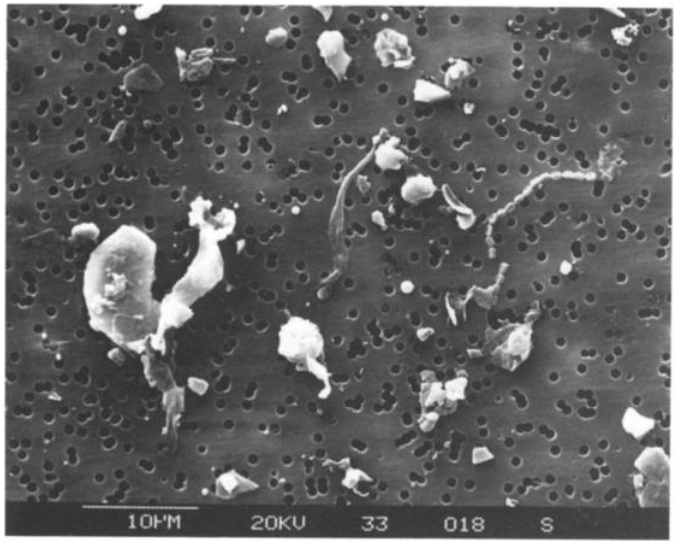
اشکال شماتیک آئروسل‌ها



۲- شکل آئروسل‌ها

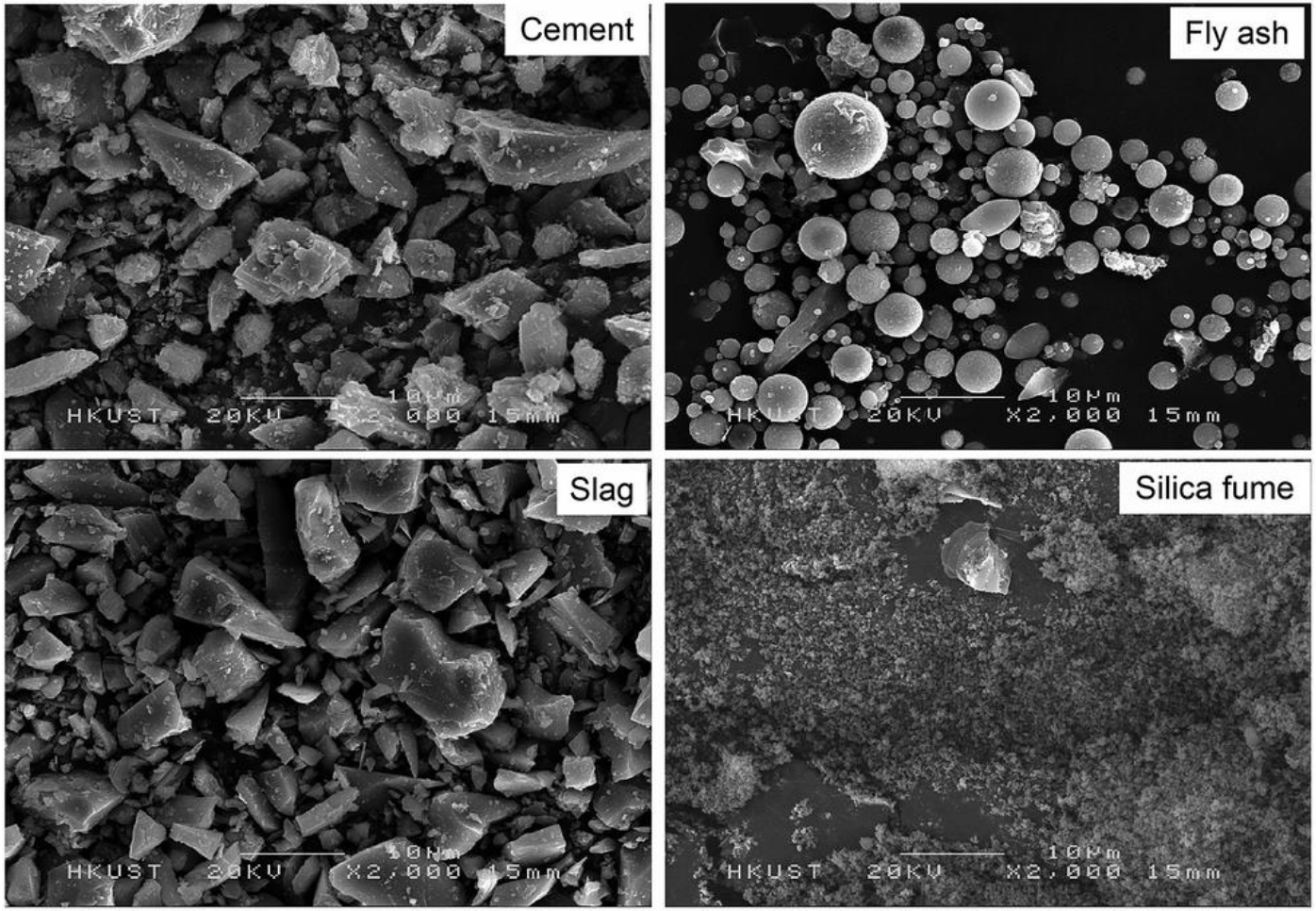


برخی از اشکال واقعی آئروسل‌ها



۲- شکل آئروسل‌ها

برخی از اشکال واقعی آئروسل‌ها



ویژگی‌های آئروسل‌ها

۳– غلظت آئروسل‌ها

۳- غلظت آئروسل

- رایج‌ترین ویژگی قابل سنجش آئروسل‌ها و مهم‌ترین آن برای اثرات بهداشتی و محیط زیستی
- غلظت یا تراکم آئروسل‌ها در هوا معمولاً بصورت جرمی و با واحدهائی مثل mg/m3، g/m3 و µg/m3 معرفی می‌شود.
- غلظت جرمی، جرم کل آئروسل موجود در واحد حجم مشخصی از هوا (فاز گازی) می‌باشد.
- مقیاس سنجشی دیگر آئروسل‌ها تراکم تعدادی آن‌ها است که معرف تعداد ذرات موجود در واحد حجم است.
- واحد تراکم تعدادی بر حسب تعداد/cm3 و یا تعداد /m3 می‌باشد. یک واحد قدیمی تر آن نیز mppcf (میلیون ذره در هر فوت مکعب) می‌باشد.
- تراکم تعدادی بیشتر برای الیاف و بیوآئروسل‌ها استفاده می‌شود.
- برای آئروسل‌ها بر خلاف آلاینده‌های گازی از واحد حجمی ppm (قسمت در میلیون) استفاده نمی‌شود. چون در بحث آئروسل دو فاز مختلف درگیر هستند.

ویژگی‌های آئروسل‌ها

۴– اندازه ذرات

٤- اندازه ذرات

- اندازه ذره پارامتری مهم در شناخت رفتار آئروسل‌ها می‌باشد. همه خواص آئروسل‌ها بنحوی با اندازه ذره ارتباط دارند.
- اکثر آئروسل‌ها دارای رنج گسترده‌ای از اندازه ذرات تشکیل‌دهنده می‌باشند که این رنج بطور معمول ۱۰۰ برابر می‌باشد.
- در دنیای ایده آل ویژگی‌های ذرات، تمام ذرات به شکل کره های همگن می‌باشند.
- نه تنها خواص آئروسل‌ها بلکه ماهیت قوانین ناظر بر این خواص نیز با تغییر اندازه آئروسل‌ها تغییر می‌کند.
- درک چگونگی تغییر خواص آئروسل‌ها با اندازه آن‌ها پایه فهم خواص آن‌هاست.
- کوچکترین آئروسل‌ها به اندازه بزرگترین مولکول‌های گازی هستند و دارای بسیاری از خواص آن‌ها می‌باشند.

٤- اندازه ذرات

- ذرات فوق‌العاده ریز (ultrafine particle) از رنج مولکول‌های بزرگ گازی تا ذرات با قطر ۱۰۰ نانومتر (۰/۱ - ۰/۰۰۱ میکرومتر) را شامل می‌شود.

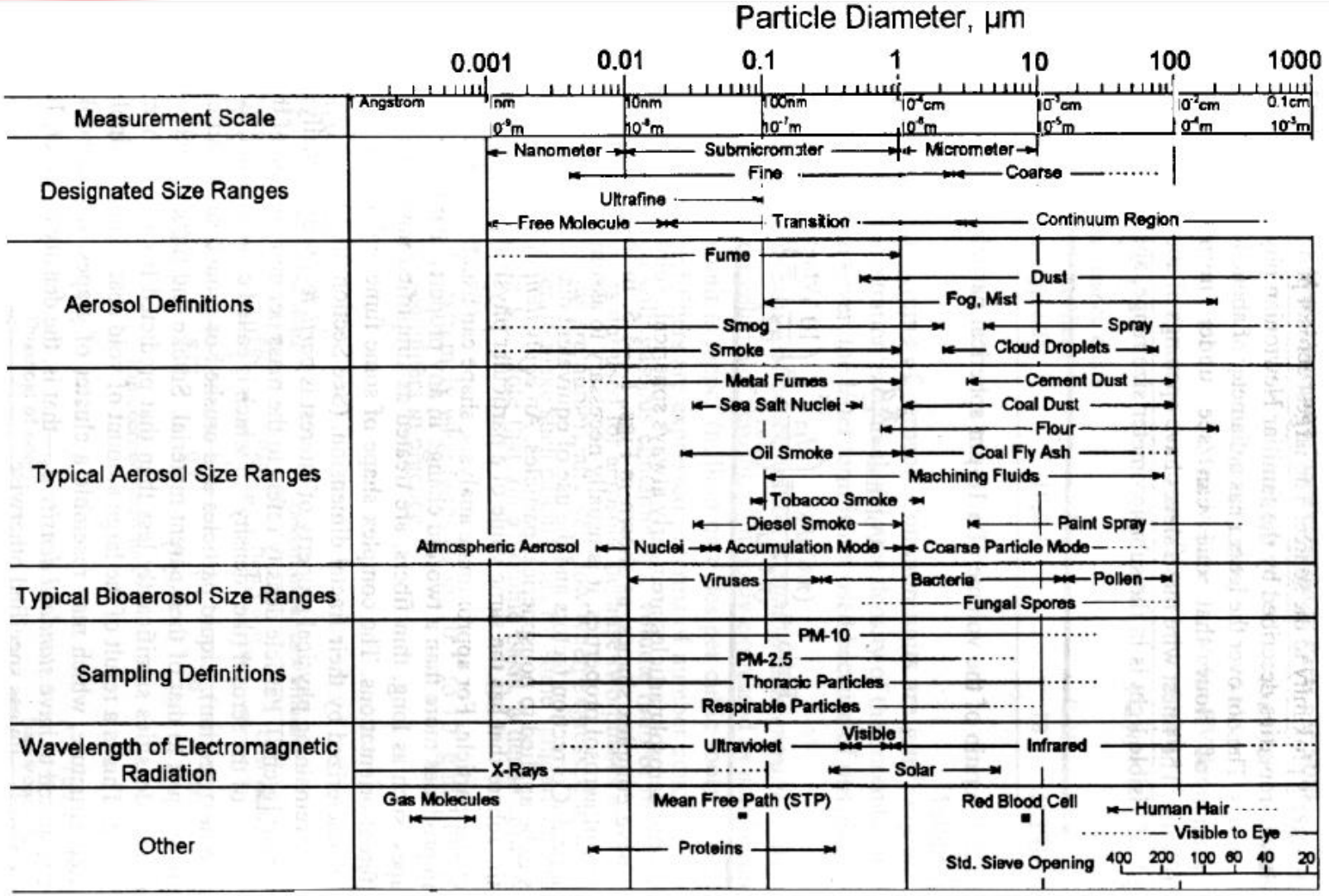
- ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرومتر دارای ثبات محدود در اتمسفر هستند اما می‌توانند منبع مواجهه شغلی کارگران نزدیک به منبع آلودگی باشند.

- اگر ذرات همگی کروی بودند بیان اندازه آنها راحت بوده و فقط با اندازه گیری قطر آنها می‌توان اندازه آنها را بیان کرد.

- اما همانطور که قبلا گفته شد ذرات به ندرت کروی بوده و یا شکل هندسی منظمی دارند.

- بنابراین برای این ذرات به نظر می رسد که واژه «قطر» به تنهایی قابل کاربرد نباشد و به درستی نتواند ابعاد ذره را مشخص نماید.

٤- اندازه ذرات



Particle size ranges and definitions for aerosols.

قطر ذره

- معمولاً قطر ذره معرف اندازه ذره می باشد.
- برای ذرات کروی تعیین قطر ذره ساده می‌باشد اما عمده ذرات دارای اشکال نامتقارن هستند که با روش‌های مختلف انواع قطرها تعیین شده و با روش‌های آماری قطر تقریبی و معادل برای آنها تعیین می گردد.

تعاریف مربوط به قطر ذرات

۱- **قطر هندسی واقعی (true geometric diameter):** برای ذرات کاملاً کروی شکل تعریف شده است اما تقریباً در تمام شرایط عملی، ذرات کروی نیستند.

۲- **قطر معادل یا قطر مؤثر ('effective' or 'equivalent' diameters):** این قطرها واقعی نیستند، اما ابعادی هستند که از دانسیته‌ها و برخی از دیگر ویژگی‌های (یا ترکیبی از ویژگی‌ها) ذره مشتق شده‌اند.

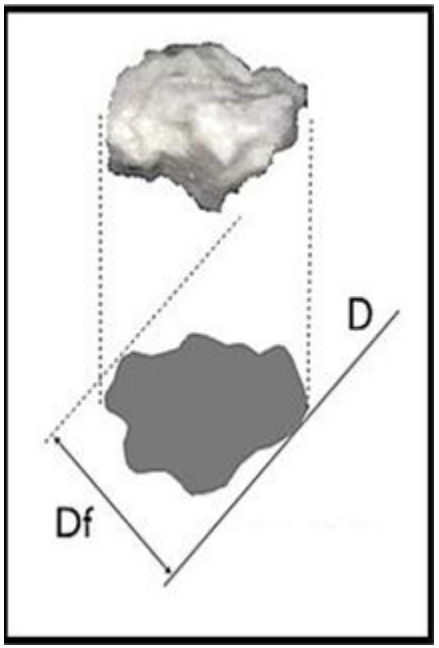
انواع این قطرها عبارتند از:

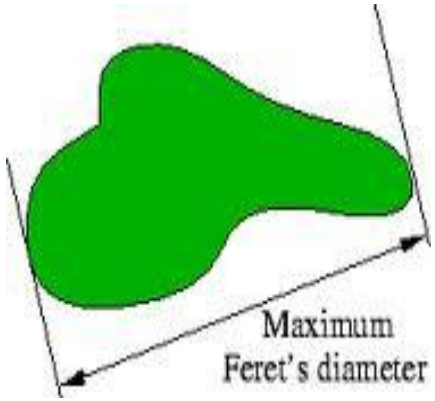
- ✓ قطر فرت (Feret Diameter) یا d_F
- ✓ قطر مارتین (Martin Diameter) یا d_M
- ✓ قطر معادل آئرودینامیکی (Equivalent Aerodynamic Diameter) یا d_{ae}
- ✓ قطر استوکس (Stockes Diameter) یا d_S
- ✓ قطر مساحت معادل تصویر ذره (Equivalent Projected Area Diameter) یا d_P
- ✓ قطر مساحت معادل سطح خارجی (Equivalent Surface Area Diameter) یا d_A
- ✓ قطر حجم معادل (Equivalent Valume Diameter) یا d_V

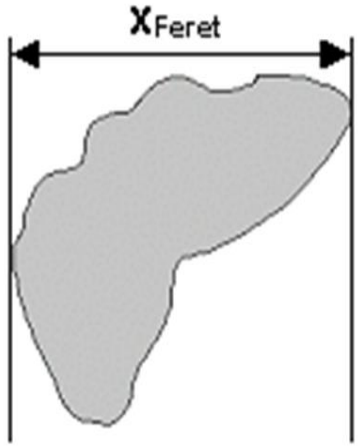
٤- اندازه ذرات

۴-۱- قطر فرت (Feret Diameter)

- عبارتست از فاصله بین دو حد نهایی ذره که می‌تواند در هر جهتی انتخاب شود ولی در هر جهتی که برای اولین ذره انتخاب شود برای بقیه نیز در همان جهت بایستی انتخاب گردد.
- معمولاًسطح افقی را جهت قطر فرت در نظر می گیرند.

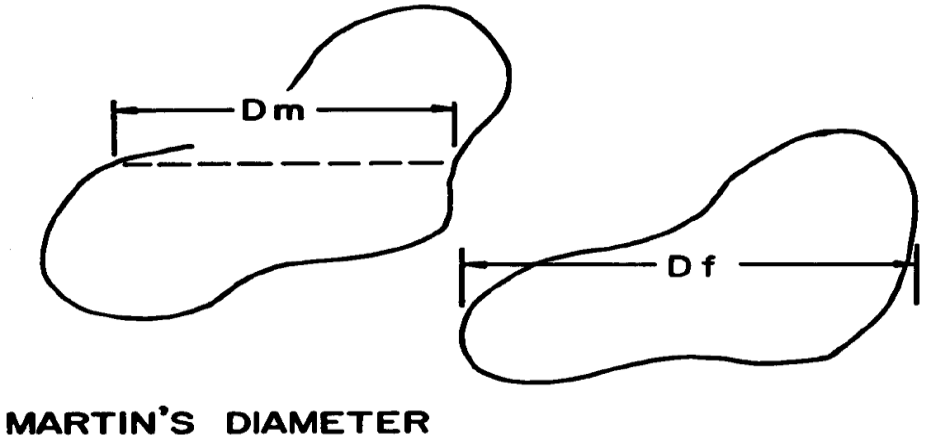


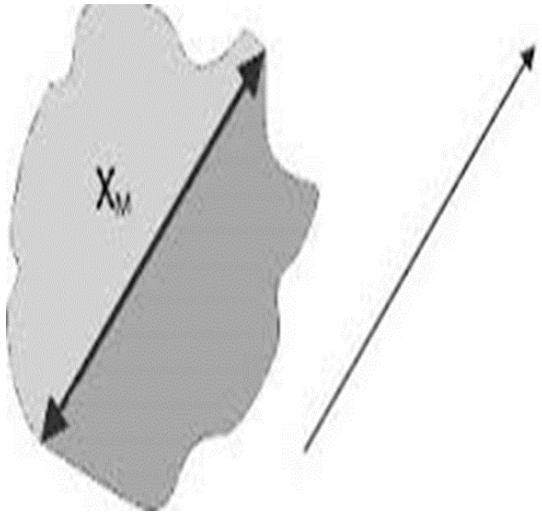




۴-۲- قطرمارتین (MartinDiameter)

❖ قطری است که در هر جهت می‌تواند انتخاب گردد مشروط بر آنکه ذره را به دو سطح مساوی تقسیم نماید.





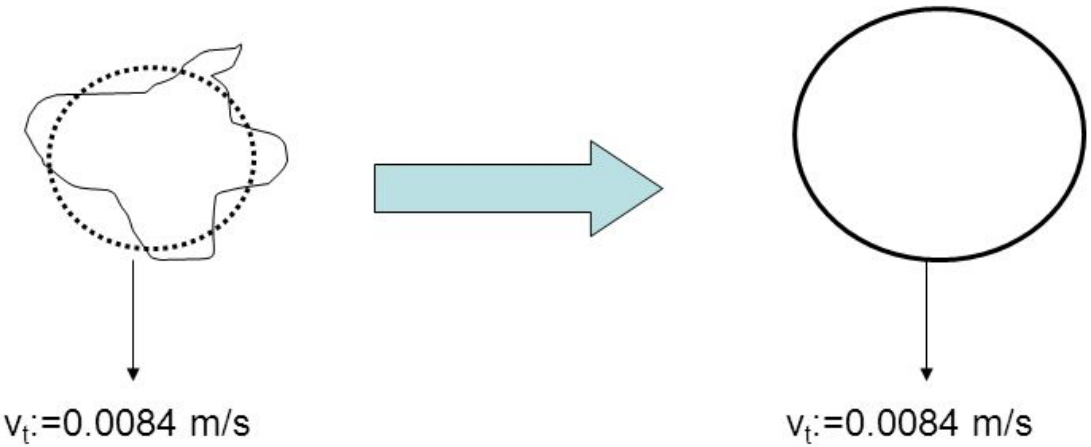
۴-۳- قطر آئرودینامیک (Equivalent Aerodynamic Diameter)

- یک قطر معادل است که کاربرد گسترده در فن‌آوری آئروسل پیدا کرده است.
- قطر ذره‌ای است با چگالی یک گرم بر سانتی متر مکعب که سرعت ته نشینی معادل سقوط ذره مورد مطالعه داشته باشد.
- قطر آئرودینامیک برای ذرات غیر کروی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- این قطر از لحاظ شکل (کره) و دانسیته استاندارد شده است.
- ذرات با اشکال و ابعاد فیزیکی متفاوت می توانند قطر آئرودینامیکی مشابه‌ای داشته باشند.
- قطر آئرودینامیکی می‌تواند به عنوان قطر قطره آبی در نظر گرفته شود که دارای خواص آئرودینامیکی یکسان با ذره باشد.
- اگر ذره بی‌شکلی دارای قطر ائرودینامیکی ۱ میکرومتر باشد، باید دارای رفتار آئرودینامیکی مشابه قطره آب با قطر ۱ میکرومتر فارغ از شکل، دانسیته یا اندازه فیزیکی آن باشد.

Aerodynamic Diameter

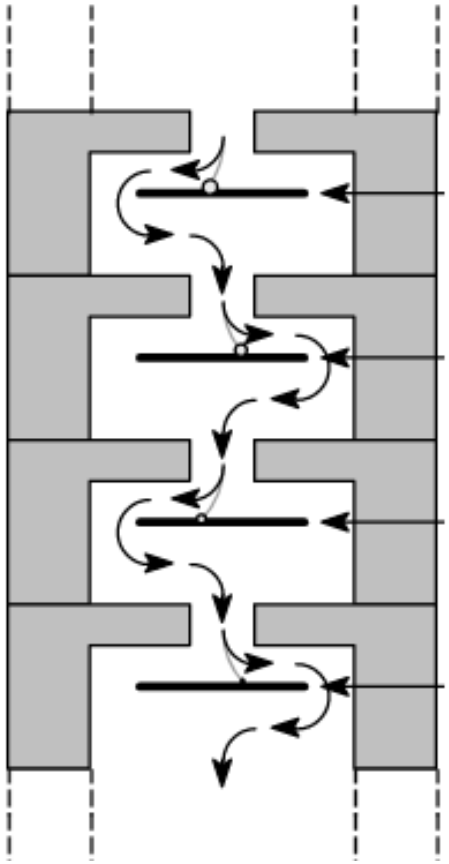
- An irregular particle
- d_e =10 μm
- ρ_p = 3000 kg/m^3
- χ =1.3

- The aerodynamic equivalent sphere
- d_a=15.2 μm
- ρ_p=1000 kg/m^3



کاربرد قطرآئرودینامیک در بهداشت حرفه‌ای

Cascade impactors



- **قطر آئرودینامیکی** ویژگی کلیدی برای تعیین مشخصات فیلتراسیون، ته نشینی در سیستم تنفسی و بازده اکثر تصفیه کننده‌های هوا می‌باشد.
- در بسیاری از موارد اگر قطر آئرودینامیکی ذره مشخص باشد نیازی به دانستن اندازه واقعی، ضریب شکل و دانسیته ذره وجود ندارد.
- دستگاه‌هایی مثل اتاقک‌های ته‌نشینی و کسکد ایمپکتورها از **جداسازی آئرودینامیکی** برای سنجش **اندازه آئرودینامیکی** استفاده می‌کنند.

٤- اندازه ذرات

- در صورت داشتن قطر واقعی ذره، قطر آئرودینامیک را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$d_{pa} = d_p \sqrt{\rho_p C_c}$$

d_{pa}= قطر آئرودینامیک (میکرومتر)

d_p= قطر واقعی ذره (میکرومتر)

ρ_p= دانسیته ذره (گرم بر سانتیمتر مکعب)

C_c= فاکتور تصحیح کانینگهام

مثال

مفروض است محاسبه قطر آئرودینامیک ذره‌ای با قطر واقعی ۳ میکرومتر و چگالی ۳/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب (ضریب تصحیح کانینگهام ۱ فرض شود):

٤- اندازه ذرات

❖ نکته ۱

ذرات با اشکال و ابعاد فیزیکی متفاوت می‌توانند قطر آئرودینامیکی مشابه‌ای داشته باشند.

مقایسه قطر آئرودینامیکی ذرات با اندازه‌های مختلف

	Solid sphere	ρ_p = 2.0 gm/cm^3 d_{ps} = 1.4 µm	d_{pa} = 2 µm
	Hollow sphere	ρ_p = 0.5 gm/cm^3 d_{ps} = 2.8 µm	
	Irregular shape	ρ_p = 2.4 gm/cm^3 d_{ps} = 1.3 µm	

Note: ρ_p = Particle density
d_{ps} = Stokes particle diameter
d_{pa} = Aerodynamic diameter

٤- اندازه ذرات

❖ نکته ۲

گاهی ممکن است ذرات از لحاظ ظاهری با هم شباهت داشته باشند اما قطر آئرودینامیکی آن‌ها با هم متفاوت است.

مقایسه قطر آئرودینامیکی ذرات با چگالی‌های مختلف

	Low-density particle	ρ_p = 1 gm/cm^3 d_{ps} = 2 µm	d_{pa} = 2.0 µm
	Medium-density particle	ρ_p = 2 gm/cm^3 d_{ps} = 2 µm	d_{pa} = 2.8 µm
	High-density particle	ρ_p = 3 gm/cm^3 d_{ps} = 2 µm	d_{pa} = 3.5 µm

Note: ρ_p = Particle density
d_{ps} = Stokes particle diameter
d_{pa} = Aerodynamic diameter

۴-۴- قطر استوکس (Stockes Diameter)

- چگالی ذره بر حرکت آنها از داخل سیالات اثر می‌گذارد و همانطور که در مطالب قبلی ذکر شد در تعیین قطر آئرودینامیک نیز دخیل می‌باشد.
- قطر استوکس ذره قطرکره‌ای فرضی است که سرعت نهایی ته نشینی و چگالی آن مشابه با ذره مورد مطالعه باشد.
- نسبت به قطر آئرودینامیکی رواج کمتری دارد.
- برای ذره‌ای صاف و کروی، قطر استوکس مشابه قطر فیزیکی یا واقعی می‌باشد.
- هر دو قطر آئرودینامیکی و استوکس بر حسب رفتار آئرودینامیکی به جای خواص هندسی ذره تعریف شده‌اند. زیرا سرعت ته نشینی یک ابزار جانشین برای اغلب انواع رفتار آئرودینامیکی ذره است.

۴-۴- قطر استوکس (Stockes Diameter)

- بین قطر استوکس و قطر آئرودینامیک ذره رابطه زیر برقرار است (برای ذرات با قطر بالای ۰/۵ میکرومتر):

$$d_{pa} = d_{ps}\sqrt{\rho_p}$$

dpa= قطر آئرودینامیک (میکرومتر)

dps= قطر استوکس (میکرومتر)

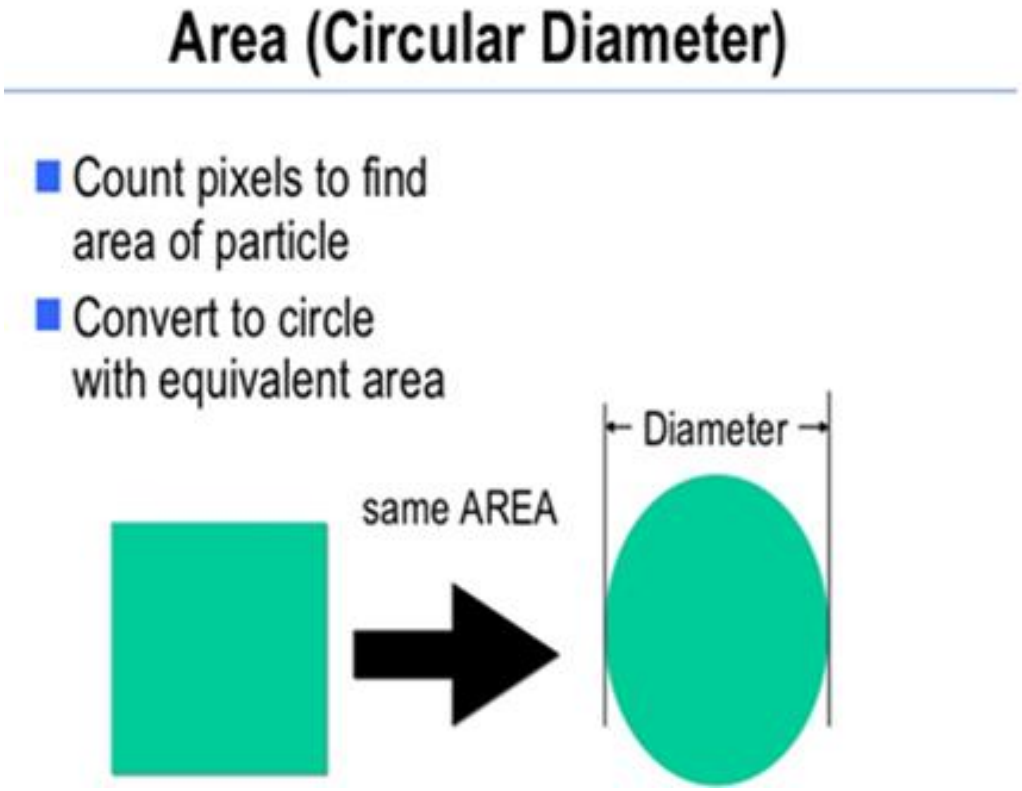
ρp= دانسیته ذره (گرم بر سانتیمتر مکعب)

مثال

اگر قطر استوکس ذره‌ای با چگالی ۲/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب برابر با ۲ میکرومتر باشد قطر آئرودینامک ذره را محاسبه نمایید.

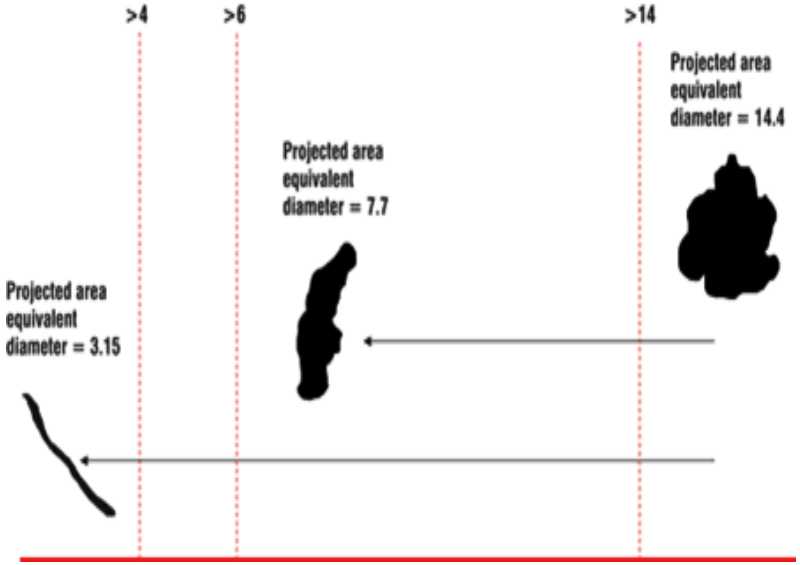
۴-۵- قطر مساحت معادل سطح خارجی ذره (Equivalent Surface Area Diameter):

- قطر کره‌ای با مساحتی معادل با مساحت خارجی ذره مورد نظر است.



۴-۶- قطر مساحت معادل تصویر ذره (Equivalent Projected Area Diameter):

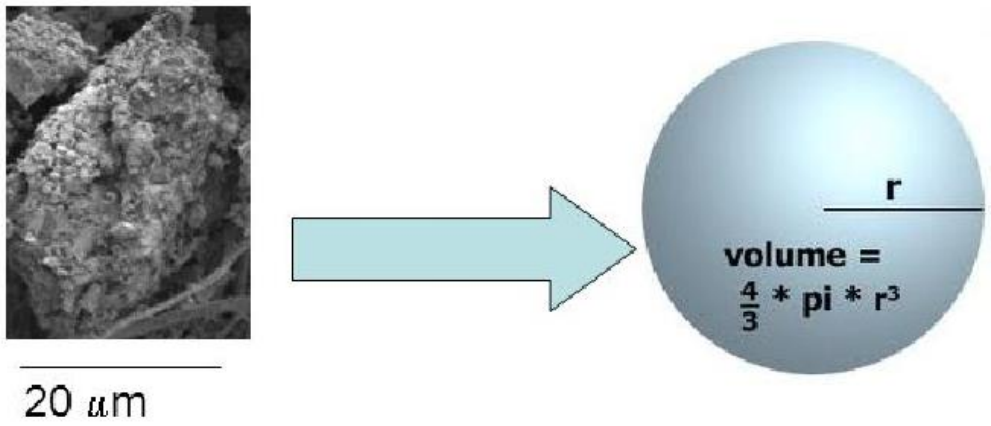
- قطر یک تصویر کروی دو بعدی است که مساحت آن معادل مساحت تصویر دو بعدی ذره مورد نظر است.
- این قطر بستگی به این دارد که ذره از چه جهتی مشاهده شود.



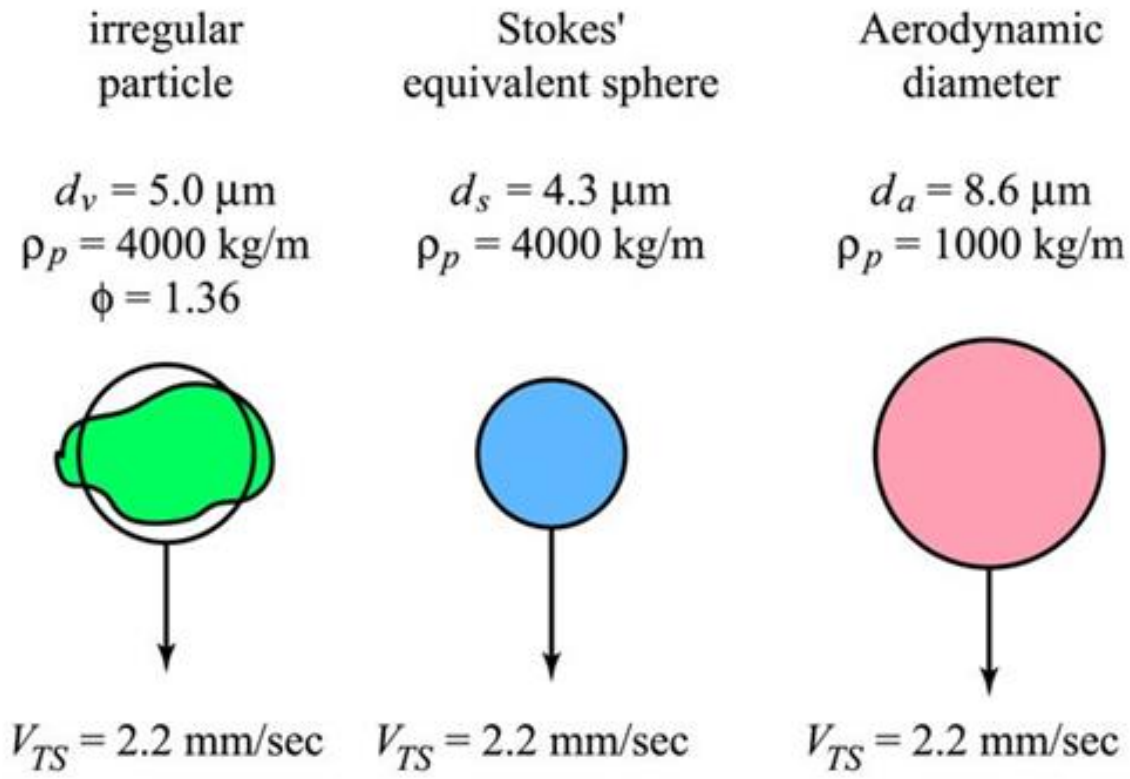
۴-۷- قطر حجم معادل ذره (Equivalent Volume Diameter):

- قطر کره‌ای است که حجمی معادل حجم ذره واقعی مورد نظر دارد.
- قطر حجم معادل را می‌توان قطر کره‌ای در نظر گرفت که در اثر ذوب کردن و قالب گیری یک ذره بی شکل به شکل کره حاصل می‌شود.

Assume that following irregular shape has a volume of V, d_e will be the diameter of sphere whose volume equals to V.



٤- اندازه ذرات



مقایسه قطر حجم معادل، قطر استوکس و قطر آئرودینامیکی

❖ویژگی‌های آئروسل‌ها

- **تعریف واژه‌ها**
- **شکل و دانسیته آئروسل‌ها**
- **غلظت آئروسل‌ها**
- **اندازه آئروسل‌ها (قطر ذرات):**
  - ✓قطر فرت (Feret Diameter) یا d_F
  - ✓قطر مارتین (Martin Diameter) یا d_M
  - ✓قطر معادل آئرودینامیکی (Equivalent Aerodynamic Diameter) یا d_{ae}
  - ✓قطر استوکس (Stockes Diameter) یا d_S
  - ✓قطر مساحت معادل تصویر ذره (Equivalent Projected Area Diameter) یا d_P
  - ✓قطر مساحت معادل سطح خارجی (Equivalent Surface Area Diameter) یا d_A
  - ✓قطر حجم معادل (Equivalent Volume Diameter) یا d_V

jalalim1@nums.ac.ir

خسته نباشید

با آرزوی موفقیت

jalalim1@nums.ac.ir