

BÖLÜM 1

PARÇACIK MADDE TANIMI VE PARÇACIKLARIN TUTULMASINDA TEMEL KAVRAMLAR

23.09.2019

A.Saral

1

Bölüm 1: İçerik

- Tanımlar
 - Parçacık Madde Tanımları
 - Boyut (Çap) Tanımları
- Parçacık Madde Şekilleri
- Parçacık Madde Boyut ve Yoğunlukları
- Parçacık Madde Sanayi Oluşum Mekanizmaları
- Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi
- HKK Cihazlarında Verim
- Ebat Dağılımları ve Dağılım Fonksiyonları
 - Sayısal Dağılım: frekans ve eklenik dağılımlar
 - Kütleli Dağılım: frekans ve eklenik dağılımlar
 - Gauss (Normal) Dağılım
 - Log-Normal Dağılım

23.09.2019

A.Saral

2

Bölüm 1: İçerik

- PM Tutma Cihazları Temel Tasarım Kriterleri
- PM'lerin Tutulmasında Temel Kavramlar
 - PM'ler için Nihai Çökelme Hızları
 - Tutma Kuvvetleri ve Mekanizmaları
 - Temel Modelleme Kavramları
 - Kalma Süresi
 - Tutulma Süresi
 - Çöktürme Modellemesi
 - Piston Akım Modeli
 - Tam Karışımli Model

Bölüm 1: Tanımlar

- **Parçacık Madde (Partiküler Madde): PM**
Atmosferde veya bir gaz kütleğinde, molekülden büyük ($>0.0002\mu\text{m}$ veya $>0,2\text{nm}$) ve $500\mu\text{m}$ 'den küçük **kati veya sıvı** halde bulunan maddelerdir. ($1\text{ A} = 1.0 \times 10^{-10}\text{ m} = 0.1\text{ nm}$)
- PMler ismi bilinen bir madde olmayıp, kaynağına göre çok çeşitli element veya inorganik/organik bileşiklerden müteşekkil maddeler olabilirler. Bu sebeple **Parçacık MADDE** olarak isimlendirilirler
- **Temel PM kaynakları:**
 - Yanma (fosil yakıt yakılması, evlerde, sanayi tesislerinde ve motorlu araçlarda)
 - Sanayi prosesleri (organik ve inorganik ürün veya hammadde üreten sanayi tesisleri)
 - Doğal kaynaklar (volkanlar, orman yangınları, denizler vs..)

Bölüm 1: Tanımlar

Çeşitli Parçacık Madde Türleri ve Tanımları

PMLer kaynaklarına ve oluşum şekillerine göre aşağıdaki gibi farklı isimlerde bulunabilirler...

- **Aeresol:** Gaz ortamında katı veya sıvı halde bulunan mikroskobik partiküllerin bir dağılımıdır. Boyutları çok küçük olduğundan atmosferde asılı halde bulunurlar.
- **Toz:** Mikron (μm) boyutunda, kolloidden daha büyük, havada geçici bir süre askıda kalabilen katı partiküllerdir. Uçucu kül ve mekanik işlemler neticesinde meydana gelen partiküller bu gruba dahildir.

Bölüm 1: Tanımlar

Çeşitli Parçacık Madde Türleri ve Tanımları...

- **Uçucu Kül:** Yanma neticesinde meydana gelen ve baca gazları içinde bulunan ince kül partikülleridir. Bu partiküller yanmamış yakıt (karbon) içerebilirler.
- **Sis:** Mikroskobik su damlacıklarından oluşan gözle görülebilen aerosollerdir.
- **Füme:** Yoğuşma, süblimasyon veya kimyasal reaksiyon neticesinde teşekkül eden, genellikle $1\ \mu\text{m}$ 'den küçük partiküllerdir (sigara dumanı, metalürjik proseslerden çıkan CuO , ZnO vb fümeleri).

Bölüm 1: Tanımlar

Çeşitli Parçacık Madde Türleri ve Tanımları...

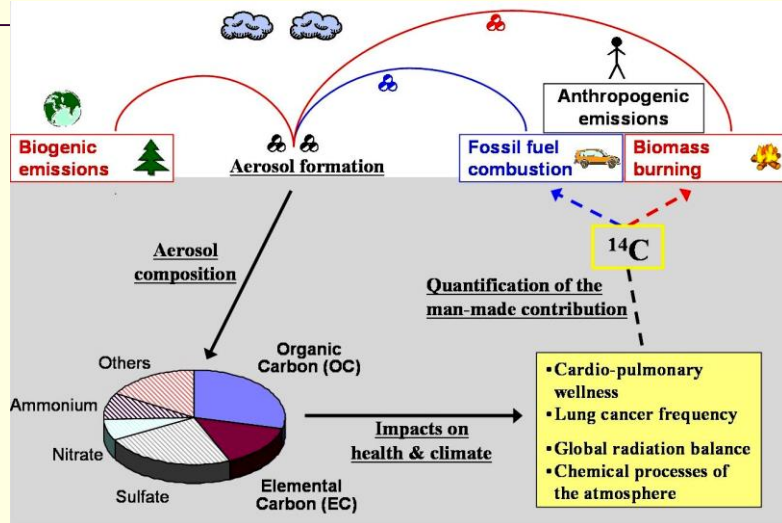
- **Mist:** Havada kendi ağırlığı ile düşecek büyüklükte olan sıvı damlacıkların dağılımıdır.
- **Duman:** Tam olmayan yanma neticesinde oluşan, genelde karbon ve diğer yanabilen maddelerden meydana gelen aerosollerdir.
- **Kurum:** Yanma neticesinde oluşan parçacıkların birleşmesinden (aglomerasyon) meydana gelen ve tam olmayan yanma neticesinde oluşan katran ihtiva eden partiküllerdir.

23.09.2019

A.Saral

7

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

A.Saral

8

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

A.Saral

9

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

A.Saral

10

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

A.Saral

11

Bölüm 1: Tanımlar



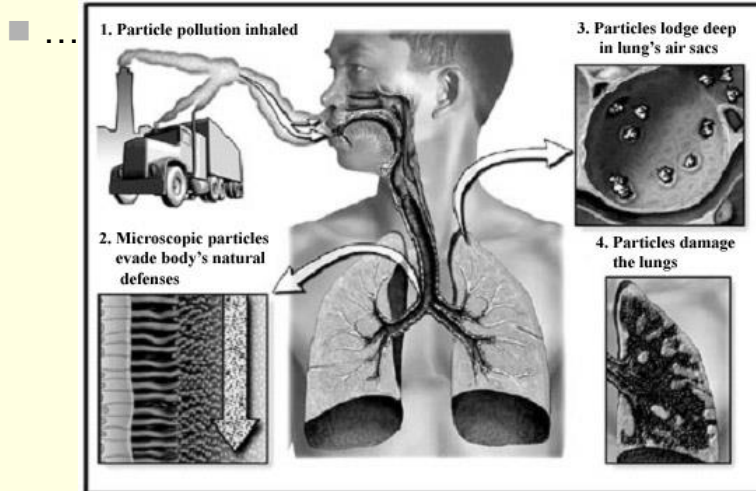
23.09.2019



A.Saral

12

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

13

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

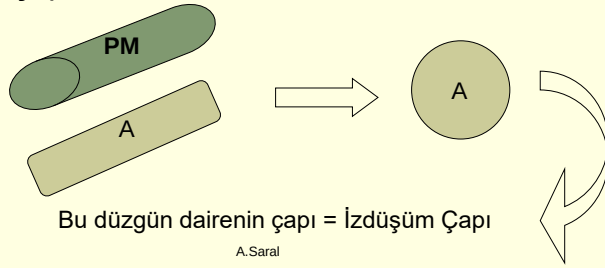
A.Saral

14

Bölüm 1: Tanımlar

Boyut (Çap) Tanımları

- **İzdüşüm çapı (Projected diameter):** Mikroskopik bakış düzlemine paralel olarak uzanan partikül izdüşümü (ön kesit alanı) ile aynı alana sahip olan bir dairenin çapıdır.



23.09.2019

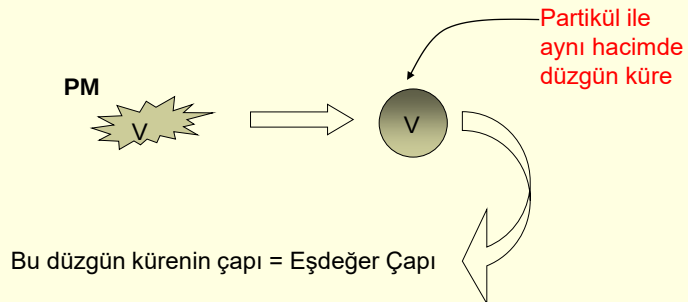
A.Saral

15

Bölüm 1: Tanımlar

Boyut (Çap) Tanımları...

- **Eşdeğer çap:** Partikül hacmine eşit olan bir kürenin çapıdır



23.09.2019

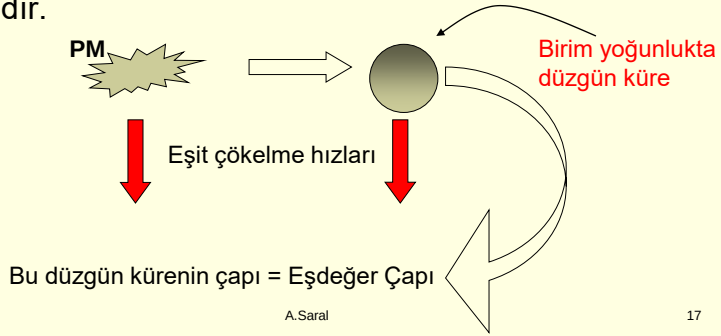
A.Saral

16

Bölüm 1: Tanımlar

Boyut (Çap) Tanımları...

- **Aerodinamik çap:** Partikül çökme hızı ile aynı hıza sahip olan birim yoğunluktaki (1 gr/cm^3) bir kürenin çapıdır.



23.09.2019

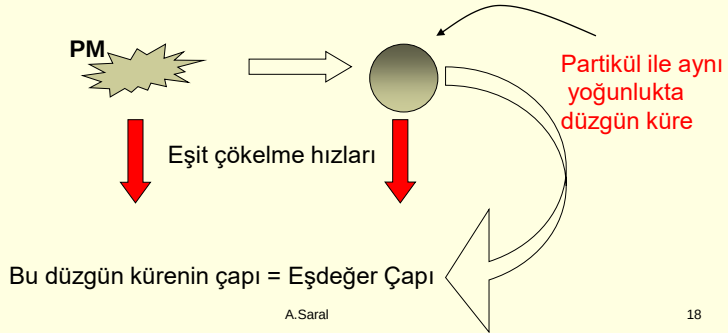
A.Saral

17

Bölüm 1: Tanımlar

Boyut (Çap) Tanımları...

- **Stokes çapı:** Partikül çökme hızı ile aynı hıza ve aynı yoğunluğa haiz olan bir kürenin çapıdır



23.09.2019

A.Saral

18

Bölüm 1: Tanımlar

Hava Kalitesi Değerlendirmesi Bakımından PM Tanımları

- **TSP (Total Suspended Particulates, Toplam asılı Parçacık Maddeler):** 30 mikrona kadar tüm parçacık maddelerin toplamını ifade eden eski bir sınıflandırma
Bazı kaynaklarda 50-60 mikrona kadar sınır da verilmektedir...

Hava kalitesi değerlendirmelerinde kullanımı yavaş yavaş terkedilmektedir.

23.09.2019

A.Saral

19

Bölüm 1: Tanımlar

Hava Kalitesi Değerlendirmesi Bakımından PM Tanımları

- **PM₁₀ :** 0 - 10 mikron boyut aralığındaki parçacıkların toplamını ifade etmektedir.
- **PM_{2.5} :** 0 – 2,5 mikron boyut aralığındaki parçacıkların toplamını ifade etmektedir.
- **PM_{10-2.5} :** 2.5-10 mikron boyut aralığındaki parçacıkların toplamını ifade etmektedir.

23.09.2019

A.Saral

20

Bölüm 1: Tanımlar

Hava Kalitesi Değerlendirmesi Bakımından PM Tanımları

■ EPA PM Sınıflandırması

Table 1. EPA Terminology for Particle Sizes

EPA Description	Particle Size
Supercoarse	$d_{pa} > 10 \mu m$
Coarse	$2.5 \mu m < d_{pa} \leq 10 \mu m$
Fine	$0.1 \mu m < d_{pa} \leq 2.5 \mu m$
Ultrafine	$d_{pa} \leq 0.1 \mu m$

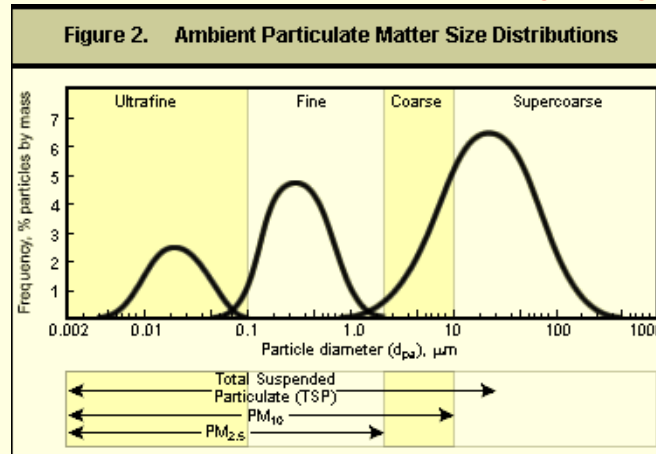
23.09.2019

A.Saral

21

Bölüm 1: Tanımlar

■ EPA PM Sınıflandırması ve Ortam havası PMlerin genel dağılımı

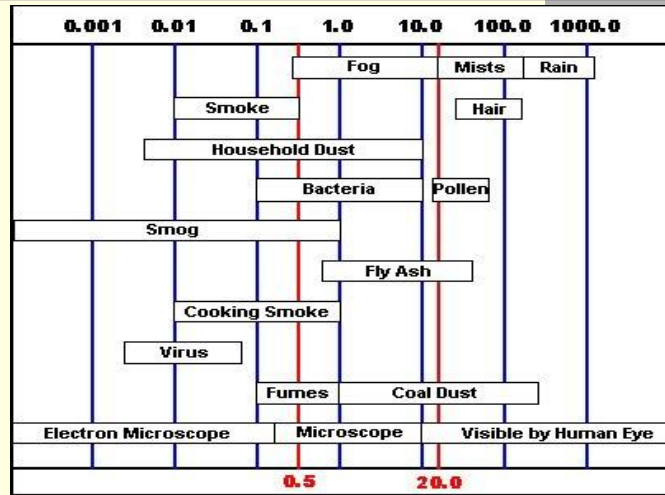


23.09.2019

A.Saral

22

Bölüm 1: Tanımlar

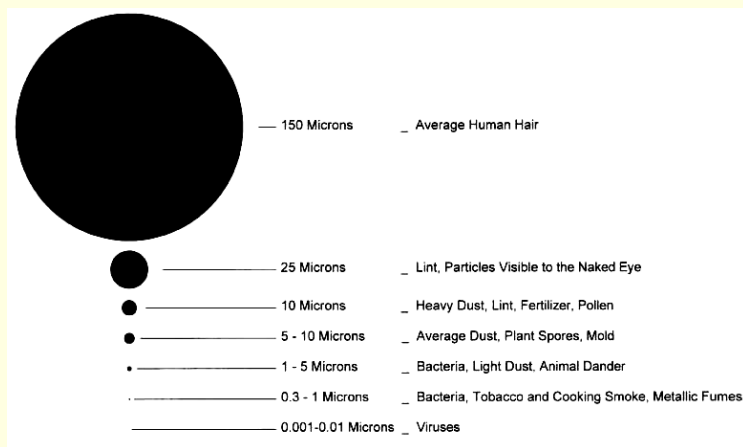


23.09.2019

A.Saral

23

Bölüm 1: Tanımlar

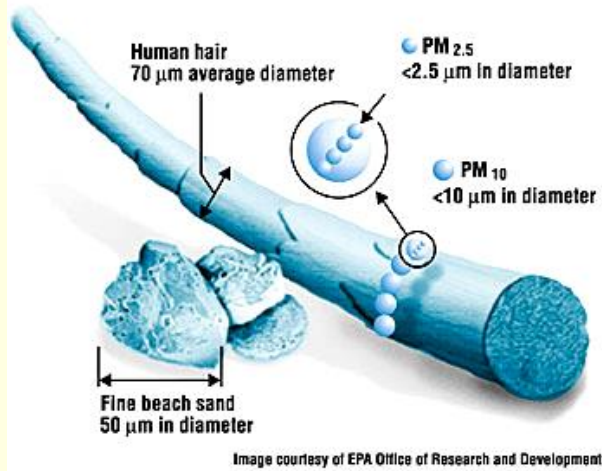


23.09.2019

A.Saral

24

Bölüm 1: Tanımlar



23.09.2019

A.Saral

25

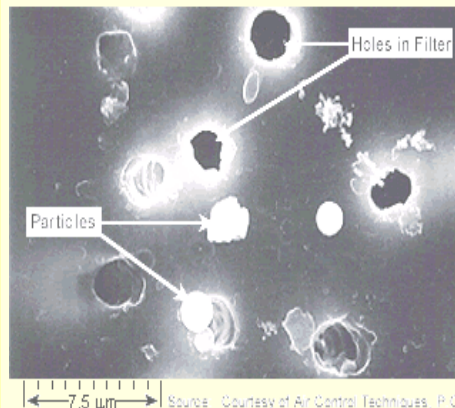
Bölüm 1: Parçacık Madde Şekilleri

Figure 1. Example Particle Shapes

	Solid Sphere
	Hollow Sphere
	Solid Irregular
	Flake
	Fiber
	Condensation Floc
	Aggregate

23.09.2019

Figure 2. Photomicrograph of Particles on a Polycarbonate Filter



A.Saral

26

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut ve Yoğunlukları

Table 1. Aerodynamic Diameters of Differently Shaped Particles			
	Solid sphere	$\rho_p = 2.0 \text{ gm/cm}^3$ $d_{ps} = 1.4 \mu\text{m}$	$d_{pa} = 2 \mu\text{m}$
	Hollow sphere	$\rho_p = 0.5 \text{ gm/cm}^3$ $d_{ps} = 2.8 \mu\text{m}$	
	Irregular shape	$\rho_p = 2.4 \text{ gm/cm}^3$ $d_{ps} = 1.3 \mu\text{m}$	

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

Table 2. Aerodynamic Diameters of Particles with Different Densities			
	Low-density particle	$\rho_p = 1 \text{ gm/cm}^3$ $d_{ps} = 2 \mu\text{m}$	$d_{pa} = 2.0 \mu\text{m}$
	Medium-density particle	$\rho_p = 2 \text{ gm/cm}^3$ $d_{ps} = 2 \mu\text{m}$	$d_{pa} = 2.8 \mu\text{m}$
	High-density particle	$\rho_p = 3 \text{ gm/cm}^3$ $d_{ps} = 2 \mu\text{m}$	$d_{pa} = 3.5 \mu\text{m}$

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

23.09.2019

A.Saral

27

Bölüm 1: Parçacık Madde Sanayi Oluşum Mekanizmaları

- Fiziksel aşındırma / mekanik öğütme
- Yanma
- Homojen / heterojen çekirdeklesmeler
- Damlacık buharlaşması

23.09.2019

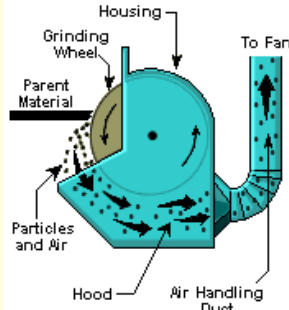
A.Saral

28

Bölüm 1: Parçacık Madde Sanayi Oluşum Mekanizmaları

■ Fiziksel İşlemler

Figure 1. Grinding Wheel



23.09.2019

A.Saral

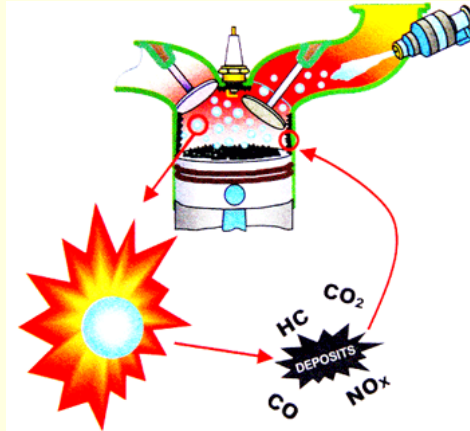
Figure 2. Tertiary Stone Crusher



29

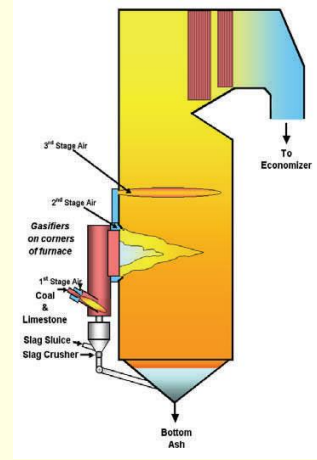
Bölüm 1: Parçacık Madde Sanayi Oluşum Mekanizmaları

■ Yanma



23.09.2019

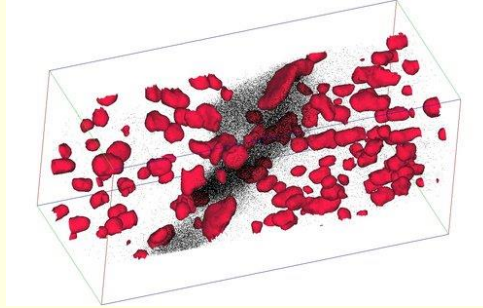
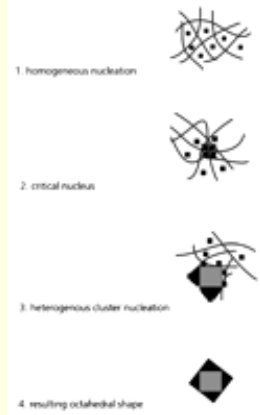
A.Saral



30

Bölüm 1: Parçacık Madde Sanayi Oluşum Mekanizmaları

■ Homojen / Heterojen Çekirdekleşme

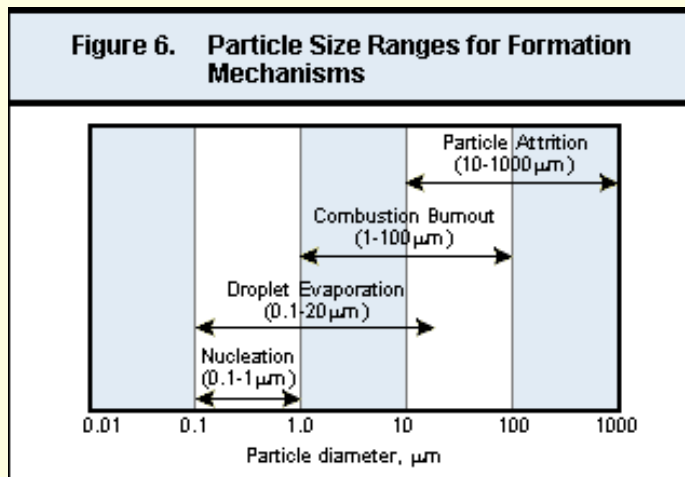


23.09.2019

A.Saral

31

Bölüm 1: Parçacık Madde Sanayi Oluşum Boyutları



23.09.2019

A.Saral

32

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

- Gravimetrik Analiz cihazları
 - Farklı ebat dağılımları için Basamaklı Ayırıştırıcılar (Cascade Impactors)
Ayırıştırma prensibi: Aerodinamik Çap
- Optik Analiz cihazları
 - Işık saçınımlı optik analiz cihazları
 - Lazerli optik analiz cihazları
Ayırıştırma Prensibi: Optik (görünür) Çap

23.09.2019

A.Saral

33

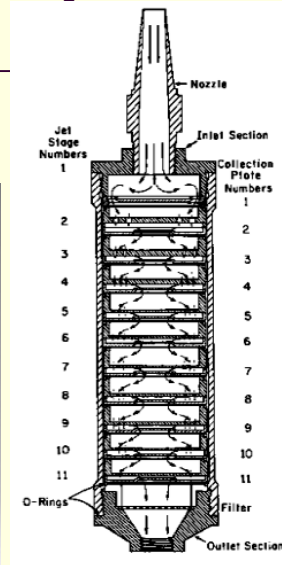
Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

- Gravimetrik Analiz:
Basamaklı Ayırıştırıcılar



23.09.2019

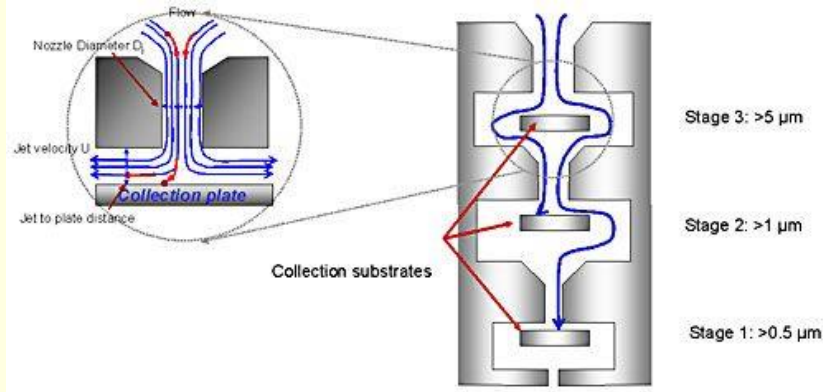
A.Saral



34

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

■ Basamaklı Ayırıştırıcı: Tasarımı ve Çalışma Prensibi



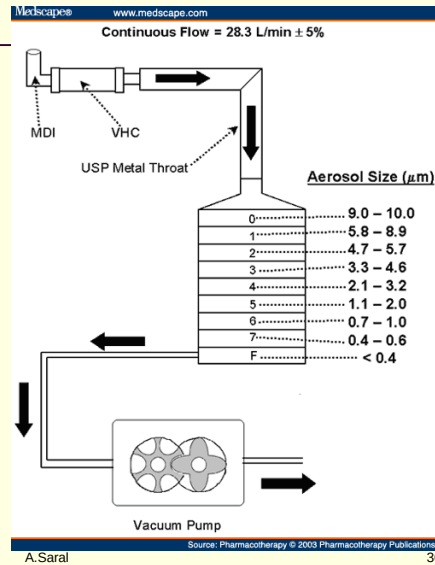
23.09.2019

A.Saral

35

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

■ Basamaklı ayırıştırıcı ile analiz



23.09.2019

A.Saral

36

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

- Lazer Parçacık Analiz Cihazları



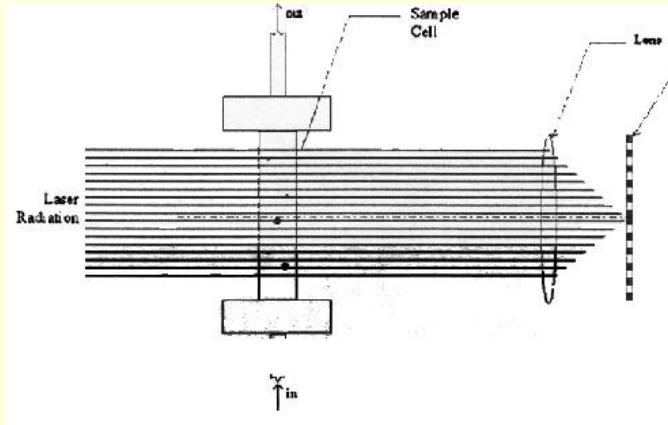
23.09.2019

A.Saral

37

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

- Lazer Parçacık Analiz Cihazları Çalışma Prensibi



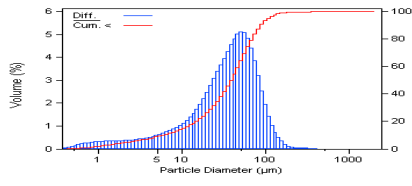
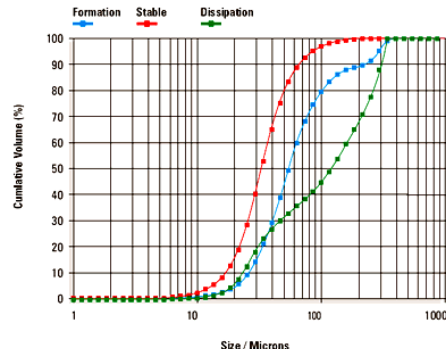
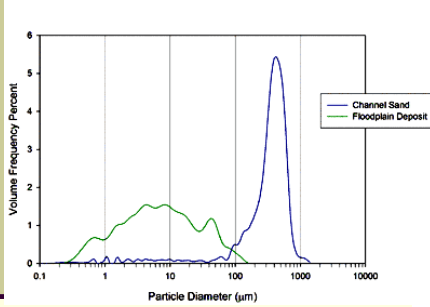
23.09.2019

A.Saral

38

Bölüm 1: Parçacık Madde Boyut Dağılımı Analizi

■ Lazer Analiz Cihazı Çıktıları

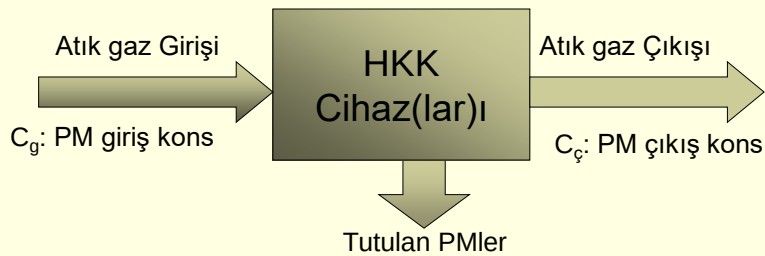


23.09.2019

A.Saral

39

Bölüm 1: HKK Cihazlarında Verim



■ PM arıtma verimi (GENEL Verim):

$$\eta = \frac{C_g - C_{\phi}}{C_g} = 1 - \frac{C_{\phi}}{C_g} = 1 - Pt \quad \% \eta = \eta \times 100$$

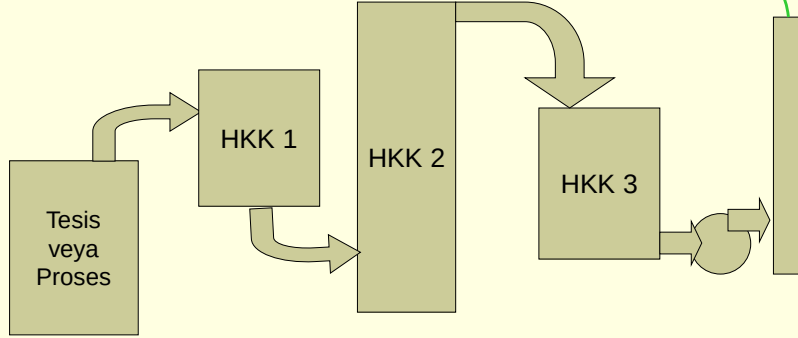
23.09.2019

A.Saral

40

Bölüm 1: HKK Cihazlarında Verim

- Bir tesiste HKK cihazları 1'den çok seri halde bulunabilir



23.09.2019

A.Saral

41

Bölüm 1: HKK Cihazlarında Verim

- Parçacık Madde Dağılımı Genel Veriminin Bireysel Verimlerden hesaplanması:

- η_i : her bir ebat aralığının verimi

- η_T : Toplam (genel) verim:

$$\eta_T = \sum \eta_i \times g_i \quad \eta_T = \sum \eta_i \times f_i$$

- g_i (**kütlesel frakans**) değerleri kullanılarak **kütlesel genel verim** hesaplanabilir.
- f_i (**sayısal frekans**) değerleri kullanılarak **sayısal genel verim** de hesaplanabilir.

23.09.2019

A.Saral

42

Bölüm 1: HKK Cihazları...



23.09.2019



A.Saral

43

Bölüm 1: HKK Cihazları...



23.09.2019



A.Saral

44

Bölüm 1: HKK Cihazları...

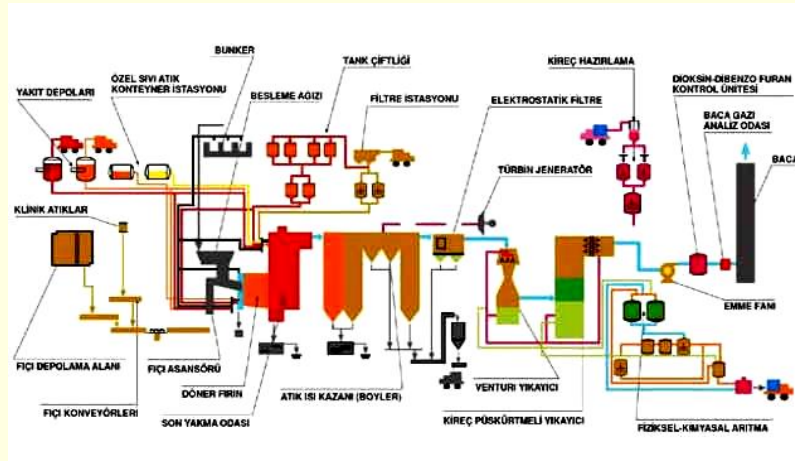


23.09.2019

A.Saral

45

Bölüm 1: HKK Cihazları...

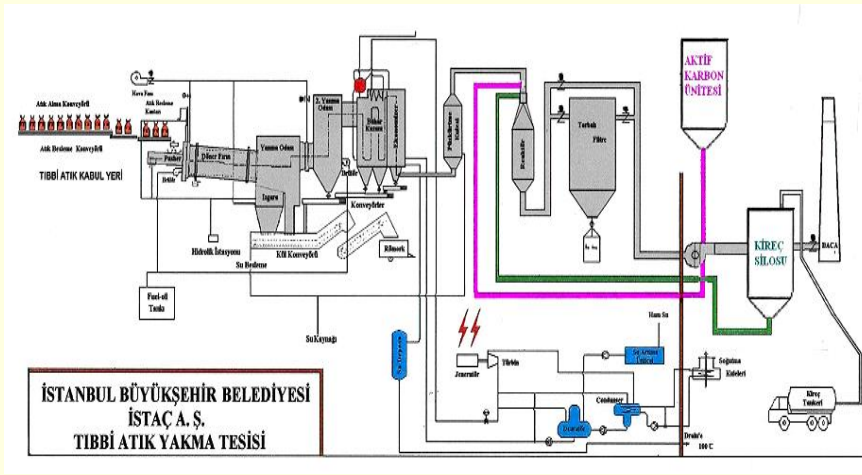


23.09.2019

A.Saral

46

Bölüm 1: HKK Cihazları...



23.09.2019

A.Saral

47

Bölüm 1: Ebat Dağılımları

- Herhangi bir kaynaktan atmosfere atılan PMler çok değişik ebatlarda olabilmektedir.
- PMler, hava kirliliği kontrol cihazlarında tutulurken ebatlarına (büyüklüklerine) göre davranış gösterdiklerinden ve bir kaynaktan çok farklı boyutlarda PM oluştuğundan, parçacık ebat dağılımının bilinmesi gerekmektedir.

Dolayısıyla:

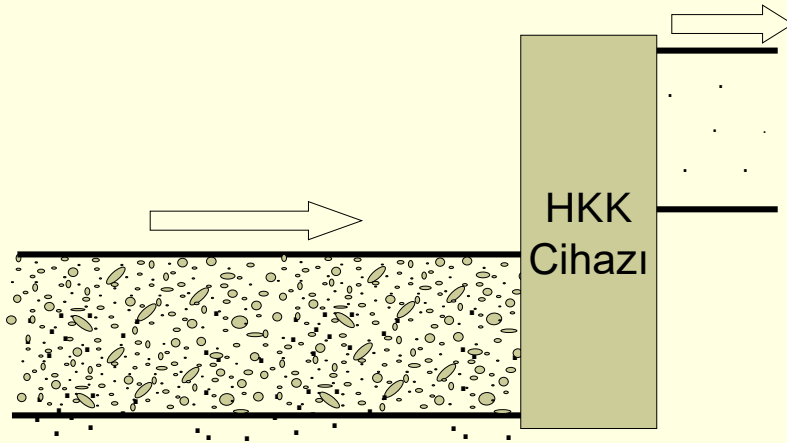
- Kaynaktan atmosfere atılan parçacıkların ebat dağılımının tayin edilmesi bu parçacıkların arıtılması için ilk tasarım kriterlerindendir.

23.09.2019

A.Saral

48

Bölüm 1: Ebat Dağılımları



23.09.2019

A.Saral

49

Bölüm 1: Ebat Dağılımları

■ PM dağılım sınıflandırması:

- Sayısal Dağılım:
 - Sayısal frekans dağılım
 - Sayısal kümülatif (eklenik) dağılım
- Kütlesele Dağılım:
 - Kütlesele frekans dağılım
 - Kütlesele kümülatif (eklenik) dağılım

23.09.2019

A.Saral

50

Bölüm 1: Ebat Dağılımları

■ Sayısal Dağılım:

Herbir ebat aralığındaki partiküllerin adet olarak miktarlarını veren dağılımdır. Bu verilerden hareketle hesaplanan giderme verimi, **sayısal giderme verimi** olarak adlandırılır.

■ Kütlesele dağılım:

Herbir ebat aralığındaki partiküllerin kütle olarak miktarlarını veren dağılımdır. Bu dağılımın verileri kullanılarak hesaplanan verime, **kütlesele giderme verimi** denilmektedir

Bölüm 1: Ebat Dağılımları

- Partikül dağılımları ile ilgili veriler (sayısal veya kütlesele veriler) aşağıdaki şekillerde ifade edilebilir:

- 1) **Frekans Dağılımı:** Belirli bir ebat aralığında bulunan partiküllerin "sayısı" veya toplam "kütlesi" olarak. Bu veriler grafik olarak çubuk grafik (histogram) şeklinde gösterilebilir.
- 2) **Eklenik (kümülatif) Dağılım:** Belirli bir ebattan "daha küçük (veya daha büyük)" olan partiküllerin toplam sayısı (veya kütlesi) olarak.

Bölüm 1: Ebat Dağılım Fonksiyonları

n_i : i'inci ebat aralığında bulunan partiküller olsun.

Tüm ebatların toplam partikül sayısı $\sum n_i$ olarak ifade edilebilir.

i aralığındaki (grade) fraksiyonel veya frekans değerleri:

$$f_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad \text{Denklem 1}$$

Kümülatif değerler:

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^j n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad \text{Denklem 2}$$

$$F_j = \sum_{i=1}^j f_i \quad F_n = 1$$

F_j : j'inci aralıktaki en büyük ebattan daha küçük partiküllerin fraksiyonudur ve "kümülatif –den küçük" fraksiyon olarak tanımlanır.

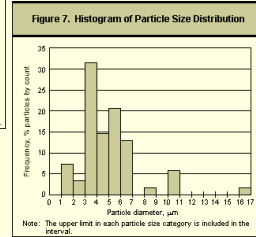
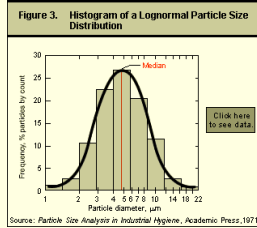
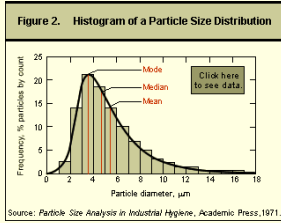
23.09.2019

A.Saral

53

Bölüm 1: Ebat Dağılımları

■ Frekans Dağılım Grafikleri



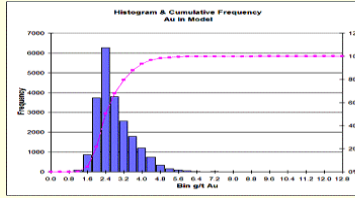
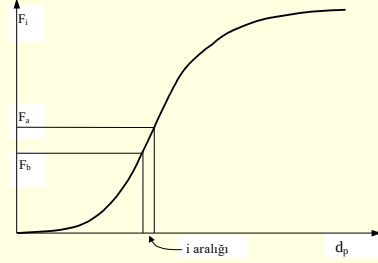
23.09.2019

A.Saral

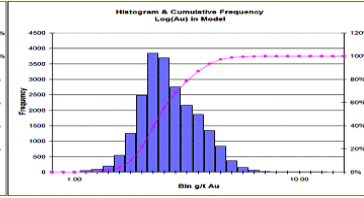
54

Bölüm 1: Ebat Dağılım Fonksiyonları

■ Kümülatif Dağılım Grafikleri



23.09.2019



A.Saral

55

Bölüm 1: Ebat Dağılım Fonksiyonları

■ *Sayısal giderme verimi ile kütleli giderme verimi birbirinden çok farklı değerler ortaya koyabilmektedir...*

■ Örnek:

Bir atık gaz numunesinin partikül ebat dağılımında 300 küresel partikül bulunmaktadır. Bu partiküllerin 100 adedi 1μ , 100 adedi 10μ ve 100 adedi de 100μ çapındadır. Bir partikül toplama cihazının giderme verimleri 1μ partiküller için %10, 10μ partiküller için %50 ve 100μ partiküller için %99'dur. Bütün partiküller aynı yoğunluğa sahip ve 1μ partiküllerin kütlesi 1'dir. Söz konusu cihaz için sayısal ve kütleli toplam giderme verimlerini hesaplayınız.

23.09.2019

A.Saral

56

Bölüm 1: Ebat Dağılım Fonksiyonları

■ Çözüm Tablosu

d_i, μ	Partikül sayısı	Giderme verimi, η_i	Toplanan partikül sayısı	Aralıktaki partiküllerin toplam kütlesi, (sembolik gr)	Toplanan partiküllerin toplam kütlesi, (sembolik gr)
1	100	0.10	10	100×1	10×1
10	100	0.50	50	100×10^3	50×10^3
100	100	0.99	99	100×10^6	99×10^6
Toplam	300		159	$\sim 100 \times 10^6$	$\sim 99 \times 10^6$

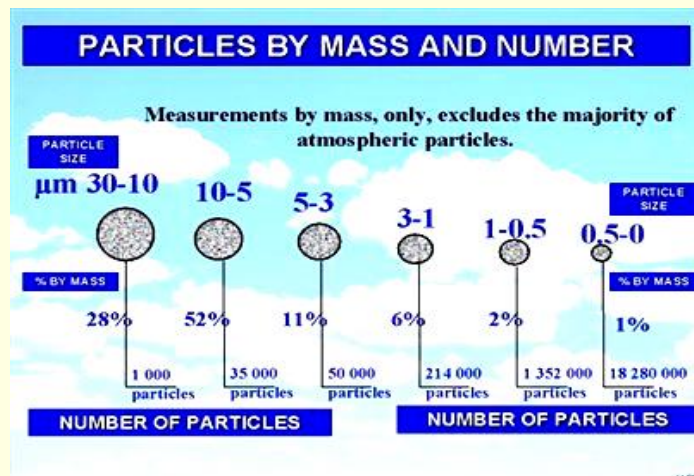
- Bu verilerden hareketle:
- **Sayısal toplam verim** = $159/300 = 0.53$ veya **%53**, ve
- **Kütleli toplam verim** = $99 \times 10^6 / 100 \times 10^6 = 0.99$ veya **%99** olmaktadır.

23.09.2019

A.Saral

57

Bölüm 1: Ebat Dağılım Fonksiyonları



23.09.2019

A.Saral

58

Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

■ Gauss Dağılımı (veya Normal Dağılım)

- En yaygın olarak kullanılan dağılım fonksiyonudur. Normal dağılım veya hata dağılım fonksiyonu olarak da adlandırılır. Partiküller gibi gözlemlenmiş dağılım verilerini iyi bir şekilde temsil edebilmektedir. Bu durumda, frekans dağılımı aşağıdaki denklem ile ifade edilen çan eğrisi şeklinde olur:

$$f(d_p) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left(\frac{-(d_p - d_m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- d_m : ortalama (mean) partikül çapı,
- σ : standart sapma.

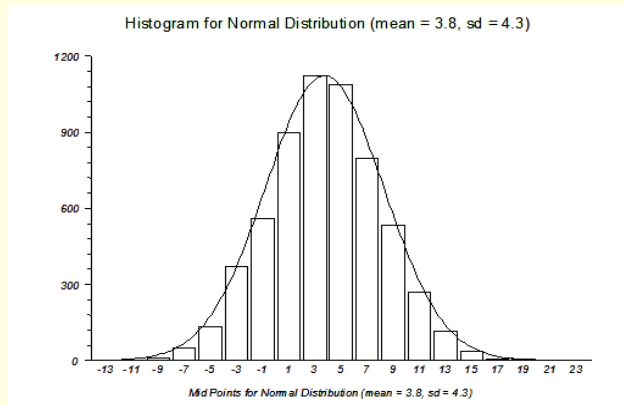
23.09.2019

A.Saral

59

Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

■ İdeal Gauss Dağılımı



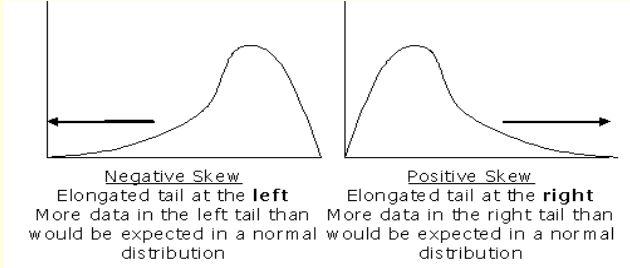
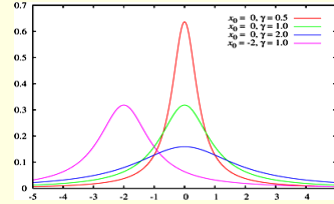
23.09.2019

A.Saral

60

Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

- Farklı dağılım örnekleri
Gauss dağılımından sapmalar...



23.09.2019

A.Saral

61

Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

Biraz İstatistik

- İdeal Gauss dağılımı için ortalama (mean), medyan ve modal çaplar birbirlerine eşittir.
- **Aritmetik Ortalama Çap:** Partikül dağılımındaki bütün partiküllerin ortalama çapıdır.
- **Modal Çap:** En çok tekrar eden partikül çapıdır.
- **Medyan Çap (Sayısal / Kütlesel):** Partiküllerin sayısal / kütlesel olarak %50'sinin küçük veya büyük olduğu çap sayısal / kütlesel medyan çaptır.

23.09.2019

A.Saral

62

Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

■ Örnek:

Aşağıdaki verileri kullanarak frekans ve kümülatif grafikleri çıkarınız.

Aralık no, i	Ebat aralığı, μm	Partikül sayısı, n_i
1	0 - 1.5	80
2	1.5-2.3	140
3	2.3-3.2	180
4	3.2-4.5	220
5	4.5-6.0	190
6	6.0-8.0	60
	>8.0	0
Toplam		870

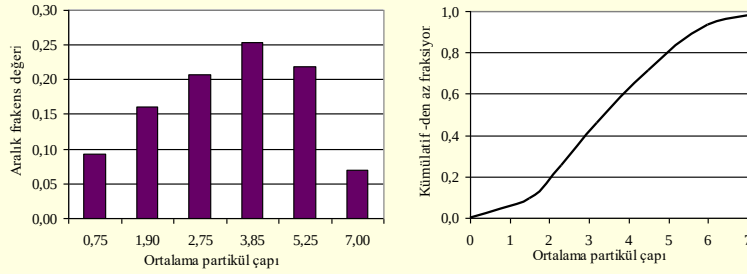
Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

■ Çözüm:

Aralık No. i	i aralığının orta noktası, d_p , μm	Ebat sayı fraksiyonu, f_i (Denk.1)	i aralığının üst sınırı (μm)	Ebat -den az <u>kümülatif</u> Fraksiyon- F_j (Denk.2)
1	0.75	$80/870=0.092$	1.5	$80/870=0.092$
2	1.90	$140/870=0.161$	2.3	$0.092+0.161=0.253$
3	2.75	$180/870=0.207$	3.2	$0.253+0.207=0.460$
4	3.85	$220/870=0.253$	4.5	$0.460+0.253=0.713$
5	5.25	$190/870=0.218$	6.0	$0.713+0.218=0.931$
6	7.00	$60/870=0.069$	8.0	$0.93+0.07=1.000$
Toplam		1.000		

Bölüm 1: Dağılım Fonksiyonları

- Çözüm (devamı...):
- Çözüm tablosunda verilerin frekans dağılımı (histogram) ve kümülatif –den az fraksiyonları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



23.09.2019

A.Saral

65

Bölüm 1: Dağılım Fonksiyonları

- Gauss dağılımı çoğu veri dağılımlarını temsil etmek için kullanışlı bir fonksiyon olmasına rağmen, dağılımların uç noktalarını iyi temsil edememektedir. Bir başka deyişle, doğal olarak ortaya çıkan dağılımların uç noktaları Gauss dağılımının temsil ettiği eğilime çoğu zaman uymayabilmektedir
- Düzeltme için: $\ln dp$ yerine $\ln dp$ kullanıldığında, parçacık ebat dağılımı Gauss dağılımına daha iyi uymaktadır...



■ Log-Normal Dağılım....

23.09.2019

A.Saral

66

Bölüm 1: Gauss (Normal) Dağılım

$$f(d_p) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \log^2 \sigma_g} \exp\left(-\frac{(\log d_p - \log d_g)^2}{2 \log^2 \sigma_g}\right)$$

- $f(dp)$: dp çapındaki partiküllerin frekansı
- σ_g : geometrik standart sapma:

$$\log \sigma_g = \left(\frac{\sum [n (\log d_p - \log d_g)^2]}{n} \right)^{1/2}$$

- burada d_g , geometrik ortalama çap olup

$$d_g = \sqrt[n]{d_1 d_2 \cdots d_n}$$

şeklinde hesaplanır.

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

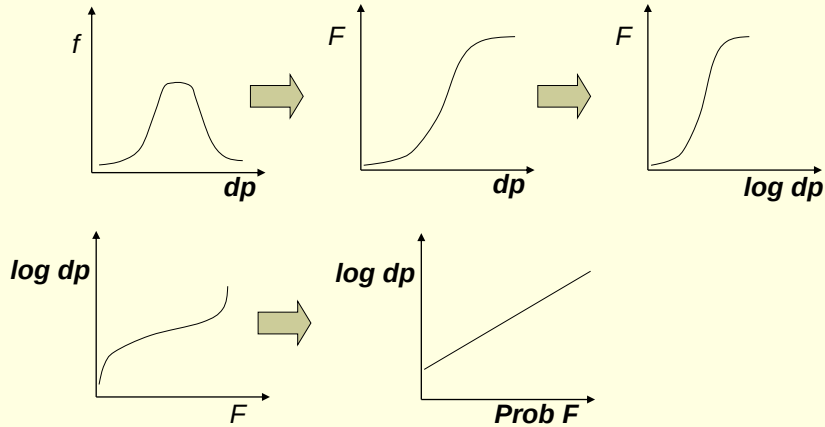
- *Parçacık dağılımı Gauss dağılımına uyuyorsa:*

- $f(dp)$ fonksiyonu kullanılarak elde edilen **Sayısal Kümülatif dağılım (F)** değerleri log-ihhtimal (log-probability) kağıdında noktalandığında **düz bir çizgi** elde edilir.

- Aynı şekilde **Kütlesel Kümülatif dağılım (G)** değerleri de noktalanabilir.....

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

■ Frekans dağılımından log-normal dağılıma...



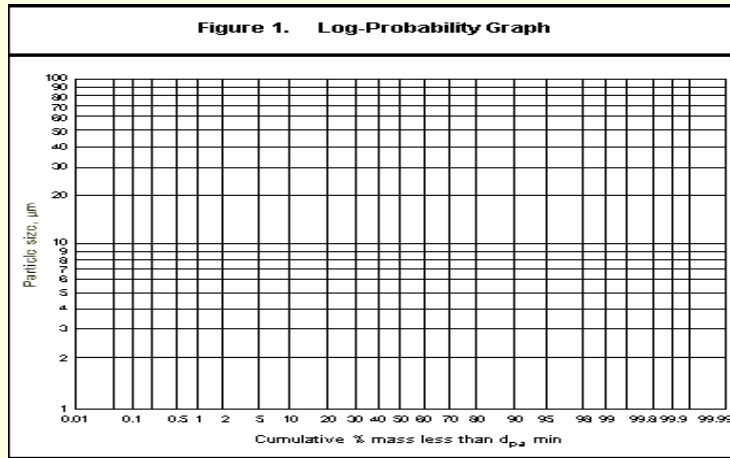
23.09.2019

A.Saral

69

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

■ Log-ihtimal kağıdı



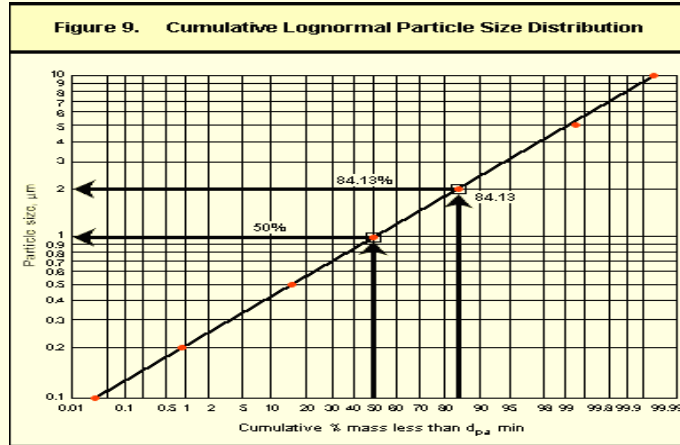
23.09.2019

A.Saral

70

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

- Log-ihimal grafik bilgileri:



23.09.2019

A.Saral

71

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

- Log-ihimal grafiğinden partikül dağılımını karakterize eden aşağıdaki bilgiler elde edilir.
- **Geometrik ortalama çap, d_g :**
log-ihimal eğrisinde medyan değer olan %50'ye tekabül eder.
- **Geometrik standart sapma, σ_g :**
log-ihimal eğrisinde elde edilen doğrunun eğimidir. σ_g geometrik standart sapma, aynı zamanda aşağıdaki ilişkiden de hesaplanabilir:

$$\sigma_g = \frac{d_{\%84,1}}{d_{\%50}} = \frac{d_{\%50}}{d_{\%15,9}}$$

23.09.2019

A.Saral

72

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

■ Örnek:

Bir emisyon kaynağından elde edilen partikül dağılımları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Aerodinamik Partikül Çapı, μm	Kümülatif Yüzde	Kümülatif Kütle Konsantrasyonu, g/m^3
	100	2.29
4.5	92	2.10
2.5	70	1.60
1.4	40	0.92
0.8	15	0.30
0.5	4	0.09

- Bu bilgileri kullanarak söz konusu dağılımın kütleli medyan çapını ve geometrik standart sapmasını bulunuz.

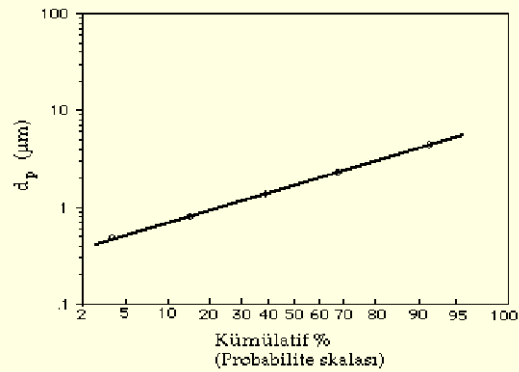
23.09.2019

A.Saral

73

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

■ Çözüm:



23.09.2019

A.Saral

74

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

- Çözüm (devamı...):
- Şekilden *kütlesel medyan çap*,
- $d_{50} = 1.7 \mu\text{m}$ ve $d_{84} = 3.4 \mu\text{m}$
- *geometrik standart sapma*, σ_g ;

$$\sigma_g = \frac{d_{\%84,1}}{d_{\%50}} = \frac{d_{\%50}}{d_{\%15,9}} \quad \sigma_g = \frac{3.4}{1.7} = 2.0$$

23.09.2019

A.Saral

75

Bölüm 1: Log-Normal Dağılım

- **Ödev:** Aşağıda verilen dane dağılımı ve tutma verimlerini kullanarak, (a) Frekans ve kümülatif dağılımları, (b) Toplam kütlesel verimi, (c) kütlesel ortalama çap ve standart sapma değerlerini bulunuz.

Dane Boyutu d_p (μm)	Ağırlık. %	Tutma Verimi, η_d (%)
< 0.50	0.1	8
0.50 - 1.5	0.4	30
1.5 - 2.5	9.5	47.5
2.5 - 3.5	20	60
3.5 - 4.5	20	68.5
4.5 - 5.5	15	75
5.5 - 6.5	11	81
6.5 - 7.5	8	86
7.5 - 8.5	5.5	89.5
8.5 - 11.5	5.5	95
11.5 - 16.5	4	98
16.5 - 23.5	0.8	99
>23.5	0.2	99+

23.09.2019

A.Saral

76

Bölüm 1: PM Tutma Cihazları Temel Tasarım Kriterleri

Uygun bir parçacık toplama cihazı tasarımı için;

- Toplanacak **PMler** (PM karakteristikleri),
- Parçacıkları taşıyan **gaz akımı** (atık gaz), ve
- Atık gazı üreten **proses** (proses şartları)

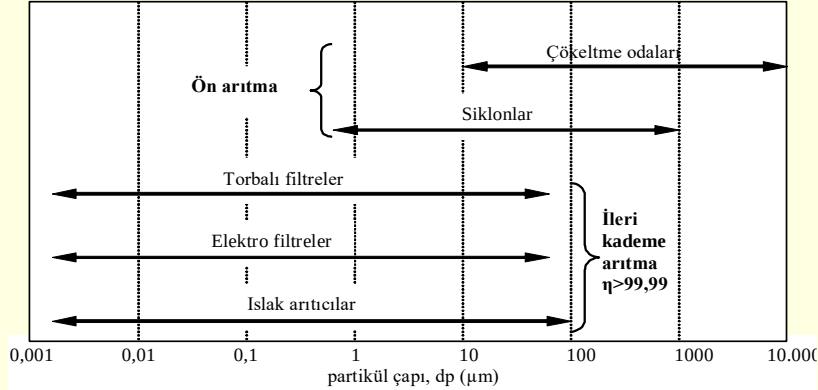
hakkında bazı bilgilere ihtiyaç vardır

Bölüm 1: PM Tutma Cihazları Temel Tasarım Kriterleri

- **PM karakteristikleri:** parçacık boyutları, boyut dağılımları, şekilleri, yoğunlukları, yapışkanlıkları, aşındırıcılıkları, reaktiflikleri ve zehirlilikleri
- **Gaz akımı karakteristikleri:** basınç, sıcaklık, viskozite, nemlilik, kimyasal bileşim ve patlayıcılık parametreleri
- **Proses şartları:** gaz akım debisi, partikül yükü (gaz akımındaki kütsel partikül konsantrasyonu), istenilen giderme verimi ve müsaade edilebilen basınç kaybı (partikül kontrol cihaz(lar)ının girişi ile çıkışı arasındaki basınç farkı).

Bölüm 1: PM Tutma Cihazları Temel Tasarım Kriterleri

■ PM boyutuna göre etkin PM tutma cihazları



23.09.2019

A.Saral

79

Bölüm 1: PM'lerin Tutulmasında Temel Kavramlar

■ PM'ler için Nihai Çökeltme Hızları

- Atmosfer ortamı için tanımlandığında; bir partikülün nihai çökeltme hızı; havanın kaldırma kuvvetini ve sürtüklemeye kuvvetini yenerek yerçekimi kuvvetine paralel ve aynı yönde kazandığı sabit hızdır.

■ Yerçekimi kuvveti

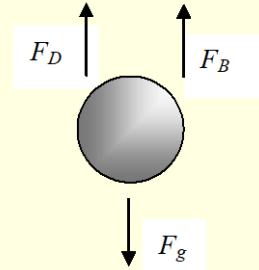
$$F_g = m_p g$$

■ Kaldırma (Bouyant) kuvveti

$$F_B = m_p g (\rho_g / \rho_p)$$

■ Sürtüklemeye (Drag) kuvveti

$$F_D = C_D A_p \rho_g V_{rel}^2 / 2$$



23.09.2019

A.Saral

80

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

■ Bu kuvvet ifadelerinde:

- m_p : partikül kütlesi
- g : yerçekimi ivmesi
- ρ_p : partikül yoğunluğu
- ρ_g : akışkan (gaz) yoğunluğu
- C_D : Sürüklenme katsayısı
- A_p : Ön kesit (projeksiyon) alanı, ve
- V_{rel} : Partikülün nihai çökme hızıdır.

■ Kararlı durumda bu üç kuvvet dengededir.

$$F_g = F_B + F_D$$

23.09.2019

A.Saral

81

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

■ Aynı zamanda

$$V_{rel} = V_p - V_f = V_p = V_t$$

olarak kabul edilebilir.

Yani gaz akımı hızı, V_f , partikül çökme hızına, V_p , nispetle ihmal edilebilir.

Her bir kuvvet ifadesi bu denklemde yerine konulup V_t için çözülürse; yerçekimi kuvveti altında çöken partiküllerin kararlı durumdaki **çökme hızı**:

$$V_t = \left(\frac{2m_p g (\rho_p - \rho_g)}{A_p C_D \rho_p \rho_g} \right)^{1/2}$$

23.09.2019

A.Saral

82

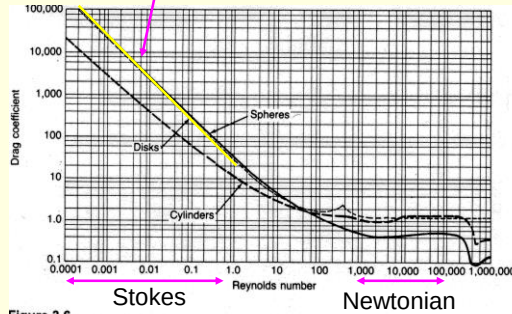
Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

- Küresel partiküller için:

$$V_t = \left(\frac{4gd_p(\rho_p - \rho_g)}{3C_D\rho_g} \right)^{1/2}$$

- Burada, d_p partikül çapıdır.
- Reynolds sayısının 10^{-4} - 0.5 arasında olduğu laminar akışlı ortamda küresel partiküller için:

$$C_D = \frac{24}{Re}$$



23.09.2019

A.Saral

83

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

- Aynı zamanda hava veya gaz için
 - $\rho_p \gg \rho_g$
- olduğundan: **Stokes Çökme Denklemi**

$$V_t = \frac{gd_p^2\rho_p}{18\mu_g}$$

- **Kabuller:**
- Küresel parçacıklar ve laminar akım.
- Stokes denklem. 50 μm 'den küçük küresel partiküller için geçerli olup, 100 μm 'ye kadar parçack çapları için de az bir hata ile uygulanabilir.

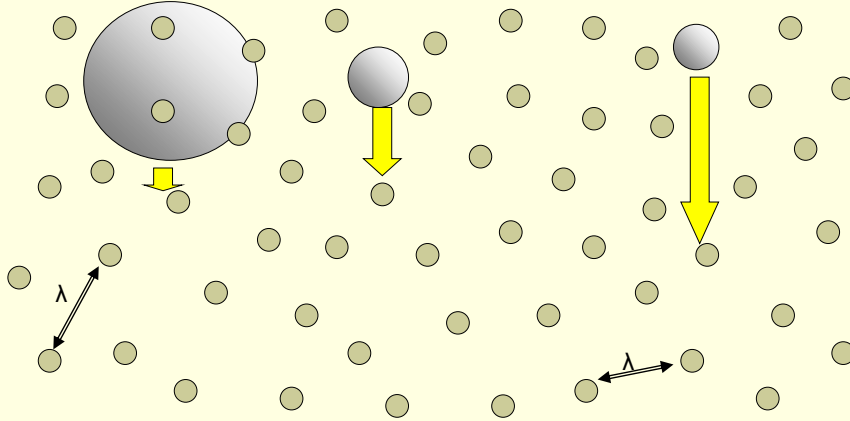
23.09.2019

A.Saral

84

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

■ Cunningham Düzeltme Faktörü



23.09.2019

A.Saral

85

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

■ Cunningham Düzeltme Faktörü

- 5 µm'den daha küçük partiküller için kullanılacaktır..

$$K_c = 1 + \frac{2\lambda}{d_p} \left[1.257 + 0.400 \exp\left(\frac{-0.55d_p}{\lambda}\right) \right]$$

- λ , gaz fazındaki moleküllerin kat ettikleri ortalama serbest yol olup aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\lambda = \frac{\mu_g}{0.499 \rho u_m} \quad u_m = \left(\frac{8RT}{\pi M} \right)^{1/2}$$

- M , gazın molekül ağırlığı; T , mutlak sıcaklık (°K) ve R , gaz sabitidir.
- 25°C ve 1 atm şartlarında (R değeri $8.1 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}_2 \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$, havanın mol ağırlığı 28.96 kg/kmol ve viskozitesi $1.85 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sn}$) u_m ve λ 'nın değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

23.09.2019

A.Saral

86

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

$$u_m = \left(\frac{(8) (8.315 \times 10^3) (298)}{(3.14) (28.96)} \right)^{1/2} = 467 \text{ m/s} = 1681 \text{ km/h}$$

■ Ve

$$\lambda = \frac{1.85 \times 10^{-5}}{0.499 (1.18) (467)} = 6.8 \times 10^{-8} \text{ m} = 0.068 \mu\text{m}$$

■ Pratik olarak 5 mikrondan küçük boyuttaki parçacıklar için nihai çökme hızı:

■ Stokes-Cunningham Denklemi: $V_t = K_c V_{t, \text{Stokes}}$

23.09.2019

A.Saral

87

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

■ **Cunningham Düzeltme Faktörü Değerleri**

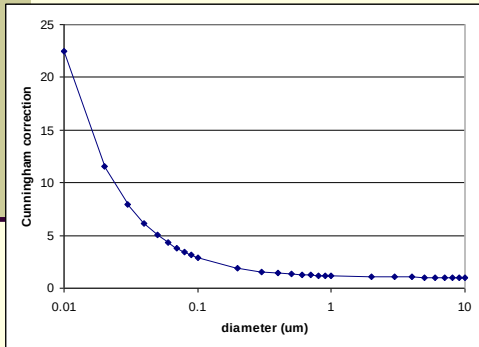


Table 1. Cunningham Slip Correction Factors for Air (298°K, 1.0 atm)

$d_p(\mu\text{m})$	C_c	$d_p(\mu\text{m})$	C_c
0.001	221.6	0.1	2.911
0.002	111.1	0.2	1.890
0.003	74.25	0.3	1.574
0.004	55.83	0.4	1.424
0.005	44.78	0.5	1.337
0.006	37.41	0.6	1.280
0.007	32.15	0.7	1.240
0.008	28.20	0.8	1.210
0.009	25.14	0.9	1.186
0.01	22.68	1.0	1.168
0.02	11.65	2.0	1.084
0.03	7.978	3.0	1.056
0.04	6.151	4.0	1.042
0.05	5.060	5.0	1.034
0.06	4.337	6.0	1.028
0.07	3.823	7.0	1.024
0.08	3.441	8.0	1.021
0.09	3.145	9.0	1.019
		10.0	1.017

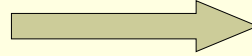
23.09.2019

A.Saral

88

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökeltme Hızları

- Nihai çökeltme hızları için pratik yaklaşımlar:
- Bazı kabullerle geliştirilen grafikler kullanılabilir.
- Kabuller:
 - Laminar gaz akımı
 - Belirli gaz sıcaklığı ve basıncı (genellikle 25C ve 1 atm)
 - Düzgün parçacık şekli (küre, silindir vs.)
 - Belirli yoğunlukta parçacıklar (1, 1.5, 2, 3 gr/cm³ gibi)
- Bu kabullerle geliştirilen grafikler pratik olarak kullanılabilir:



23.09.2019

A.Saral

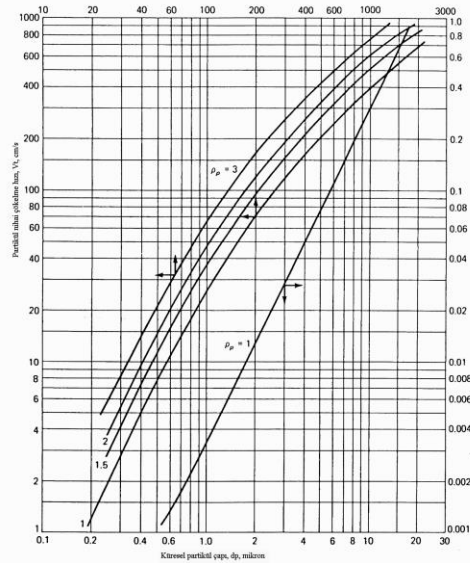
89

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökeltme Hızları

- Grafikte partiküllerin küresel ve 1, 1.5, 2 ve 3gr/cm³ yoğunluklarda olduğu görülmektedir.
- Farklı yoğunluklardaki partiküller için:

$$V_t(\rho_p) = V_t(\rho_p = 1 \text{ gr/cm}^3) \times \rho_p$$

- Hızlar: cm/sn
- Parçacık Çapı: mikron



23.09.2019

A.Saral

90

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

- **Örnek Soru:** Parçacıkların nihai çökme hızlarının, boyutlarına bağlı değişimlerini göstermek için birim yoğunluktaki 10, 100 ve 1000 μ partiküller için nihai çökme hızlarını bulunuz.
- **Çözüm:** Söz konusu partiküllerin nihai çökme hızları doğrudan grafikten okunabilir:
 - $d_p = 1 \mu$ için $V_t = 0.003 \text{ cm/s}$
 - $= 10 \mu$ için $= 0.3 \text{ cm/s}$
 - $= 100 \mu$ için $= 25.5 \text{ cm/s}$
 - $= 1000 \mu$ için $= 400 \text{ cm/s}$
- **Nihai çökme hızları Stokes denklemini kullanılarak da hesaplanabilir:**
- 10 μ partiküller için hesaplanacak olursa:

$$V_t = \frac{gd_p^2 \rho_p}{18\mu_g} = \frac{(980 \text{ cm/s}^2) (10 \times 10^{-4} \text{ cm})^2 (1 \text{ gr/cm}^3)}{18 (1.85 \times 10^{-4} \text{ gr/cm} \cdot \text{s})} = 0.294 \text{ cm/s}$$

23.09.2019

A.Saral

91

Bölüm 1: PM'ler için Nihai Çökme Hızları

- **Ödev:**
- Çökme hızları grafiğini **0.001–10000 mikron çap aralığı** için Excel kullanarak hazırlayınız...
- Kabuller:
 - Küresel partiküller
 - 1, 1.5, 2 ve 3 gr/cm³ yoğunluklar
 - 25 C ve 1 atm basınç
 - Hız birimi: m/sn
 - Stokes-Cunnigham denklemini kullanınız...
 - Grafiğin her iki eksenini de logaritmik olacak
 - Dikey eksenini V_t eksenini olarak alınız ve, daha rahat ve hassas değer okunması için sağ ve solda iki farklı skala kullanınız.

23.09.2019

A.Saral

92

Bölüm 1: Tutma Kuvvetleri ve Mekanizmaları

- Bir gaz ortamında askıda bulunan parçacıkların tutulması için, gaz-parçacık karışımının (atıkgazın), parçacıkları akım yönünden saptıracak bir **kuvvet (veya kuvvetler)**'in **bulunduğu bir tutma alanından** geçmesi gerekmektedir.
- Atıkgaz arıtımında 2 temel eleman:
 - PMler
 - Hedef

Ve

- PM'leri hedefe götürecek Etken Kuvvet(ler)

23.09.2019

A.Saral

93

Bölüm 1: Tutma Kuvvetleri ve Mekanizmaları

- HKK cihazında **Hedef**:

Parçacık maddelerin gaz akımından ayrılarak tutulduğu ortamdır.

Fiziki şekil ve yapı itibarıyla:

 - Düzlem veya içi boş silindirik yüzey,
 - Silindir veya küre şeklinde parçacıklar, mesela, silindir şeklinde elyaf (filtrelerde), küre şeklinde damlalar (ıslak arıtıcılarda) olabilir.

23.09.2019

A.Saral

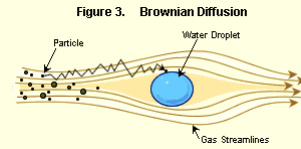
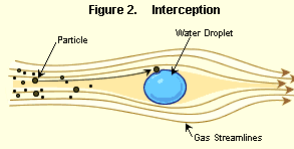
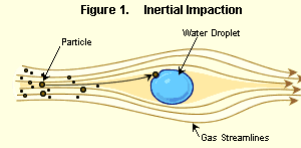
94

Bölüm 1: Tutma Kuvvetleri ve Mekanizmaları

■ Etki eden kuvvetler:

- 1. Yerçekimi
- 2. Santrifüj kuvveti
- 3. Atalet (inertia) kuvveti
- 4. Doğrudan Çarpma
- 5. Difüzyon (Brownian hareketler),
- 6. Elektrostatik
- 7. Termoforez kuvveti
- 8. Diffüzofores kuvveti

Bu kuvvetler, gaz akımına **paralel (3, 4, 5)** veya **dik (1, 2, 6)** yönde etki ederler.



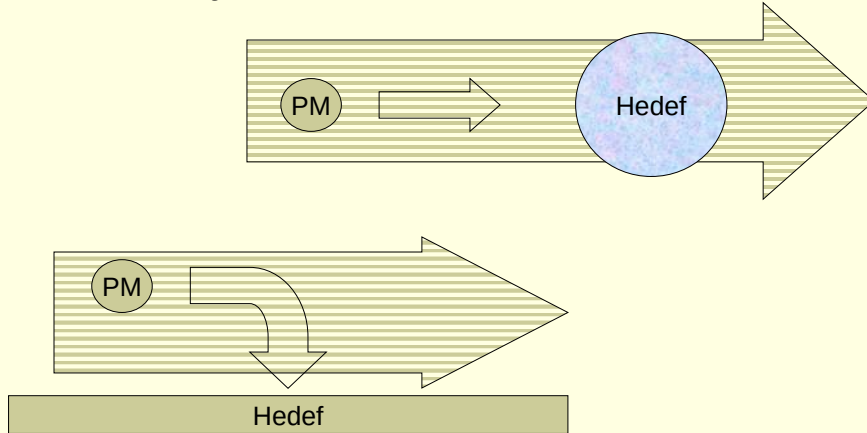
23.09.2019

A.Saral

95

Bölüm 1: Tutma Kuvvetleri ve Mekanizmaları

■ HKK cihazı içinde PM ve Hedefin konumları



23.09.2019

A.Saral

96

Bölüm 1: Tutma Kuvvetleri ve Mekanizmaları

The diagram illustrates a component of a gas turbine engine, likely a compressor or turbine section. It features a central rectangular block with two horizontal extensions on either side. A large, light green arrow points to the right, labeled "Gaz akış yönü" (Gas flow direction). A small black dot is located on the left horizontal extension, indicating a specific point of interest or a sensor location.

23.09.2019

A.Saral

97

