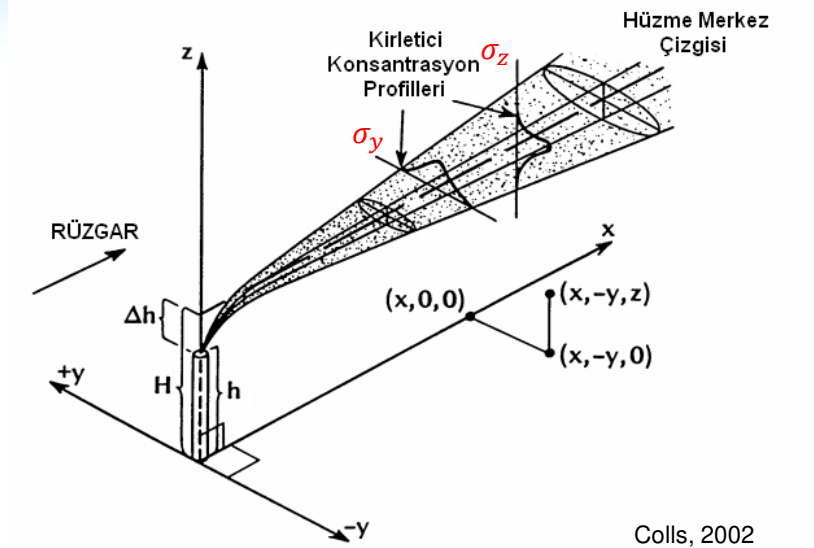




Gauss Dispersiyon Modeli

- Maddenin korunumu esasına dayanan diferansiyel denklemlerin belirli kabuller ile elde edilen analitik çözümleridir.
- Bir noktasal kaynaktan çıkan hüzmenin kararlı durumda, rüzgar yönüne dik olan eksenlerde (y ve z eksenleri) belirli bir süreç içerisinde "Normal" veya "Gauss" tipi bir dağılım gösterdiği esasına dayanmaktadır.
- Rüzgarla beraber hareket eden hüzme dağılmasındaki esas etken türbülanstır. Maksimum kirletici konsantrasyonu hüzme merkez çizgisinde (x ekseninde) oluşmaktadır.

Gauss Dispersiyon Modeli



Gauss Dispersiyon Modeli - Kabuller

- Rüzgar sadece x yönünden eser.
- Rüzgar hızı sabittir, zamanla değişmez.
- Rüzgarın estiği yönde, rüzgar ile taşınım difüzyonla taşınım göre çok daha önemlidir.
- Kirlenici emisyonu sabittir, zamanla değişmez.
- Kütle korunumu mevcuttur, kirleniciler kimyasal reaksiyona girmezler.

Gauss Dispersiyon Modeli - Kısıtlamalar

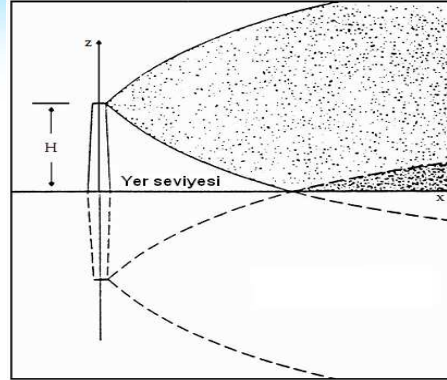
- Gauss dispersiyon modelinin en büyük dezavantajlarından birisi düşük rüzgar hızlarında ve kirletici kaynağa çok yakın olan mesafelerde (<100m.) konsantrasyonları olduğundan daha fazla tahmin etmesidir.
- Ayrıca bu model tüm rüzgar yönü boyunca konsantrasyonları sıfırdan farklı olarak hesapladığı için uzak mesafeler (>50km.) için kullanılmamalıdır.

Gauss Dispersiyon Model Formülasyonu

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

- C : kirletici konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- u : x-yönündeki ortalama rüzgar hızı (m/s)
- Q : kirletici emisyonu ($\mu\text{g}/\text{s}$)
- σ_y : y yönünde hüzmenin standart sapması (m)
- σ_z : z yönünde hüzmenin standart sapması (m)
- H : etkin baca yüksekliği (m)

Gauss Dispersiyon Modeli – Yer yüzeyinden Yansıma



(Griffin 2007)

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

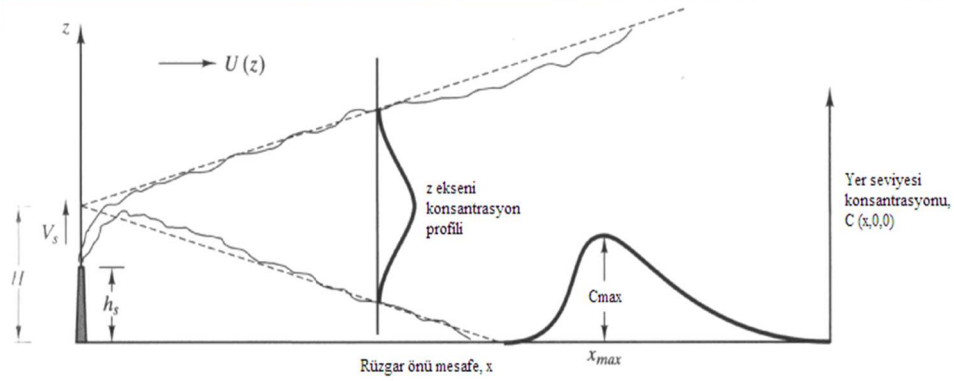
Merkez Çizgi Kons.
y yönünde dispersiyon
Gerçek kaynak
Zahiri kaynak

Gauss Dispersiyon Modeli Hüzme Merkez Çizgisi Konsantrasyonu

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp\left[\frac{-(H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

➤ Hüzme merkez çizgisinde: $y=0, z=0$

Gauss Dispersiyon Modeli Yer Seviyesi Konsantrasyonu



$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z}$$

$$\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}}$$

Atmosferik Stabilite

Rüzgar Hızı (m/s) (10 m yüksekte)	Gündüz – Güneş Radyasyonu (W/m ²)			Gece – Bulutluluk	
	Kuvvetli (>600)	Orta (300-600)	Zayıf (<300)	≥ 4/8	≤ 3/8
< 2	A	A - B	B	-	-
2 – 3	A-B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A: en kararsız

B: orta kararsız

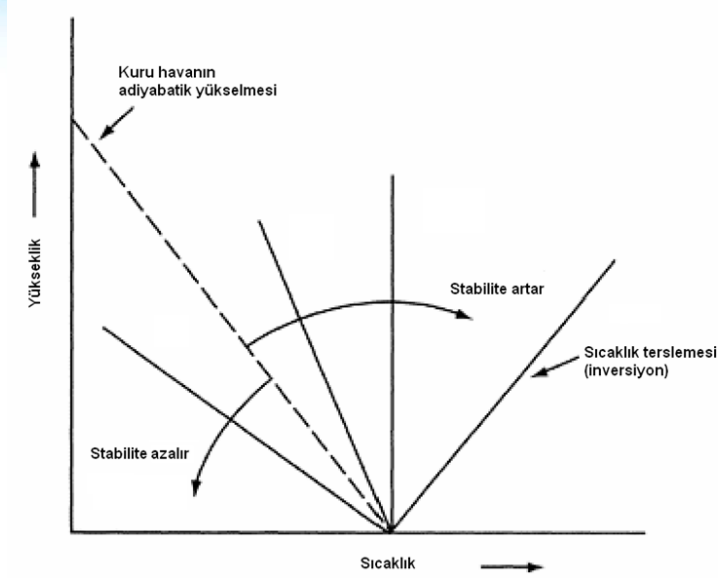
C: hafif kararsız

D: nötr

E: hafif kararlı

F: en kararlı

Atmosferik Stabilite



Stabilite Sınıfının Konsantrasyona Etkisi

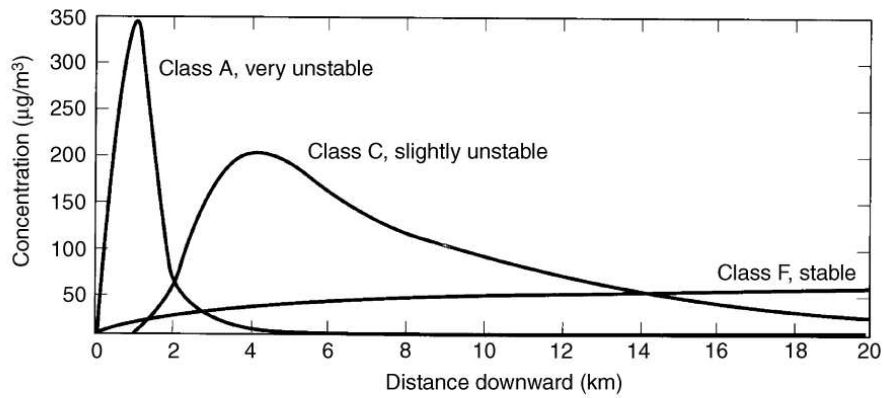


Figure 6.11 Variation of ground level concentration with distance downwind, under different atmospheric stabilities.

Source: Masters, G. M. (1998) *Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall, New Jersey.

(Colls 2002)

Gauss Modeli Çözüm Adımları

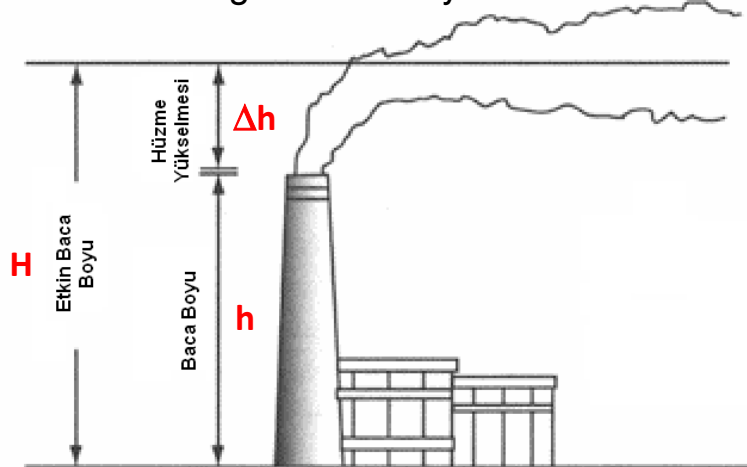
$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

1. Etkin baca yüksekliğinin hesaplanması
 - Briggs, Holland, Concawe, Carson ve Moses, Stumke denklemleri vb.
2. Etkin baca yüksekliğindeki rüzgar hızının hesaplanması
3. Dispersiyon katsayılarının hesaplanması (σ_y ve σ_z)
 - Turner abakları, McElroy-Pooler için Briggs denklemi vb.
4. İstenilen koordinattaki konsantrasyonun hesaplanması

Hüzme Yükselmesi

◆ $H = h + \Delta h$

◆ Etkin Baca Yüksekliği = Baca Boyu + Hüzme Yükselmesi



Hüzme Yükselmesi

- Hüzme yükselmesini (Δh) etkileyen faktörler:
 - Bacanın geometrik yapısı,
 - Meteorolojik parametreler,
 - Baca gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Δh 'ın hesaplamasında kullanılan terimler:
- **Momentum**: baca gazının kendi hızından (V_s) dolayı meydana gelen dikey yöndeki momentum
- **Termal Kaldırma (Buoyancy)**: baca gazı sıcaklığı (T_s) ile atmosfer sıcaklığı (T_a) arasındaki farktan ileri gelen yükselme

$T_s \gg T_a$ ise kaldırma kuvveti etkilidir. $T_s \sim T_a$ ise momentum etkilidir.

Hüzme Yükselmesinin Hesaplanması

Briggs Formülleri

- Kaldırma akısı (F) ile stabilite (s) parametreleri hesaplanmalıdır.
- Stabilite parametresi, sadece atmosferik koşulların kararlı olması (E veya F sınıfı stabilite) durumunda kullanılacaktır.

$$➤ F = g v_s d^2 (T_s - T) / (4T_s)$$

$$➤ s = g (\Delta\theta / \Delta z) / T$$

Hüzme Yükselmesinin Hesaplanması

Briggs Formülleri

- $F = g V_s d^2 (T_s - T) / (4T_s)$
- $s = g (\Delta\theta / \Delta z) / T$
- F: Kaldırma akısı parametresi (m^4/s^3)
- s: Stabilite parametresi
- g: Yerçekimi ivmesi ($9.806 m/s^2$)
- $\Delta\theta / \Delta z$: Sıcaklığı yükseklik ile değişimi
- V_s : Baca gazı çıkış hızı (m/s)
- T: Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}K$)
- d: Baca ağzının iç çapı (m)
- T_s : Baca gazı sıcaklığı ($^{\circ}K$)
- T: Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}K$)

Kaldırma Kuvveti Etkisiyle Yükselen Hüzme

Kararsız (A, B, C) veya Nötr (D) Koşullar

$$H = h + 21.425 \frac{F^{3/4}}{u} \quad (F < 55)$$

$$H = h + 38.71 \frac{F^{3/5}}{u} \quad (F \geq 55)$$

- H: Etkin baca yüksekliği (m)
- h: Baca yüksekliği (m)
- F: Kaldırma akısı parametresi (m^4/s^3)
- u: Rüzgar hızı (m/s)

Kararlı Koşullar (E, F)

$$H = h + 2.6 \left[\frac{F}{us} \right]^{1/3}$$

- H: Etkin baca yüksekliği (m)
- h: Baca yüksekliği (m)
- F: Kaldırma akısı parametresi (m^4/s^3)
- u: Rüzgar hızı (m/s)
- s: Stabilite parametresi

Momentum Etkisiyle Yükselen Hüzme

Kararsız (A, B, C) veya Nötr (D) Koşullar

Kararlı Koşullar (E, F)

$$H = h + 3d \frac{V_s}{u}$$

$$H = h + 1.5 \left[\frac{F}{u\sqrt{s}} \right]^{1/3}$$

- H: Etkin baca yüksekliği (m)
- h: Baca yüksekliği (m)
- d: Baca iç çapı (m)
- V_s : Baca gazı çıkış hızı (m/s)
- u: Rüzgar hızı (m/s)

- H: Etkin baca yüksekliği (m)
- h: Baca yüksekliği (m)
- F: Kaldırma akısı parametresi (m^4/s^3)
- u: Rüzgar hızı (m/s)
- s: Stabilite parametresi

Hüzme Yükselmesi Holland Formülü

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left(1.5 + 2.68 \times 10^{-3} P_d \frac{(T_s - T)}{T_s} \right)$$

- Δh : Hüzme yükselmesi (m)
- V_s : Baca gazı çıkış hızı (m/s)
- d: Baca ağzının iç çapı (m)
- u: Rüzgar hızı (m/s)
- P: Basınç (mbar)
- T_s : Baca gazı sıcaklığı ($^{\circ}K$)
- T: Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}K$)

Hüzme Yükselmesi

Holland Formülü

- Holland Formülü sadece nötr atmosferik şartlar için kullanılmalıdır.
- Hesaplanan hüzme yükselmesi değeri, A ve B sınıfı stabilite için 1.1 ve 1.2; E ve F sınıfı stabilite için de 0.8 ve 0.9 düzeltme katsayıları ile çarpılmalıdır (de Nevers, 1995).

Etkin Baca Yüksekliğindeki Rüzgar Hızı

$$u(z) = u_0 (z/z_0)^p$$

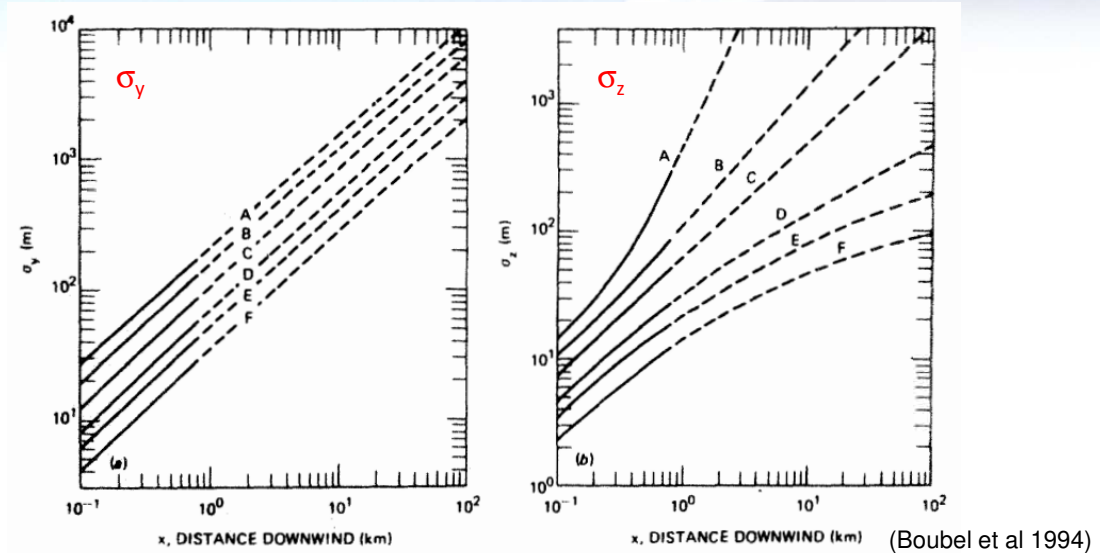
- $u(z)$: z yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
- u_0 : anemometre yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
- z : etkin baca yüksekliği (m)
- z_0 : anemometre yüksekliği (m)
- p : parametre (pürüzlülük ve stabiliteye bağlı)

Pasquill Stabilite Sınıfı	Engelibeli Araziler için p parametresi	Düz Araziler için p parametresi
A – En kararsız	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.20	0.10
D	0.25	0.15
E	0.40	0.35
F – En kararlı	0.60	0.55

(Colls 2002)

Dispersiyon Katsayılarının Hesaplanması (σ_y ve σ_z)

Turner Abakları



Dispersiyon Katsayılarının Hesaplanması (σ_y ve σ_z)

Briggs Equation for McElroy-Pooler

$$\sigma_y = cx^d \quad \sigma_z = ax^b$$

Table 6.7 Equations for the variation of σ_y and σ_z with stability class

Pasquill category	σ_y/m	σ_z/m	(100m. < x < 10000m.)
<i>Open-country</i>			
A	$0.22x (1 + 0.0001x)^{-0.5}$	0.20x	
B	$0.16x (1 + 0.0001x)^{-0.5}$	0.12x	
C	$0.11x (1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.08x (1 + 0.0002x)^{-0.5}$	
D	$0.08x (1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.06x (1 + 0.0015x)^{-0.5}$	
E	$0.06x (1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.03x (1 + 0.0003x)^{-1}$	
F	$0.04x (1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.016x (1 + 0.0003x)^{-1}$	
<i>Urban</i>			
A-B	$0.32x (1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.024x (1 + 0.001x)^{0.5}$	
C	$0.22x (1 + 0.0004x)^{-0.5}$	0.20x	
D	$0.16x (1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.14x (1 + 0.0003x)^{-0.5}$	
E-F	$0.11x (1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.08x (1 + 0.0015x)^{-0.5}$	(Briggs 1973)

Örnek Problem

- Etkin baca yüksekliği 150 metre olan bacanın emisyon oranı 1.2 kg/saniyedir. Yer seviyesindeki rüzgar hızı 3 m/saniyedir. Düz ve kırsal arazi yapısına sahip olan bu bölgede C sınıfı atmosferik stabilite mevcuttur.
- Aşağıdaki mesafeler için hüme merkez çizgisindeki konsantrasyonunu hesaplayınız: 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 metre.
- X eksenindeki konsantrasyon değerlerini grafikte gösteriniz.

Örnek Problem - Çözüm

- Etkin baca yüksekliğindeki rüzgar hızının bulunması:

- $u_0 = 3 \text{ m/s}$

- Düz arazi ve C sınıfı stabilite ise $p = 0.1$

$$u_z = u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^p = 3 \left(\frac{150}{10} \right)^{0.1} = 3.93 \text{ m/s}$$

- Hüme merkez çizgisi konsantrasyonu isteniyor.

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp \left[\frac{-(H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \quad \text{formülü kullanılacak.}$$

Örnek Problem - Çözüm

- σ_y ve σ_z değerlerinin bulunması
(Kırsal arazi için):

$$\sigma_y = 0.11X \cdot (1 + 0.0001X)^{-0.5}$$

$$\sigma_z = 0.08X \cdot (1 + 0.0002X)^{-0.5}$$

Excel'deki formüller:

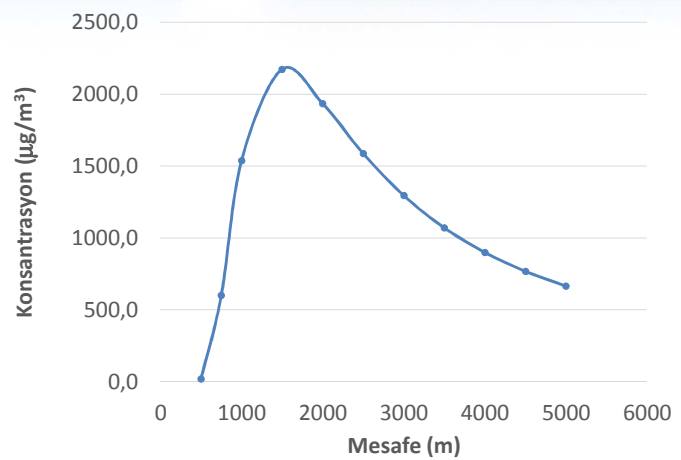
$$B2: =0,11*A2*(1+0,0001*A2)^{-0,5}$$

$$B3: =0,08*A2*(1+0,0002*A2)^{-0,5}$$

	A	B	C
1	x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)
2	500	53,7	38,1
3	750	79,6	56,0
4	1000	104,9	73,0
5	1500	153,9	105,2
6	2000	200,8	135,2
7	2500	246,0	163,3
8	3000	289,4	189,7
9	3500	331,4	214,8
10	4000	371,9	238,5
11	4500	411,1	261,2
12	5000	449,1	282,8

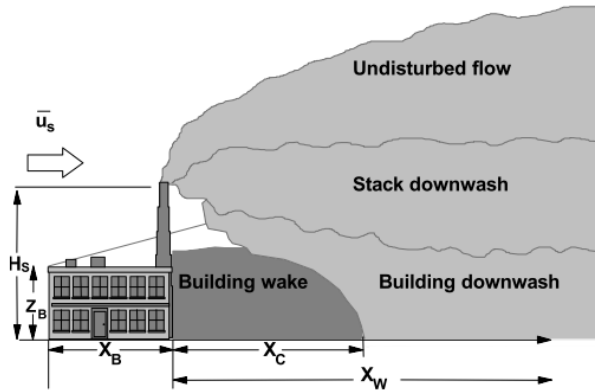
Örnek Problem - Çözüm

	A	B	C	D	E	F
1	x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	C (g/m ³)	C (µg/m ³)	
2	500	53,7	38,1	2,08E-05	20,8	
3	750	79,6	56,0	6,00E-04	600,3	
4	1000	104,9	73,0	1,54E-03	1539,4	
5	1500	153,9	105,2	2,17E-03	2173,8	
6	2000	200,8	135,2	1,93E-03	1934,5	
7	2500	246,0	163,3	1,59E-03	1586,9	
8	3000	289,4	189,7	1,29E-03	1294,9	
9	3500	331,4	214,8	1,07E-03	1070,2	
10	4000	371,9	238,5	8,99E-04	899,2	
11	4500	411,1	261,2	7,68E-04	767,7	
12	5000	449,1	282,8	6,65E-04	664,8	
13						
14	Q (g/s):	1200				
15	u (m/s):	3,93				
16	H (m):	150				



$$D2: =(\$B\$14 * \sqrt{S(-((\$B\$16)^2)/(2 * C2^2))}) / (\text{Pi}() * \$B\$15 * B2 * C2)$$

Baca Gazının Aşağıya Sapması (Stack Downwash)



➤ Düşük baca yüksekliği

➤ Düşük rüzgar hızı

Baca gazının aşağı sapmasına neden olur.

Baca yakınındaki binalar türbülansa sebep olur.

https://www.researchgate.net/publication/264396988_A_DISPERSION_MODELING_SYSTEM_FOR_URBAN_AIR_POLLUTION

Baca Gazının Aşağıya Sapması (Stack Downwash)

➤ $V_s > 1.5 u$ ise $h' = h$

➤ $V_s < 1.5 u$ ise $h' = h + 2d \left[\frac{V_s}{u} - 1.5 \right]$

➤ V_s : baca gazı çıkış hızı (m/s)

➤ u : rüzgar hızı (m/s)

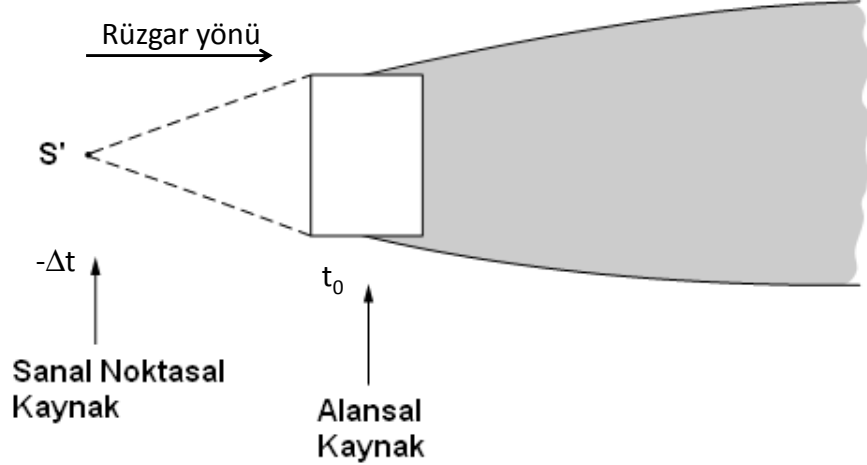
➤ d : baca iç çapı (m)

➤ h : baca yüksekliği (m)

➤ h' : farazi baca yüksekliği (m)

Alansal Kaynakların Modellenmesi

t_0 anındaki alansal kaynağın emisyonununun, $-\Delta t$ süre öncesinde $-x$ yönündeki bir noktasal kaynaktan salındığı varsayımı ile çözüm yapılabilir.



(Griffin 2007)

Kaynaklar

- Edokpa D. O. , Nwagbara M. O. (2017) Atmospheric Stability Pattern over Port Harcourt, Nigeria, Journal of Atmospheric Pollution. 5(1), 9-17.
- https://www.weblakes.com/guides/iscst3/section6/6_1_4.html
- Colls J. (2002) Air Pollution, 2nd ed., Spon Press, U.S.A.
- de Nevers N. (1995) Air Pollution Control Engineering, Mc-Graw Hill Inc., New York.
- Zanetti P. (1990) Air Pollution Modeling Theories, Computational Methods and Available Software, Computational Mechanics Publications, UK.
- Arya S. P. (1999) Air Pollution Meteorology and Dispersion, Oxford University Press, U.S.A.
- Griffin R. D. (2007) Principles of Air Quality Management, 2nd ed., Taylor & Francis Group, LLC, U.S.A.
- Boubel R.W., Fox D.L., Turner D. B. (1994) Stern A.C., Fundamentals of Air Pollution, 3rd ed., Academic Press, U.S.A.