

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL KAYNAKLARDA

HÜZME YÜKSELMESİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Kadir ALP

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Haziran 1989

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Kasım 1989

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Veyseî EROĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Olcay TUNAY

Prof. Dr. Oğuz BORAT

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

KASIM 1989

ÖNSÖZ

Çağımızın en önemli problemleri arasında hava kirliliği ilk sıralarda yer almaktadır. Gelecekte de önemini artırarak sürdüreceği tahmin edilen bu problem üzerinde çalışmaların yoğunlaştırılması gerekmektedir.

Hava kirliliğinin temel araştırma alanlarından biri olan bu tezin konusunun seçiminde ve tezin başlangıç aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Sayın Hocam Prof.Dr. M.Halit GÖKNİL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel kısmı dahil her safhasında bitmek bilmeyen çabaları ile beni destekleyen tez yürütücüsü Sayın Hocam Doç.Dr. Veysel ER-OĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi arzederim. Değerli fikir ve yardımlarından yararlandığım Sayın Hocam Prof.Dr. Olcay TUNAY'a ve Sayın Hocam Doç.Dr. Ferruh ERTÜRK'e en derin şükranlarımı sunarım. Tezin çeşitli safhalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç.Dr. Hasan Ali SAN'a, Yard.Doç.Dr. İsmail TORÖZ'e, Dr. Lütfi AKÇA'ya ve Yük.Müh. Bülent İNANÇ'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında gösterdikleri ilgi ve desteklerinden dolayı SEKA Bolu Müessesesi mensuplarına ayrıca teşekkür etmeyi borç bilirim.

Kadir ALP

İÇİNDEKİLER

NOTASYON

ŞEKİL LİSTESİ

TABLO LİSTESİ

ÖZET

SUMMARY

BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. GENEL.....	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ ve KAPSAMI.....	4
BÖLÜM 2 HÜZME YÜKSELMESİ ve ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	10
2.1. HÜZME YÜKSELMESİ.....	10
2.2. EFFEKTİF HÜZME YÜKSEKLİĞİ.....	12
2.3. YER SEVİYESİ KONSANTRASYONLARI ÜZERİNDE HÜZME YÜKSELMESİNİN ETKİSİ.....	13
2.4. HÜZME YÜKSELMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	18
2.4.1. Atık Gaz Özellikleri	18
2.4.2. Çevre Havasının Meteorolojik Özellikleri.....	20
2.4.3. Atmosferin Stabilitesi	21
2.4.4. İnversiyonlar.....	22
2.4.5. Rüzgar Hızı Profili	23
2.4.6. Atmosferik Türbülans Hüzme Tipleri.....	24
2.4.7. Atmosferik Türbülans Yoğunluklarının Değişimi	27
BÖLÜM 3 TEMEL HÜZME DAVRANIŞLARININ TEORİSİ.....	29
3.1. GİRİŞ.....	29

3.2. KORUNUM DENKLEMLERİ.....	30
3.3. YUKARI KIVRIK HÜZMELER.....	33
3.4. NÖTRAL BİR ATMOSFERDE HÜZME YÜKSELMESİ.....	35
3.5. HÜZME YÜKSELMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	39
3.5.1. Uzaklığın Fonksiyonu Olarak Hüzme Yükselmesi	39
3.5.2. Nihai Yükselme	44
3.5.3. Momentum Etkisindeki Hüzmeler.....	50
BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
4.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN PLANLANMASI.....	52
4.2. ARAŞTIRMANIN YAPILDIĞI TESİSİN TANITIMI.....	53
4.2.1. Tesis Çevresinin Topografik Yapısı.....	53
4.2.2. Meteorolojik Yapı.....	55
4.2.3. Kazan Dairesi	56
4.3. HÜZME YÜKSELMESİ ÖLÇÜM TEKNİKLERİ	58
4.3.1. Kullanılan Ölçüm Tekniği.....	60
4.3.1.1. Baca Gazı Özellikleri.....	62
4.3.1.2. Meteorolojik Parametrelerin Ölçülmesi	65
4.3.2. Kullanılan Hesap Metotları.....	66
4.4. ÖLÇÜM NETİCELERİ.....	66
4.4.1. SEKA Bolu Tesisleri Ölçüm Neticeleri.....	66
4.4.1.1. Meteorolojik Parametrelerin Analizi	67
4.4.1.2. Rüzgar Hızı Gruplarına Göre Hüzme	
Yükselmeleri	67
4.4.1.3. Mesafelere Göre Hüzme Yükselmeleri..	69
4.4.2. Literatürden Derlenen Hüzme Yükselmesi	
Datalarının Analizi.....	74
4.4.2.1. $\Delta h.u$ Çarpımı ile F Yoğunluk Farkı	
Kuvvetleri Akısının Değişimi.....	76
BÖLÜM 5. GÖZLEM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve GENEL	
 İFADELERİN ÇIKARILMASI.....	80
5.1. GENEL.....	81
5.1.1. Rüzgar Hızı Değerlendirmeleri.....	81
5.1.2. Baca Gazı Sıcaklığının Belirlenmesi.....	82
5.2. HÜZME YÜKSELMESİ ÖLÇÜMLERİ.....	83
5.2.1. Nötr ve Kararsız Atmosferik Yapıda Mesafeye	
Karşı Hüzme Yükselmesi.....	83
5.2.2. X' 'in Belirli Değerleri İçin Δh İle	
$F^{1/3}/u'$ 'nin Değişimi.....	85

5.3. BRINGFELT DATALARININ İNCELENMESİ.....	91
5.4. SONUÇLARIN YORUMLANMASI.....	93
5.4.1. Hüzme Yükselmesi Üzerinde Nonüniform Rüzgar Hızının Etkisi.....	97
5.4.2. Baca Yakınındaki Yapıların Hüzme Üzerindeki Etkileri.....	102
5.4.3. Atmosferik Türbülans Yoğunluğunun Hüzme Yükselmesi Üzerindeki Etkileri.....	103
5.4.4. Genel İfadelerin Bulunması.....	108
5.5. KARARLI ATMOSFERİK YAPIDA HÜZME YÜKSELMESİ.....	109
5.6. HATA SINIRLARI ve HASSASİYET.....	110
 BÖLÜM 6 SONUÇLAR	 111
 KAYNAKLAR	 114
EKLER.....	
ÖZGEÇMİŞ.....	

NOTASYON

<u>Sembol</u>	<u>Birim</u>	<u>Açıklama</u>
A_s	L^2	Baca çıkışı kesit alanı
a		Sabit
C	ML^{-3}	Kirletici maddelerin konsantrasyonu
C_1		Kaynak ve çevre havası özelliklerine bağlı bir sabit
C_2		Kaynak ve çevre havası özelliklerine bağlı bir sabit
C_{mm}	ML^{-3}	Rüzgar hızı ve mesafeye göre maksimum kirletici konsantrasyonu
C_p	$L^2 M^{-1} t^{-3} K^{-1}$	Spesifik ısı sabiti
d_s	M	Baca çıkışı çapı
D_m	-	Maksimum konsantrasyonun oluştuğu uzaklık, boyutsuz
D_{mm}	-	Rüzgar hızı ve uzaklığa göre maksimum konsantrasyonun oluştuğu mesafe
e	-	Tabi logaritma tabanı
F	$M^4 t^{-3}$	Baca gazlarında yoğunluk farklarının yol açtığı kaldırma kuvvetleri akısı
F_r		Dansimetrik Froude sayısı
g	$M t^{-2}$	Yer çekimi kuvveti
h	M	Fiziksel baca yüksekliği
H_s	M	Effektif hüzme yükselmesi
H_o		Yeryüzeyinin kinematik ısı akısı
Δh	M	Hüzme yükselmesi
i_y		Türbülans yoğunluğu yatay bileşeni

<u>Sembol</u>	<u>Birim</u>	<u>Açıklama</u>
$\dot{i}_z$		Türbülans yoğunluğu dikey bileşeni
k		Termal konduktivite
K		VonKarman sabiti
K_1		Sabit
K_m		Maksimum konsantrasyon boyutsuz
K_{mm}		Rüzgar hızı ve uzaklığa göre maksimum konsantrasyon
ℓ	M	Karakteristik uzunluk skalası
L_t	M	Türbülansın karakteristik uzunluk skalası
M	$M^4 t^{-2}$	Atık gazların momentum akısı
M_a	ML^{-3}	Havanın molekül ağırlığı
M_s	ML^{-3}	Baca gazının molekül ağırlığı
N	t^{-1}	Brunt Vaisalla frekansı
p	-	Yüzey pürüzlülüğü ve stabilite kategorilerine bağlı olarak 0-1 arasında değişen bir katsayı
P	$ML^{-1} t^{-2}$	Hidrostatik basınç
P_o	$ML^{-1} t^{-2}$	Referans basınç
Q	$M t^{-1}$	Nokta kaynak şiddeti veya birim zamandaki kirlетici emisyonu
Q_h	$ML^2 t^{-3}$	Baca gazı ısı kapasitesi veya ısı emisyonu hızı
Q_m	$M t^{-1}$	Atıkgaz kütleli debisi
r_s	L	Baca çıkış ağız yarıçapı
R	$M^2 L^{-1} t^{-3}$	Gaz sabiti
S	t^{-2}	Kademeleşme parametresi
S	$M^2 L^{-1} t^{-3}$	Entropi
T	K	Mutlak sıcaklık
T_A	K	Çevre havası sıcaklığı
T_s	K	Baca gazı sıcaklığı
U	$L t^{-1}$	Baca seviyesinde rüzgar hızı
U_c	$L t^{-1}$	Kritik rüzgar hızı
U_i	$L t^{-1}$	Rüzgar hızı bileşenleri
U_*	$L t^{-1}$	Yüzeysel rüzgar hızı
V_c		Boyutsuz kritik rüzgar hızı
V_s	$L^3 t^{-1}$	Baca gazı hacimsel debisi
w_d	$L t^{-1}$	Konvektif hareketlerin aşağı yönlü hız bileşeni

<u>Sembol</u>	<u>Birim</u>	<u>Açıklama</u>
w_s	$L t^{-1}$	Baca gazı deşarj hızı
w_*	$L t^{-1}$	Konvektif hız skalası
$\bar{w}$	$L t^{-1}$	Baca gazı ortalama deşarj hızı
x	L	Kaynaktan rüzgar yönündeki uzaklık
X_1	$L t^{-2}$	Birim akışkan kütlesine etki eden kuvvet
X^*	L	Hüzme üzerinde atmosferik türbülansın etkin ol- maya başladığı uzaklık
Z	L	Yer seviyesinden yükseklik
Z_i	L	Sınır tabakası yüksekliği
Z_o	L	Aerodinamik yüzey pürüzlülüğü
Z_T	L	Referans yükseklik
β	-	Sızma katsayısı
β_T	K^{-1}	Akışkanın termal genleşme katsayısı
γ	-	Sabit basınçtaki spesifik ısı sabitinin sabit hacimdeki spesifik ısı sabitine oranı
Γ	$L^{-1} K$	Kuru adyabatik laps hızı
δ_{13}	-	Kronecker deltası
ϵ		Birim kütle başına türbülant enerji kaybı
θ	K	Potansiyel sıcaklık
κ	t^{-1}	Termal diffüzyivite
μ	$ML^1 t^{-1}$	Dinamik viskozite
ν	$L^2 t^{-1}$	Kinematik viskozite
ν_T	$L^2 t^{-1}$	Türbülant kinematik viskozite
ρ	ML^{-3}	Yoğunluk
ρ_o	ML^{-3}	Referans yoğunluk
ρ_s	ML^{-3}	Baca gazı yoğunluğu
σ_y	L	Türbülansın yatay bileşeninin standart sapması
σ_z	L	Türbülansın düşey bileşeninin standart sapması
v_R	$L^{1/2} t^{-1/2}$	Türbülans hızının karekökü
ϕ	$ML^2 t^{-2}$	Akışkanın birim kütlesi başına ısı enerjisine çevrilen mekanik enerji

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa No</u>
1.1	Dünya Üretilebilir Yakıt Rezervleri ve Tahmin Edilen Petrol-Kömür Üretimlerinin Gelişimi	2
2.1	Etkin Baca Yüksekliğindeki Görünür Kaynaklarda Dispersiyon Modeli	13
2.2	Belirli Bir Rüzgar Hızında Yüksek Bacaların Rüzgar Yönünde Yer Seviyesinde Yol Açtığı Kirlenici Konsantrasyonlarının Dağılımı	16
2.3	Düzenli Seyrelme Halinde Rüzgar Hızı İle Maksimum Yer Seviyesi Konsantrasyonlarının Değişimi ..	17
2.4	Potansiyel Sıcaklık Θ 'nın Belirlenmesinde Adyabatik Proses Uygulaması	21
2.5	Atmosferik Stabilite ve Laps Hızları	22
2.6	a. Çöken İnversiyon, b. Radyasyon İnversiyonu, c. Çöken ve Radyasyon İnversiyonu Kombinasyonu .	23
2.7	Rüzgar Hızı ve Sıcaklık Profillerine Göre Karakteristik Hüzme Yapıları	26
3.1	Yukarı Kıvrık Hüzme ve Fazları	34
3.2	Yataya Dönen Bir Hüzme Elemanı İçine Çevre Havasının Sızması	36
3.3	Rüzgar Hızı ve Hüzme Yükselmesi Çarpımına Karşı 250 m 500 m ve 1000m Uzaklıklar İçin Isıl Emisyonun Değişimi	42
3.4	Konvektif Şartlarda Hüzmenin Dağılımı	48
4.1	SEKA Bolu Tesisleri Genel Yerleşimi	54
4.2	Doğu-Batı İstikametinde Arazi Kesiti	54

<u>Şekil No</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa No</u>
4.3	Kuzey-Güney İstikametinde Arazi Kesiti ..	54
4.4	Kazan Dairesi ve Bacaların Önden Görünüşü	57
4.5	Kazan Dairesi ve 1 No'lu Bacanın Yandan Görünüşü	57
4.6	Tek Kamera Tekniği ile Hüzme Yükselmesi Ölçümü	62
4.7	MRI Meteoroloji Cihazı Kayıtlarına Göre Çalışma Periyodundaki Hakim Rüzgar Yönleri ve Frekansları	67
4.8	Günün Değişik Saatlerindeki Rüzgar Gülleri	68
4.9	Bolu w/u >1,5 Grubu Dataları	70
4.10	Bolu 1.0 w/u >1.5 Grubu Dataları	70
4.11	Bolu w/u <1.0 Grubu Dataları	70
4.12	Bolu Bütün Datalar	70
4.13	Bolu Dataları w/u >1.5 Grubu Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun Değişimi	71
4.14	Bolu Dataları $1.0 < w/u < 1.5$ Grubu Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun Değişimi	72
4.15	Bolu Dataları w/u <1.0 Grubu Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun Değişimi	73
4.16	Kararlı Atmosferik Yapıda Gözlem Sonuçları İle Modelin Karşılaştırılması	75
4.17	Bringfelt w/u >1.5 Grubu Dataları	77
4.18	Bringfelt $1.0 < w/u < 1.5$ Grubu Dataları	78
4.19	Bringfelt w/u <1.0 Grubu Dataları	79
5.1	MRI ve Bolu Met. İstasyonu Rüzgar Hızı İlişkileri	81
5.2	w/u >1.5 Grubu Hüzme Yükselmesi Dataları Üzerinde Nonuniform Rüzgar Hızının Etkisi	99
5.3	$1.0 < w/u < 1.5$ Grubu Hüzme Yükselmesi Dataları Üzerinde Nonuniform Rüzgar Hızının Etkisi	100

<u>Şekil No</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa No</u>
5.4	w/u <1.0 Grubu Hüzme Yükselmesi Dataları Üzerinde Nonüniform Rüzgar Hazının Etkisi	101
5.5	Kübik Şekilli Bir Yapının Çevresinde Oluşan Akım Çizgileri	102
5.6	Baca Gazlarının Dispersiyonu Üzerinde Bir Binanın Aerodinamik Etkileri	103
5.7	Kararsız Atmosferik Yapıda Kalitatif Hüzme Yörüngeleri	106
5.8	Bolu Dataları Δh ile $F^{1/3}/u$ Değişimi ...	109
5.9	Bringfelt Dataları $\Delta h.u$ ile F' in Değişimi	110

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo No</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa</u>
1.1	Türkiye'nin Enerji İhtiyacı Projeksiyonu	3
1.2	Türkiye'de Fosil Yakıt Tüketimine Bağlı Olarak Atmosfere Verilen Kirletici Maddelerin Envanteri.	4
1.3	Taşkömürü Talebinin Büyük Sektörlere Dağılımı....	5
1.4	Linyit Kömürü Talebinin Büyük Sektörlere Dağılımı	6
2.1	p Üstel Katsayısının Atmosferik Stabilite İle Değişimi	24
2.2	Pasquill'in Türbülans Tipleri	25
2.3	Pasquill Stabilite Sınıfları ve σ_0 Tablosu	25
2.4	Nötr Atmosferik Yapıda $\bar{I}_Z$ Etketif Dikey Türbülans Yoğunlukları	28
2.5	Termal Kademeleşmeye Göre Yer Seviyesinde Tipik Türbülans Yoğunlukları	28
3.1	Bringfelt'e Göre Q_h ile X^a 'nın Değişimi	41
3.2	Atmosferik Yapılanmaya Göre C_1 'in Değişimi.....	43
4.1	Buhar Kazanları Teknik Özellikleri.....	56
4.2	Baca Gazlarının Genel Özellikleri.....	63
4.3	Çevre Havası Laps Hızı, Potansiyel Sıcaklık Gradyanı ve S Atmosferik Kademeleşme..... Parametresinin Değişimi.....	74
4.4	Bringfelt Datalarının Elde Edildiği Tesislerin Genel Özellikleri	75
5.1	Geri Yıkama Potansiyellerine Göre Mesafeye Karşı Hüzme Yükselmesi Regresyon Doğruları.....	86

<u>Tablo No</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sayfa No</u>
5.2	Geri Yıkama Potansiyellerine Göre Belirli Mesafelerde Δh ile $F^{1/3}/u$ Arasındaki Regresyon Doğruları	90
5.3	$w/u > 1,5$ Kategorisi Bringfelt Datalarına Göre $\Delta h.u$ ile F' 'in Değişimi	92
5.4	$1.0 < w/u < 1.5$ Kategorisi Bringfelt Datalarına Göre $\Delta h.u$ ile F' 'in Değişimi ..	94
5.5	$w/u < 1.0$ Kategorisi Bringfelt Datalarına Göre $\Delta h.u$ ile F' 'in Değişimi	95

ÖZET

Endüstriyel kaynaklar düşük ısı kapasite, kısa bacalar, küçük deşarj hızları ve yerleşim bölgeleri içinde yer almaları gibi özellikleri dolayısı ile bu bölgelerdeki hava kalitesinin korunmasında birinci önceliğe sahip kaynaklardır. Bu tür kaynaklar için EPA'nın geliştirdiği hava kirliliği modellerinde Briggs'in hüzmeye yükselmesi eşitlikleri kullanılmaktadır. Bu ifade büyük nokta kaynaklar için kalibre edildiği için endüstriyel kaynaklara uygulanmasında önemli hatalara sebebiyet vermektedir. Yaptığımız çalışmada bu husus incelenmiş ve endüstriyel kaynaklarda hüzmeye yükselmesini veren genel ifadeler çıkarılmıştır.

Birinci bölümde Dünya enerji tüketimindeki gelişmeler ve ülkemizde fosil yakıt kullanımından oluşan kirleticiler incelenmiş, çalışmanın amacı ve kapsamı verilmiştir.

İkinci bölümde hüzmeye tanımlanmış ve hüzmeye yükselmesine etki eden meteorolojik faktörler ve kaynak özellikleri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde hüzmeye yükselmesi teorileri incelenmiştir. Yoğunluk farklarının etken olduğu hüzmeler için "2/3 Kanunu'nun çıkarılışı verilmiştir. Daha sonra konuyla ilgili literatür incelemesi yer almaktadır. Bu incelemeler kaynaktan uzaklığa bağlı olarak hüzmeye yörengesini veren ifadelerle nihai hüzmeye yükselmesini veren ifadeler olmak üzere iki bölümde yer almıştır.

Dördüncü bölümde, deneysel çalışmanın planlanması, çalışmanın yürütüldüğü tesisin tanıtımı, kullanılan ölçüm tekniği ve meteorolojik parametrelerin ölçümü üzerinde durulmuştur. Ölçüm sonuçları ve literatürden derlenen datalar geri yıkama potansiyelleri gözönüne alınarak üç ayrı kategoride incelenmiş ve regresyon doğruları bulunmuştur.

Beşinci bölümde gözlem sonuçları çeşitli yönleri ile değerlendirilmiş ve genel ifadeler çıkarılmıştır. Bulunan ifadeler ile Briggs eşitliği arasındaki farkın nedenleri üzerinde durulmuştur.

Altıncı bölümde, bulunan neticeler toplu halde özetlenmiştir.

SUMMARY

PLUME RISE IN INDUSTRIAL SOURCES

Air quality in any region is affected by air polluting sources, which are defined as point, line and area sources. Point sources play an important role on air quality due to their variety, polluting potential and continuity. Therefore, control of point sources is an important step in preventing air pollution.

Point sources are divided into two groups according to the buoyancy flux (F). These are; thermal power plants ($F > 100 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-3}$) and industrial sources ($F < 100 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-3}$). Because of the fact that industrial sources are generally located within or close to residential areas, they are significant emission sources which affect the air quality in these areas.

Mathematical models are important tools to develop the relation between the polluting source and air quality. Several models have been developed for this purpose. Gaussian dispersion models are accepted as the basis for modelling point sources due to their simplicity and dependability and are therefore used in models like CRESTER, RAM, CDM and VALLEY which are applied by Environmental Protection Agency of the U.S. The models can be used for estimating pollutant concentrations and the extent of source control required to attain a certain air quality standard. The selection of the stack heights of the point sources can be carried out through these models. However application of these models require the definition and determination of numerous parameters.

The fundamental equation of the Gaussian model for point sources is given below.

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

Where C is the concentration of the pollutant ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), Q is the source emission rate ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$), u is the horizontal wind speed at stack height, σ_y and σ_z are horizontal and vertical standard deviations (m), and H

is the effective stack height (m).

The effective stack height can be expressed as;

$$H = h_s + \Delta h \quad (2)$$

where h_s is the physical stack height (m), and Δh is the plume rise (m). Five parameters (wind speed, horizontal and vertical dispersion coefficients, emission rate and plume rise) are needed to estimate ground-level concentrations. Relative errors in predicting or measuring wind speed, emission rate and horizontal dispersion cause the same order of relative error in concentration; whereas relative errors in plume rise or vertical dispersion estimates can result in relative errors as the square of the ratio of effective stack height to vertical dispersion. Therefore plume rise is an essential parameter for obtaining accurate estimates of ground-level concentrations.

Several models have been developed for the estimation of plume rise (Δh). These models make use of the factors effecting the plume rise, and therefore they are mostly empirical or semiempirical nature. The dispersion models of EPA for plume rise have used "2/3 Law". This law is expressed as;

$$\Delta h = \left(\frac{3}{2\beta^2} \right)^{1/3} \cdot F^{1/3} \cdot u^{-1} \cdot x^{2/3} \quad (3)$$

Where β is the entrainment coefficient and x is the downwind distance from the source (m). Buoyancy flux (F) is given below.

$$F = g \cdot w_s \cdot r_s \left(\frac{T_s - T_A}{T_s} \right) \quad (4)$$

Where g is the gravitational acceleration (m.s^{-2}), w_s is the stack gas exit velocity (m.s^{-1}), T_s is the stack gas exit temperature ($^{\circ}\text{K}$), and T_A is the ambient air temperature ($^{\circ}\text{K}$).

Equation (3) may be derived from analytical solutions of conservation equations of fluid mechanics. This solution is obtained by introducing an entrainment hypothesis into the one-dimensional, or integral form of the equations describing conservation of mass, momentum, and heat for a plume element. Two additional simplifications are required, however, before an analytical solution can be derived; the Boussinesq approximation and bend-over plume assumption. The former approximation assumes that ambient and plume densities are equal except in density difference terms; the latter approximation assumes that the plume centerline velocity is approximately equal to the mean wind speed or in other words, that the plume takes on the average horizontal wind speed immediately upon entering the atmosphere.

Briggs has proposed a value of 1.6 for the coefficient $\left(\frac{3}{2\beta^2} \right)^{1/3}$ in the 2/3 Law following several field studies for thermal power plants. However, the ground-level pollutant concentration in industrial sources are underestimated when the Briggs's coefficient is used in the "2/3 Law". Therefore value of this coefficient must be determined for industrial sources.

The purpose of this study is to determine the value of the coefficient $\left(\frac{3}{2\beta^2}\right)^{1/3}$ more accurately for industrial point sources by conducting field experiments and by using data from literature. Thus a more realistic approach would be obtained in modelling of these sources.

In the first chapter world energy consumption and resulting air pollution problems are delineated, and purpose and objectives of the study are given.

In the second chapter, description of the plume is made, the effect of plume rise on the ground level concentration is investigated, and the factors affecting the plume rise are given. These factors are studied under two categories as meteorological parameters, and factors reflecting characteristics of the source.

In the third chapter, the theory of plume characteristics is illustrated. The theory of the bent over plumes in neutral atmospheric conditions is given, and the "2/3 law" is derived. Literature survey related to the plume rise is given. The equations defining the initial and the ultimate plume rises are derived separately.

In the fourth chapter, the experimental methods employed in this study are explained. The plant, where the experimental work was made is described, and the topographical and meteorological characteristics of the region of the study are given. The measurement techniques for the plume rise are investigated and the method used is described in detail. The results of the measurements are grouped into three categories according to the downwash potential. The cases studied are $w/u > 1.5$ (negligible downwash), $1.0 < w/u < 1.5$ (medium downwash) and $w/u < 1.0$ (significant downwash). These are also applied to the data related to plume rise of industrial sources obtained from the literature.

In the fifth chapter, the results are evaluated. Both the plume rise data obtained from the field measurements and those obtained from the literature are analysed with respect to downwind distance, wind profile and buoyancy flux F .

In the sixth chapter, the discussions of the results and conclusions are given.

The results are drawn for neutral and unstable atmospheric conditions can be summarized as follows.

1. "2/3 Law" overestimates the plume rise for all downwash categories.
2. As downwash becomes significant the scatter of the data increases, and correlation between theoretical predictions and experimental results becomes poor. The experimental results give negative correlation for $w/u < 1.0$. This indicates a significant influence of downwash on the plume.
3. For $w/u > 1.5$, the regression line gives 15-25% lower plume rise compared to the Briggs formula. This deviation becomes 25-30% for $1.0 < w/u < 1.5$, and approximately 50% for $w/u < 1.0$

The deviations from "2/3 Law" for the industrial sources can be explained as follows;

1. The wind speed used in the "2/3 Law" is the wind speed at stack height. Major point sources have tall stack heights ($h_s > 150\text{m}$). In the upper atmospheric layers wind profile can be assumed constant, whereas it becomes significant in the layers 50-100m above the ground. Therefore in the industrial sources, wind speed at the effective stack height should be taken instead of at the physical stack height.
2. The entrainment coefficient, β , becomes greater than 0,6 which is taken in the "2/3 Law". This is due to the effect of the wind velocity gradient. The entrainment of ambient air into the plume increases due to the effect of the wind shear, and as a result plume dilution increases, the difference in densities decreases and plume rise decreases.
3. In industrial sources, stack gas exit velocity is generally lower than 10 m.s^{-1} . The wakes formed by the stack and the nearby buildings, result in downwash due to low stack gas exit velocity.
4. Due to strong atmospheric turbulence as a results of the topografical and meteorological characteristic of the study area, the density differentials between the plume and the ambient air are weakened, and lower rises are obtained.

The effective plume rise parameter in the Gaussian dispersion model affects the ground-level concentration significantly. Therefore in general the lowest estimation of the plume rises is assumed to ensure safe ground-level concentration. In industrial sources these estimation must be accurate enough to predict the actually conditions. Accordingly, taking into account of the observed data and the data from the literature, the following relations are found to express the plume rise more accurately

- For $w/u \ 1.5$

$$\Delta h = 1.3 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3} \quad (5)$$

- For $1.0 \ w/u \ 1.5$

$$\Delta h = 1.15 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3} \quad (6)$$

- For $w/u \ 1.0$

$$\Delta h = 0,8 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3} \quad (7)$$

The following general expressions are found from analysis of the data of SEKA-Bolu and Bringfelt;

- For the data of SEKA-Bolu

$$\Delta h = 1,1 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3} \quad \text{Corr} = 0,77 \quad (8)$$

- For the data from Bringfelt

$$\Delta h = 1,2 F^{1/3} \cdot u^{-1} \cdot x^{2/3} \quad \text{Corr} = 0.66 \quad (9)$$

The general expression is obtained for combined data groups

$$\Delta h = 1.15 F^{1/3} \cdot u^{-1} \cdot x^{2/3} \quad (10)$$

In this work, the value of this coefficient is determined as 1.15 instead of 1.6, and maximum concentration values were calculated using the former value. It was shown that this value results in a better approximation of the plume rise expression for industrial sources

BÖLÜM I

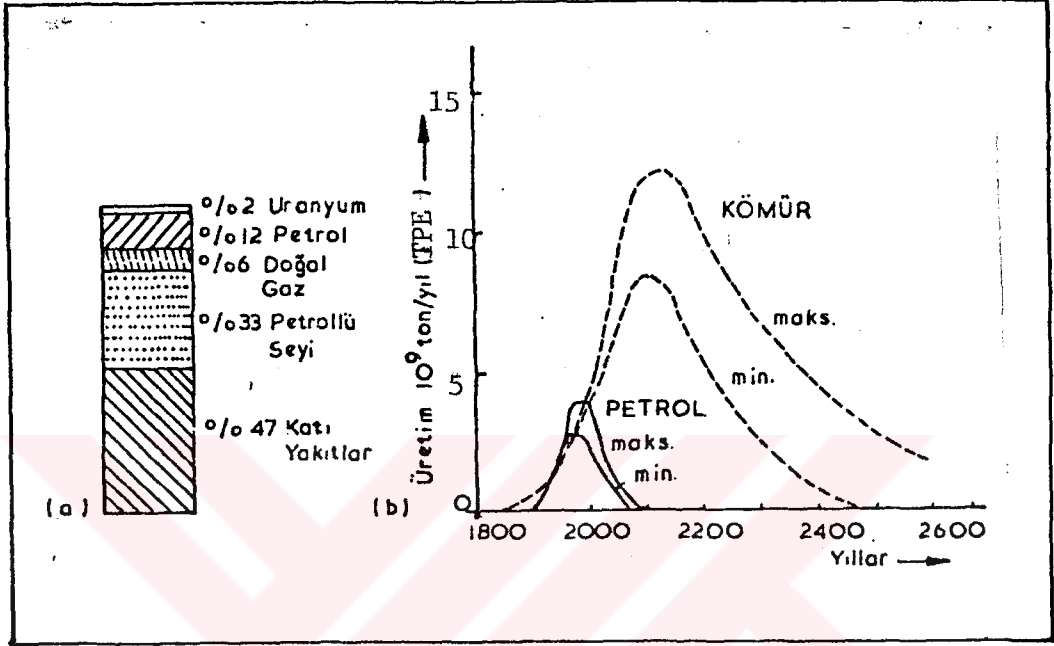
GİRİŞ

1.1. GENEL

Enerji üretimi ve tüketimi insanlığı ilgilendiren belli başlı konuların başında gelmektedir. Gerek günlük hayatımızdaki ısınma, aydınlanma, ulaşım, haberleşme ve benzeri alanlarda, gerekse sanayi ve teknoloji gibi üretim alanlarında enerjinin bütün çeşitlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu enerji ihtiyacı, yenilenebilir (su,rüzgar, güneş, jeotermal, met-cezir, dalga, biokütle) ve yenilenemeyen (fosil yakıtlar, nükleer yakıt, katı atıklar vb.) enerji kaynaklarından değişik yöntemlerle sağlanmaktadır.

Gelişmiş ülkelerin sanayilerinin ve refah düzeylerinin korunması ve gelişmekte olan ülkelerin kalkınmalarının gereği olan enerji çok büyük ölçüde fosil, hidrolik ve nükleer enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu çerçevede içinde Dünya enerji tüketiminin yakın tarihimizde ulaştığı boyutlar hakkında 1973 yılı örneği verilebilir. 1973 yılında 5,9 milyarTPE (Ton Petrol Eşdeğeri) veya 240 mQ ($1 \text{ mQ} = 10^{-3} \text{Q} = 10^{15} \text{Btu} = 1.05 \times 10^{18} \text{J} = 2,5 \times 10^{17} \text{cal}$) olan toplam enerji sarfiyatı 1986 yılında 7,6 milyar TPE'e (veya 310 mQ) yükselmiştir. Bu 13 yıllık sürede ortalama yıllık artış %2 civarında gerçekleşmiştir [1]. 2000 yılında, Dünya enerji tüketiminin 10,5 milyar TPE veya 420 mQ'ya ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dünyada üretilebilir yakıt rezervlerinin %47 gibi önemli bir bölümünü kömür oluşturmaktadır. Bunu izleyen pet-

rollü şeyl %33, petrol %12, tabii gaz % 6 lık bir paya sahiptir. Sonuncu sırada ise % 2 gibi küçük bir oran ile uranyum bulunmaktadır. Şekil 1.1.a ve b'de dünya üretilebilir yakıt türleri ve kömür ve petrol için enerji uzmanlarınca tahmin edilen üretim miktarları görülmektedir [2].



Şekil 1.1: Dünya Üretilebilir Yakıt Rezervleri ve Tahmin Edilen Petrol Kömür Üretimlerinin Gelişimi

Şekil 1.1. b yakından incelendiğinde yukarıda belirtildiği gibi dünya petrol üretiminin 2000 yıllarında maksimum değeri olan yaklaşık 2,8-4 milyar TPE'e ulaşacağı ve bundan sonra sürekli olarak azalacağı görülecektir. Buna karşın 2000 yıllarında hemen hemen petrolle aynı miktarda olan kömür üretiminin giderek artacağı ve 2100 yıllarında $8-12 \times 10^9$ ton TPE düzeyine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu olay petrol rezervlerinin sınırlı oluşu (50 yıl içinde biteceği endişesi) ve etkileri hala süren 1973 petrol krizinden sonra ülkelerin enerji üretimlerini petrole dayandırmak istememesinden kaynaklanmaktadır. Şüphesiz ülkemizi, kömür üzerinde yoğunlaşacak bu üretim trendinin dışında tutmak mümkün değildir. Türkiye'de fosil yakıt kaynakları içinde petrol ve taşkömürü rezervlerinin oldukça küçük olmasına karşılık üretilebilir linyit rezervlerinin $8,2 \times 10^9$ ton olduğu belirlenmiştir [2]. İleriye dönük planlamalarda enerji üretiminde linyitin payının gittikçe artacağı açıktır.

Ülkemiz için ileriye dönük enerji tüketimi tahmini ve bu tüketimin sağlanacağı kaynaklar Tablo 1.1'de verilmiştir [1,2] .

Tablo 1.1 : Türkiye'nin Enerji İhtiyacı Projeksiyonu Tahminleri

Enerji Türleri	Yıllar		
	1985	2000	2010
Petrol, 10^6 Ton	20	35	60
Taşkömürü, 10^6 Ton	6,2	32	66
Linyit Kömürü, 10^6 Ton	35	80	167
Hidrolik Enerji 10^9 KWH	25	81	96
Doğal Gaz, 10^9 m ³	-	6,7	15
Jeotermal Enerji, 10^9 KWH	1,8	18	18
Nükleer Enerji, 10^9 KWH	-	3,9	34,5

Tablo 1.1'in incelenmesinden 2000 yıllarında Türkiye'nin enerji ihtiyacının %80-90'ı fosil yakıtlardan karşılanacaktır. Enerji üretiminde fosil yakıtların ve özellikle kömürün payının giderek artması beraberinde çok önemli bir problem olarak hava kirliliği problemi getirmektedir.

1985 yılından itibaren ülke enerji ihtiyacı için yapılan tahminlere göre fosil yakıt kullanımı sonucu atmosfere verilecek hava kirleticiler maddelerin miktarları, yakıt türleri ve yakma sistemleri gözönüne alınarak seçilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 1.2'de verilmiştir [3] .

Hava kirlenmesinin lokal olarak yüksek olduğu bölgelerde yakıt özellikleri yanında endüstri ve nüfus yoğunluğu topoğrafik yapının uygunsuzluğu ve meteorolojik özelliklerin yetersizliği probleme katkısı olan diğer unsurları oluşturmaktadır. Ülkemizde Ankara başta olmak üzere Erzurum, Kayseri, İstanbul, Bursa, Konya, Denizli, Eskişehir, Kocaeli, Uşak ve Manisa gibi şehirlerimizde hava kirliliği kendisini şiddetle hissettirmektedir. Atmosferdeki kirleticiler konsantrasyonlarının limitlerin üzerine çıkması mevcut tabii giderme mekanizmalarının yetersiz kalmasına yol açmakta ve birikimlere sebebiyet vermektedir. Buna bağlı olarak kısa ve uzun vadede bazı istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır. Donora ve Londra'da yüzyılımızda gerçek-

Tablo 1.2: Türkiye'de Fosil Yakıt Tüketimine Bağlı Olarak Atmosfere Verilen Kirletici Maddelerin Envanteri

KİRLETİCİ MADDELER	YILLAR				
	1985 ^a	2000 ^b	$\frac{b}{a} \times 100$	2010 ^c	$\frac{c}{a} \times 100$
Partiküler Madde, $\times 10^6$ ton/yıl	3.6	5.9	% 164	11.8	%328
Kükürt Oksitleri, $\times 10^6$ ton/yıl	2.4	4.4	% 183	8.36	%348
Azot Oksitleri, $\times 10^5$ ton/yıl	5.6	12.4	% 221	22	%393
Karbonmonoksit, $\times 10^4$ ton/yıl	4.8	11.3	% 235	22	%458
Hidrokarbonlar, $\times 10^4$ ton/yıl	3.0	6.0	% 200	11.7	%390

leşen episodlarda kütleli ölümlerin görülmesi hava kirliliğindeki artışın kısa vadeli etkilerine verilebilecek en etkili örneklerdir. Uzun vadeli etkiler içinde iklim değişiklikleri önem kazanmaktadır.

Atmosferik kirleticilerden karbondioksitin konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak Dünya ikliminde global değişikliklerin beklenmesi gerekliliğini savunan teoriler ileri sürülmektedir. " Sera Olayı" diye adlandırılan bu olaya göre dünya atmosferi gittikçe ısınacaktır. Sonuç olarak kutuplardaki buzların erimesi ile deniz ve okyanusların seviyelerinin yükseleceği ve pekçok şehir ve ülkenin su altında kalabileceği tahmin edilmektedir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ ve KAPSAMI

Son yıllarda ülkemiz genelinde hava kirliliğinin ulaştığı boyutlar ve 2000'li yıllara ait planlanan yakıt kullanım oranlarının gözönüne alınması, hava kalitesi yönetiminde sıkı bir kontrolün uygulanması gereğini ortaya koymaktadır. Bu amaçla, hava kalitesinin kontrolüne yönelik temel araştırma konularında çalışmaların düzenlenmesine ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Hava kirlenmesine yol açan kaynaklar nokta, alan ve çizgisel kaynaklar olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlardan nokta kaynaklar büyük nokta kaynaklar (termik santraller vb.) ve endüstriyel nokta kaynaklar şeklinde iki alt gruba ayrılmaktadır. Büyük nokta kaynaklarla endüstriyel kaynaklar arasındaki ayırım atık gaz ısı debileri

esas alınarak yapılmaktadır. Atık gaz ısı debisi, tesis ısı kapasitesinin bir fonksiyonudur ve bu kapasitenin %10-20 si mertebelerinde değişmektedir. Buna göre atıkgaz ısı kapasitesi 6 MW ve altında kalan tesisler endüstriyel nokta kaynaklar olarak sınıflandırılmışlardır ki bu 30-60 MW ısı kapasiteli tesislere karşılık gelmektedir [4,5].

Bu ısı kapasite gözönüne alındığında nokta kaynaklar grubu içinde endüstriyel nokta kaynaklar gerek sayısal gerekse kapasitelerinin toplamı itibarı ile büyük öneme sahiptirler. Ülkemizde yoğun olarak hava kirliliği probleminin görüldüğü şehirlerin çoğunda esas etken, yerleşim bölgeleri içinde veya yakınında yer alan endüstriyel tesislerdir. Sanayileşmeye verilen büyük önem dolayısı ile gittikçe daha çok endüstriyel tesis faaliyete geçmekte ve mevcut tesisler kapasite artırmaktadırlar. Önceleri arazi planlaması yetersizliği dolayısı ile yerleşim bölgeleri civarına kurulan bu tesisler günümüzde organize sanayi siteleri içinde yer almaktadırlar. Böylece sanayi siteleri yerleşim bölgelerindeki hava kirliliği üzerinde doğrudan etkili olan bir grup kaynağı topluca barındırma durumunda olacaktır.

Ülkemizin taşkömürü ve linyit kömürü tüketiminin büyük sektörlerle dağılımı, endüstriyel kaynaklar grubunun fosil yakıt tüketimi içindeki paylarını bariz bir şekilde ortaya koymaktadır. Taşkömürü talebi Tablo 1.3'de, linyit talebi Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.3: Taşkömürü Talebinin Büyük Sektörlere Dağılımı [2].

Büyük Sektörler, 10 ³ ton/yıl							
Yıllar	Sanayi	Konut	Ulaştırma	Şehir Gazı Fabr.	Santraller	İç Tük.	Toplam
1986	4970	1110	92	216	616	35	7040
1990	8485	1611	-	329	874	57	11356
2000	19470	7026	-	554	4945	161	32158
2010	37470	11920	-	935	15715	330	66370

Tablo 1.3'den görüldüğü gibi sanayi, konut ve kok fabrikaları beraberce taşkömürü talebinin %70-90'ını oluşturmaktadırlar.

Linyit talebinin % 20-35'ini ısınma ve sanayi sektörleri oluşturmak-

Tablo 1.4 : Linyit Kömürü Talebinin Büyük Sektörlere Dağılımı [2] .

Yıllar	Büyük Sektörler, 10 ³ ton			
	Isınma Sanayi	Sanayi	Termik Santraller	Toplam Tal
1986	9860	5560	27900	43320
1988	10960	5720	44350	61030
1990	12110	5920	47450	65480

tadır. Ağır petrol türevleri tüketiminde de bu sektörlerin payının %50-70 arasında olduğu tahmin edilmektedir.

Yerleşim bölgelerindeki hava kirliliğinin kontrolü bakımından endüstriyel tesisler büyük önem arz etmektedirler. Genellikle hava kirliliği kontrolü, kaynaklarla mevcut kirlilik seviyesi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan modeller vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu model oluşturulabilirse bir bölgede yer alan bir veya birden fazla kaynağın, hava kirliliği seviyesine katkıları belirlenebileceği gibi yine model vasıtasıyla bu kaynaklara uygulanabilecek kontrol stratejileri de belirlenebilmektedir. Bu halde bir bölge için hava kalitesinin değerlendirilmesinde modeller vazgeçilemez analitik araçlardır [6] .

Yerleşim bölgeleri difüzyon modelleri nokta, çizgi ve alan kaynakları dikkate almaktadır. Nokta kaynaklar olarak genellikle endüstriyel kaynaklar kastedilir. Zira büyük nokta kaynaklar çoğunlukla yerleşim bölgelerinin uzağında yer alırlar.

Yerleşim bölgesi difüzyon modellerinin birçok çeşidi vardır. İlk olarak Rollback modeller söylenebilir. Rollback modelleri emisyonlarla kirletici konsantrasyonları arasında doğrusal bir ilişkinin varlığını kabul etmektedir. [7] Bir başka grup ise istatistik modellerdir. Bu tip modeller kirletici konsantrasyonları ile sıcaklık, emisyonlar, rüzgar yönleri arasındaki istatistiki münasebeti ortaya koymakta kullanılmaktadırlar [8] , [9].

Üçüncü grupta analitik modeller yer almaktadır. Analitik modellerin en iyi bilinen uygulaması Kutu Modelleri (Box Models) dir [10] , [11]. Son olarak bilgisayarda sonlu farklar tekniği ile çözülen

sayısal modeller gelmektedir [12] . Bu grup başlıca iki sınıfa ayrılmaktadırlar: K teorisine dayananlar ve Gaussian hüzme dağılımını kabul eden modeller [13] .

Bu modeller içinde günümüzde ençok sayısal modeller uygulama alanı bulmaktadırlar. Sayısal diffüzyon modelleri çok sayıda ölçüm noktası, alan ve nokta kaynak emisyonları beraberce gözönüne alındığı için oldukça kompleks yapıya sahiptirler. Moleküler diffüzyona analogi ile geliştirilen K teorisine veya kirleticilerin normal dağılıma uydukları kabulü ile Gaussian hüzme kavramına dayanmaktadırlar. Gaussian modeller esas itibarı ile nokta kaynakların modellenmesinde en güçlü araçlardır. Bunun yanında reaktif olmayan kirleticilerin etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan en geniş tekniği yine Gaussian modeller oluşturmaktadır.

Gaussian esasları kullanarak hazırlanan ilk yerleşim bölgesi diffüzyon modeli Los Angeles için Frenkiel tarafından uygulanmıştır [14]. Takiben National Center for Air Pollution Control araştırmacıları tarafından bir seri Gaussian tip model geliştirilmiştir. [15], [16] [17], [18]. Bu modeller yaklaşım olarak basit olmalarına rağmen yeterli duyarlılıkta sonuçlar vermeleri ile ilgi çekmektedirler.

Benzer şekilde Davidson [19] ve Bowne [20] Gaussian formülleri New York ve Connecticut eyaletinde uygulamışlardır. Martin ve Tıkvart [21] tarafından geliştirilen model EPA tarafından sürekli kullanılan hava kalitesi modellerinin öncüsü olmuştur. En genel haliyle bu modelin matematik ifadesi

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1.1)$$

şeklinde verilmektedir.

Burada Q [g/s] nokta kaynak şiddeti, U [ms^{-1}] baca ağızı civarındaki rüzgar hızı, y [m] hüzme eksenine dik yöndeki uzaklık, z [m] yer seviyesinden yükseklik, σ_y [m] ve σ_z [m] yatay ve dikey yöndeki standard sapmaları, H [m] ise efektif hüzme yüksekliğidir. Efektif baca yüksekliği H , fiziksel baca yüksekliği h_s [m] ile hüzme yükselmesinin Δh [m] toplamıdır. Hüzme yükselmesinin hesaplanmasında Briggs [4]

formülleri kullanılmaktadır.

$$\Delta h = C F^{1/3} u^{-1} x^{2/3} \quad (1.2)$$

Burada $F(m.s^{-3}) = gwr^2(T_s - T_a)/T_s$ yoğunluk farklarının yol açtığı kaldırma kuvvetleri akışını, $x[m]$, rüzgar yönünde kaynaktan uzaklığı, $g(9.8 m.s^{-2})$ yerçekimi ivmesini, $w[m.s^{-1}]$ baca gazı hızını, $r(m)$ baca ağzı yarıçapını, $T_s [^{\circ}K]$ baca gazı sıcaklığını $T_s [^{\circ}K]$ atmosferik sıcaklığı göstermektedir. C ise kaynak ve çevre havası özelliklerine bağlı olan bir sabittir. Briggs C için 1,6 değerini tavsiye etmektedir.

(1.2) eşitliği termik santral gibi büyük nokta kaynaklardan elde edilen deneysel verilerle kalibre edildiği için bu eşitliğin endüstriyel kaynakların yol açtığı kirlenmenin modellenmesinde kullanılması önemli problemlere yol açmaktadır. Zira termik santraller çok uzun bacalara sahiptirler ve baca gazları büyük hızlarla ($>20 ms^{-1}$) ve yüksek sıcaklıkta ($>150^{\circ}C$) atmosfere verilmektedir. Aynı zamanda baca gazları, rüzgarın santral binalarının arkasında yol açtığı türbülanslı bölgeden etkilenmezler. Endüstriyel kaynaklar, büyük kaynaklardan farklı olarak kısa bacalara ($<60m$) ve düşük baca gazı hızlarına ($<10 m.s^{-1}$) sahiptirler. Bu özellikleri dolayısı ile endüstriyel kaynakların baca gazları, bacaya bitişik binanın arkasında rüzgarın oluşturduğu türbülans bölgesinden önemli ölçüde etkilenmekte ve bacadan çok kısa mesafeler içinde yere ulaşarak aşırı kirlenmelere yol açmaktadır. Bu olaya "Geri Yıkama" (Downwash veya Backwash) denmektedir.

Gausyan dağılıma dayanan ve (1.2) eşitliğini kullanan CRSTER, RAM, CDM ve Valley [6] gibi EPA'nın standart olarak kabul ettiği yerleşim bölgesi hava kirliliği modelleri kaynak büyüklüğünün etkisini dikkate almadıkları için endüstriyel kaynaklara direkt olarak uygulanması geçerli olmamaktadır. Bu tür kaynakların yerleşim bölgelerinde önemli bölgesel hava kirliliği problemlerine yol açtığı gözönüne alındığında, bu tür kaynaklarda hüzme yükselmesi ile ilgili yeni çalışmalarla (1.2) eşitliğinin kalibrasyonu ve değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma, nokta kaynakların yol açtığı kirlenmenin modellenmesinde kullanılan parametrelerden biri olan hüzme yükselmesi değişkeni üzerindeki kaynak büyüklüğünün etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu maksatla hüzme tanımından başlamak üzere hüzme yükselmesi olayında

etkili olan kaynak ve çevre havası özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Kaynak özellikleri arasında ısı kapasite ve atık gaz ısı debisi arasındaki ilişkiler incelenmiş ve temel eşitlikleri verilmiştir. Endüstriyel kaynakları büyük nokta kaynaklardan ayıran genel özellikler üzerinde durulmuştur.

Çevresel özellikler olarak rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı, atmosferik sıcaklık gradyanı, atmosferik stabilite halleri ve hüzme yükselmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. İnversiyonların hava kirliliğini arttırmadaki rolleri açıklanmıştır.

Hüzme yükselmesi ile ilgili teorik modeller incelenmiş ve bu modellerin temel denklemlerinin çözüm yaklaşımları verilmiştir. Konuyla ilgili şimdiye kadar yapılmış çalışmalar ve sonuçları incelenmiştir.

Hüzme yükselmesini incelemeye yönelik deneysel çalışma metodları gözden geçirilmiştir. Çalışmada kullanılan ölçüm tekniği hakkında bilgi verilmiş, bu tekniğin avantaj ve dezavantajları ifade edilmiştir.

Deneysel çalışmanın yürütüldüğü SEKA Bolu Kazan Dairesi Tesisleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Deneysel çalışmanın uygulamaları açıklanmıştır. Alınan fotoğraflar üzerinde aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

1. Herbir fotoğraftan hüzme ekseninin yörüngesi, bacadan rüzgar yönündeki mesafeye karşı okunmuş, elde edilen nokta çiftleri arasındaki ilişki log-log eksen takımında incelenmiş, aynı deney süresi içerisinde alınan birden fazla fotoğraf için temsil edici ortalamalar belirlenmiştir.

2. Deneysel çalışmalardan elde edilen fotoğraf grupları meteorolojik değişkenlerle ilişkilendirilmiş, $u(\text{ms}^{-1})$ baca ağzı seviyesindeki rüzgar hızını göstermek üzere $w/u > 1,5$, $1,0 < w/u < 1,5$ ve $w/u < 1,0$ aralıkları içinde Δh ile x mesafesi arasındaki ilişki incelenmiştir.

3. (1-2) eşitliğindeki C sabiti içinde yer alan β sızma katsayısının (entrainment coefficient) yukarıdaki aralıklar içinde değişimi incelenmiş ve ortalama değerleri belirlenmiştir.

4. Literatürde benzeri kaynaklarla ilgili çalışmalardan yararlanarak (1.2) eşitliği ile endüstriyel kaynakların hüzme yükselmesi değerleri karşılaştırılmış, sapmanın β sızma katsayısına bağlı olduğu belirlenmiştir.

5. Geri yıkama özellikleri gözönüne alınarak deney sonuçları, Δh hüzme yükselmesi ile x mesafesi arasındaki ilişkiyi vermek üzere ifade edilmiştir.

BÖLÜM 2

HÜZME YÜKSELMESİ ve ETKİ EDEN FAKTÖRLER

2.1. HÜZME YÜKSELMESİ

Hüzme yükselmesi (Plume Rising), nokta kaynakların modellenmesinde kullanılan önemli fiziksel büyüklerden birini oluşturmaktadır. Hüzme yükselmesi olayının ayrıntılarına girmeden önce hüzme teriminin hava kirlenmesi bakımından tanımı üzerinde durulacaktır. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) hüzmeyi "bir bacadan çıktıktan sonra gaz akımı olarak sıcaklık, hız veya konsantrasyon gibi karakterini uzun zaman muhafaza eden ve çevre havası içinde tamamen dispers olmayan gazlar" olarak tanımlamaktadır [22] .

Halitsky, hüzmeyi jet ve basit hüzme olarak birbirinden farklı iki bölgeye ayırdıktan sonra bu bölgeler için şu tanımlamaları yapmaktadır [23] . Jet, çevre havası ile deşarj edilen atık gaz akımı arasındaki hız farkının, keyfi olarak seçilmiş bir hız değerinden büyük olduğu bölgelerdir. Hüzme ise uzayda keyfi olarak seçilmiş bir konsantrasyon değerinden daha büyük konsantrasyonların bulunduğu bölge olarak tanımlanmaktadır. Yukarıdaki tanımlarda yer alan keyfi değerler pratik maksatlarla belirlenmektedir. Genellikle hüzme içindeki bir kirleticinin konsantrasyonu, aynı kirleticinin çevre havası içindeki konsantrasyonunun yüzde 10 fazlası olması halinde artık hüzme varlığını yitirmektedir. Büyük şehirlerde kükürt dioksitin çevre havasındaki konsantrasyonu 0,1 ppm mertebelerindedir. Yukarıdaki tanıma göre hüzme, sınırlarında kükürt dioksit konsantrasyonunun 0.11 ppm olduğu yü-

zeye sahip bölge olarak belirlenmektedir. Termik santral baca gazlarında kükürt dioksit 1000 ppm civarında konsantrasyonlarda bulunduğuna göre hüzme 100.000 kez seyrelmeye uğrayıncaya kadar varlığını devam ettirmektedir. Aynı şekilde jet özellikleri, hızın çevre havası ortalama hızından yüzde 1 daha büyük olduğu yerlerde kaybolmaya başlamaktadır. Bu hız bakımından yüz misli seyreltmeye tekabül etmektedir.

Kirleticilerin difüzyonu esas alındığında sürekli yayınlanan bir hüzme çok kısa zaman aralıklarında yayınlanan puff'ların süperpozisyonu halinde düşünülmektedir. Yer seviyesinden veya yüksek bir kaynaktan yayınlanan hüzmeler başlıca iki kuvvetin etkisi ile yükselmektedir. Bunlar baca gazının hızından dolayı sahip olduğu momentum kuvvetleri ve çevre havasına göre yoğunluk farklarının yol açtığı kaldırma kuvvetleridir. Momentum ve yoğunluk farklarının beraberce belirledikleri yükselme hızı, atmosferik stabilitenin fonksiyonu olarak çevre havasının hüzme içine sızması sonucu hüzmenin toplam kütesinin artmasıyla azalmaktadır. Momentum tarafından sağlanan yükselme hızı başlangıçta yüksek olmasına rağmen mesafe ile hızla azalmaktadır. Yoğunluk farklarının oluşturduğu kuvvetler ise yüksek bir başlangıç hızı yaratmamasına karşılık olayın süreklilik kazanmasında etkili olmaktadır. Endüstriyel ve ısınma maksatlı proseslerden ortaya çıkan hüzmelerde yoğunluk farkları etkin durumda olduğundan hüzme yükselmesine ilişkin modellerde momentum kuvvetleri ihmal edilmekte veya indirekt olarak deneysel parametrelerin seçiminde dikkate alınmaktadır.

Atmosfer içinde yükselen bir hüzme aynı zamanda diffüzyona uğramaktadır. Hüzmenin diffüzyonu ve yükselmesi birbirine bağlı olarak gelişmesine rağmen analiz maksadı ile birbirlerinden bağımsız oldukları kabul edilmektedir. Bu kabule bağlı olarak bu iki olayı inceleme için ayrı ayrı analiz teknikleri geliştirilmiştir. Ancak bu ayrım inceleme kolaylığı sağlamanın ötesinde gerçek bir anlam taşımamaktadır.

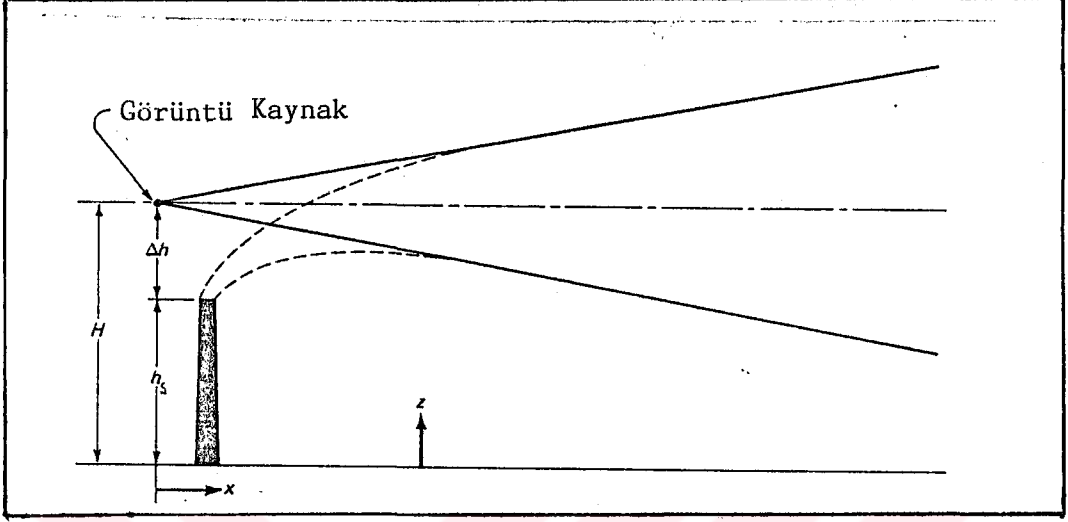
2.2. EFETİF HÜZME YÜKSEKLİĞİ

Fiziksel yüksekliği h_s olan bir bacadan çıkan hüzmeyle ait geometri Şekil 2.1'de verilmiştir. Hüzme yükselmesi Δh , hüzme ekseninin, fiziksel baca yüksekliği seviyesinin üzerindeki yükselme olarak ifade edilmektedir. Efektif hüzme yüksekliği H (hüzme ekseninin yer sevi-

yesine göre yüksekliği) fiziksel baca yüksekliği h_s ile hüzme yükselmesi Δh 'nın toplamı şeklinde tanımlanmaktadır [24, 25, 26] .

$$H = h_s + \Delta h$$

(2.1)



Şekil 2.1 : Efektif Baca Yüksekliğindeki Görüntü Kaynaklarda Dispersiyon Modeli

Bölüm 1.2'de ifade edildiği gibi nokta kaynakların dispersiyonunda en kuvvetli analitik araçlar Gaussian dağılım modellerine dayanmaktadır. Bu modellerde hüzmenin pratik maksatlarla h_s fiziksel baca yüksekliği yerine hayali olarak belirlenen H efektif baca yüksekliğindeki bir görüntü kaynaktan yayımlandığı kabul edilmektedir. Görüntü kaynak ile gerçek kaynağın rüzgara zıt yöndeki yer değiştirmesinin hüzmenin dispersiyonu üzerindeki etkileri ihmal edilebilecek mertebelere kadar [27] .

2.3. YER SEVİYESİ KONSANTRASYONLARI ÜZERİNDE HÜZME YÜKSELMESİNİN ETKİSİ

Gaussian dağılım modellerinde efektif hüzme yükselmesi büyüklüğünün, kirleticilerin yer seviyesindeki konsantrasyonları üzerindeki etkileri (1.1) eşitliği yardımıyla incelenebilir. (1.1) eşitliğinde hüzme eksenini boyunca yer seviyesi kirletici konsantrasyonları $y=0$ ve $z = -H$ için

$$C(X,0, -H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (2.2)$$

eşitliğinden elde edilebilir. σ_y ve σ_z standart sapmaları X mesafesi-
nin kompleks fonksiyonlarıdır ancak buradaki incelemelerde nötr halde

$$a = \frac{\sigma_y}{\sigma_z} = \text{sabit} \quad (2.3)$$

yaklaşımı emniyetle kullanılmaktadır [28] .

Verilen bir rüzgar hızında yer seviyesindeki maksimum konsantrasyon
 $C_{\max}$;

$$\partial C / \partial \sigma_z = 0 \quad (2.4)$$

ifadesinden elde edilir. (2.2) eşitliği yukarıdaki şartlar altında

$$\left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 = 2 + \frac{H}{\sigma_z} \cdot \frac{dH}{d\sigma_z} \quad (C=C_{\max}) \quad (2.5)$$

eşitliğini verir. Maksimum konsantrasyonun oluştuğu yerde $\frac{dH}{d\sigma_z}$ eğimi
ihmal edilebilir büyüklüktedir, (2.5) eşitliği bu durumda

$$\left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 = 2 \quad (2.6)$$

şekline dönüşür. Buradan

$$\sigma_z = 0,707.H \quad (C = C_{\max}) \quad (2.7)$$

elde edilir. Bu durumda maksimum konsantrasyon

$$C_{\max} = \frac{2Q}{\pi u e a H^2} \quad (2.8)$$

ile bulunur. e tabii logaritma tabanını göstermektedir.

Sayet $dH/d\sigma_z$ ihmal edilemez büyüklükte ise (2.8) eşitliğine farklı
sabitler ilave edilir, ancak bu farklar relatif olarak önemsizdir ve
 $C_{\max}$ esas olarak $Q.u^{-1}.H^{-2}$ ile orantılı olarak kalmaktadır. Mühendis-
lik açısından bakıldığında kritik bir büyüklük olan "effektif ventilas-

yon veya efektif seyrelme" terimi olan $Q/C_{\max}$ 'ın uH^2 ile orantılı olduğu görülmektedir. Kantitatif modeller yardımıyla bu çarpımın değeri değişik rüzgar hızları ve özellikle kritik rüzgar hızı için tahmin edilebilir.

"Düzenli seyrelme"yi esas alan ve yer seviyesindeki konsantrasyonları veren bir modelin kurulmasında hüme yükselmesi için emniyetli bir yaklaşım olarak Briggs'ın eşitliği kullanılabilir.

$$H = h_s + C F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (2.9)$$

(2.2) eşitliğinde hüme yükselmesi terimi için (2.9) ifadesi yerleştirilir ve boyutsuz formda yeniden yazılırsa

$$K = 1/\pi V D^2 \exp \left| - (1 + C D^{2/3} V^{-1})^2 / 2 D^2 \right| \quad (2.10)$$

eşitliği elde edilir. Burada i_z türbülans yoğunluğunu göstermek üzere boyutsuz büyüklükler aşağıda verilmiştir.

$$K = a C w_s h_s^2 / Q \quad (\text{boyutsuz konsantrasyon})$$

$$D = \sigma_z / h_s = i_z X / h_s \quad (\text{boyutsuz uzaklık})$$

$$V = u / w_s \quad (\text{boyutsuz hız})$$

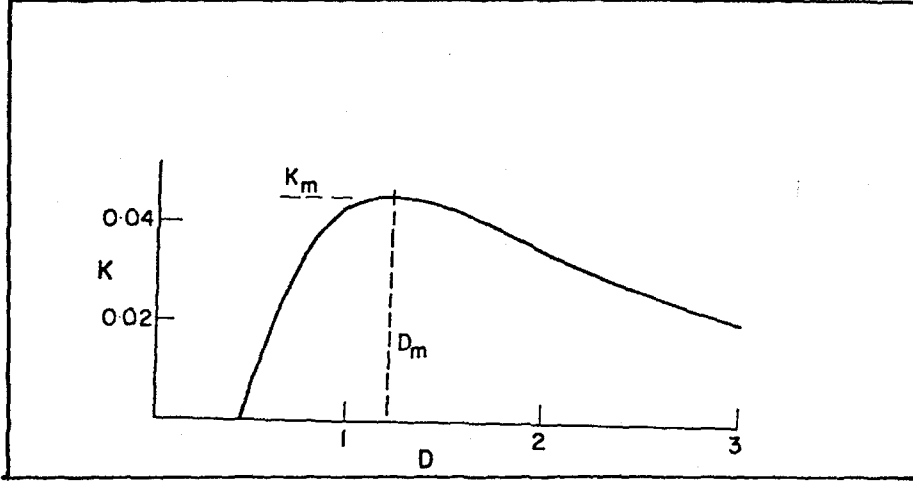
$$w_s = (F / i_z^2 h_s)^{1/3} \quad (\text{hız skalası})$$

Verilen bir boyutsuz rüzgar hızı ($V = \text{sabit}$) için maksimum konsantrasyon olan K_m , $D = D_m$ 'de oluşmaktadır. Bu yer (2.5) eşitliğinin yukarıdaki duruma adapte edilerek çözülmesi ile elde edilmektedir.

$$V = C D_m^{2/3} / (\sqrt{6 D_m^2 + 1} - 2) \quad (2.11)$$

$V = 0,68$ için, $K(D, 0,68)$ dağılımı Şekil 2:2'de gösterilmiştir. Burada $C = 0,68$ alınmıştır.

Maksimum K_m değeri (2.11) eşitliğinin (2.10) eşitliğinde yerine konulması ile bulunmakta ve C 'nin farklı değerleri için Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Bu maksatla (2.10) ve (2.11) eşitlikleri $C K_m$ ve V/C değişkenleri arasında yeniden yazılması gerekmektedir.



Şekil 2.2 : Belirli Bir Rüzgar Hızında Yüksek Bacaların Rüzgar Yönünde Yer Seviyesinde Yol Açtığı Kirletici Konsantrasyonlarının Dağılımı

Şekil 2.3'de $K_m(V)$ eğrisinin kritik rüzgar hızı

$$V_c \approx 1,644 C \quad (2.12)$$

değerinde oldukça düz bir maksimumu gözlenmektedir. Maksimum konsantrasyonun bu kritik değeri (rüzgar hızı ve uzaklığa göre beraberce maksimumun oluştuğu)

$$K_{mm} = 0,0532 C^{-1} \quad (2.13)$$

olarak bulunur. K_{mm} 'in oluştuğu mesafe ise

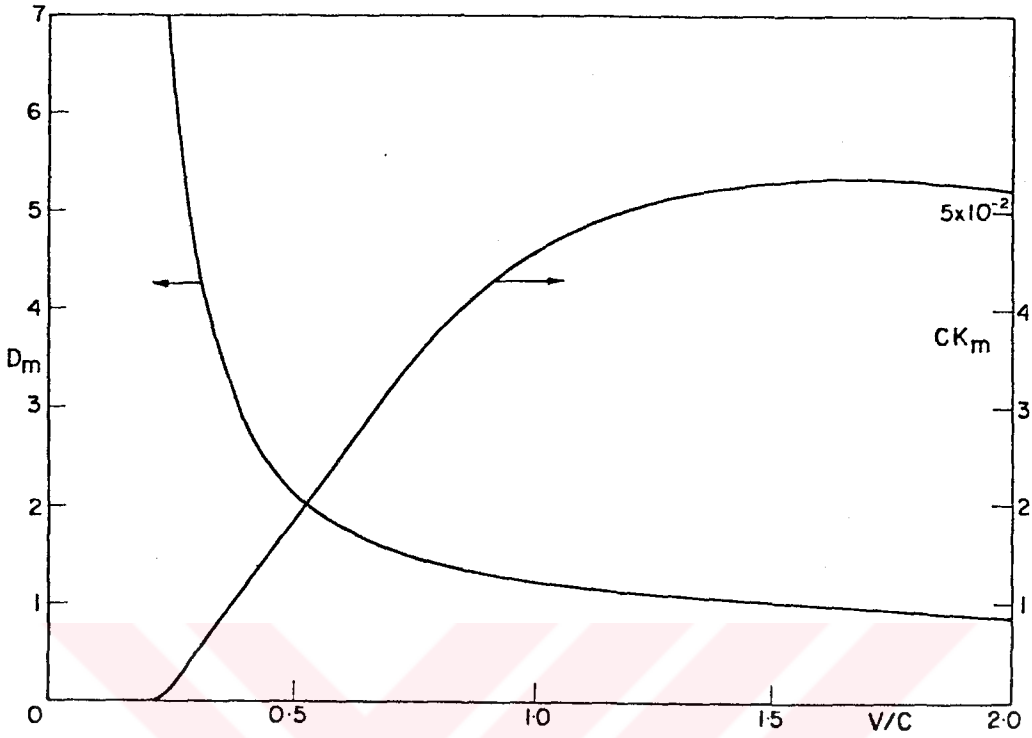
$$D_{mm} = 0,980$$

olarak elde edilir.

V_c kritik rüzgar hızı ve D_{mm} mesafesi (2.9) eşitliğinde yerine konulduğunda kritik şartlar için efektif hüzme yükselmesi

$$H = H_c = 1.6 h_s \quad (2.14)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu değer fiziksel baca yüksekliği h_s 'in



Şekil 2.3 : Düzenli Seyrelme Halinde Rüzgar Hızı İle Maksimum Yer Seviyesi Konsantrasyonlarının Değişimi

%60'ı mertebelerinde olduğu görülmektedir.

Kritik rüzgar hızında maksimum konsantrasyon ifadesi (2.10) eşitliğinde bulunan değerlerin yerleştirilmesi ile

$$C_{mm} = \frac{0.0532}{aC} \frac{Q}{w_s h_s^2} \quad (u_c = 1.644 C.W_s) \quad (2.15)$$

bulunmaktadır. w_s yerine $(F / i_z^2 h_s)^{1/3}$ yerleştirilirse

$$C_{mm} = \frac{0.0532}{aC} \frac{i_z Q}{F^{1/3} h_s^{5/3}} \quad (2.16)$$

elde edilir. (2.16) eşitliği kritik rüzgar hızında maksimum konsantrasyonun türbülans yoğunluğu ile artmakta olduğunu göstermektedir.

Bundan başka maksimum konsantrasyonun fiziksel baca yüksekliğine, yoğunluk farklarının yol açtığı kaldırma akısından daha kuvvetle bağlı olduğu görülmektedir. Bu ifadeden aynı türbülans yoğunluğunda fiziksel baca yüksekliğindeki % 30 luk bir azalmanın, F değerinin aynı kalması halinde, maksimum konsantrasyonda %180'lik bir artışa yol açacağı görülmektedir. Endüstriyel kaynaklarda baca uzunluklarının nispeten küçük olması bu kaynakların aynı emisyon şartları altında uzun bacalara sahip kaynaklara göre 2-3 kat daha yüksek maksimum konsantrasyonlara yol açmasına sebep olabilmektedir.

2.4. HÜZME YÜKSELMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Hüzme yükselmesine etki eden faktörler başlıca iki ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar kaynak özellikleri ve çevre atmosferinin özellikleridir. Kaynak özelliklerini atık gazların ve bacaların özellikleri oluşturmaktadır.

2.4.1. Atık Gaz Özellikleri

Hüzme yükselmesi bakımından atık gaz özellikleri, kendilerini oluşturan proseslerden daha büyük öneme sahiptirler. Bu yüzden çoğunlukla sadece baca çıkışındaki atık gaz akımı özellikleri belirlenirken proses detayları ihmal edilmektedir.

Atık gazların büyük bir kısmı yanma veya ısıl değişiklikleri ihtiva eden proseslerden ortaya çıktıkları için çevre havasına göre oldukça yüksek sıcaklıklarda atmosfere verilmektedirler. Bunun tabii bir sonucu olarak bir kısım enerji dışarı atılmaktadır. "Atık gaz ısı kapasitesi" veya "ısı emisyonu hızı" olarak adlandırılan bu kapasite $Q_h [\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}]$ ile ifade edilmektedir.

$$Q_h = Q_m C_p (T_s - T_A) \quad (2.17)$$

Burada $Q_m [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ atık gaz kütleli debisini, $C_p [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ spesifik ısı sabitini, $T_s [^\circ\text{K}]$ ve $T_A [^\circ\text{K}]$ atık gaz ve çevre havası mutlak sıcaklıklarını göstermektedir.

Q_m için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$Q_m = \rho_s A_s w_s \quad (2.18)$$

Burada ρ_s [kg. m⁻³] baca gazının yoğunluğunu, A_s [m²] baca çıkışındaki kesit alanını, w_s [m.s⁻¹] baca gazı çıkış hızını göstermektedir. (2.18) eşitliği (2.17) eşitliğinde yerine konulduğunda

$$Q_h = \rho_s \cdot A_s \cdot w_s \cdot C_p (T_s - T_A) \quad (2.19)$$

elde edilir. $w_s \cdot A_s$ çarpımı baca gazının hacimsel debisine eşit olup V_s [m³. s⁻¹] ile gösterilirse (2.19) eşitliği

$$Q_h = \rho_s \cdot V_s \cdot C_p (T_s - T_A) \quad (2.20)$$

şeklini almaktadır. Atık gazların hızları dolayısı ile sahip oldukları momentum akısı ,

$$M = u r_s^2 w_s \quad (2.21)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada M [m⁴. s⁻²] ve r_s [m] baca çıkışındaki yarıçaptır. Atık gazların yoğunluk farkları dolayısı ile sahip oldukları yukarı yönelik kaldırma kuvvetleri akısı (buoyancy flux) F [m⁴. s⁻³] ise

$$F = \frac{g Q_h}{\pi C_p \rho T_s} \quad (2.22)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Eğer atık gaz, hava ile aynı molekül ağırlığına ve spesifik ısı sabitine sahip kabul edilirse (2.22) eşitliği

$$F = g w_s r_s^2 \left(\frac{T_s - T_A}{T_s} \right) \quad (2.23)$$

haline dönüşmektedir. (2.22) eşitliğinde $C_p = 1,0035$ J/kg. °K, $\rho = 1,29 T_A/T_s$ konulursa,

$$F = 8.4 \times 10^{-3} Q_h \quad \text{elde edilir.} \quad (2.24)$$

2.4.2. Çevre Havaasının Meteorolojik Özellikleri

Çevre havaasının meteorolojik özellikleri hem hüzme yükselmesinde hem difüzyonunda belirleyici role sahiptir. Hava kirliliği bakımından atmosferin en önemli kesimini, yer yüzeyinden itibaren 1-10km yüksekliğe kadar devam eden yüzey tabakası oluşturmaktadır. Meteorolojik olayların kompleks karakterleri, kullanımda bazı basitleştirme-leri zorunlu kılmaktadır. Buna göre atmosferik davranışlar hava kirliliği bakımından genel etkili (dikey sıcaklık dağılımı, stabilite kategorileri, inversiyonlar ve cepheler gibi) ve bölgesel etkili (bölgesel rüzgarlar, rüzgar hızının dikey değişimi, ısı adaları, türbülans yapısı gibi) davranışlar olarak ikiye ayrılmaktadır [29].

Atmosferin yüzey tabakasındaki dikey hareketler, sıcaklık dağılımının bir fonksiyonudur. Bir hava parselinin çevresi ile ısı alışverişi yapmadığı kabulüyle (adyabatik hal) dikey hareketini kontrol eden termodinamik kuvvetlerin dengesinden, parselin yükseklikle sıcaklığındaki değişim

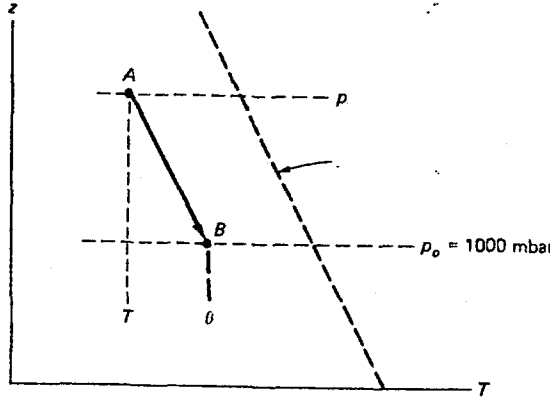
$$\Gamma = \frac{dT}{dz} = -\frac{g}{C_p} \quad (2.25)$$

ifadesiyle bulunur ve "Kuru Adyabatik Laps Hızı" olarak adlandırılır. (2.25) eşitliğinin sağ tarafının sayısal değeri $-0.986 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ dir. Gerçekte hava içinde daima bir miktar su buharı bulunduğu için gerçek laps hızı, kuru adyabatik laps hızından daima daha farklıdır [25].

Atmosfer nadiren adyabatik yapıda olduğundan gerçek durumun ifadesinde "Potansiyel Sıcaklık" kavramı kullanılmaktadır. Kuru havaya ait potansiyel sıcaklık $\Theta [^{\circ}\text{K}]$ ile gösterilir ve bir hava parselinin adyabatik bir prosesle bulunduğu P basıncından 1000 mbar olan standard P_0 basıncına getirilmesi halinde sahip olacağı sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. (Şekil 2.4). Θ için $\gamma = C_p/C_v$ olmak üzere

$$\Theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{0,288} \quad (2.26)$$

ifadesi verilmektedir [25], [27].



Şekil 2.4 : Potansiyel Sıcaklık Θ 'nın Belirlenmesinde
Adyabatik Proses Uygulaması

Potansiyel sıcaklık gradyenti, atmosferin sıcaklık gradyenti ve adyabatik laps hızı cinsinden,

$$\frac{1}{\Theta} \frac{d\Theta}{dz} = \frac{1}{T} \left(\frac{dT}{dz} + \Gamma \right) \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Θ ve T nin mertebeleri birbirine çok yakın olduğu için (2.27) eşitliği

$$\frac{d\Theta}{dz} = \frac{dT}{dz} + \Gamma \quad (2.28)$$

formuna dönüşür. (2.28) in integrasyonu ile

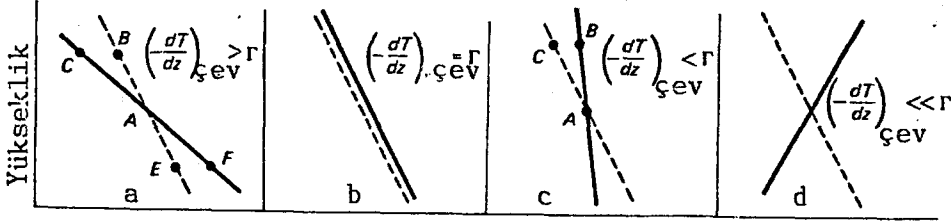
$$\Theta = T + \Gamma \cdot z \quad (2.29)$$

eşitliği elde edilmektedir [25] .

2.4.3. Atmosferin Stabilitesi

Atmosferik laps hızı çoğunlukla kuru adyabatik laps hızından farklıdır ve buna bağlı olarak belirli atmosferik stabilite halleri teşekkül etmektedir. Gerek bir kaynaktan yayınlanan hüzmenin şeklinin belirlenmesinde gerekse hüzmenin dispersiyonunda atmosferik stabilite kategorilerinin büyük önemi bulunmaktadır. Mümkün olan bazı atmosferik laps

hızları kuru adyabatik laps hızı ile birlikte Şekil 2.5'de görülmektedir [25].



Şekil 2.5 : Atmosferik Stabilite ve Laps Hızları (- Çevre Laps Hızı, ---- Adyabatik Laps Hızı)

Şekil 2.5a "süper adyabatik" hali göstermektedir. Hava kütlelerinin dikey yöndeki hareketlerinin teşvik edildiği bu şekildeki bir atmosferik yapılanma "kararsız" hal olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.5b de atmosferik laps hızı, kuru adyabatik laps hızına eşittir. "Nötr" hal olarak tanımlanan böyle atmosferik yapılarda hava kütleleri hareketlerini muhafaza etmektedirler.

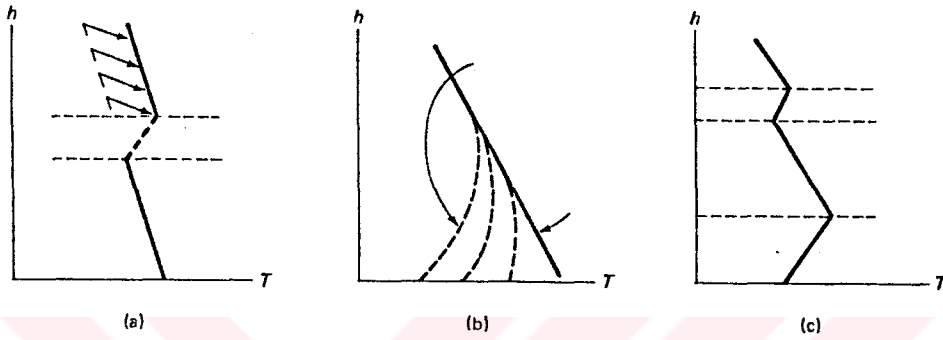
Atmosferik laps hızının kuru adyabatik laps hızından küçük olması durumunda atmosferik yapı "kararlı" hal olarak tanımlanmaktadır. Kararlı halin mevcudiyeti hüznin dispersiyonunu önleme yönünde etki etmektedir (Şekil 2.5 c).

2.4.4. İnversiyonlar

Genel sıcaklık profilinin tersine olarak sıcaklığın yükseklikle arttığı, atmosferik laps hızının negatif olduğu bölgelere "sıcaklık inversiyonu bölgesi" adı verilmektedir. Sıcaklık inversiyonlu atmosferik tabakaya "inversiyon tabakası" denmektedir. Böyle tabakalar dikey hareketleri önledikleri için kirleticilerin yerel konsantrasyonlarının artmasına yol açmaktadırlar. Önemli inversiyon tiplerinden birisi olan "çöken inversiyon" bir hava kütlelerinin alçalması esnasında sıkışması sonucu ısınması ile ortaya çıkmaktadır. Alçalan inversiyonlar uzun süreli etkiye sahip inversiyonlardandır (Şekil 2.6 a).

Bir diğer genel inversiyon tipi "radyasyon inversiyonu" dur ve yer-yüzeyinin radyasyon yoluyla yaydığı sıcaklıktan kaynaklanır. Atmosferik yüzey tabaka, gün boyunca yer yüzeyinin yaydığı ısıyı absorplaya-

rak yere yakın bölgelerde negatif bir sıcaklık gradyanına sahip olur. Gökyüzünün açık olduğu gecelerde ise yeryüzeyinin hızlı soğuması nedeniyle temas halinde olduğu tabakaları da soğutur ve böylece gündüzün tersi bir profil ortaya çıkar. Bu tip inversiyonlar genellikle emisyon seviyelerinde gerçekleştikleri için kısa süreli kirlilik problemlerine yol açmaktadırlar. Güneşin sabahleyin zemini ısıtması ile ortadan kaybolurlar (Şekil 2.6 b) [25],[29].



Şekil 2.6 : a Çöken İversiyon. b. Radyasyon İversiyonu, c. Çöken ve Radyasyon İversiyonu Kombinasyonu

Alçalan inversiyonlarla radyasyonel inversiyonların bir arada gerçekleşmesi mümkündür. Şekil 2.6c de görülen bu durumda hüzmelerin hapsolmesine yol açmaktadır.

2.4.5. Rüzgar Hızı Profili

Yeryüzeyinden itibaren 30-50m yukarılara kadar uzanan yeryüzüne bitişik hava tabakasına "yüzey tabakası", 300-500 m yukarı uzanan tabakaya da "Ekman tabakası" denmektedir. Rüzgar hızının bu tabakalar içindeki değişiminin bilinmesi hava kirliliği modellemeleri açısından çok önemlidir. Zira rüzgar hızının dağılımı üzerinde yüzey pürüzlüğünün yanında atmosferik stabilite hallerininde büyük tesiri bulunmaktadır.

Rüzgar hızının yükseklikle değişimini vermek üzere logaritmik, üstel ve Deacon kanunu gibi çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunların içinde üstel yaklaşım tarzı mühendislik uygulamaları bakımından son yıllarda tercih edilmektedir. Özellikle 1/7. üstel kanunu bir yük-

seklikte ölçülmüş bulunan rüzgar hızından hareketle başka bir yükseklikteki rüzgar hızını belirlemede kullanılmaktadır. [30]. En genel haliyle üstel fonksiyon

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^p \quad (2.30)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada u_1, Z_1 yüksekliğindeki rüzgar hızını, u_2 ise Z_2 yüksekliğindeki rüzgar hızını göstermektedir. p katsayısı 0 ile 1 arasında değişmektedir. p 'nin değişimi yüzey pürüzlülüğü ve stabilite kategorileri cinsinden ifade edilmektedir. Özellikle Pasquill'in [25] atmosferik laps hızlarına dayalı stabilite kategorilerine göre p 'nin değişimi Tablo 2.1 de verilmiştir. [30].

Tablo 2.1 : p Üstel Katsayısının Atmosferik Stabilite İle Değişimi [30].

Pasquill Stabilite Sınıfı	Atmosferik Laps Hızı	p
A (Şiddetli kararsız)	$\Delta T < - 1,9$	0.1
B (Mutedil kararsız)	$- 1,9 < \Delta T < - 1,7$	0.15
C (Hafifçe kararsız)	$- 1,7 < \Delta T < - 1,5$	0.20
D (Nötr)	$- 1,5 < \Delta T < - 0,5$	0.25
E (Hafifce kararlı)	$- 0,5 < \Delta T < 1,5$	0.25
F (Mutedil kararlı)	$1,5 < \Delta T < 4,0$	0.30
G (Şiddetli kararlı)	$4,0 < \Delta T$	0.50

2.4.6. Atmosferik Türbülans Hüzme Tipleri

Nokta kaynaklardan yayınlanan kirleticiler rüzgar ve atmosferik türbülans hareketleri tarafından dispers edilmektedir. Atmosferik stabilite yapıları, rüzgar hızı üzerinde olduğu gibi türbülans hareketleri üzerinde de belirleyici role sahiptir. Pasquill'in türbülans tipleri için rüzgar hızı, güneşlenme, bulutluluk ve atmosferik stabiliteye bağlı olarak yaptığı sınıflandırma Tablo 2.2'de verilmiştir [25]. Rüzgar hızının yatay ve dikey standart sapmaları (σ_ϕ ve σ_θ) türbülans yoğunluğu ve buna bağlı olarak atmosferik stabilitenin tespitinde kullanılmaktadır. Pasquill stabilite kategorisi ile σ_θ yatay rüzgar hızı

zı standart sapma değerleri Tablo 2.3 de görülmektedir [29].

Tablo 2.2 : Pasquill'in Türbülans Tipleri [25] .

Rüzgar Hızı $m.s^{-1}$	<u>Gündüz Güneşlenme</u>			<u>Gece Bulutluluk</u>	
	Kuvvetli	Mutedil	Hafif	($> 4/8$)	($< 3/8$)
<2	A	A-B	B		
2	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	E
6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

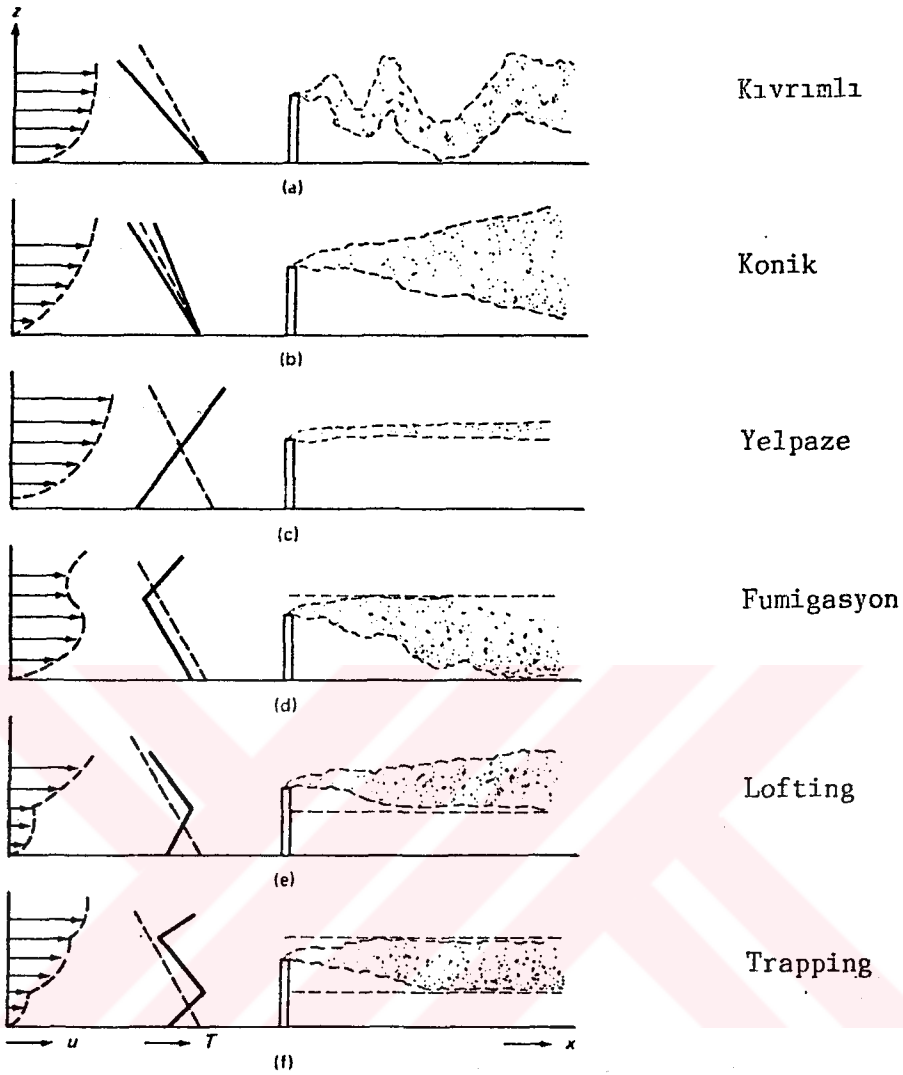
Tablo 2.3 : Pasquill Stabilité Sınıfları ve σ_θ Tablosu

Pasquill Kategorisi	σ_θ
A	25
B	20°
C	15°
D	10°
E	5.0°
F	2.5°

Stabilite kategorileri ve hüzme tipleri ise Şekil 2.7'de verilmiştir.

Şekil 2.7 a da görülen hüzme tipi "Kıvrımlı (Looping)" hüzme olarak tanımlanmaktadır. Süperadyabatik hal dolayısı ile kuvvetli konvektif türbülans hareketler oluşmaktadır. Kıvrımlı hüzmeler genellikle hafif rüzgarlı ve kuvvetli solar radyasyonun söz konusu olduğu gündüz saatlerinde görülürler. Kirleticilerin hızla dispersiyonuna yol açan bu hüzme tipi, kaynağa yakın bölgelerde kısa süreli kirlenmelere sebep olmaktadır.

Nötral atmosferik yapıların mevcudiyetinde hüzme koni şeklinde yayılır ve bundan dolayı "Konik" hüzme olarak tanımlanır. Gece ve gün-



Şekil 2.7. Rüzgar Hızı ve Sıcaklık Profillerine Göre Karakteristik Hüzme Yapıları (Kesikli Çizgiler Kuru Adyabatik Laps Hızını, Düz Çizgiler Çevre Havası Laps Hızını Göstermektedir) [25].

düz, açık ve kapalı havalarda orta şiddetli rüzgar hızlarında konik hüzme yapısı görülür. Koniklik açısı yaklaşık 10° civarındadır. Kirleticilerin dispersiyonu bakımından tercih edilen bir hüzme tipini oluşturmaktadır (Şekil 2.7 b).

Şekil 2.7 c'de görülen "Yelpaze" şeklindeki hüzme, kararlı atmosferik yapının mevcudiyetinde oluşmaktadır. Geceleri açık havalarda yeryüzeyinin yaydığı radyasyon ile soğumasından dolayı baca seviyelerinde inversiyon teşekkül etmektedir. Bu hüzme kirleticilerin yere ulaşmadan oldukça büyük mesafeler taşınmasına yol açmaktadır.

Hüzmenin salıverildiği noktanın biraz yukarısında kararlı/altında ise nötr atmosferik yapının olduğu durumlarda hüzme "Fumigasyon" tipi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.7 d'de görüldüğü gibi fumigasyon tipi hüzmeler gece hakim olan kararlı atmosferik yapının, sabahleyin güneşin yer yüzeyini ısıtması sonucu kırılarak yükselmesi esnasında baca seviyelerine ulaşması halinde oluşmaktadır. Bu esnada yer seviyesinde yüksek kirletici konsantrasyonları görülür. Fumigasyon tipi hüzme 0,5-1 saat süre içinde inversiyonun kırılması ile etkisini kaybeder.

Fumigasyon tipi hüzmenin görüldüğü şartların tam tersinin söz konusu olması halinde "Lofting" tipindeki hüzme oluşmaktadır. Kirleticiler bu durumda yer seviyesinde önemli bir etkiye yol açmaksızın dağıldıkları için tercih edilen bir haldir (Şekil 2.7 e).

Hüzmenin salıverildiği mesafenin alt ve üst kısımlarında inversiyon teşekkülü halinde " Hapsolmuş (Trapping) " hüzme tipi görülür. Kirleticilerin dispersiyonu iki kararlı atmosferik tabaka tarafından sınırlandırılır (Şekil 2.7 f)

2.4.7. Atmosferik Türbülans Yoğunluklarının Değişimi

Atmosferik türbülans yoğunluğu yüksekliğe, zeminin pürüzlülüğüne ve atmosferik yapıya bağlı olarak değişmektedir. Uygulamada kaynak yüksekliği ile yer seviyesi arasındaki atmosferik tabaka içindeki türbülans yoğunlukları yani " efektif türbülans yoğunluğu" kavramı kullanılmaktadır. Bu maksatla nötr atmosferik yapı hali için

$$\dot{I}_y = \frac{0.88}{\ln \frac{h_s}{z_o} - 1} \quad (2-31)$$

$$\dot{I}_z = \frac{0.5}{\ln \frac{h_s}{z_o} - 1}$$

ifadeleri kullanılmaktadır. Burada $\dot{I}_y$ ve $\dot{I}_z$ yatay ve dikey türbülans yoğunluklarını, z_o (m) yüzey pürüzlülüğünü h_s (m) baca yüksekliğini göstermektedir. (2.31) eşitliği kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve baca

uzunluğuna göre efektif türbülans yoğunlukları Tablo 2.4 de verilmiştir [28] .

Tablo 2.4 Nötr Atmosferik Yapıda $\hat{I}_z$ Effektiv Dikey Türbülans Yoğunlukları (2.31 İfadesinden $\hat{I}_y=1.76 \hat{I}_z$) [28] .

Yüzey Pürüzlülüğü z_0 , cm	Baca Yüksekliği (h_s),m		
	20	50	100
1	0.076	0.067	0.061
30	0.156	0.121	0.104
100	(0.250)	0.171	0.139

Nötr olmayan atmosferik yapılarda türbülans yoğunluğu, dikey ısı akışına bağlı olarak kompleks bir şekilde değişmektedir. Uygulamada diffüzyon hesaplamalarında kullanılan atmosferik stabilite sınıfları türbülans yoğunlukları dikkate alınarak belirlenme yönüne gidilmektedir. Tipik stabilite sınıfları ve tekabül eden türbülans yoğunlukları Tablo 2.5 de verilmiştir [28] .

Tablo 2.5 : Termal Kademeleşmeye Göre Yer Seviyesinde Tipik Türbülans Yoğunlukları [28] .

Termal Kademeleşme	$\hat{I}_y$	$\hat{I}_z$
Kuvvetli kararsız	0.40-0.55	0.15-0.55
Orta derecede kararsız	0.25-0.40	0.10-0.15
Nötral	0.10-0.25	0.05-0.08
Orta derecede kararlı	0.08-0.25	0.03-0.07
Kuvvetli kararlı	0.03-0.25	0.0 -0.03

BÖLÜM 3

TEMEL HÜZME DAVRANIŞLARININ TEORİSİ

3.1. GİRİŞ

Bir nokta kaynaktan yayınlanan hüzme, başlangıç kaynak şartları, atmosferik yapılaşma ve rüzgar hızı gibi çok sayıda parametre tarafından etkilenir. Başlangıç kaynak şartları esas alınarak hüzmeler üç farklı gruba ayrılabilir [27] .

Yoğunluk farklarının etkin olduğu hüzme: Yoğunluk kuvvetleri $\gg$ Momentum kuvvetleri.

Zorlanmış hüzme : Yoğunluk kuvvetleri $\approx$ Momentum kuvvetleri

Jet : Yoğunluk kuvvetleri $\ll$ Momentum kuvvetleri.

Endüstriyel kaynakların atık gazları yoğunlukla çevre havasına göre daha sıcak oldukları için yoğunluk farklarının etkin olduğu hüzme tipi incelemeye esas alınmıştır. Birçok hüzme yükselmesi ifadesi, akışkanlar mekaniğindeki temel korunum eşitliklerinin bazı kabullere dayalı olarak analitik çözümlerinden elde edilmişlerdir. Kademeleşmiş bir atmosfer içine verilen türbülanslı bir hüzmenin büyümesi ve dispersiyonunu ifadeye yönelik iki temel yaklaşım modeli bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri Morton ve arkadaşlarının [31] basit "türbülant sızma" hipotezini diğeri de hareket ve enerji eşitliklerinde eddy viskozite ve termal iletkenlik kavramlarını kullanmaktadır.

Slawson ve Csanady [32] yaptıkları çalışma ile rüzgarlı bir atmosferde hüzmeye davranışları hakkında her iki yaklaşım tarzının da aynı sonuçları verdiğini göstermişlerdir.

3.2. KORUNUM DENKLEMLERİ

Bir hüzmeye elemanı üzerine akışkanlar mekaniğinin temel eşitlikleri kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri uygulandığında aşağıdaki ifadeler elde edilmektedir [33] .

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = & \rho X_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right. \\ & \left. - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right\} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\rho T \left(\frac{\partial S}{\partial t} + u_j \frac{\partial S}{\partial x_j} \right) = \rho \Phi + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3.3)$$

Burada ρ yoğunluğu, P hidrostatik basıncı, T mutlak sıcaklığı, u_i ($i = 1,2,3$) rüzgar hızı bileşenlerini, X_i ($i = 1,2,3$) birim akışkan kütlelerine etki eden kuvveti, μ dinamik viskoziteyi, S entropiyi, Φ akışkanın viskozitesi dolayısı ile birim kütle başına ısı enerjisine çevrilen mekanik enerjiyi ve k ise termal konduktiviteyi göstermektedir.

Başınç ve sıcaklığa bağlı olarak entropi ifadesi

$$dS = \frac{C_p}{T} dT - \frac{\beta_T}{g} dP \quad (3.4)$$

eşitliği ile verilir. Burada C_p sabit basınçtaki spesifik ısı sabiti β_T ise akışkanın termal genleşme katsayısı olup

$$\beta_T = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3.5)$$

ifadesiyle verilmektedir. Bu eşitliklerden yoğunluk terimindeki değişimlerin akımın karakterini oldukça kompleks şekilde etkileyeceği görülmektedir. Hava için ideal gaz kanununun geçerli olduğu kabul edi-

lirise basınçla yoğunluk arasında

$$P = \frac{\rho RT}{M_a} \quad (3.6)$$

elde edilir (M_a = havanın molekül ağırlığı). $R = C_p - C_v$ gaz sabitidir. İdeal gaz kanununa göre hacimsel genleşme katsayısı $\beta_T = 1/T$ 'ye eşittir. Hava için normal sıcaklıklarda β_T 'nin sayısal değeri oldukça küçüktür ve $^{\circ}\text{C}$ başına $10^{-3} \sim 10^{-4}$ mertebelerindedir. Ilımlı sıcaklık değişimleri için (10°C den daha küçük) yoğunluktaki değişimler %1 veya daha az olduğu için yukarıdaki eşitliklerde ihmal edilebilir. Viskozi-te, kondüktivite ve spesifik ısıdaki sıcaklıkla değişimler de aynı mertebelerdedir. Buna bağlı olarak bu katsayılar sabit kabul edilebilir. Süreklilik, moment ve enerji eşitliklerinin bu kabullere dayalı olarak elde edilen basitleştirilmiş formları "Boussinesq yaklaşımı" olarak bilinmektedir [34]. Boussinesq yaklaşımının geçerlilik şartları Spiegel ve Veronir [35] tarafından incelenmiş ve Calder tarafından açıklanmıştır [36].

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\rho - \rho_a}{\rho_0} X_i + \nu \nabla^2 U_i \quad (3.8)$$

Yukarıdaki eşitliklerde ρ_0 referans yoğunluğu, $\nu = \mu/\rho$ kinematik viskoziteyi, $K = k/\rho C$ termal diffüzivite terimleridir.

Enerji eşitliğindeki viskoz dissipasyon terimi (Φ) yüksek hızlarda önemlidir. Gözönüne alınan uygulamada ihmal edilebilir. Aynı zamanda yeterince ince bir atmosferik tabakada (Shallow layer) entropinin basınçla değişimi ihmal edilebilir. Buna göre enerji eşitliğinde

$$ds \approx \frac{C_p}{T} dT \quad (3.4a)$$

değişimi ile

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = K \nabla^2 T \quad (3.9)$$

elde edilir.

İncelenen harekette büyük irtifa farkları mevcutsa (3.4) eşitliğindeki dP terimi ihmal edilemez. Bu durumda basınçtaki değişimin büyük bir kısmı dikey hareketlerden oluşacağı için (3.4) eşitliğindeki dP yerine dengedeki statik basınç değişimi dP_s konulabilir. Harici bir ısı kaynağının olmaması halinde ($qS = 0$) dP_s basınç değişimi, sıcaklığın değişimine yol açar.

$$dT = \frac{\beta_T T}{\rho C_p} dP_s \quad (3.10)$$

(3.9) eşitliği Θ potansiyel sıcaklık cinsinden ifade edilebilir.

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U_j \frac{\partial \Theta}{\partial x_j} = K \nabla^2 \Theta \quad (3.11)$$

Boussinesq yaklaşımı ile elde edilen temel eşitlikler bu halleriyle atmosferik türbülansın kompleks karakterini yansıtamamaktadır. Bundan dolayı değişkenlerin, atmosferik türbülansın ortalama ve çalkantıları cinsinden ifadesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned} U_i &= \bar{U}_i + U_i' \\ \Theta &= \bar{\Theta} + \Theta' \\ P &= \bar{P} + P_i \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.12) deki değişkenler temel eşitliklerde yerleştirildiğinde

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} &= 0 \\ \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} &= - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \beta g (\bar{\Theta} - \Theta_a) \delta_{13} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_T \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} \right) \\ \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_T \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial x_j} \right) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Burada δ_{13} Kronecker Deltası, v_T türbülans kinematik viskozitesini göstermektedir.

Oldukça zorlayıcı kabullerle basitleştirilmiş olan bu temel eşitlikler halen kompleks bir nonlinear denklem sistemi durumundadır. Bu denklem sisteminin istatistik ortalamalar cinsinden sayısal olarak çözümü mümkündür. Ancak rutin hüzmeye yükselmesi değerlendirmeleri için pratik olarak anlamı bulunmamaktadır. Bu zorlukları dolayısı ile hüzmeye yükselmesine ilişkin ifadelerin çoğu idealize edilmiş hüzmeye modelleri yerine boyut analizi esas alınarak geliştirilmişlerdir. Bu tip çalışmalarda Boussinesq yaklaşımı yanında ilave basitleştirmeler yapılmaktadır. Yukarı kıvrık hüzmeye (Bent-over plume) kavramı bunlardan en önemlisidir. Bu yaklaşım tarzında hüzmeye eksenindeki hız, çevre atmosferin rüzgar hızına eşit kabul edilmektedir. [31, 32, 33] .

3.3. YUKARI KIVRIK HÜZMELELER

Hüzmelerin içine verildiği atmosfer genellikle rüzgarlıdır ve rüzgarsız durum nadiren görülür. Rüzgarlı bir atmosfer içine jet halinde verilen hüzmelerin çevre havası ile hızla karışarak, rüzgarın yatay momentumundan dolayı kıvrıldığı görülmektedir. Gözlemlerden yatay momentumun transferinin baca çıkışından itibaren birkaç baca çapı mesafe içinde tamamlandığı belirlenmiştir. Hüzmeye bu andan itibaren rüzgar hızına yakın bir ortalama hızla yatay olarak taşınmaktadır. Bu esnada hüzmeye yükselmesi yoğunluk farklarının yarattığı kuvvetler tarafından sürdürülmektedir.

Yukarı kıvrık hüzmeler gerek hüzmeye karakteristikleri gerekse çevre atmosferin karakteristikleri bakımından inceleme kolaylığı sağlamak üzere birbirinden farklı dört faza ayrılmaktadırlar. Fazlar arasındaki ilişki Şekil 3.1 de temsili olarak görülmektedir.

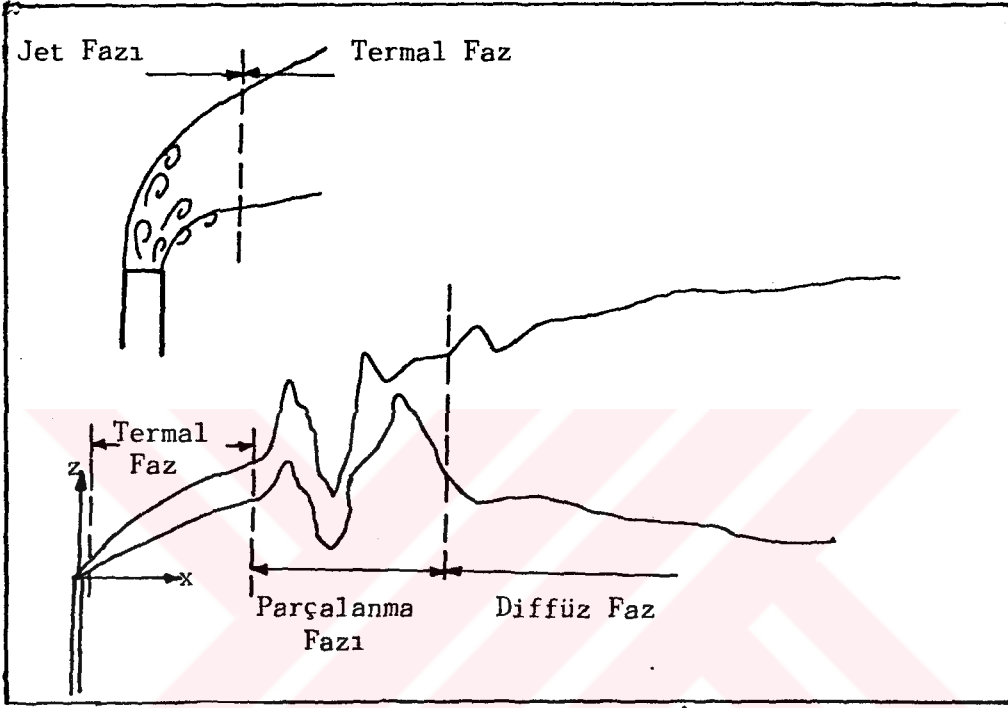
Şekil 3.1 den görüldüğü gibi başlangıç fazı "jet fazı veya 0. faz" olarak tanımlanmaktadır. Jet fazı hüzmeye rüzgar yönünde 3-5 baca çapı taşınmasından sonra sona ermektedir. Bu fazda boyut analizinden [28]

$$\frac{Z}{r_s} = \text{fonk} \left(\frac{X}{r_s}, F_r, \frac{w}{u}, \frac{\rho_s}{\rho_a} \right) \quad (3.14)$$

ilişkisi bulunmaktadır. Burada F_r "dansimetrik Froude sayısı"dır ve

$$F_r = w \left(r_s \frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_s} \right)^{-1/2} \quad (3.15)$$

eşitliği ile verilmektedir.



Şekil 3.1 : Yukarı Kıvrık Hüzme ve Fazları

Nötral bir atmosferde veya yeterince küçük yer değişimleri için birinci faz "Termal faz"dır. Bu fazda F 'in değerinin sabit olduğu kabul edilir. Ancak kararlı atmosferik yapıların söz konusu olması halinde F yükseklikle azalmaktadır. Termal faz içindeki hüzme yataya karşı mutedil bir eğimle ($\frac{\partial z}{\partial x} = 0.2$ veya daha küçük) yükselmesini sürdürmektedir. Bu durum sızma teorisinin uygulanmasında analogi yapılan "line thermal" yaklaşımının kabul edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır. Termal faz için boyut analizinden

$$\frac{Z}{\ell} = \text{fonk} \left(\frac{x}{\ell}, \frac{g}{T_A} \cdot \frac{d\theta_A}{dz} \cdot \frac{\ell^2}{U^2} \right) \quad (3.15)$$

ilişkisi belirlenmiştir. Burada $\ell = F/U^3$ karakteristik uzunluk skalasıdır. Bu fazdaki karışım genellikle hüzmenin kendi hareketinin yol açtığı türbülans tarafından sağlanır ve atmosferik türbülansın mevcudiyeti önemli bir etkiye yol açmaz.

Hüzme yükselmesinin relatif olarak düzenli olduğu 1. faz kaynaktan tahmin edilebilir bir uzaklıkta son bulmakta ve hüzmenin çoğunlukla birkaç ayrı parselde ayrıldığı, çok şiddetli karışımın görüldüğü ikinci faz meydana gelmektedir. Hüzmenin bu ikinci fazına "parçalanma (Break up) fazı" adı verilmektedir. Bu fazda atmosferik türbülans hüzmenin dispersiyonunda esas etkiye sahip bulunmaktadır. Parçalanma ile paralel hüzme çapı artmakta, belli mesafe taşındıktan sonra ayrılmış parseller yeniden daha fazla disperse olmuş hüzme içine dönmektedirler.

2. faz için boyut analizinden

$$\frac{Z}{\ell} = \text{fonk} \left(\frac{x}{\ell}, \bar{I}_y, \frac{\ell}{L_t} \right) \quad (3.16)$$

ilişkisi elde edilmektedir. Burada $\bar{I}_y$ atmosferik türbülans yoğunluğunun yatay bileşenini, L_t ise atmosferik türbülansın uzunluk skalasını göstermektedir.

Hüzmenin üçüncü fazına "Difüz faz" adı verilmektedir. Bu fazda da atmosferik türbülans, karışımında etken durumdadır. Bu faz için boyut analizinden

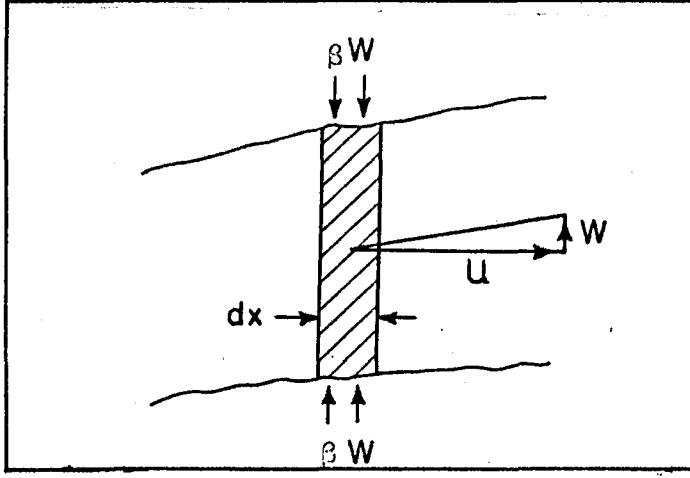
$$\frac{Z}{\ell} = \text{fonk} \left(\frac{x}{\ell}, \bar{I}_y, \bar{L}_t \frac{g}{T_A} \frac{d\Theta_A}{dz} \frac{\ell^2}{U^2} \right) \quad (3.17)$$

ilişkisi belirlenmiştir.

Hüzmeyi fazlara ayırarak yapılan çalışmalar esasen bir inceleme kolaylığı sağlamanın ötesinde bir anlam taşımamaktadır. Gerçekte fazlar sürekli olarak birbirleri içine dalmaktadırlar.

3.4. NÖTRAL BİR ATMOSFERDE HÜZME YÜKSELMESİ

Slawson ve Csanady'nin [32] Morton ve arkadaşlarının [31] sızma teorisine dayalı olarak geliştirdikleri modelde hüzme ekseninin hemen hemen yatay olduğu kabul edilmektedir. Bu modelin uygulanmasında gözönüne alınan hüzme elemanı ve etkili olan kuvvetler Şekil 3.2'de görülmektedir. Morton ve arkadaşlarının [31] teorisinde üç genel kabul yapılmaktadır. Bunlar,



Şekil 3.2 : Yataya Dönen Bir Hüzme Elemanı İçine Çevre Havaasının Sızması

1. Hüzmenin sınırlarından çevre havaasının hüzme içine sızma hızı, aynı yükseklikteki hüzmenin dikey hızı ile orantılıdır.
2. Ortalama dikey hüzme hızı ve yoğunluk kuvvetleri profilleri bütün yüksekliklerde birbirine eşittir.
3. Yoğunluktaki bölgesel değişimler, kaynak seviyesindeki çevre havaasının yoğunluğu (referans yoğunluk) ile mukayese edildiğinde ihmal edilebilir mertebelerdedir.

Bu kabullere dayalı olarak R hüzme yarıçapı olmak üzere

$$u \frac{dR^2}{dx} = 2\beta \bar{w} R \quad (3.18)$$

$$u \frac{d(R^2 \bar{w})}{dx} = gR^2 \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{F}{u} \quad (3.19)$$

$$gR^2 u \left(\frac{\Delta\rho}{\rho} \right) = F = \text{sabit} \quad (3.20)$$

eşitlikleri yazılabilir. Burada $\beta \sim R/Z$ sızma katsayısı $\bar{w}$ baca gazının ortalama hızıdır. (3.18) eşitliği sadece başlangıç fazı için geçerlidir. Hüzmenin kaynaktan oldukça uzaktaki davranışları üzerinde başlangıç hüzme yarıçapı ve hızının etkileri ihmal edilebilir. (3.19) eşitliğinin integrasyonu

$$\bar{w} = \frac{F_x}{u^2 R^2} \quad (3.21)$$

ifadesini vermektedir (3.18) eşitliğinde $dR^2/dx = 2R(dR/dx)$ değişimi

yapılıp (3-21) de yerine konup integre edilirse

$$R = \left(\frac{3}{2} \beta \frac{F}{u^3} \right)^{1/3} X^{2/3} \quad (3.22)$$

elde edilir.

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\bar{w}}{u} \quad (3.23)$$

eşitliği (3.21) ile birlikte kullanılır ve integre edilirse

$$\frac{z}{\ell} = \left(\frac{3}{2} \beta \right)^{1/3} \left(\frac{X}{\ell} \right)^{2/3} \quad (3.24)$$

genel ifadesi elde edilir. (3.24) eşitliğinin iki yanı da ℓ ile çarpılırsa

$$Z = \Delta h = \left(\frac{3}{2} \beta^2 \right)^{1/3} \ell^{1/3} X^{2/3} \quad (3.25)$$

$\ell = F/u^3$ olduğu bilindiğine göre (3.25) eşitliği

$$\Delta h = \left(\frac{3}{2} \beta^2 \right)^{1/3} F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (3.26)$$

şeklini alır ki "2/3 üstel kanunu" olarak bilinen formdur. Bu eşitlik kaynak büyüklüğü ve w baca gazı hızı ihmal edilerek elde edilmiştir. Bundan dolayı kaynaktan belirli uzaklıklarda uygulanabilir. X ve R cinsinden bu uzaklık için

$$X \gg \frac{w u \rho}{g \Delta \rho} \quad (3.27)$$

eşitsizliğinin sağlanması gerekmektedir. Slawson ve Csanady termik santral için bu eşitsizliğin $X = 100$ m ve ötesinde sağlandığını ifade etmişlerdir.

Parçalanma fazında hüzmelerin büyüme oranı atmosferik türbülans tarafından belirlenmektedir. Atmosferik türbülansın yol açtığı büyüme

$$\frac{1}{2} \frac{dR^2}{dt} = a_1 \epsilon^{1/3} R^{4/3} \quad (3.28)$$

ifadesiyle verilmektedir. Buradaki ϵ , birim kütle başına türbülant enerji kaybını (dissipation) göstermektedir, a_1 ise bir sabittir. Üni-
form u hızıyla taşınan hüzmeler için (3.28) eşitliği

$$u \frac{dR^2}{dx} = 2 a_1 \epsilon^{1/3} R^{4/3} \quad (3.29)$$

formunu almaktadır (3.29) eşitliğinin sağ tarafında yer alan $a_1 \epsilon^{1/3} R^{4/3}$ terimi, birinci faza ait (3.18) eşitliğindeki $\beta \bar{w}$ sızma hızının yerini almıştır. (3.19) ve (3.29) eşitliklerinin integrasyonu ile

$$\bar{w} = u \frac{dz}{dx} = \frac{R_1^2 \bar{w}_1 + F(x-x_1)/u^2}{|R_1^{2/3} + 2a_1 \epsilon^{1/3}(x-x_1)/3u|^3} \quad (3.30)$$

Burada R_1 ve $\bar{w}_1$ ikinci fazın başında hüzmelerin yarıçapı ve dikey hızıdır.

3. faz veya diffüz fazda karışım büyük, enerji yüklü eddyler tarafından sağlanmaktadır. Hüzmelerin bu fazdaki büyümesi

$$\frac{1}{2} \frac{dR^2}{dt} = a_2 v_R L_T \quad (3.31)$$

ifadesi ile verilmektedir. v_R ve L_T türbülans hızının kare kökü ve uzunluk skalasını göstermektedir. (3.19) ve (3.31) eşitliklerinin integrasyonundan

$$\bar{w} = u \frac{dz}{dx} = \frac{R_2^2 \bar{w}_2 + f(x-x_2)/u^2}{\frac{R^2}{2} + 2 a_2 v_R L_T (x-x_2)/u} \quad (3.32)$$

Burada R_2 ve $\bar{w}_2$ 3. fazın başında hüzmelerin yarıçapı ve dikey hızıdır. Büyük mesafelerde

$$\frac{dz}{dx} = \frac{F}{2a_2 v_R L_T u^2} = \frac{1}{2a_2} \frac{1}{L_T} \frac{u}{v_R} = \text{sabit} \quad (3.33)$$

Slawson ve Csanady [32] Lakeview santrali hüzmeleri ölçümlelerinden birinci fazın geçerli olduğu bölge için $x/l = 1200$, $z/l = 280$ değerlerini vermektedir. Ayrıca ikinci fazın çok kısa olduğunu ve diffüz fazın asimtotik eğiminin, geçiş noktasında birinci fazın sahip olduğu eğimle

aynı olduğunu göstermişlerdir.

3.5. HÜZME YÜKSELMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Literatürde hüzme yükselmesi ile ilgili çok sayıda model bulunmaktadır. Bu modeller gözlemlere dayalı olanlar ve teorik bazlı olanlar şeklinde ikiye ayrılabilir. Ancak bu ayırım kesin olamamaktadır. Çünkü teorik bazlı modeller fonksiyonel formlarını momentum enerji ve kütlelenin korunumu ifadelerinden almalarına rağmen deneysel katsayılarla ihtiyaç duymaktadırlar.

Amprık tipteki modeller, çıkarıldıkları gözlem sonuçları ile çok iyi uyum göstermelerine rağmen ekstropole edilmeleri halinde önemli hatalara yol açmaktadırlar. Bu tipteki modellerin çoğu gözlem yapılan yerle sınırlı kalma gibi mahzurlara sahiptir.

Bu modellerin bazılarında rüzgar yönündeki mesafenin bir fonksiyonu olarak hüzme yükselmesi ifade edilmektedir. Ancak modellerin çoğu nihai yükselme değerini verirler. Yer seviyesindeki maksimum konsantrasyonlar genellikle nihai hüzme yükselmeleri değeri kullanılarak bulunmaktadır. Nihai yükselmenin tanımında farklılıklar bulunmaktadır. Briggs [37] nihai yükselmeyi hüzmenin yataya dönmesinden sonraki toplam yükselme olarak tanımlarken Carpenter [38] ve Thomas [39] hüzme ekseninin yükselme hızının minimum değerine ulaştığı noktadaki yükselme olarak tanımlamaktadırlar. Slawson ve Csanady [32] nihai yükselme için hüzme ekseninin eğiminin spesifik bir değere (0.1) ulaştığı yerdeki yükselme ifadesini vermektedirler.

Hüzme yükselmesi modellerinde referans nokta olarak baca çıkışı esas alınır. Rüzgar hızı için referans yükselti olarak genellikle baca çıkışı seviyesi esas alınmaktadır.

Burada yoğunluk farklarının etken olduğu hüzmeler üzerinde durulacaktır. Zira endüstriyel kaynakların hüzmeleri genellikle bu kategori içine girmektedirler.

3.5.1. Uzaklığın Fonksiyonu Olarak Hüzme Yükselmesi

Uzaklığın fonksiyonu olarak hüzme yükselmesini veren modeller genel-

likle,

$$\Delta h = K_1 Q_h^a u^b X^c \quad (3.34)$$

formuna sahip bulunmaktadır [40]. X rüzgar yönündeki uzaklığı, Q_h ısı emisyon hızını göstermektedir. $K_1, \Delta h'$ etkileyen değişkenlere bağlı bir sabittir. Morton ve arkadaşlarının sızma teorisi [31] Briggs'ın [37], Bringfelt'in [41, 42] ve Fay ve arkadaşlarının [43] çalışmalarından (3.44) eşitliğindeki eksponentler için $a = \frac{1}{3}$, $b = -1$ ve $c = \frac{2}{3}$ değerleri elde edilmektedir. Bu durumda K_1 boyutsuz olmaktadır.

Briggs Q_h yerine yoğunluk farklarından kaynaklanan kuvvetlerin akışı F' i kullanarak X ve X^* gibi iki farklı uzaklık için hüzme yükselmesi eşitliğini vermiştir. Burada X^* ile hüzme üzerinde atmosferik türbülansın etkin olduğu (2. ve 3. fazların başlangıçları) mesafe gösterilmektedir. Hüzme davranışlarının universal fazı olan 1. fazda ($X < X^*$) Briggs, "2/3 kanunu" olarak bilinen aşağıdaki eşitliği bütün atmosferik stabilite halleri için geçerli olmak üzere vermiştir.

$$\Delta h(x) = C_1 F_b^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (3.35)$$

(3.35) eşitliğindeki $C_1 = (3/2)^{2/3}$ için aynı araştırmacı 1.6 değerini tavsiye etmektedir.

Briggs X^* uzaklığı için

$$X^* = 2,16 F^{2/5} h_s^{3/5} \quad (h_s < 300 \text{ m}) \quad (3.36)$$

$$X^* = 67 F^{2/5} \quad (h_s > 300 \text{ m}) \quad (3.37)$$

veya F' in fonksiyonu olarak

$$X^* = 14 F^{5/8} \quad F < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \quad (3.38)$$

$$X^* = 34 F^{2/5} \quad F > 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \quad (3.39)$$

eşitliğini vermiştir. Kararsız ve nötr atmosferik yapılarda (3.35) ifadesinin $X = 3X^*$ (veya $X=10 h_s$) için nihai yükselmeyi verdiği belirtilmektedir.

C_1 için verilen 1,6 değeri ısı emisyonu 20 MW ve üzerinde olan tesislerden elde edilen datalardan elde edilmiştir.

Bringfelt [41] İsveç'te endüstriyel tesislerdeki yoğun hüzme yükselmesi ölçümleri ile birlikte daha önce yapılmış çalışmalardan faydalanaarak üç farklı uzaklık için farklı hüzme yükselmesi ifadeleri vermiştir.

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= 103 Q_h^{0.39} U^{-1} & (X = 250 \text{ m}) \\
 \Delta h &= 167 Q_h^{0.36} U^{-1} & (X = 500 \text{ m}) \\
 \Delta h &= 224 Q_h^{0.34} U^{-1} & (X = 1000 \text{ m})
 \end{aligned} \tag{3.40}$$

Araştırmacı (3.40) eşitliklerinde yer almayan x uzaklık teriminin kaynakların ısı emisyonu ile olan ilişkisi için Tablo 3.1'deki değerleri vermiştir. (3.40) eşitliklerinin elde edildiği dataların X 'in farklı değerleri için dağılımları ve yalnızca nötral hali esas olan regresyon doğruları Şekil 3.3 de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Bringfelt'e göre Q_h ile X^a 'nın değişim [41]

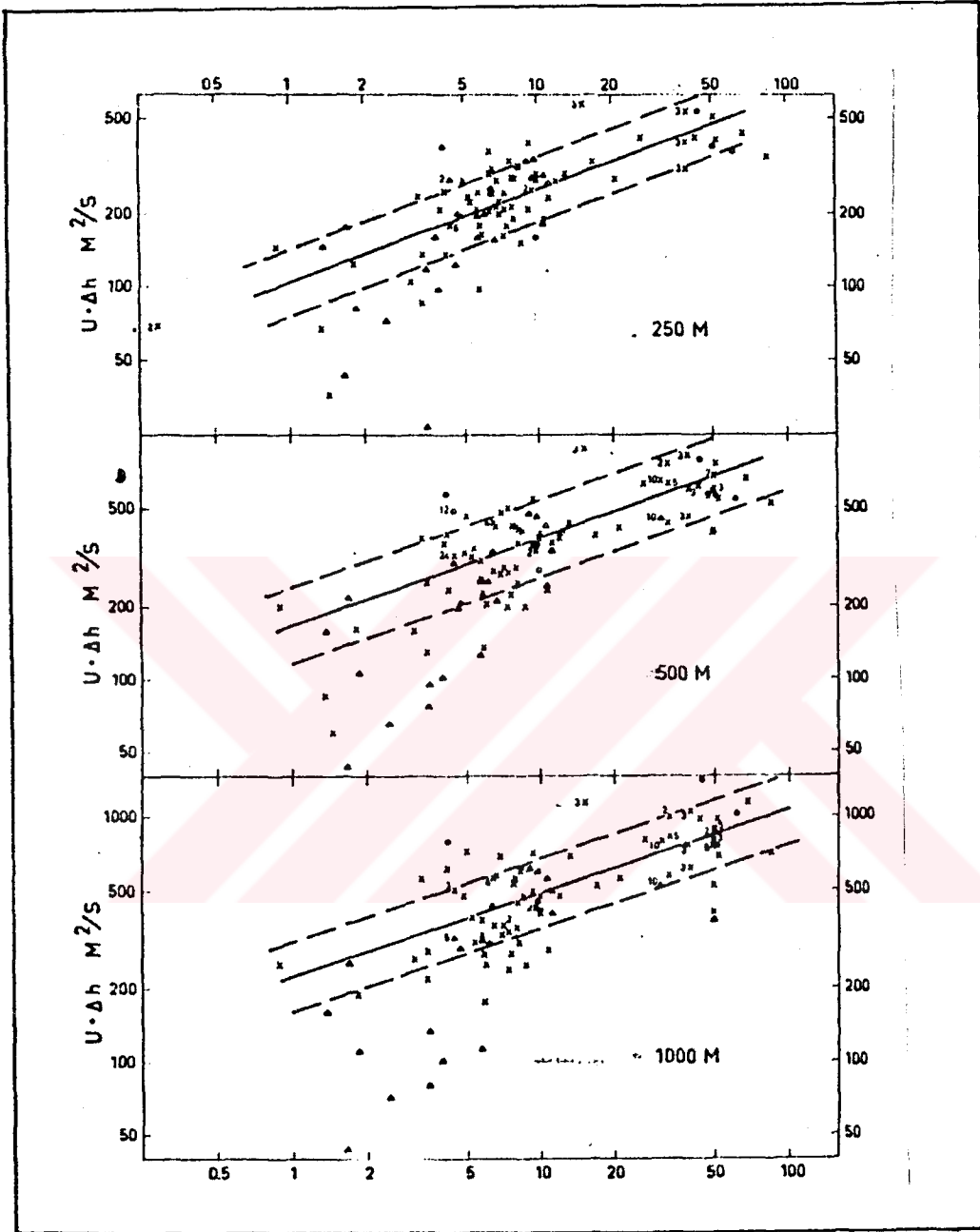
Q_h (MW)	X Mesafesi, m	
	250-500	500-1000
6.7	$X^{0.62}$	$X^{0.37}$
33.5	$X^{0.55}$	$X^{0.32}$

Şekil 3.3 'den görüldüğü gibi nötral, kararlı ve kararsız yapılarıdaki datalar oldukça büyük dağılım göstermektedirler. Ayrıca geri yıkama (backwash veya downwash) belirlenen datalar alınmamıştır.

Bringfelt aynı gözlem sonuçlarını (3.35) eşitliği formunda ifade etmek için β sızma katsayısının değişimini incelemekte kullandığı çalışmasında [42] β için 0.5 değerini bulmuştur. Buna bağlı olarak C_1 için 1.8 sabit değerini teklif etmektedir.

Carpenter [44] ve Montgomery [45] Tennessee Valley Authority (TVA) nın termik santralleri hüzmeleri üzerinde yaptıkları gözlemlerin sonuçlarını (3.35) eşitliği formunda ifade etmişlerdir. Eşitlikte yer alan C_1 katsayısı için sızma katsayısı yerine atmosferik yapılanmaya dayalı potansiyel sıcaklık gradyanı cinsinden aşağıdaki ifadeyi vermişlerdir.

$$C_1 = 1,58 - 0,414 \frac{\partial \theta}{\partial z} \tag{3.41}$$



Şekil 3.3 Rüzgar Hızı Ve Hüzme Yükselmesi Çarpımına Karşı 250m, 500m e 1000 M Uzaklıklar İçin Isıl Emisyonun Değişimi [41] . o kararsız, x nötr, Δ kararlı atmosferik yapılarıdaki değerleri göstermektedir. Regresyon doğruları sadece nötr hal için çizilmiştir.

Araştırmacılar bu çalışmalarında rüzgar hızı için referans yüksekliği yerine baca ağızı ile nihai hüzmeye yüksekliği arasında ortalama yüksekliği esas almışlardır. (3.41) eşitliği kararlı, nötr ve kararsız atmosferik yapılar için Tablo 3.2'deki değerlerle ifade edilmektedir.

Tablo 3.2 Atmosferik Yapılanmaya Göre C_1 'in Değişimi [41,42] .

Atmosferik Yapılanma	$\partial\theta / \partial z$ ($^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$)	C_1
Kararlı	1.3	1.04
Nötr	0.3	1.46
Kararsız	- 0.06	1.60

Montgomery ve arkadaşları [45], TVA gözlem sonuçlarını Tablo 3.2'deki atmosferik yapılanma ile ilişkili olarak üç ayrı hüzmeye yükselmesi eşitliği halinde vermişlerdir.

Nötral durumda ($- 0.17 < \partial\theta / \partial z < 0.16$, $\text{ort.} = 0.05$)

$$\Delta h(x) = 2.5 F^{1/3} u^{-1} x^{0.56}, (x < 3000 \text{ m}) \quad (3.42)$$

Mutedil kararlı durumda ($0.16 < \partial\theta / \partial z < 0.70$, $\text{ort.} = 0.43$)

$$\Delta h(x) = 3.75 F^{1/3} u^{-1} x^{0.49}, (x < 2800 \text{ m}) \quad (3.43)$$

Şiddetli kararlı durumda ($0.70 < \partial\theta / \partial z < 1.87$, $\text{ort.} = 1.06$)

$$\Delta h(x) = 13.8 F^{1/3} u^{-1} x^{0.26}, (x < 1960) \quad (3.44)$$

x 'in kuvveti $2/3$ kanunundan saptığı için C_1 katsayıları da normal değerlerin oldukça üzerinde bulunmaktadır.

x 'e bağlı olarak Δh hüzmeye yükselmesini veren bir başka çalışma Fay ve arkadaşları [43] TVA ve Bringfelt'in datalarından hareketle nötr ve kararlı atmosferik yapılanmalar için (3.35) formunda bir ifade vermişlerdir.

$$\Delta h(x) = C_2 \ell^{1/3} x^{2/3} \quad (3.45)$$

Burada $\ell = F/u^3$ uzunluk skalasıdır. Potansiyel sıcaklık gradyanının

sabit olduğu kademeleşmiş atmosferik yapılarda x için hüzmenin nihai olarak erişeceği yükseklik Brunt-Vaisalla Frekansı

$$N = \left(\frac{g}{T} - \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^{1/2} \quad (3.46)$$

nın tersi ile orantılı olduğundan (3.45) deki x mesafesi için

$$x = \frac{u}{\left(-\frac{g}{T} - \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^{1/2}} \quad (3.47)$$

verilmektedir [46]. Burada $S = \frac{g}{T} - \frac{\partial \theta}{\partial z}$ terimi atmosferik kademeleşmenin bir göstergesi olarak alınmaktadır (3.47) ifadesi (3.46) da yerleştirildiğinde,

$$\Delta h = C_2 \left(\frac{F}{uS} \right)^{1/3} \quad (3.48)$$

eşitliği elde edilmektedir.

3.5.2. Nihai Yükselme

1950 den itibaren hüzme yükselmesi ile ilgili çok sayıda çalışmanın yayınlandığı görülmektedir. Nükleer santrallerin kurulması ile gündeme gelen kirleticilerin diffüzyonu problemi, sanayileşmenin ulaştığı boyutlar üzerine önemini büyük ölçüde artırmış ve bu konuda araştırma yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu alanda yayınlanan ilk çalışmalar rüzgar tüneli deneylerine veya yoğun teorik esaslara dayalı olarak geliştirildiklerinden genellikle çok terimli, hesaplama zorluğu olan ifadeler şeklindedirler. Günümüzde pek kullanım alanı bulamayan bu ilk çalışmalar hüzme yükselmesi konusundaki tarihi gelişmeyi göstermek bakımından önem taşımaktadırlar. Bu çalışmalar arasında Bryant-Davidson'un [47, 48] ve Bosanquet ve arkadaşlarının [49], Sutton'un [50], Bryant-Cowdry [51] ve Priestley [52] un çalışmaları zikredilebilir.

Holland, TVA termik santrallerinden elde edilen bilgilerden faydalanarak, nötr durumlar için momentum ve yoğunluk farklarının bir arada gözönüne alındığı aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir [53].

$$\Delta h = (1.5 w_s d_s + 4.10^{-5} \theta_h) / u \quad (3.49)$$

Burada d_s [m] baca çıkışındaki çapı, Q_h [cal.s⁻¹] atık gaz ısıl debisini göstermektedir. Değişik çalışmalar bu denklemin düşük yükselmeler verdiğini göstermişlerdir.

Thomas, Holland'ın formülünün modifikasyonunu yaparak kendi adıyla yayınlamıştır [54]. Moses ve Carson [55] Holland'ın düşünüş tarzını esas alarak üç farklı atmosferik yapılanma için üç farklı hüzmeye yükselmesi ifadesi vermiştir.

Kararsız hal $(\partial\theta/\partial z < -0.22)$

$$\Delta h = 3.47 (w_s/u) d_s + 10.53 \theta_h^{1/2} / u \quad (3.50)$$

Nötr hal $(-0.22 < \partial\theta/\partial z < 0.85)$

$$\Delta h = 0.35 (w_s/u) d_s + 5.41 \theta_h^{1/2} / u \quad (3.51)$$

Kararlı hal $(\partial\theta/\partial z > 0.85)$

$$\Delta h = -1.04 (w_s/u) d_s + 4.58 \theta_h^{1/2} / u \quad (3.52)$$

Bu eşitliklerde θ_h [k Cal.s⁻¹] birimindedir.

Briggs'ın (3.35) eşitliğinde $x = 3x^*$ yerleştirilmesi ile nötr ve kararsız atmosferlerde nihai hüzmeye yükselmesi elde edildiği önceki bölümde ifade edilmişti.

$$\Delta h = 1.6 F^{1/3} u^{-1} (3x^*)^{2/3} \quad (3.53)$$

(3.35) ve (3.53) eşitliklerinde yer alan $C_1 = (3/2 \beta^2)^{1/3}$ sabiti için sızma katsayısı β_1 için 0.6 değeri alınmak suretiyle $C_1 = 1.6$ olarak Briggs tarafından verilmiştir.

Briggs kararlı durumlar için Bringfeld'in [41, 42] ve Fay ve arkadaşlarının [43] sonuçlarına benzer şekilde

$$\Delta h = C_2 (F/uS)^{1/3} \quad (3.54)$$

ifadesini vermiştir [56]. C_2 için emniyetli bir değer olarak 1.5 C_1 değeri kabul edilmektedir. Buna göre C_2 için 2.4 elde edilir.

Rüzgarsız durumlarda ($u < 0.1 \text{ m.s}^{-1}$) hüzme yükselmesi için de

$$\Delta h = 5.0 F^{1/4} S^{-3/8} \quad (3.55)$$

eşitliği verilmiştir.

Bringfelt kararlı atmosferik yapılar için (3.54) eşitliği formunda

$$\Delta h = \left(\frac{3.6}{\beta^2} \right)^{1/3} \left(\frac{F}{uS} \right)^{1/3} \quad (3.56)$$

ifadesini geliştirmiştir. β sızma katsayısı için hafif kararlı durumlarda 0.53, şiddetli kararlı durumlarda da 0.57 değeri bulunmuştur.

C_2 için sırasıyla 2.34 ve 2.23 rakamları elde edilmektedir [42].

ASME (American Society of Mechanical Engineers) Task grubu çevre havasına göre en az 50°C daha sıcak ve $50 \text{ m}^3/\text{s}$ veya daha büyük atık gaz debisine sahip olan kaynaklarda hüzme yükselmesi için nötr ve kararsız durumlarda

$$\Delta h = 7.4 F^{1/3} u^{-1} h_s^{2/3} \quad (3.57)$$

eşitliğini vermiştir [57]. Kararlı durumda (3.54) eşitliği $C_2 = 2.9$ alınmak suretiyle uygulanmaktadır. (3.56) ve (3.57) eşitliklerinin bacası seviyesindeki rüzgar hızı 7 m/s den küçük olması halinde hatalı sonuçlara yol açtığı aynı grup tarafından ifade edilmiştir.

TVA santallerinden elde edilen gözlemlere dayalı olarak Carpenter [44] ve Montgomery [45] nin nihaî hüzme yükselmesi için

$$\Delta h = 114 C_1 F^{1/3} u^{-1} \quad (3.58)$$

eşitliğini vermişlerdir. Montgomery [58], yine TVA datalarından kaynaktan 1800m uzaklıkta maksimum yükselmenin gerçekleştiğini belirlemiş ve atmosferik yapı ile ilgili parametreleri de ihtiva etmek üzere

$$\Delta h = \frac{173 F^{1/3}}{u \exp \left(0.64 \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)} \quad (3.59)$$

ifadesini teklif etmiştir.

Lucas ve arkadaşları [59] , Priestley'in teorik çalışmaları ve İngiliz Elektrik İdaresine bağlı termik santrallerde yaptıkları gözlemlerden

$$\Delta h = K \frac{Q_h^a}{u^b} \quad (3.60)$$

formunda bir ifade çıkarmışlardır. Burada, K, a ve b deneysel sabitlerdir ve Q_h [cal. s⁻¹] atık gaz ısı debisini göstermektedir.

(3.60) eşitliği formunda literatürde birçok ifade bulunmaktadır. Bunlar arasında Lucas ve arkadaşlarının [59]

$$\Delta h = 24 \frac{Q_h^{1/4}}{u} \quad (3.61)$$

Scorer ve Barrett'in [60]

$$\Delta h = 3.0 \times 10^{-4} \frac{Q_h}{u} \quad (3.62)$$

Rauch'un [61]

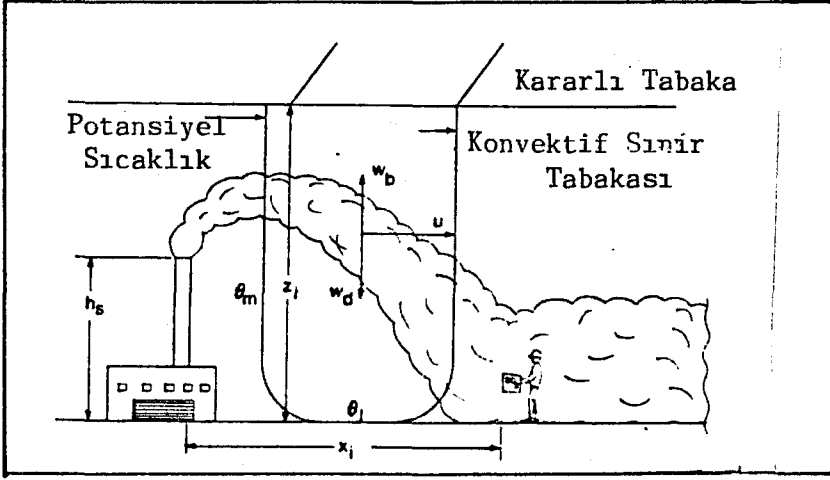
$$\Delta h = 8.4 \frac{Q_h^{1/4}}{u}$$

ve CONCAWE'nin (Conservation of Clean Air and Water, Western Europa) bir çalışma grubunun nötral hal için regresyon analizlerinden [62]

$$\Delta h = 0.175 \frac{Q_h^{1/2}}{u^{3/4}} \quad (3.63)$$

eşitliği verilebilir. K, a ve b katsayıları atmosferik yapılar ve kaynak büyüklüğünden geniş şekilde etkilenmekte oldukları ifade edilmiştir.

Yakın zamanlarda hüzme yükselmesi alanında konvektif şartların etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Konvektif şartlar, bulutsuz ve güneşli, rüzgar hızının düşük olduğu durumlarda yeryüzeyinin yaydığı ısı akısı sonucu yere yakın atmosferik tabaka içinde termal orijinli dikey hareketlerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu dikey hareketlerin yarattığı türbülans dolayısı ile hüzme oldukça kısa mesafelerde yere ulaşmakta ve yoğun kirlenmelere neden olmaktadır. Fumigasyona yol açan bu durum hüzme dağılımının Gaussian olma özelliğini de bozmaktadır (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 : Konvektif Şartlarda Hüzmenin Dağılımı

Konvektif şartlarda hüzmenin diffüzyonu ile ilgili olarak iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan biri Lamb'ın [63,64] konvektif şartlardaki dağılımı Gausyan dağılıma uydurmaya yönelik çalışmaları diğeri de Briggs'ın [65] "temas" modeli çalışmalarıdır. Venkatram [62] yukarıdaki iki yaklaşım tarzını birleştirerek konvektif şartlar için hüzme yükselmesi ifadesini vermiştir [66,67.,68]. Sayısal modelleme, arazi gözlemleri ve laboratuvar deneyleri [69] konvektif şartlardaki türbülansın, konvektif hız skalası w_* ve konvektif sınır tabakası yüksekliği Z_i gibi iki önemli değişken tarafından kontrol edildiğini ortaya koymaktadır. Konvektif hız skalası için

$$w_* = \left(\frac{g}{T_A} H_o Z_i \right)^{1/3} \quad (3.64)$$

ifadesi verilmiştir. Burada H_o , yeryüzeyinin kinematik ısı akısını, T_A çevre havası sıcaklığını göstermektedir.

Konvektif şartlardaki nihai hüzme yükselmesi için yukarıdaki tanım- la bağıntılı olarak iki farklı eşitlik verilmektedir. Bunlardan birin-

cisi "Parçalanma" (Break up) fazını esas alarak, nihai yükselmenin hüzmünün içindeki türbülans dissipasyon hızının çevre havasındaki değere eşitlendiğinde oluştuğunu kabul ederek

$$\Delta h = 3.0 \left(\frac{F}{u w_*^2} \right)^{3/5} Z_i^{2/5} \quad (3.65)$$

ifadesini vermektedir. Çevre havasının türbülans dissipasyon hızı için $0.1 w_*^3 / Z_i$ kabul edilmektedir.

Temas (Touchdown) modeli ise büyük skalalı aşağı çekme kuvvetlerinin etkisi ile hüzmünün yere temas ettiği kabulü ile

$$\Delta h = 0.1 \left(\frac{F}{u w_d^2} \right) \left(1 + \frac{2h}{\Delta h} \right)^2 \quad (3.66)$$

eşitliğini vermektedir. Burada w_d Şekil 3-4 de görüldüğü gibi aşağı yönlü hız bileşenini göstermektedir. Genel olarak w_d için $0.4 w_*$ değeri alınmaktadır.

Nötr atmosferik yapılarda nihai yükselme için Briggs tarafından "parçalanma" modeline benzer şekilde

$$\Delta h = 1.3 \frac{F}{u_* u_*^2} \left(1 + \frac{h}{\Delta h} \right)^{2/3} \quad (3.67)$$

eşitliği getirilmiştir [65]. Burada u_* nötral hız skalası için referans Z_T yüksekliğinde ölçülmüş olan U_T hızı kullanılarak logaritmik rüzgar hızı profilinden hareketle

$$U_* = \frac{K U_T}{Z_n \left(\frac{Z_T}{Z_0} \right)} \quad (3.68)$$

bulunmaktadır. Z_0 aerodinamik yüzey pürüzlülüğünü göstermektedir ve 0,3 m ortalama değeri kullanılmaktadır.

Uygulamada (3.66), (3.67) ve (3.68) eşitliklerinden en düşük Δh değerini veren ifadenin tercih edilmesi gerekmektedir.

Bu bölümde gerek mesafenin fonksiyonu olarak verilen hüzmeye yükselmesi eşitlikleri gerekse nihai hüzmeye yükselmesi eşitliklerinin kaynak

şartlarına ve atmosferik şartlara bağlı olarak geniş dağılım gösterdiği görülmektedir. Ancak (3.35) eşitliği, nötral ve kararsız atmosferik yarıllardaki hüzme yükselmesi analizlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bunda (3.35) eşitliğinin gerek teorik gerekse boyut analizi sonucu hüzme yükselmesinin en karakteristik bölümünü oluşturan 1. Termal fazı'ndaki universal ilişkiyi çok iyi bir şekilde yansıtmaları etken olmaktadır. Bu özelliği ile (3.35) eşitliği EPA'nın model tekniklerinde (CRSTER, RAM, CDM, ISC, MPTER) standard olarak kabul edilmiştir [6]

3.5.3. Momentum Etkisindeki Hüzmeler

Yoğunluk farklarının etkin olduğu hüzmelerde uygulanan inceleme tekniği yardımıyla momentum etkisindeki hüzmeler için aşağıdaki ifadeler çıkarılmıştır.

Baca gazı özelliklerine bağlı olarak F momentum akısı parametresi

$$F_m = w^2 r_s^2 \rho_s / \rho \quad (3.69)$$

şeklinde verilmektedir. X' 'e bağlı olarak hüzme yükselmesi ise

$$\Delta h(x) = C_m F_m^{1/3} u^{-2/3} x^{1/3} \quad (3.70)$$

şeklinde dir. Briggs C_m için 2.4 katsayısını vermektedir [37]. Aynı araştırmacı F_m için $\rho_s = \rho$ kabulüyle daha genel bir form olan

$$\Delta h = 6r_s (w/u) \quad (3.71)$$

eşitliğinin elde edileceğini belirtmektedir. (3.71) eşitliğinin uygulanabilmesi için

$$w/u > 4$$

şartının sağlanması gerekmektedir. w/u oranının 10' dan küçük olduğu kaynaklarda (3.71) eşitliğinin verdiği hüzme yükselmesi değeri fazla bir önem taşımayacak ve çoğunlukla fiziksel baca yüksekliğinin %10 u mertebelerinde bulunacaktır [28].

Briggs kararlı atmosferik yapılarda rüzgarlı hal için

$$\Delta h = 1,5 (F_m / u)^{1/3} S^{-1/6} \quad (3.72)$$

rüzgarsız hal için

$$\Delta h = 4 (F_m S^{-1})^{1/4} \quad (3.73)$$

ifadelerini vermektedir [37].



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN PLANLANMASI

Hava kalitesinin korunması çalışmalarında hava kirletici kaynaklarla mevcut kirlenme durumu arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik modeller büyük önem taşımaktadır. Bu modeller vasıtasıyla hava kalitesi yönetiminde uygulanacak stratejilerin temelleri oluşturulmaktadır.

Nokta kaynaklar ve bir alt grup olarak endüstriyel nokta kaynaklar yerleşim bölgelerindeki hava kirlenmelerinde önemli bir katkıya sahiptirler. Bu katkı 1973 teki petrol krizinden sonra petrol yerine kömür kullanımının yaygınlaşması ile daha da artmıştır.

EPA'nın yerleşim bölgeleri için geliştirdiği modellerde hüzme yükselmesi önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Bu modellerde Briggs'in hüzme yükselmesi ifadeleri seçilmiştir. Briggs'in ifadeleri genel olarak büyük kaynaklardan elde edilen datalarla kalibre edildiği için endüstriyel kaynaklara uygulanması halinde hatalı neticeler elde edilmesine yol açmaktadır. Bundan dolayı hüzme yükselmesi ifadelerinin endüstriyel kaynak dataları ile yeniden geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu maksatla endüstriyel ölçekli tesislerde deneysel olarak hüzmeye yükselmesi çalışmaları yapılmış, değişik atmosferik yapılanma durumunda hüzmelerin yükselmeleri incelenmiş ve Briggs'in ifadelerinden elde edilen değerlerle mukayese edilerek değişimler belirlenmiş ve sebepleri üzerinde durulmuştur.

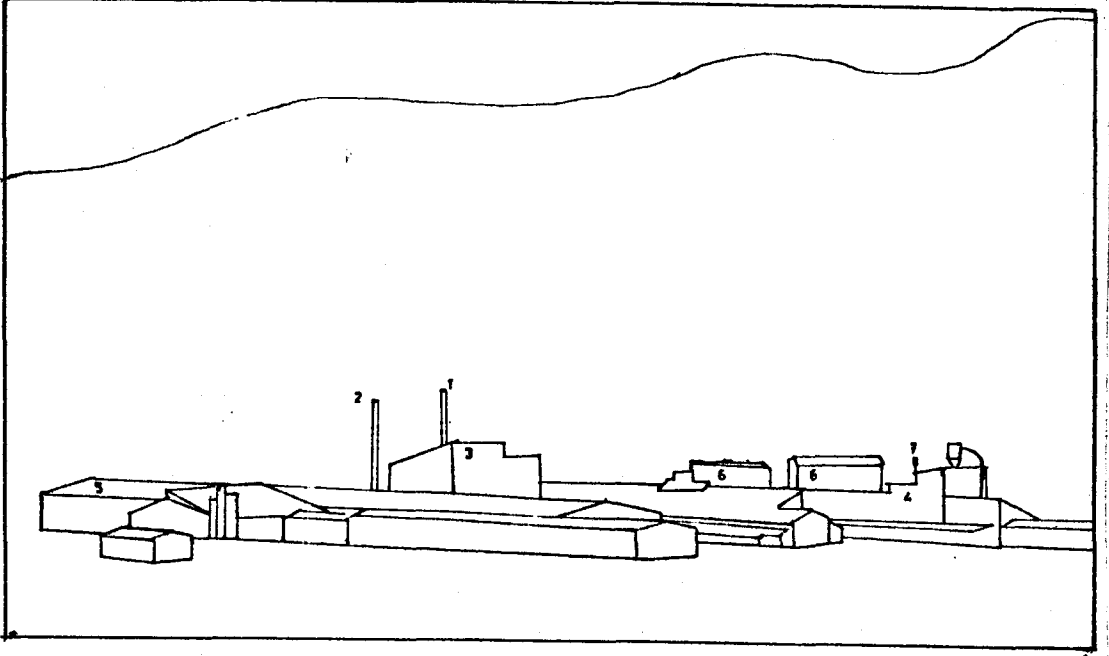
4.2. ARAŞTIRMANIN YAPILDIĞI TESİSİN TANITIMI

Deneysel çalışmalar SEKA Bolu Lamine Lif ve Levha Fabrikası tesislerinde yürütülmüştür. Bolu Lamine ve Lif Levha Tesisleri il merkezine 5-6 km mesafede ve şehrin batı yönünde Mudurnu Yolu üzerinde yer almaktadır. Tesisde hammadde olarak ağaç kullanılarak lif levha (kontraplak) ve lamine levha (formika) üretilmektedir. Üretim pazar günleri dışında her gün 24 saat süreyle yapılmaktadır. İşletmeye açıldığı 1962 yılında şehir dışında bulunan tesisler günümüzde şehrin büyümesi ile yerleşim bölgelerine yaklaşmış durumdadır.

Bolu Lamine Lif ve Levha Fabrikası lif levha, lamine levha, kazan dairesi, idari bina, atelyeler, atıksu arıtma tesisi ve lojmanlardan oluşmaktadır. Tesisde yaklaşık 350 işçi, 50 teknik ve idari personel olmak üzere 400 kişi çalışmaktadır. Tesisin genel yerleşimi Şekil 4.1'de verilmiştir.

4.2.1. Tesis Çevresinin Topoğrafik Yapısı

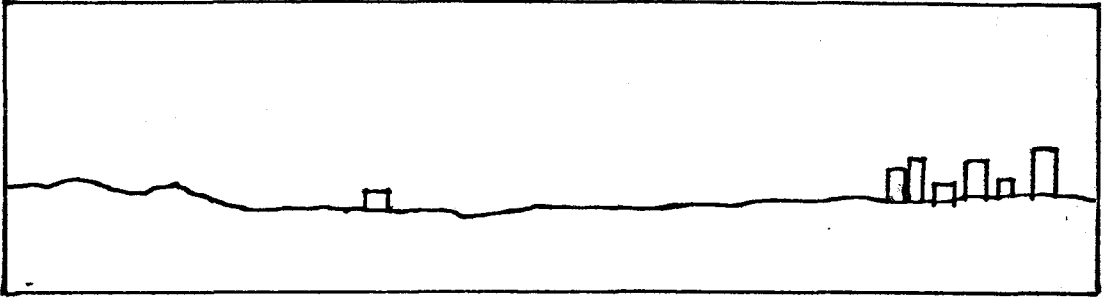
Bolu Lamine Lif ve Levha Tesisleri Ankara-İstanbul E5 Otoyolunun güneyinde ve otoyola 5km uzaklıkta az engebeli bir arazi üzerinde yerleşmiştir. Kuzey ve güneyden orta yükseklikte dağlarla çevrilidir. Bunlardan kuzeydeki dağlar tesise ortalama 20km uzaklıkta ve 1800 m yüksekliktedir. Güneydeki dağlar ise tesise ortalama 5km mesafede ve 500m yüksekliktedir. Doğu-batı istikametinde önemli bir topoğrafik arıza bulunmamaktadır. Yalnız Şekil 4-1 den görüldüğü gibi tesisin batı-kuzeybatı yönünde 1500m uzaklıkta 50-60 m irtifalı bir tepe yer almaktadır. Bu özellikleri ile tesisin yerleştiği arazi kuzey ve güneyinden dağlarla çevrilmiş, doğu-batı yönünde açıklık bulunan oldukça geniş bir vadi durumundadır. Yakın çevre zirai faali-



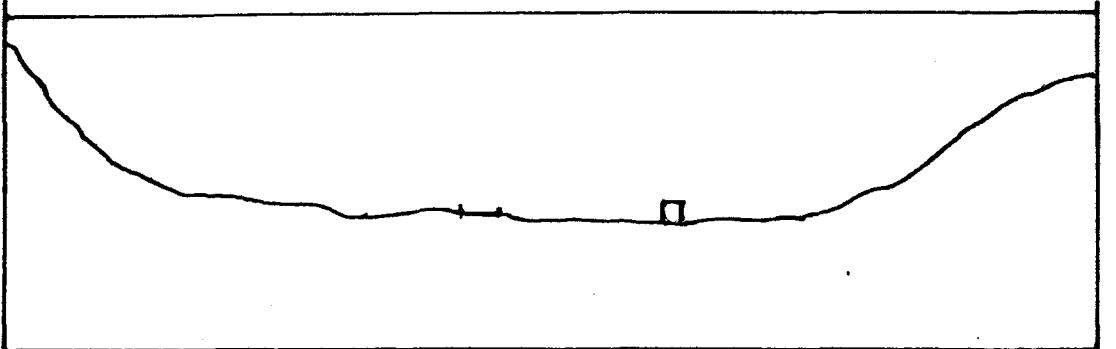
Şekil 4.1: SEKA Bolu Tesisleri Genel Yerleşimi : 1.1 Nolu Baca, 2.2 Nolu Baca, 3. Kazan Dairesi, 4. Lif Levha Tesisi, 5. Lamine Levha Tesisi, 6. Lojmanlar, 7. Meteoroloji Cihazı.

yetlerin yürütüldüğü tarlalar ve 1-5 m boyundaki bitki örtüsü ile kaplıdır.

Arazinin topografik özellikleri doğu-batı ve kuzey-güney istikametindeki kesitlerle Şekil 4-2 ve Şekil 4-3 de verilmektedir.



Şekil 4.2: Doğu-Batı İstikametinde Arazi Kesiti



Şekil 4.3: Kuzey-Güney İstikametinde Arazi Kesiti

4.2.2. Meteorolojik Yapı

Tesisin bulunduğu bölgedeki meteorolojik yapı hakkında kısmen temsil edici bilgiler Bolu Meteoroloji İstasyonunun 41 yıllık rasat ortalamalarından elde edilebilir. Bolu ve çevresi denizden ortalama 742 metre irtifada, $40^{\circ} 44'$ kuzey enleminde ve $31^{\circ} 36'$ doğu boylamında yer almaktadır. Meteorolojik elemanların çalışma yapılan aylara göre ortalamalı değişimleri EK A de Tablo A-1de verilmiştir [70] .

Tablo A-1'in tetkikinden yıllık bazda rüzgarın oldukça düşük hızlarda estiği ve 1.2-1.6 m/s aralığında kaldığı görülmektedir. Günün saatlerine göre rüzgar hızları yine benzeri özellikler göstermektedir. Sabahları saat 7^{00} de rüzgar hızı ort. 0.7 m/s iken saat 14^{00} de 3.0 m/s değerine yükselmektedir. Bir diğer önemli husus hakim rüzgar yönüdür. Tablo'dan hakim rüzgar yönlerinin SW ve W olduğu, WSW ve S yönleri 3. ve 4. önemli rüzgar yönlerini teşkil ettiği görülmektedir. Deneysel çalışmaların yürütüldüğü 1. ve 12. aylar için hakim rüzgar yönlerinin yine W ve SW olduğu belirlenmiştir.

Hakim rüzgar yönleri Bolu ili topoğrafyası gözönüne alındığında kuzey-güney istikametinde uzanan dağlardan dolayı kısmen vadi etkilerinin varlığını çağrıştırmaktadır.

Tesiste yapılan rüzgar hızı ve yönü ölçümleri, Bolu Meteoroloji İstasyonu verileri ile kısmen uyum göstermektedir. Rüzgar yönü bakımından her iki ölçüm sonuçları birbirine uymaktadır. Ancak rüzgar hızı ölçümleri arasında uyumsuzluk bulunmaktadır. Tesiste ölçülen rüzgar hızları genel olarak Bolu Meteoroloji İstasyonu değerlerinden ortalama iki kat büyük bulunmuştur. Buna arazi yapısının ve çevre yapıların etkilerinin yol açtığı söylenebilir. Bolu Meteoroloji İstasyonu büyük binaların arasında yer almaktadır. Buna bağlı olarak ölçüm sonuçları nispeten düşük kalmaktadır.

Mahalli ortalama gerçek basınç hemen daima 1 atm den düşük olmaktadır. Ayrıca günlük sıcaklık farklarının oldukça büyük olduğu gözlenmektedir.

Bulutluluk bakımından 1. ve 12. aylarda ortalama 7.0 (0-10 skalasında) mertebesinde bulutluluğun gerçekleştiği görülmektedir.

Yıllık kar yağışlı günler bakımından 1. ve 2. aylar büyük önem taşımaktadır. Aynı şekilde karla örtülü günler bakımından da öncelik yine 1. ve 2. aylardadır.

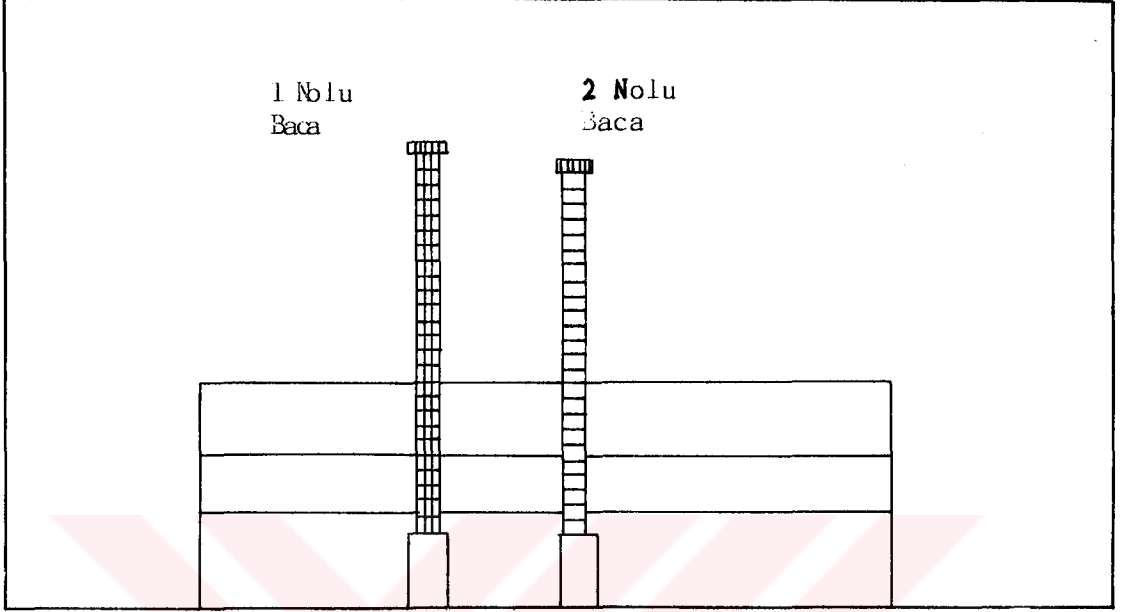
4.2.3. Kazan Dairesi

SEKA Bolu Lamine ve Lif Levha Fabrikası kazan dairesi, işletmenin buhar ihtiyacını ve çalışma hacimleri ile lojmanların ısınma ve sıcak su ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Kazan dairesinde 3 adet buhar kazanı bulunmaktadır. Bu kazanlara ilişkin teknik özellikler Tablo 4.1 de verilmiştir.

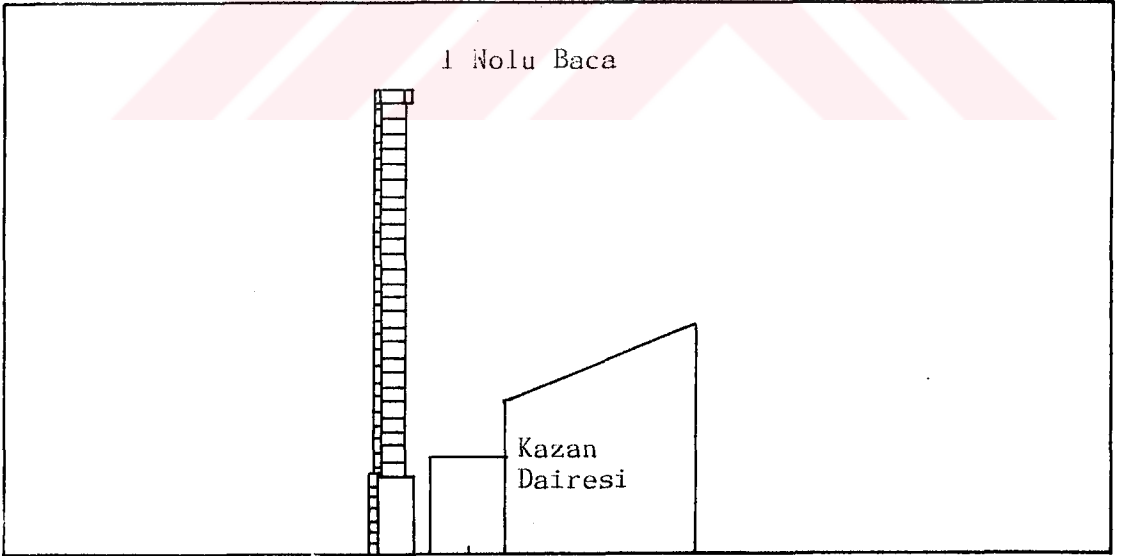
Tablo 4.1. Buhar Kazanları Teknik Özellikleri

Özellikleri	1 No'lu Kazan	2 No'lu Kazan	3 No'lu Kazan
İmalatçı Firma	Swenska (İsveç)	Sungurlar (Yerli)	Stein-Müller (Alman)
Besleme	Spreader Stoker	Spreader Stoker	Spreader Stoker
Izgara Sistemi	Döner Izgara	Döner Izgara	Döner Izgara
Yapım Tekniği	Çelik, Su Borulu	Çelik, Su Borulu	Çelik, Su Bor.
Taze Buhar Basıncı	16 atü	16 atü	16 atü
Taze Buhar Sıcaklığı	214°C	214°C	214°C
Normal Buhar Üretimi	10 ton/saat	10 ton/saat	8 ton/saat
Daimi Buhar Üretimi	8 ton/saat	8 ton/saat	5 ton/saat
Isıl kapasite max.	7x10 ⁶ kCal/saat	7x10 ⁶ kCal/saat	5.5x10 ⁶ kCal/sa
Isıl kapasite, normal	5.5x10 ⁶ kCal/saat	5.5x10 ⁶ kCal/saat	3.5x10 ⁶ kCal/sa
Ortalama Verim	% 75	% 75	%75
Yakıt cinsi	Linyit	Linyit	Linyit
Yakıt Kalorifik Değeri	4500-5500kCal/kg	4500-5500kCal/kg	4500-5500kCal/
Yakıt Besleme	1000 kg/saat	1000 kg/saat	650 kg/saat

Kazan dairesi 15 m yüksekliğinde bir binaya sahiptir. Bacalar kazan dairesi binasının doğusunda ve binaya 6m mesafede yer almaktadırlar. Kazan dairesi ve bacaların yerleşimleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 de görülmektedir.



Şekil 4.4 : Kazan Dairesi ve Bacaların Önden Görünüşü



Şekil 4.5 : Kazan Dairesi ve 1 No'lu Bacanın Yandan Görünüşü

4.3. HÜZME YÜKSELMEİ ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Hüzme yükselmesi ölçüm teknikleri hüzmenin sıcaklık, konsantrasyon ve renk gibi özelliklerinin izlenmesi esaslarına dayanmaktadır. Bu özellikler doğrudan doğruya ölçülebildiği gibi bazı vasıtalar aracılığıyla da ölçülmektedir. Buna bağlı olarak ölçüm teknikleri başlıca model uçak, uçak, helikopter vb. vasıtaların kullanıldığı direkt ölçme teknikleri ve fotoğraf alımı, teodolit okumaları, LİDAR veya Searchlight ile gözlemlere dayanan uzaktan algılama teknikleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisinde konsantrasyon ölçümleri ağırlık taşıırken, ikincisinde renk, kontrast farkı ve hüzmenin içindeki partiküler maddeler ve gaz molekülleri belirleyici durumdadır.

Hüzme yükselmesi değerlendirmelerinde hüzme ölçümleri yanında meteorolojik parametrelerinde belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler genellikle kaynağa yakın yerlerdeki meteoroloji kuleleri, televizyon kuleleri, yüksek yapılar üzerine yerleştirilen cihazlarla veya balon uçurularak belirlenmektedir. Stabilite kategorilerinin tespiti balonlar, radyo sonda, termograf ve termistörler kullanılmaktadır.

Hüzme yükselmesi ile ilgili ilk ölçüm çalışmaları Bosanquet [49] tarafından, çekilen resimlerin bir ekran üzerine yansıtılması ile yapılmıştır. Nötral atmosferik yapıda yapılan bu çalışmada 30 dak'lık sürelerle ve kaynaktan 30-244 m uzaklıklarda hüzme yükselmesi ölçülmüştür. Holland [50], Csanady [71], Moses ve Strom [72], Rauch [6] ve Halliday [73] yersel fotoğraf tekniğini kullanmışlardır. Bu teknik basitçe hüzme düzlemine dik açı altında fotoğraf alımına dayanmaktadır. Mesafelerin belirlenmesinde baca veya yakındaki yapılar skala olarak kullanılmaktadır.

Yersel fotoğraf tekniğinde hüzmenin çevre havasına göre kontrast rengi önemlidir. Hüzmenin yükselmesi ile beraber dispersiyonu da gerçekleştiği için rüzgar yönünde kaynaktan belirli mesafe taşındıktan sonra kontrast renk kaybolmakta ve bu mesafeden sonra hüzmenin izlenmesi mümkün olmamaktadır. Genellikle 30-60 dak. süre içinde değişen aralıklarla (1-3 dakika aralıklarla) çekilen resimlerden ortalama alınarak hüzme yükselmesi değeri belirlenmektedir.

Csanady [71] 50-300m, Moses ve Strom [72] 30-60m, Rauch [61] 50-100 m ve Haliday 300-1000m uzaklıklara kadarki hüzme yükselmeleri ölçümlerini ihtiva etmektedir. Bringfelt [41] model uçaklar kullanarak hüzme seviyesinden fotoğraf alımı yapmış ve rüzgar hızını hüzmenin kıvrımlarının ardışık fotoğraflar arasındaki yer değiştirmelerinden faydalanarak belirlemiştir. Bringfelt dataları kaynaktan 50-750 m uzaklıkları ihtiva etmektedir.

Thomas [54] ve Leavitt [74] teodolit kullanarak hüzme yükselmesi ölçümleri yapmışlardır. Leavitt'in ölçümleri 200-2000 metre aralığını ihtiva etmektedir.

Lucas ve arkadaşları [54] içi hidrojen doldurulmuş balonları bacadan salıverip telemetrik olarak izleyerek hüzme yükselmesini belirlemeye çalışmıştır. Lucas'ın çalışmaları 300-1800m aralığındadır.

Uzaktan algılama tekniğinin uygulamalarından biri olan searchlight Hamilton [75] tarafından Tılbury Termik Santrali hüzme yükselmesi ölçümlerinde kullanılmıştır. Hüzmeye gönderilen bir ışık demeti şiddetinin hüzmenin yansıttığı ışık demeti şiddetine orantılanması yoluyla opasite özelliğine dayalı olarak çalışan bu metodla Hamilton kaynaktan 400 m uzaklıklara kadar ölçümler yapmıştır. Aynı araştırmacı Northflect Termik Santralinde Lidar (Laser radar) ile hüzme kesit alanlarını ölçerek hüzme yükselmelerini belirlemiştir [75]. Lidar günümüzde, gerek hüzme yükselmesi gerekse dispersiyonu üzerinde yapılan çalışmalarda geniş şekilde kullanım imkanına kavuşmuştur [76].

Direkt ölçüm teknikleri hüzmenin içinde bulunan bir komponentin ölçümüne dayanır. Bu maksatla en fazla kükürt dioksit konsantrasyonu ölçümü yapılmaktadır. Helikopter, uçak veya model uçaklara yerleştirilen sensörler vasıtasıyla hüzme kesiti boyunca istenen kirleticinin ölçümü yapılmakta ve konsantrasyon dağılımından hareketle hüzmenin kütle merkezi ve kütle merkezinin yüksekliği belirlenmektedir [74, 77]. Bazı durumlarda hüzme içine iz maddelerin ilavesiyle (Zn Cd S , SF_6) fluoresans özelliklerden istifade edilmektedir [78].

4.3.1. Kullanılan Ölçüm Tekniği

Çalışmanın deneysel safhasında kullanılacak ölçüm tekniğinin belirlenmesinde mevcut imkanlar ve ülke koşulları gözönüne alınmıştır. Bölüm 4.3'de incelenen ölçüm teknikleri içerisinde yukarıdaki şartlar dikkate alınarak Holland [50] , Csanady [71] , Moses ve Strom [72] ve Rauch'un [61] tarafından hüzme yükselmesi ölçümlerinde kullanılan "yersel fotogrametri" tekniği seçilmiştir. Bu tekniğin yanında Thomas [54] ve Leavitt [74] tarafından kullanılan "teodolit ile ölçme" tekniği de kullanılmıştır. Ancak yersel fotogrametri tekniği hüzme yükselmesi ölçümü dışında olaya etki eden bazı parametrelerin incelenmesine de imkan verdiği için ağırlıklı olarak kullanılmıştır.

Yersel fotogrametri tekniğinin uygulanmasında en önemli husus, fotoğraf makinasının objektif merceklerinin ekseninin, hüzme düzlemine dik durumda olmasıdır. Rüzgarın esiş yönüne dik doğrultuda fotoğrafların alınması yukarıdaki maksada ulaşmada en etkili yol olmaktadır. Böylece mercek aberasyonuna bağlı olarak resimler üzerinde oluşabilecek deformasyonlar minimuma indirilebilmektedir.

Yersel fotogrametri çift kamera ve tek kamera ile olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Çift kamera kullanımında hüzme eksenine simetrik uzaklıklarda yerleştirilen iki kamera ile aynı anda resim alınmaktadır. Alınan resimlerin fotogrametrik projeksiyonu ile hüzme yükselmesi belirlenmektedir. Bunun için uygun geometri ve koordinat sisteminin kullanılması gerekmektedir [72, 73].

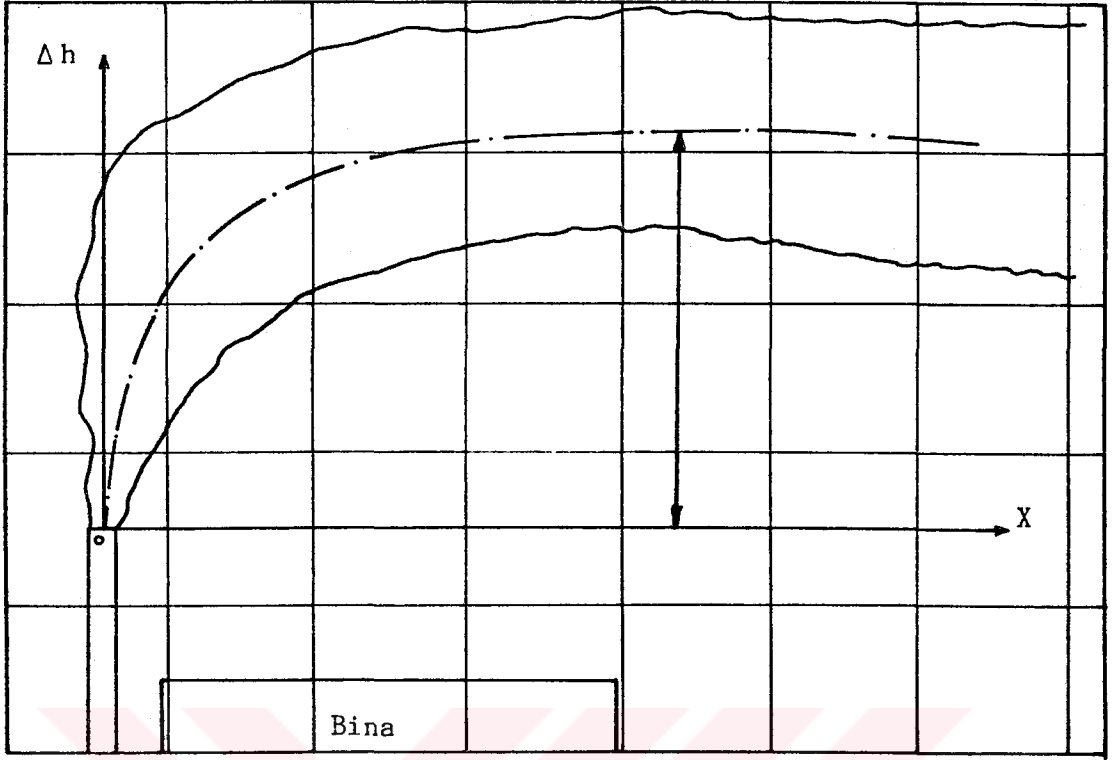
Tek kamera kullanımında uzaklıkların ölçümünde baca ve yakındaki yatay ve dikey yapılar skala olarak kullanılırlar. Bu maksatla koordinat sisteminin merkezi baca ağzının orta noktası olarak alınırken x eksenini rüzgarın estiği yönde seçilir [78]. Tek kamera durumunda hüzme düzlemine dik açı altında resim alınması daha büyük önem kazanmaktadır. Bu yüzden resim alınırken rüzgar yönüne dikkat edilmesi ve rüzgarın yön değiştirmesi durumunda, dik açı altında çalışmayı sağlamak üzere yer değiştirilmesi gerekmektedir. Çalışma esnasında bu husus sürekli gözönünde tutulmuştur.

Hüzme yükselmesi ölçümünde belli şartlar altında alınan birden fazla resimden tek bir değer türetilmektedir. Bu maksatla literatürde ortalama değerlerin türetilmesinde farklı sayılarda resim kullanılmaktadır. Nemec [78] 10 saniye içinde alınan 3 resimden tek değer elde etmektedir. Diğer çalışmalarda 1/2-1 h aralığında değişen standart sürelerde 0,5-3 dakikalık aralıklarla çok sayıda fotoğraf alımı yapılmıştır [50, 71, 72, 61]. Çok sayıda resim kullanarak ortalamaların alınması hataları minimuma indirdiği için tercih edilmektedir. Bu noktadan hareketle çalışmada genellikle 1/2 saatlik standart ölçüm süreleri kullanılmaya çalışılmıştır. Herbir resim arasında 1 veya 3 dakikalık aralıklar bırakılmıştır.

Resimler hüzme düzlemine dik olarak bacadan 100-1000 m mesafelerden alınmışlardır. Bu mesafelerden alınan resimlerin değerlendirilmesi, resim düzlemi içine alınan bacanın belli bir kısmı ve yakında bulunan diğer yapılardan faydalanılarak yapılmıştır.

Fotoğraf alımında YASHICA XL 35 Model odak uzaklığı $f=45\text{mm}$ olan kamera kullanılmıştır. Pankromatik slayt filmleri (100 ASA) üzerine resim alınmıştır.

Resimler üzerinden hüzme yükselmesinin ölçülmesi için yeterli büyüklükte kart üzerine bastırılarak direkt okuma yapılabileceği gibi, negatifin bir projeksiyon cihazı ile ekrana yansıtılması şeklinde ölçüm yapmak da mümkündür. Deneysel çalışmada bu maksatla slayt filmleri 3M 500 Model bir mikrofış okuyucuda yeterli şekilde büyütülerek ekranda değerlendirilmiştir. Büyütme oranları 13.05, 18.25 ve 35 olan mercekler kullanılmıştır. Görüntü 40x30 cm lik ekranda 2x2 cm lik ızgara sistemi üzerinde değerlendirilmiştir. Herbir cm'nin gerçekte tekabül ettiği uzunluk, baca ve diğer yapıların boyları ve mercek, büyütmesinden faydalanarak elde edilmiştir. Mesela gerçekte 10m olan bir mesafe film üzerinde 2mm uzunlukta görünüyorsa 12,05 büyütmeli mercek ile bu uzunluk $12,05 \times 2 \text{ mm} = 24.1 \text{ mm} = 2.4 \text{ cm}$ olarak ekrana yansıtılacaktır. Bu halde ekrandaki ızgara sisteminin herbir cm'si $10/2.4=4.2$ m ye tekabül edecektir. Böylece her resim için bir ölçek (1/4,2) gibi üretilmiş olacaktır. Şekil 4-6 da koordinat sistemi ve ızgaraların durumu gösterilmektedir.



Şekil 4.6 : Tek Kamera Tekniği İle Hüzme Yükselmesi Ölçümü

Hüzme yükselmesi, hüzmenin alt ve üst sınırlarının ortasından geçirilen eksenin baca seviyesinden olan yüksekliği şeklinde elde edilmektedir. Resimlerden bu eksenin, yatay x mesafesine karşı değişimi belirlenmiştir. Böylece hüzme yükselmesinin x mesafesine bağlı olarak ifade edilmesi mümkün olmaktadır.

Deneysel çalışmada resimler üzerinde hüzme x yönünde 30-250 m aralığında incelenmiştir. Bu aralıkta dataların büyük bir kısmı x yönünde 100-200 m bölgesine düşmektedirler.

4.3.1.1. Bacagazı Özellikleri

SEKA Bolu Tesisleri kazan dairesi baca gazı özellikleri olarak baca gazı debisi, deşarj hızı ve sıcaklığı hüzme yükselmesi değerlendirmelerinde kullanılacaktır. Bu değişkenlerin bir fonksiyonu olarak baca gazı ısıl debisi ve yoğunluk farkları kuvvetleri akısı hesaplanacaktır. Bu maksatla 2.20 ve 2.23 eşitlikleri kullanılacaktır.

Baca gazı debisini belirlemede, kazanlara hava besleyen fanların kapasiteleri esas alınmıştır. Her bir kazana ait fan, ortalama

10.000 m³/saat hava verebilmektedirler. Bu miktar hava kazanda primer ve sekonder hava olarak kullanılmaktadır. Kömürün yakılmasında gerekli hava miktarı ortalama 6-10 m³/kg kömür olarak kabul edilmektedir [79]. Saatlik kömür tüketimi kazan başına 1000 kg olarak Tablo 4-2 de verildiğine göre gerekli hava miktarı 6000-10000 m³/saat olarak bulunur. Buna göre tesisin yanma havası aralığının üst limiti civarında hava kullandığı görülmektedir. Baca gazı debisi, baca gazı sıcaklığı ve beslenen yanma havası miktarı gözönüne alınarak hesapla bulunmuştur. Bu maksatla Gay Lussac Kanununun geçerliliği varsayılarak hesap yapılmıştır.

Baca gazı sıcaklığı ölçümünde herbir kazana ait mevcut dijital sıcaklık ölçerler kullanılmıştır. Baca gazının ekonomizerlerden geçtikten sonra baca girişlerine yöneldikleri noktadaki sıcaklıkları sürekli ölçülmüştür. Bu noktada ölçülen sıcaklıklarla baca çıkış ağzında baca gazı sıcaklığı arasındaki ilişki deneysel olarak incelenmiştir. Değişik yükleme durumlarının etkisinde gözönüne alınarak yürütülen bu çalışmada her iki sıcaklık değerleri arasında lineer bir ilişki gözlemlenmiştir. Bundan dolayı baca girişindeki sıcaklık ölçerden elde edilen datalardan hareketle atık gaz sıcaklığına geçilmiştir. Baca giriş ve çıkışında ölçülen sıcaklık değerleri EK A Tablo A-2 de verilmiştir.

Çalışma periyodu içerisinde baca gazlarına ilişkin genel özellikler Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 : Baca Gazlarının Genel Özellikleri

Baca Gazı Debisi, m ³ /saat	37.000-42.000 (ort. 40.000)
Baca Gazı Deşarj Hızı, m/s	6.7 - 7.6 (ort. 7.0)
Baca Gazı Sıcaklığı, °C	230-300 (ort. 265)
Baca Gazı Isıl Kapasitesi, MW	2.0
Yoğunluk Kuvvetleri Isıl Akısı, m ⁴ /s ³	14 -18.5 (ort. 17)

Normal çalışma şartlarında 1 ve 2 nolu kazanlar sürekli devrededirler ve 3 nolu kazan yedek tutulmaktadır. Yakıt olarak fındık büyüklüğüne öğütülmüş linyit kömürü kullanılmaktadır. Linyit kömürü Bolu Mudurnu veya Göynük Ocaklarından veyahut Çanakkale Çan bölgelerinden temin edilmektedir. Kömürün kükürt oranı %2-4 arasında değişmektedir.

Elevatörlerle kazan silolarına çıkarılan kömür, kendi ağırlığı ile aşağı akmakta ve yayıcı stoker ile döner ızgara üzerine istenen kalınlıkta beslenmektedir. Izgaranın hareketi ile yanma bölgesinde yanmasını tamamlayan kömürün külleri ızgara sonunda küllüğe dökülmektedir. Alev ve sıcak gazlar buhar borularını ısıttıktan sonra, kazana beslenen suyun ön ısıtılmasının yapıldığı eko bölgesindeki boruların arasından aşağı yönelerek kazanların baca girişlerine girmektedirler. Izgaradan küllüğe dökülen küller su duşlanarak ıslatılmakta böylece külün uçuşması önlenmektedir.

1 ve 2. nolu kazanlara yanma havaları 10.000 m³/saat kapasiteli birer fanla sağlanmaktadır. Her üç kazan da ızgara altı, üstü ve eko çıkışı hava basınçlarını su sütünü cinsinden ölçen sistemlere sahiptirler. Yine herbir kazanda buhar basıncı ve sıcaklığı ile baca gazlarının ekodan önce ve baca girişinde sıcaklığını ölçen sistemler bulunmaktadır.

Deneysel çalışmaların yürütüldüğü kazan dairesi iki ayrı bacaya sahiptir. 1 nolu baca zeminden itibaren 31m yükseklikte ve 1.4m çapındadır. 2 nolu baca ise 30m boyunda ve 1.6m çapındadır. İşletme şartlarında 1 ve 2 nolu kazanların baca gazları 1 nolu baca tarafından uzaklaştırılmaktadır. 2 nolu baca, 1 nolu kazan devre dışı olduğunda 2 ve 3 nolu kazanların baca gazlarını uzaklaştırmaktadır. Bu özellik dolayısı ile normalde yalnızca 1 nolu baca kullanılmaktadır. Kazanların aşırı yüklenmesi ve 1 nolu bacanın çekişinin yetersiz kalması halinde 2 nolu bacada devreye alınmaktadır. Ancak bu durumda bile 2 nolu baca ile deşarj edilen baca gazları, toplam baca gazlarının %10-20 i gibi küçük bir fraksiyonunu teşkil etmektedir.

Her iki bacanın içten ve dıştan izolasyonu bulunmaktadır. İçkısımda 8 cm kalınlığında ateş tuğlasından, dış kısımda ise 5cm kalınlığında cam elyafından izolasyon mevcuttur.

4.3.1.2. Meteorolojik Parametrelerin Ölçülmesi

Deneyssel çalışmada kullanılan meteorolojik parametreler Bolu Meteorolojik İstasyonundan ve tesisde kurulan MRI Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından elde edilmiştir. Bolu Meteoroloji İstasyonundan çalışma sürelerini ihtiva eden aralık için ölçümler temin edilmiştir. Sağlanan kayıtlarda rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, barometrik basınç saatlik ortamlalar halinde verilmektedir. Bulutluluk, güneşlenme, görüş uzaklığı ölçümleri ise günün üç değişik zamanında yapılmıştır. Çevre Mühendisliği Bölümüne ait MRI Seyyar Meteorolojik İstasyonu ise Lif Levha Tesisi Yongalama Ünitesi binasının 18m yüksekliğindeki çatısına monte edilmiştir. Bu cihazla rüzgar hızı ve yönü ile sıcaklık sürekli olarak kaydedilmiştir. Pille çalışan bu cihaz 2 ay süreyle sürekli kayıt yapabilmektedir. Bu cihaz 0,3-45 m/s aralığında $\pm$ %2 hassasiyetle rüzgar hızını ölçmektedir. Rüzgar yönü ölçümlerinde ise hassasiyet tüm skalanın (360°) $\pm$ % 1'i mertebesinde-dir. Sıcaklık ölçümü bitemal halka ile -34° ile $+49^\circ\text{C}$ arasında $\pm$ 0.6 C relatif hata ile yapılmaktadır.

Baca seviyesindeki rüzgar hızına bulmak için Bölüm 2.4.5. deki üstel hız profiline dayanan 2.30 eşitliğinde n için nötral atmosferik yapılarda 0,25, kararsız yapılarda 0,15, kararlı yapılarda da 0,30 değeri alınmıştır.

Atmosferik stabilite yapılarının belirlenmesi rüzgar hızı ve bulutluluk oranlarına dayalı Pasquill'in türbülans tipleri tablosu (Tablo 2.2), MRI meteoroloji cihazının rüzgar yönü kayıtlarından çıkarılan σ_θ değerleri ile stabilite sınıfları arasındaki tablo (Tablo 2.3) ve hüzmenin karakteristik şekillerinden (Şekil 2.7) faydalanarak yapılmıştır.

4.3.2. Kullanılan Hesap Metodları

Hüzme yükselmesinin kaynaktan olan mesafeye göre değişiminin y hüzme yükselmesini, x kaynaktan rüzgar yönündeki mesafeyi göstermek üzere $y = ax^b$ şeklinde gösterilen logaritmik fonksiyon tipine uyduğu belirtilmektedir. Bu maksakla deneysel çalışmadan elde edilen bilgiler log-log eksen takımında incelenmiş ve $\log y = b \log x + \log a$ şeklindeki doğru denkleminin a ve b katsayıları en küçük kareler metodu kullanılarak elde edilmiştir. x ve y değişkenleri arasındaki ilişkinin derecesini belirleyen korelasyon katsayısı,

$$r_{\text{cor}} = \frac{\sum (\Delta x \Delta y)}{\sqrt{\sum (\Delta x)^2 \sum (\Delta y)^2}} \quad (4.1)$$

şeklindedir. Korelasyon katsayısının Student (t.) dağılımına göre anlamlılığını belirlemek üzere

$$t = \frac{r_{\text{cor}} \sqrt{N-2}}{\sqrt{1 - r_{\text{cor}}^2}} > t_{\alpha/2} \quad (4.2)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Burada N numune sayısını, N-2 serbestlik derecesini $t_{\alpha/2}$ ise t dağılımında $\alpha/2$ anlam seviyesine karşı gelen değişkeni göstermektedir.

Grafikler IBM PC kullanılarak elde edilmiştir.

4.4. ÖLÇÜM NETİCELERİ

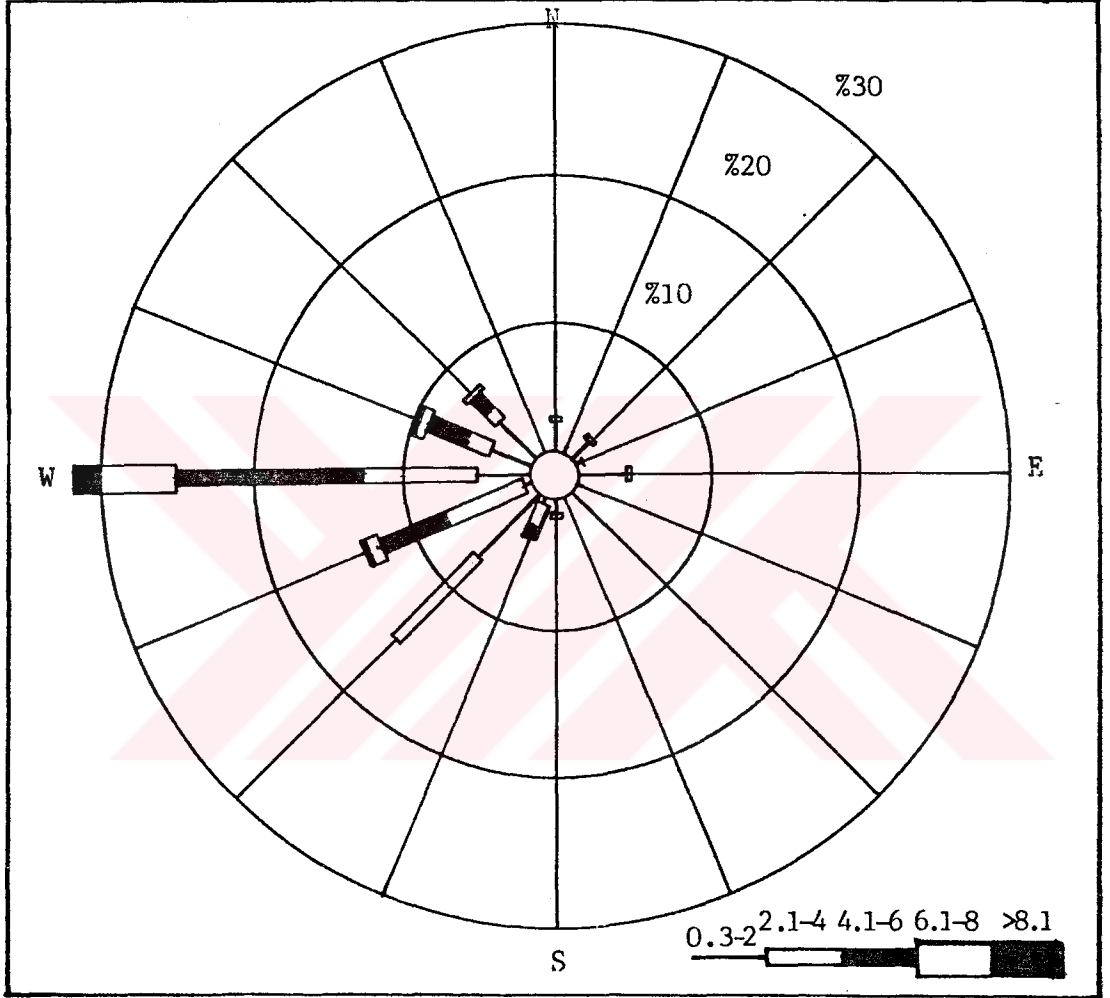
Ölçüm neticeleri iki grupta verilecektir. Birinci grupta SEKA Bolu Tesislerinde yapılan ölçüm sonuçları, ikinci grupta ise endüstriyel kaynaklar üzerinde literatürden derlenen ölçüm sonuçları yer almaktadır.

4.4.1. SEKA Bolu Tesisleri Ölçüm Neticeleri

Seka Bolu Tesislerinde 2.12.1987-19.12.1987 ve 13.1.1989-21.1.1989 tarihleri arasında yersel fotoğrametri metodu kullanılarak ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Alınan resimlerden elde edilen hüzme yükselmesi ve kaynaktan uzaklık değerleri log-log eksen takımında işaretlenmiştir. Ölçümler 0,3-8,5 m/s rüzgar hızı aralığında ve kaynaktan 30-250 m mesafelere kadar uzanmaktadır.

4.4.1.1. Meteorolojik Parametrelerin Analizi

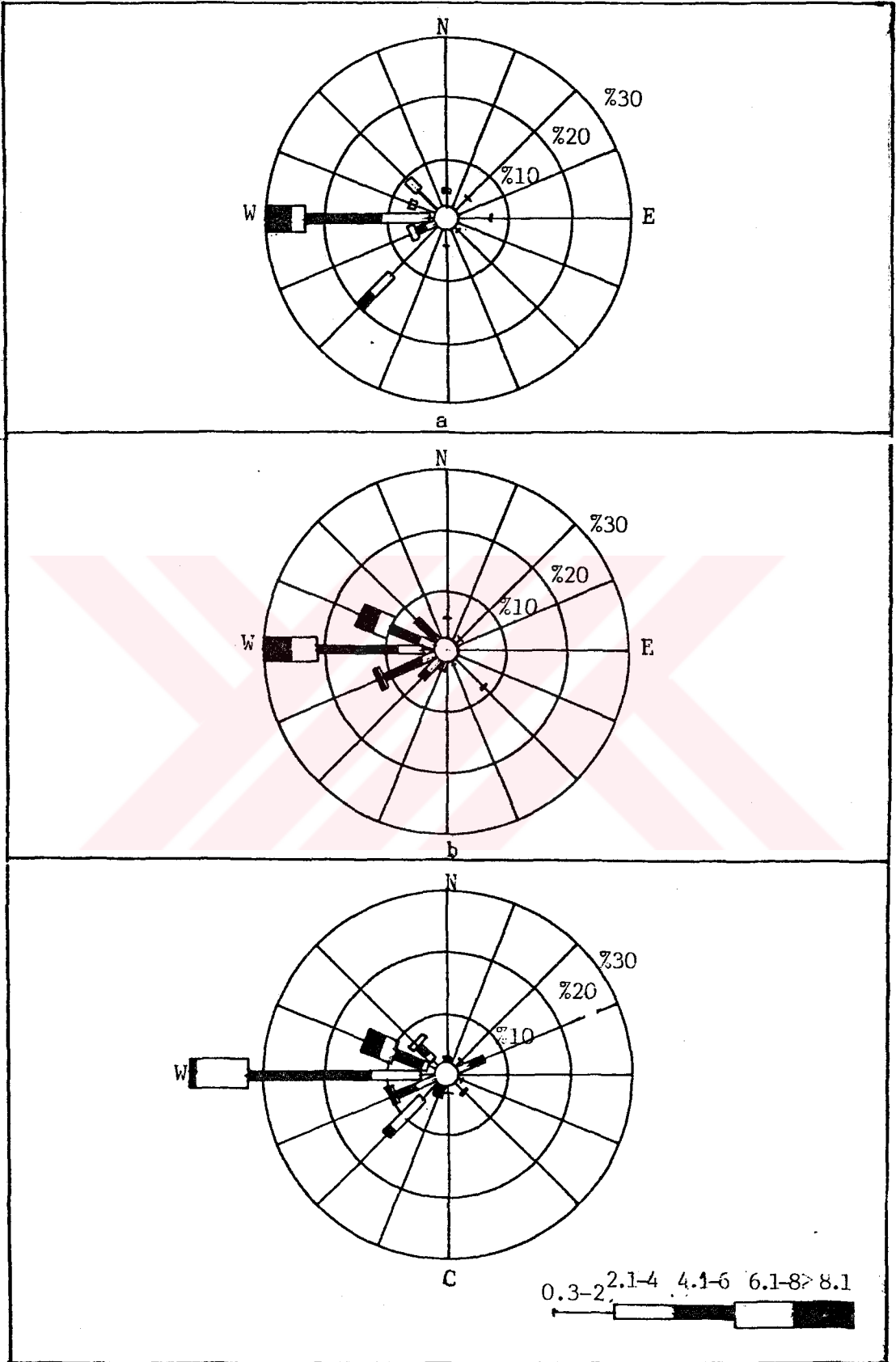
Ölçüm yapılan tarihlerde tesisin yer aldığı bölge içindeki rüzgar hızı, rüzgar yönü ve çevre havası sıcaklıkları MRI Seyyar Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından faydalanılarak çıkarılmıştır. Rüzgar yönlerine bağlı olarak esme sayıları tablosu EK A ; Tablo A-3 de ve rüzgar gülleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 de verilmiştir.



Şekil 4.7 : MRI Meteoroloji Cihazı Kayıtlarına Göre Çalışma Periyodundaki Hakim Rüzgar Yönleri ve Frekansları

4.4.1.2. Rüzgar Hızı Gruplarına Göre Hüzme Yükselmeleri

Hüzme yükselmeleri, w deşarj hızı ile u baca seviyesindeki rüzgar hızını göstermek üzere w/u oranının farklı değerleri aralığında incelenmiştir. Bu aralıklar geri yıkama (backwash veya downwash) olayının görülme potansiyellerine göre düzenlenmiştir. Baca gazı deşarj hızı $w = 7.0$ m/s olarak bilindiğine göre (Tablo 4.2):



Şekil 4.8 MRI Meteoroloji Cihazı Kayıtlarına Göre SEKA Bolu Tesisleri Bölgesinde Sabah, Öğle ve Akşam Saatleri Rüzgar Gülleri.

1. $w/u > 1.5$ ($U < 4.7$ m/s) geri yıkama ihtimalinin bulunmadığı hali temsil etmektedir. Bu gruptaki datalar EK-A Tablo A-4 de ve Şekil 4.9 da verilmiştir.

2. $1.0 < w/u < 1.5$ ($4.7 < u < 7.0$ geri yıkama ihtimalinin bulunduğu hali temsil etmektedir. Bu gruptaki datalar EK-A Tablo A-5 de ve Şekil 4.10 da verilmiştir.

3. $w/u < 1.0$ ($u > 7.0$ m/s) geri yıkamanın söz konusu olduğu hali temsil etmektedir. Bui gruptaki datalar ise EK-A Tablo A-6 da ve Şekil 4.11 de verilmiştir.

4.4.1.3. Mesafelere Göre Hüzme Yükselmeleri

Hüzme yükselmesi ölçümleri 30-250 m lik mesafeleri ihtiva ettiği belirtilmiştir. Herbir fotoğraf için elde edilen $\Delta h = ax^b$ şeklindeki bağıntı yardımıyla x 'in 50, 150 ve 300 m değerleri için bulunan ortalama Δh 'lardan hareketle $w/u > 1.5$, $1.0 < w/u < 1.5$ ve $w/u < 1.0$ halleri için datalar EK A Tablo A-7 ve Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 de verilmiştir.

4.4.1.4. Kararlı Atmosferde Hüzme Yükselmesi

Kararlı atmosferik yapıda hüzme yükselmesi (3.15) eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitliğin uygulanabilmesi için atmosferik kademeleşmeyi belirleyen S parametresinin bilinmesi gerekmektedir. S parametresini belirlemeye mahsus laps hızı ölçümleri mevcut olmaması halinde bir yaklaşım olarak

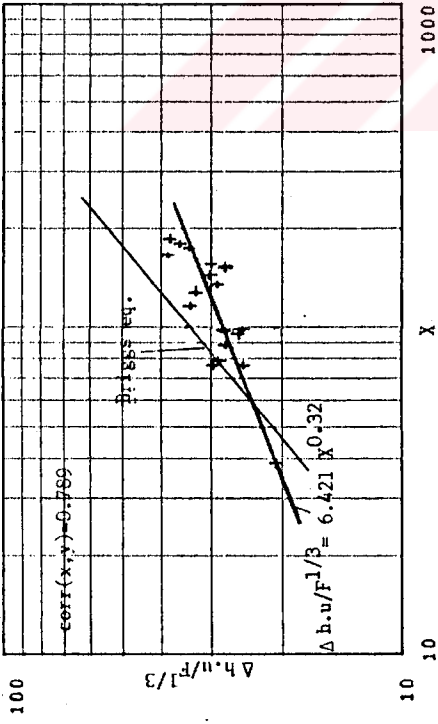
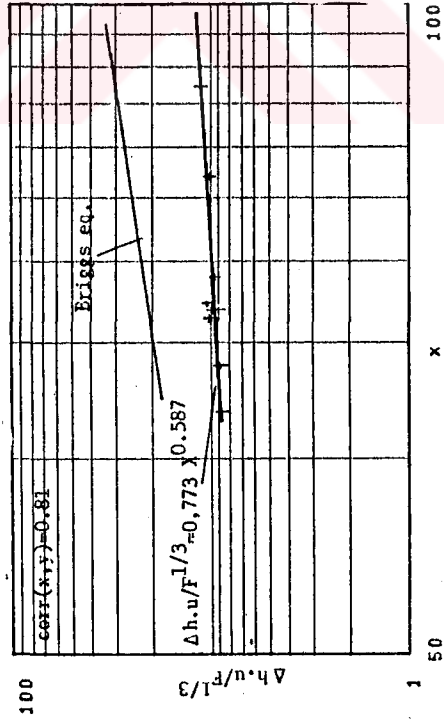
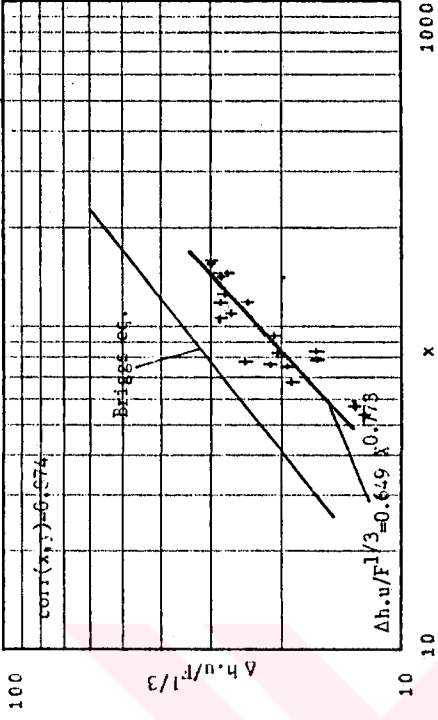
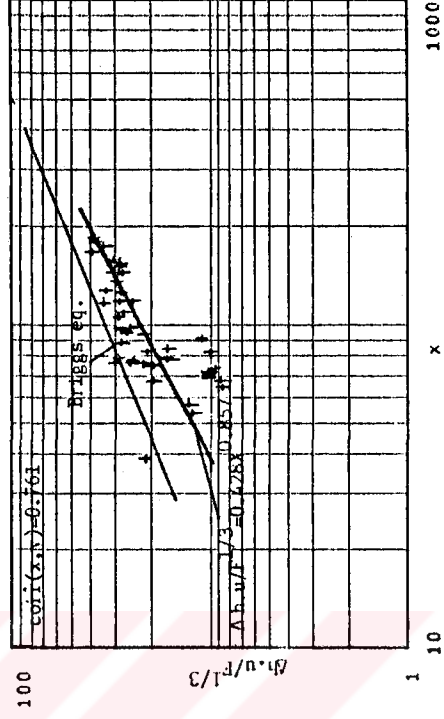
E stabilite halinde

$$S = 0.02 \frac{g}{T_A} \quad (4.1)$$

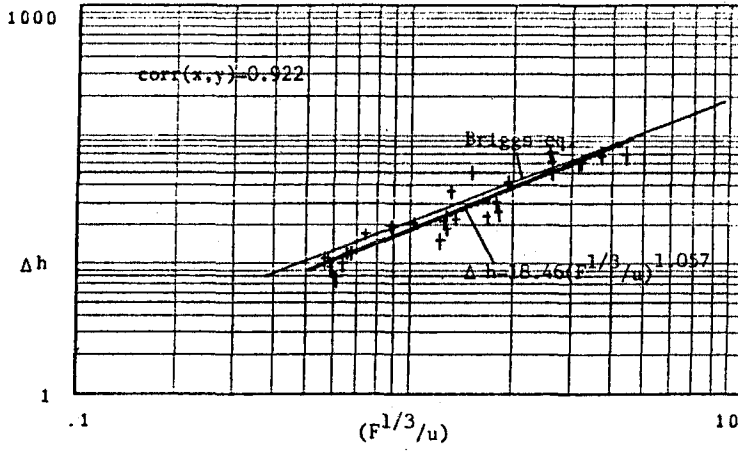
F stabilite halinde

$$S = 0.035 \frac{g}{T_A} \quad (4.2)$$

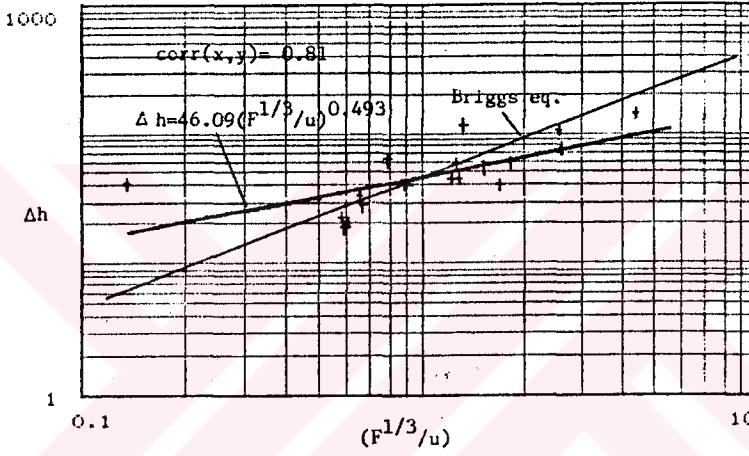
ifadeleri kullanılabilir [30] . Ayrıca 2.28 ve 3.46 eşitliklerinden

Şekil 4.9 : Bolu $w/u > 1.5$ Grubu DatalarıŞekil 4.11: Bolu $w/u < 1.0$ Grubu DatalarıŞekil 4.10: Bolu $1.0 < w/u < 1.5$ Grubu Dataları

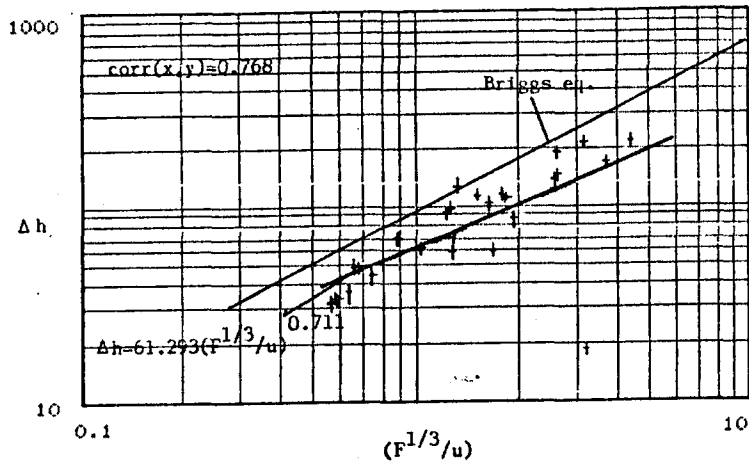
Şekil 4.12 : Bolu Bütün Datalar



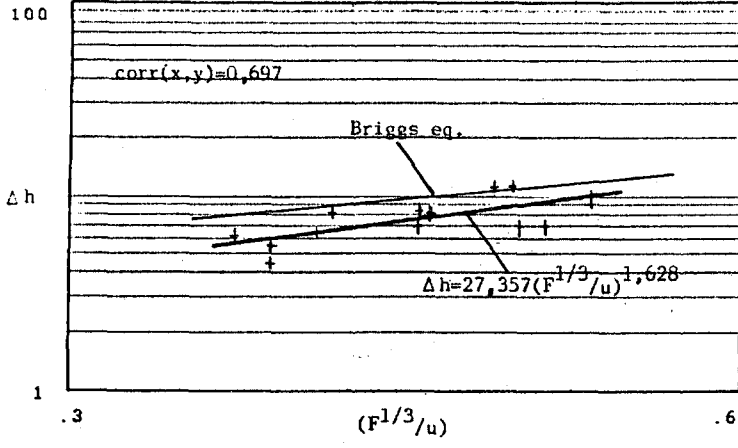
a



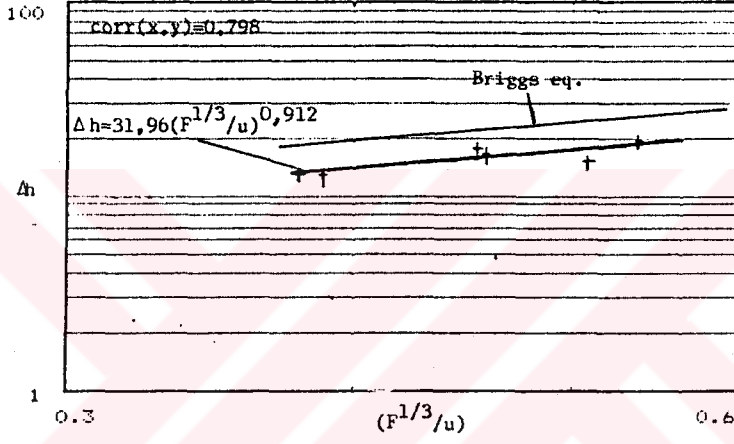
b



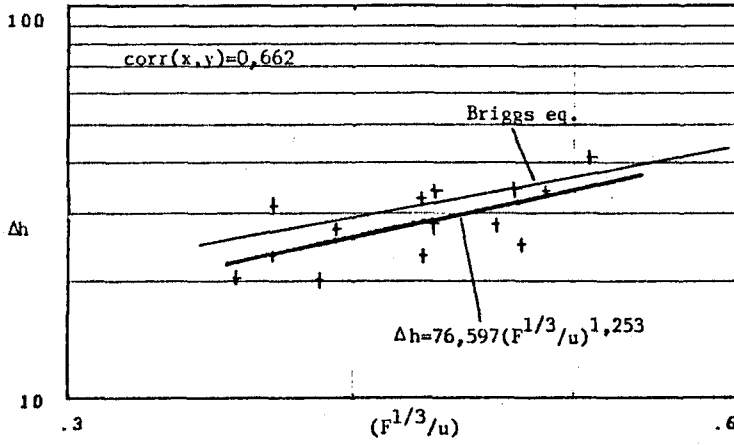
Şekil 4.13: Bolu Dataları^c w/u > 1.5 Grubu Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun Değişimi a) X=50 m, b) X= 150 m c) X = 300 m



a

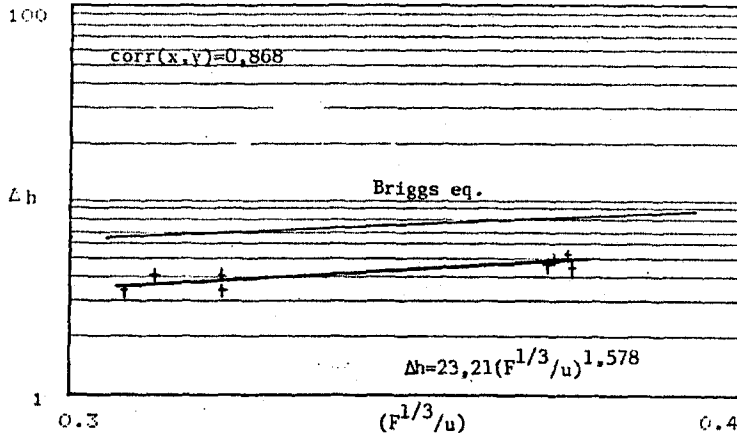


b

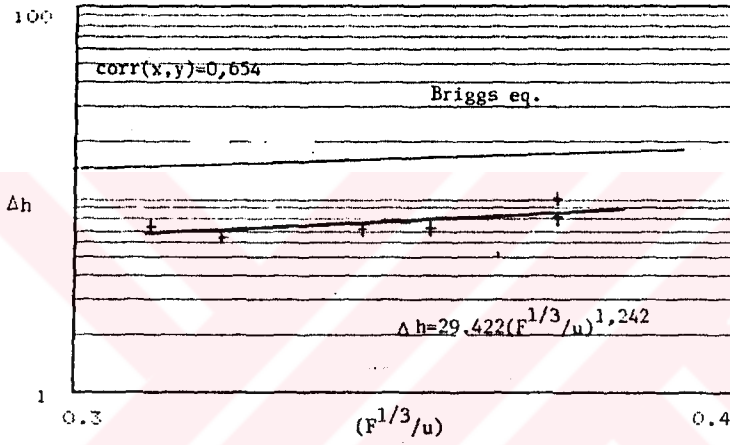


c

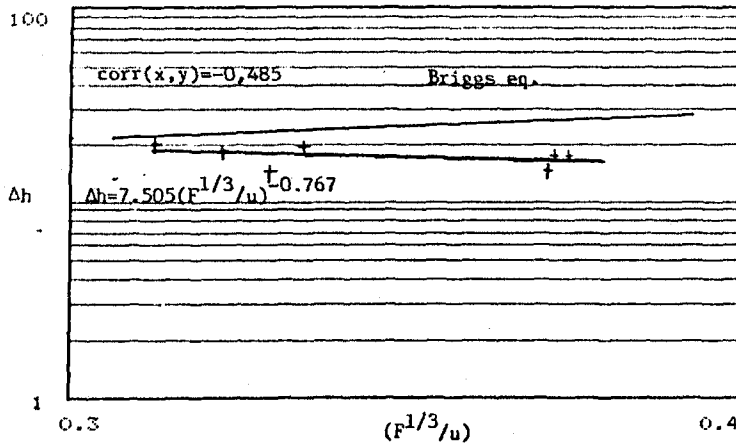
Şeki 4.14 : Bolu Dataları $1.0 < w/u < 1.5$ Grubu Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun Değişimi a) $X = 50\text{cm}$, b) $X=150\text{ m}$, c) $X=300\text{m}$



a



b



Şekil 4.15: Bolu Dataları $w/u < 1.0$ Grubu Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nin Değişimi a) $X=50$ m, b) $X=150$ m, c) $X=300$ m

faaydalanılarak atmosferik yapılanmaya göre çevre laps hızı, potansiyel sıcaklık gradyanı ve S kademeleşme parametresi ilişkileri Tablo 4.3 de verilmiştir.

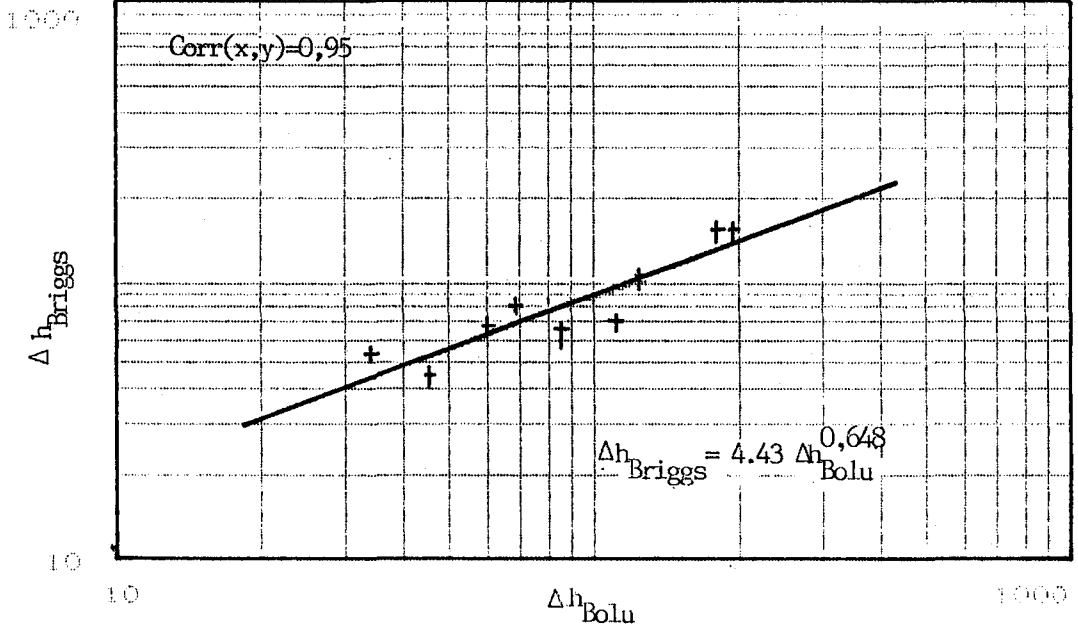
Tablo 4.3 : Çevre Havası Laps Hızı, Potansiyel Sıcaklık Gradyanı ve S Atmosferik Kademeleşme Parametresinin Değişimi
(T = 288° K için)

Atmosferik Stabilite	Çevre Laps Hızı $\Delta T/\Delta z, [^{\circ}\text{C}/\text{m}]$	Pot.Sıcak Gradyanı $\Delta \theta/\Delta z, [^{\circ}\text{C}/\text{m}]$	$S \times 10^{-4}$ $[\text{s}^{-2}]$
Nötr	- 0.015	- 0.0216	- 7,35
	- 0.01	- 0.0166	- 5.65
	- 0.005	- 0.0116	- 3.95
	- 0.00	- 0.0066	- 2.23
Hafif Kararlı	0.005	- 0.0016	- 0.54
	0.01	0.0034	1.16
Mutedil Kararlı	0.015	0.0084	2.86
	0.02	0.0134	4.56
Kuvvetli Kararlı	0.03	0.0234	7.96
	0.04	0.0334	11.4

(4.1), (4.2) eşitlikleri ve Tablo 4.3 'den faydalanarak çalışma bölgesinde yapılan meteorolojik ölçümler ve hüzmelerin karakteristik şekilleri yardımıyla S kademeleşme parametresi belirlenmiştir. (3.15) eşitliği ile hesaplanan hüzme yükselmesi değerleri, ölçüm sonuçlarından elde edilen hüzme yükselmesi değerlerine karşı Şekil 4.16 de verilmiştir.

4.4.2. Literatürden Derlenen Hüzme Yükselmesi Datalarının Analizi

Endüstriyel kaynaklarda hüzme yükselmesi ile ilgili en geniş çalışma Brigfelt tarafından sunulmuştur[41]. Araştırmacı bu çalışmasında kaynaktan üç farklı uzaklık için üç farklı hüzme yükselmesi ifadesi vermektedir. Bu tür kaynaklarda önemli olan geri yıkama olayının etkileri dikkate alınmamıştır. Bundan dolayı bu datalar SEKA Bolu tesislerinden elde edilen ölçüm sonuçlarına paralel olarak geri yıkama potansiyellerine göre



Şekil 4.16. Kararlı Atmosferik Yapıda Gözlem Sonuçları İle Modelin Karşılaştırılması

değerlendirilmiştir.

Bringfelt datalarının elde edildikleri tesislerle ilgili özellikler Tablo 4.4 de verilmiştir. Tablonun incelenmesinden tesislerin büyük bir kısmının baca gazı ısı debilerinin $6,5 \text{ MW}$ ' dan ($F=55 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-3}$) küçük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde baca uzunluğu bakımından çoğu tesis bacasının 100 m ' nin altında kaldığı anlaşılmaktadır.

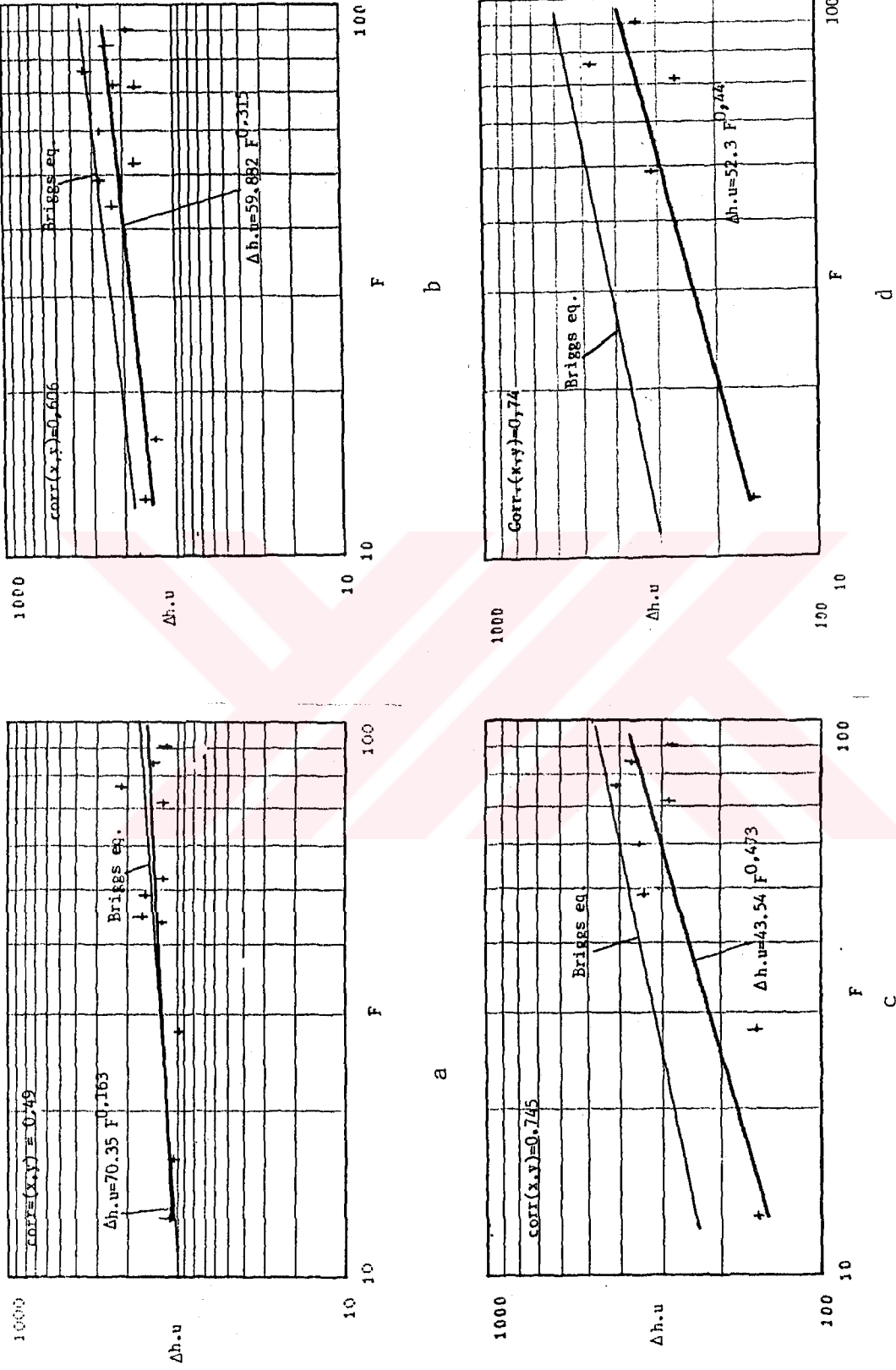
Tablo 4.4. Bringfelt Datalarının Elde Edildiği Tesislerin Genel Özellikleri

N	$u(\text{ms}^{-1})$	N	$Q_h(\text{MW})$	N	$h_s(\text{m})$	N	$T_s - T_A(\text{C})$	N	$w_s(\text{ms}^{-1})$
2	<2.0	16	0-2	4	<30	24	≤ 50	11	0-5
18	2.1-5.0	32	2-6.5	6	31-50	6	51-99	36	5-10
26	5.1-8.0	17	6.6-12	47	51-100	29	100-199	18	10-20
17	8.1-10	3	>12	10	>100	4	200-299	4	>20
8	>10.1					5	≥ 300		

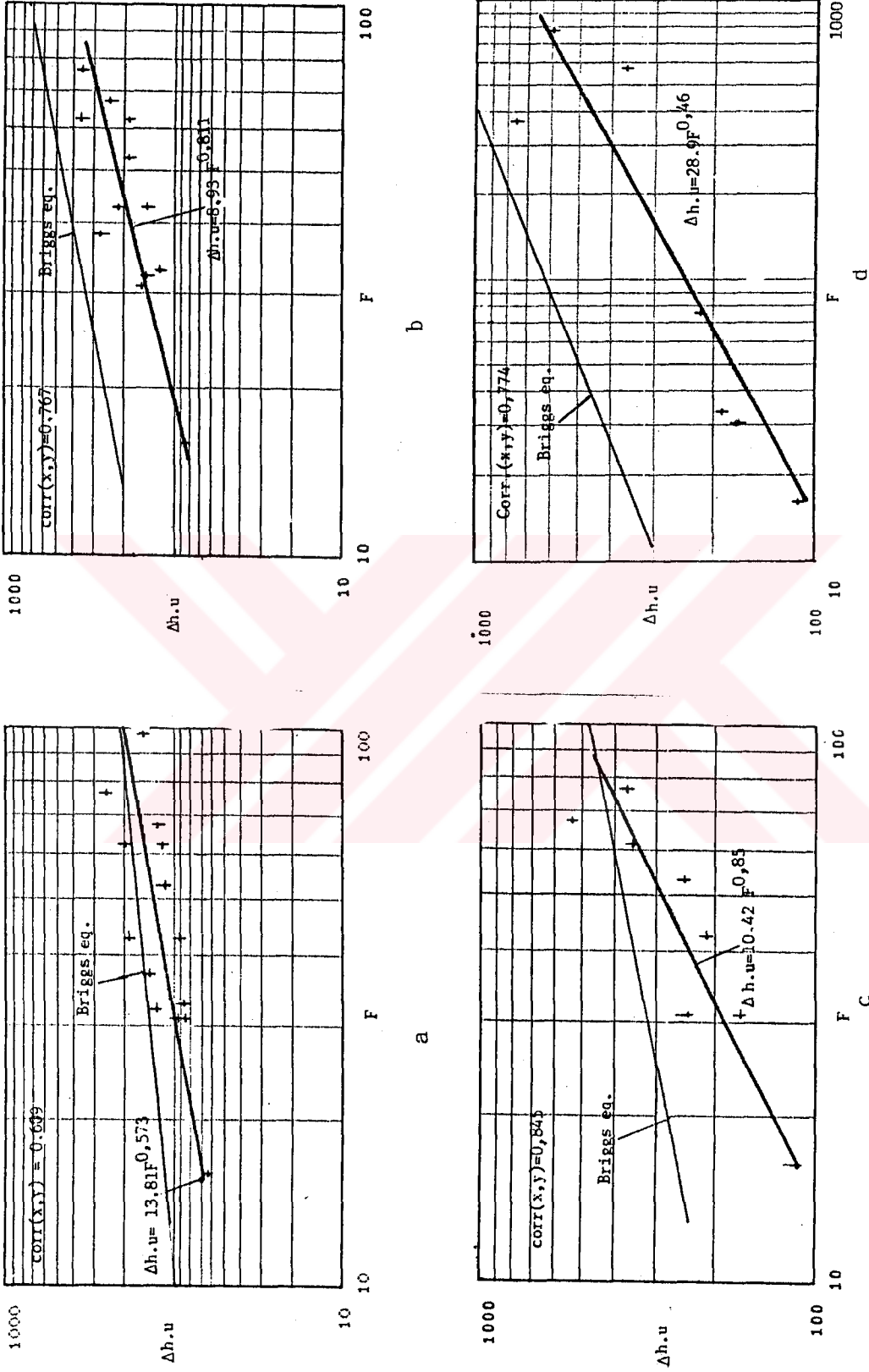
Değerlendirilen dataların tamamına yakın kısmı nötr ve kararsız atmosferik yapıda elde edilmişlerdir.

4.4.2.1. $\Delta h.u$ Çarpımı İle F Yoğunluk Farkı Kuvvetleri Akısının Değişimi

Bringfelt dataları $w/u > 1.5$, $1.0 \leq w/u < 1.5$ ve $w/u < 1.0$ kategorileri için x 'in 50, 100, 150, 300, 500 ve 750m değerlerinde $\Delta h.u$ çarpımı ile F yoğunluk farkı kuvvetleri akısının değişiminin belirlenmesi maksadı ile incelenmiştir. Elde edilen grafikler $w/u > 1.5$ için Şekil 4.17 de, $1.0 \leq w/u < 1.5$ için Şekil 4.18 de ve $w/u < 1.0$ için Şekil 4.19 da verilmiştir.

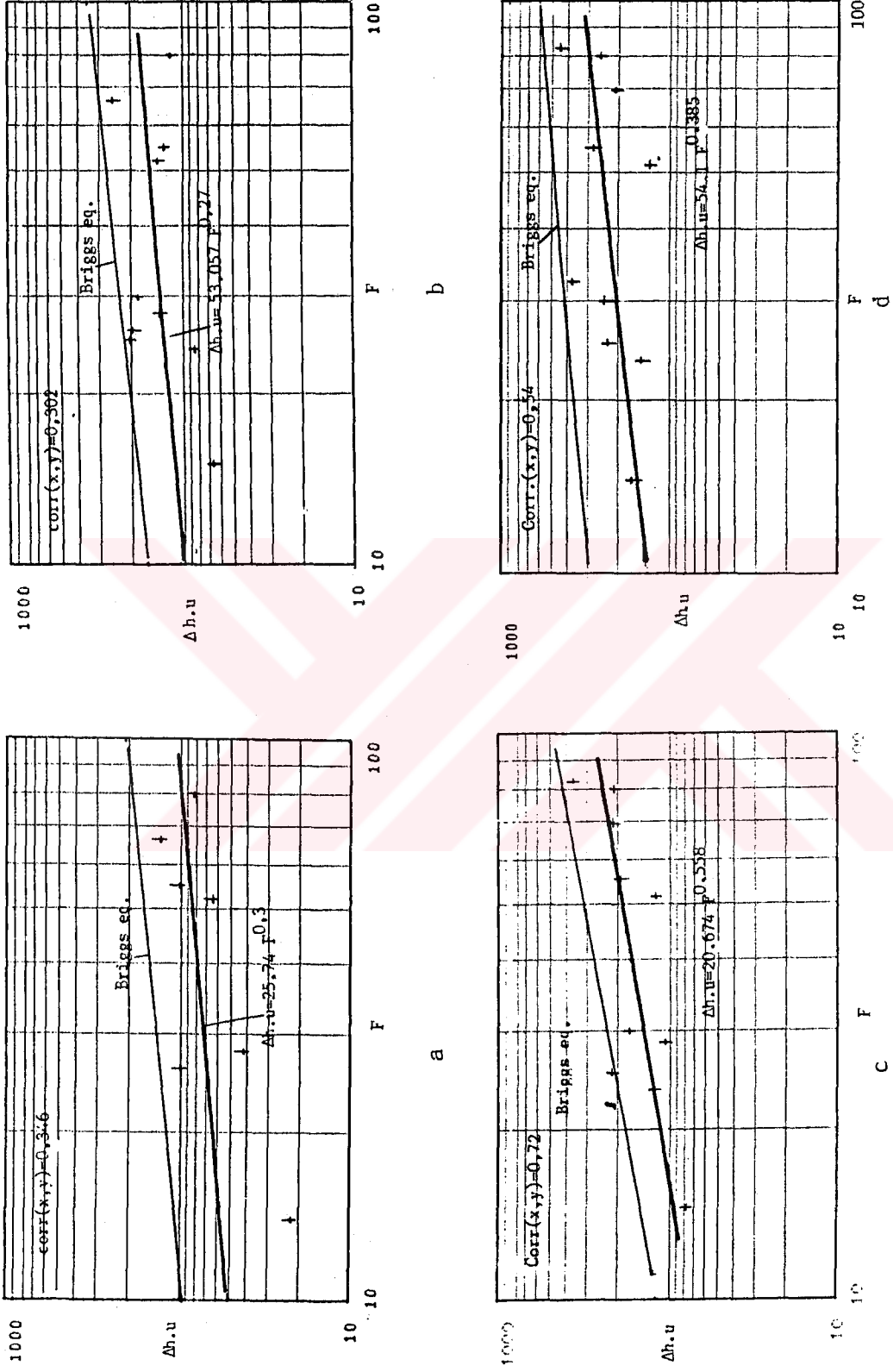


Şekil 4.17: Bringfelt $w/u > 1,5$ Grubu Dataları $\Delta h.u$ ile F 'in Değişimi. a) $X=150m$, b) $X=300m$, c) $X=500m$, d) $X=750m$



Şekil 4.18. Bringfield Dataları $1.0 < w/u < 1.5$ Grubu $\Delta h.u$ ile F 'in Değişimi. a) $X=150m$, b) $X=300m$

c) $X=500m$, d) $X=750m$



Şekil 4.19. Bringfield Dataları $w/\lambda > 1.0$ Grubu $\Delta h.u$ ile F' in Değişimi. a) $X=150m$, b) $X=300m$

c) $X=500m$, d) $X=750m$

BÖLÜM 5

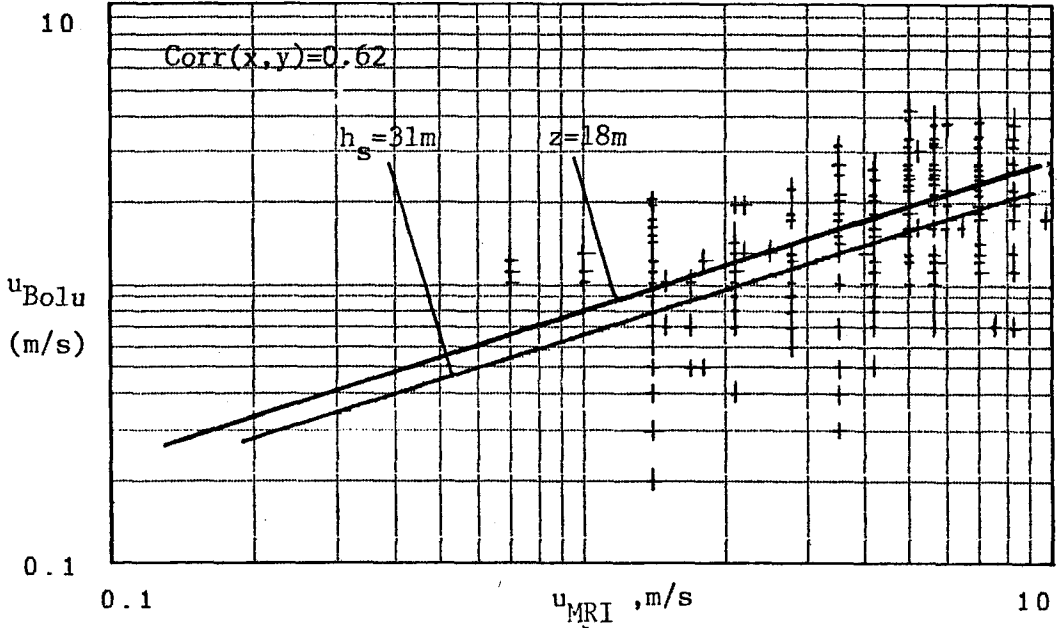
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE GENEL İFADELERİN ÇIKARILMASI

5.1 GENEL

SEKA Bolu Tesisleri kazan dairesi genel ve teknik özellikleri Bölüm 4 de verilmiştir. Bu bilgilerin ışığı altında kazan dairesi 1 nolu bacasına ait baca gazlarının deşarj hızının ortalama 7 m/s ve sıcaklığının da 260 C civarında olduğu bilinmektedir. Tesis çevresinde ortalama rüzgar hızı çalışmanın yapıldığı süre için 4.5 m/s olarak bulunmuştur. Bölüm 3.5.2 deki $w/u > 4.0$ şartı sağlanamadığı için momentum etkisi ihmal edilebilecektir. O halde gözlemlerin yapıldığı bu tesis karakteri itibarı ile yoğunluk farklarının hakim olduğu hüzmeler üretmektedir. 1 ve 2 nolu kazanlar devrede iken kazan dairesi toplam gücün 12.8 MW (Tablo 4.1) olarak hesaplanmaktadır. Baca gazı ısı kapasitesi ise 2 MW (Tablo 4.2) olduğuna göre, üretilen enerjinin % 15'i atmosfere verilmektedir. Bu oran, karakteristik aralığın üst sınırlarına (% 10-20) yakındır. Tesisin eski olması (1962 de işletmeye alınmıştır) baca gazı ısı debisinin büyük çıkmasında etkili olmaktadır.

5.1.1. Rüzgar Hızı Değerlendirmeleri

Hüzme yükselmesi değerlendirmelerinde meteorolojik parametreler büyük bir önem arz etmektedir. Özellikle atmosferik yapılanmanın be-



Şekil 5.1. MRI ve Bolu Met. İstasyonu Rüzgar Hızı İlişkisi

lirlenmesinde ve difüzyon hesaplamalarında bu parametreler belirleyici role sahiptirler. Meteorolojik parametrelerin mümkün olduğunca çalışmanın yürütüldüğü bölge içinde ölçülmesi tercih edilmektedir. Ancak hüzmeye yükselmesi ve difüzyonu için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde [5], en yakın meteoroloji istasyonunun kayıtlarının esas alınması kabul edilmektedir. Çalışma bölgemiz olan SEKA Bolu Tesisleri için Bolu Meteoroloji İstasyonu kayıtları ile kendi cihazımızdan elde ettiğimiz kayıtlar arasında özellikle rüzgar hızı bakımından önemli farklılıklar belirlenmiştir. Her iki istasyondan elde edilen eş zamanlı saatlik ortalama rüzgar hızları birbirlerine karşı Şekil 5.1'de noktalanmış ve regresyon doğrusu bulunmuştur.

$$u_{Bolu} = 0.757 u_{MRI}^{0.537} \quad (5.1)$$

Regresyon doğrusundan kendi cihazımızdan elde edilen değerlerin Bolu Meteoroloji İstasyonu değerlerine göre 0,3-3,0 m/s aralığında 2kat, 4-6,0 m/s aralığında 3 kat, 7-10 m/s aralığında ise 4 kat büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebepleri arasında Bolu Meteoroloji İstasyonunun büyük binalarla çevrili bir bölge içinde kalması en önemli etkiyi yapmaktadır. SEKA Tesislerinin yer aldığı bölge ise kısmen kırsal özellikleri dolayısı ile rüzgar hızı gradyanı küçülmekte, böylece aynı yükseltide farklı rüzgar hızları oluşmaktadır.

Her iki istasyonun rüzgar yönü kayıtlarından hakim rüzgar yönünün batı (W) yönünde gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'in incelenmesinden genellikle rüzgarın 4.1-6.0 m/s aralığında en fazla esme yüzdesine sahip olduğu, batı yönünde ikinci büyük rüzgar hızı aralığını ise 6.1-8.0 m/s grubunun oluşturduğu anlaşılmaktadır. (Ek A Tablo A-3) .

Günün farklı zamanlarında rüzgar güllerini gösteren Şekil 4.8'in incelenmesinden sabahleyin 7-10 saatleri arasında 0-2.0 m/s grubunun frekansı % 51.3, 2.1-4.0 m/s grubunun % 22.5 ve 4.1-6.0 grubunun %18 iken, saat 11-14 arasında bu gruplardan ilk ikisinin frekansları sırasıyla % 37.5, % 16.5 a düşmekte, 4.1-6,0 m/s grubu % 33'e yükselmektedir. Yine 11-14 saatleri arasında 6.1-8.0 m/s grubu da % 4,5 den % 7.9 a yükselmektedir. Akşam saatlerini karakterize eden 15-18 saatleri arasında birinci grubun frekansı %23.5'a düşerken sonraki gruplar sırasıyla %25, % 34.2 ve % 13,2 ye yükselmektedirler. Ek A Tablo A-3 ün tetkikinden elde edilen bu neticelere göre rüzgar hızı sabahtan itibaren akşam saatlerine doğru artış göstermektedir.

5.1.2. Baca Gazı Sıcaklığının Belirlenmesi

Baca gazı sıcaklığı, baca gazının eko sonrası bacaya girişinde termokupl ile yapılan sıcaklık ölçümlerinden faydalanarak belirlenmiştir. Bu maksatla baca ağzında ve eko sonrası eş zamanlı sıcaklık ölçümlerinden (Ek A Tablo A-2) hareketle herbir ölçüm periyodu için regresyon doğruları elde edilmiştir.

Ölçüm periyotları ve regresyon doğruları aşağıda verilmiştir.

$$1. \text{ periyod } T_{S_1} = 3.24 T_A^{0.785} \quad r = 0.978 \quad (5.2)$$

$$2. \text{ periyod } T_S = 0.06 T_A^{1.504} \quad r = 0.56 \quad (5.3)$$

$$3. \text{ periyod } T_S = 1.345 T_A^{0.94} \quad r = 0.925 \quad (5.4)$$

İki sıcaklık arasındaki fark 6-12° arasında değişmektedir. Bu bilgilerin ışığı altında baca gazının baca girişinden çıkışına kadar geçen süre içinde ortalama 10° kadar soğuduğu kabul edilmiş ve baca girişi sıcaklığı esas alınarak, baca çıkışındaki sıcaklık tahmin edilmiştir.

5.2. HÜZME YÜKSELMEİ ÖLÇÜMLERİ

SEKA Bolu Tesislerinde iki ayrı periyodda yapılan ölçüm çalışmalarında toplam olarak 580 adet fotoğraf alınmıştır. Alınan bu fotoğraflardan 66 hüzme yükselmesi data grubu oluşturulmuştur. Her bir data grubunda ortalama 9 fotoğraf bulunmaktadır.

Oluşturulan 66 hüzme yükselmesi data grubunun 57 adeti nötr ve kararsız atmosferik yapıda, 9 adeti de kararlı atmosferik yapıda alınmışlardır. Nötr ve kararsız atmosferik yapıda alınan gruplardan 28'i $w/u > 1.5$, 14'ü $1.0 < w/u < 1.5$ ve 15'i $w/u < 1.0$ kategorilerinde yer almaktadırlar.

Ölçüm sonuçları, mesafeye karşı Δh 'ın değişimi ve belirli mesafeler için $F^{1/3}/u$ ile Δh 'ın değişimi olmak üzere iki farklı şekilde incelenecektir.

5.2.1. Nötr ve Kararsız Atmosferik Yapıda Mesafeye Karşı Hüzme Yükselmesi

SEKA Bolu Tesislerinde gözlemlerden elde edilen dataların kaynaktan rüzgar yönündeki mesafelere karşı değişimini incelemek maksadıyla belirtilen datalar log-log eksen takımında geri yıkama potansiyeli esas alınarak üç farklı kategoride ele alınmıştır. Şekil 4.9 da $w/u > 1.5$ hali geri yıkama olayının ihmal edildiği kategoriyi göstermektedir. Şekilden dataların X 'in 40-180m aralığında dağıldığı görülmektedir. y ekseninde $\Delta h \cdot u / F^{1/3}$ yer almaktadır. Regresyon doğrusunun denkleminde bu kategori için X 'in üssü 0,32 olmaktadır.

Briggs denkleminde ait doğru, regresyon doğrusu ile $X=60$ m de kesişmektedir. Bu noktadan itibaren X 'in artması ile her iki doğru birbirinden uzaklaşmaktadır. Regresyon doğrusunu Briggs eşitliği formuna dönüştürmek için $X^{2/3}$ ile çarpar ve böler ve X için değer olarak aritmetik ortalaması kullanılırsa (Ek A Tablo A-4)

$$\frac{\Delta h \cdot u}{F^{1/3}} = 6.42 X^{(0.32-2/3)} X^{2/3} = 6.42(115)^{-0.347} X^{2/3}$$

$$\Delta h = 1.23 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$$

(5.5)

eşitliği elde edilir. Bu ifade ile Briggs'in (3.35) eşitliği karşılaştırıldığında (5.5) eşitliğinin, Briggs denkleminde elde edilen hüzme yüksekliğinin % 77'sini verdiği görülmektedir.

3. fazın sonunda ulaşılan nihai hüzme yükselmesinin gerçekleştiği mesafe ise (3.36) ve (3.38) denklemlerinden elde edilen uzaklığın 3-3,5 katı olarak belirtilmektedir (Bölüm 3.5.1). Buna göre nihai hüzme yükselmesi kaynaktan rüzgar yönünde

$$3X^* = 3 \times 53 = 159$$

veya

$$3X^* = 3 \times 82 = 246 \text{ m}$$

uzakta meydana gelecektir. Buna göre $w/u > 1.5$ kategorisi dataları nihai yükselmenin oluşacağı aralığın ortalamasını ihtiva etmektedir.

Geri yıkama potansiyelinin önem kazanmaya başladığı $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisine ait datalar Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu kategorideki datalar da X 'in 55-160 m aralığını ihtiva etmektedir. Regresyon doğrusundan X 'in üssünün 0,77 olduğu görülmektedir. Bu doğrunun Briggs formu

$$X_{\text{ort}} = 100 \text{ m için}$$

$$\Delta h = 1.06 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.6)$$

şeklinde elde edilir. Regresyon doğrusu, Briggs formundan $(1,6-1,06)/1,6 \times 100 = \% 34$ daha küçük hüzme yükselmesi sonuçları vermektedir:

$$C_1 = 1.06 \text{ için } C_1 = \left(\frac{3}{2\beta} \right)^{1/3} \text{ eşitliğinden } \beta = 1.1 \text{ olarak elde edilir.}$$

Belirgin şekilde geri yıkama potansiyeli bulunan $w/u < 1.0$ kategorisinde datalar X 'in 65-95 m aralığını ihtiva etmektedir. İlk iki kategoriden farklı olarak X 'in üssü 0.6 mertebelerinde bulunmuştur. Briggs formu, $X_{\text{ort}} = 75 \text{ m için}$

$$\Delta h = 0.55 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.7)$$

şeklinde elde edilir. $C_1 = 0.55$ için $\beta = 3.0$ bulunur. Buna göre bu kategorideki hüzme yükselmesi değerleri, Briggs'in ifadesinin $(1.6-0.55)/1.6 \times 100 = \%65.6$ altında kalmaktadır.

Şekil 4.12 de bütün datalar bir arada herhangi bir ayırım yapılmadan verilmiştir. Bütün datalar için elde edilen regresyon doğrusu yardımıyla $X = 106$ m için Briggs formu

$$\Delta h = 1.04 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.8)$$

elde edilir. $C_1 = 1.04$ için $\beta = 1.15$ bulunmaktadır. Bu durumda da hüzme yükselmesi değerleri Briggs denkleminde $(1.6-1.04)/1.6 \times 100 = \%35$ daha küçük elde edilmektedirler. Mesafeye karşı hüzme yükselmesinin değişiminin geri yıkama potansiyellerine göre incelenmesi sonucu herbir kategori için elde edilen regresyon doğruları Tablo 5.1 de toplu halde verilmişlerdir. Tablo 5.1 in tetkikinden geri yıkama potansiyelinin artması ile C katsayılarının küçüldükleri buna paralel olarak da sızma katsayılarının büyüdüğü görülmektedir.

5.2.2. X'in Belirli Değerleri İçin Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun Değişimi

SEKA Bolu Tesislerinde yapılan gözlemler X 'in 40-200 m aralığındaki değerlerini ihtiva etmektedir. Bu aralığın içinde X mesafesi ile $h.u/F^{1/3}$ çarpımının değişimi önceki bölümde incelenmiştir. Bu bölümde ise X 'in belirli değerleri için Δh ile $F^{1/3}/u$ nun değişimi incelenecektir. Bu incelemede de datalar geri yıkama potansiyeline göre üç farklı kategoriye ayrılacaktır.

$w/u > 1.5$ kategorisi X 'in 50, 150 ve 300 m değerleri için incelenmiştir. Bunlardan $X = 50$ m Şekil 4-13 a da görülmektedir. Regresyon doğrusunun denkleminde $F^{1/3}/u$ değişkeninin üssü 1.057 bulunmuştur. Buradan, bu aralıktaki gözlem neticelerinin hüzme davranışlarının 1. fazı olan universal faza gayet iyi uyum gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı aralıktaki Briggs ifadesinin doğrusuda regresyon doğrusuna oldukça yakın seyretmekte ve $F^{1/3}/u$ 'nun 4.5 değeri için kesişmektedirler. Regresyon doğrusundan hareketle $F^{1/3}/u$ için aritmetik ortalaması olan

Tablo 5.1 Geri Yıkama Potansiyellerine Göre Mesafeye Karşı Hüzme Yükselmesi Regresyon Doğruları

Geri yıkama Potansiyeli	Regresyon Doğrusu	Briggs Formu	Korelasyon Katsayısı	C_1	β	X_{ort}
$w/u > 1.5$	$\frac{\Delta h \cdot u}{F^{1/3}} = 6.42 \cdot X^{0.32}$	$\Delta h = 1.23 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.79	1.23	0.9	115
$1.0 < w/u < 1.5$	$\frac{\Delta h \cdot u}{F^{1/3}} = 0.65 X^{0.773}$	$\Delta h = 1.06 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.88	1.06	1.12	100
$w/u < 1.0$	$\frac{\Delta h \cdot u}{F^{1/3}} = 0.77 X^{0.59}$	$\Delta h = 0.55 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.81	0.55	3.0	75
Bütün Datalar	$\frac{\Delta h \cdot u}{F^{1/3}} = 0.43 X^{0.86}$	$\Delta h = 1.04 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.76	1.04	1.15	106

1,635 değeri kullanılarak tekabül eden Briggs formu

$$\Delta h = 1.4 F^{1/3} u X^{2/3} \quad (5.9)$$

elde edilir . (5.9) ifadesine göre $(1.6-1.4)/1.6 \times 100 = \% 12.5$ daha küçük hüzme yükselmesi değerleri elde edilmektedir. C 'in 1.4 değeri için β sızma katsayısı 0.74 olarak bulunur. Şekil 4.13 a'daki data-lar u'nun 0.6-4.7 m/s aralığını ihtiva etmektedirler.

Şekil 4.13 b de $X = 150$ m için elde edilen gözlem neticeleri verilmiştir. Şekilden $F^{1/3}/u$ 'nun 0,95 değeri için regresyon doğrusu ile Briggs denklemi doğrusunun kesiştiği görülmektedir. Baca seviyesindeki rüzgar hızı u'nun bu noktadaki değeri 2.9 m/s dir. Bu noktanın sol tarafında ($u < 2,9$ m/s) regresyon doğrusu daha büyük hüzme yükselmesi verirken sağ yanında ise ($u > 2,9$ m/s) Briggs eşitliğinden daha küçük hüzme yükselmesi elde edilmektedir. $F^{1/3}/u$ için aritmetik ortalaması 1.8 kullanılarak regresyon doğrusunun

$$\Delta h = 1,21 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.10)$$

Briggs formu elde edilir $C_1 = 1,21$ için $\beta = 0,92$ olarak bulunur.

$X = 300$ m için herbir fotograftan elde edilen $\Delta h = ax^b$ şeklindeki regresyon doğrusu denklemlerinde X yerine 300 konulmak suretiyle Δh değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.13 c de bu dataların değişimi verilmektedir. Burada dikkat çekici özellik regresyon doğrusu ile Briggs ifadesi doğrusunun birbirlerinden uzaklaşmakta olmalarıdır. $F^{1/3}/u$ için 1,635 aritmetik ortalaması kullanıldığında,

$$\Delta h = 1.18 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.11)$$

ifadesi elde edilir. (5.11) eşitliğinde $C_1 = 1.18$ için $\beta = 0.95$ bulunur. Bu gruptaki datalardan hüzme yükselmesi değerlerinin $2/3$ üstel kanunu ifadesinden ortalama $(1.6-1.18)(1.6 \times 100) = \% 25$ küçük kaldıkları görülmektedir.

Şekil 4.13 a,b ve c'nin bir arada tetkikinden X'in artması ile regresyon doğrularının $2/3$ üstel kanunundan uzaklaştıkları ve buna bağlı olarak hüzme yükselmelerinin bu kanunun verdiği değerlerden $\% 25$ e va-

ran oranlarda daha küçük oldukları belirlenmektedir. Aynı anlamda sızma katsayıları ise 0.74 den 0.95 e büyümektedirler.

Geri yıkama potansiyelinin önem kazanmaya başladığı $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisini temsil eden dataların değişimi Şekil 4.14 de verilmiştir. Şekil 4.14 a da $X = 50$ m için bulunan gözlem sonuçları yer almaktadır. Bu gruptaki datalar $4.8 < u < 7.1$ aralığındadırlar. İlk grup datalara ait regresyon doğrusundan F yoğunluk farkları akısının oldukça önem kazandığı anlaşılmaktadır. F 'in üssü $1/3$ yerine $(1/3) 1.628 = 0.543$ e yükselmiştir. Regresyon doğrusunun Briggs formu $F^{1/3}/u$ yerine aritmetik ortalama olan 0.454 ün kullanılması ile

$$\Delta h = 1.38 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.12)$$

elde edilir. (5.12) denklemi $w/u > 1.5$ kategorisindeki $X = 50$ m grubunun denklemi olan (5.9) ile uyum göstermektedir. Buradan $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisinde de hüzmeye davranışlarının 1. fazının büyük ölçüde geçerli olduğu görülmektedir. $C_1 = 1.38$ için $\beta = 0.76$ olarak bulunur.

$X = 150$ m grubunda $F^{1/3}/u$ teriminin üssü 1.09 olarak elde edilmektedir. Regresyon doğrusunun Briggs formu

$$\Delta h = 1.27 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.10)$$

şeklindedir. Bu ifade $2/3$ üstel kanunundan $(1.6-1.27)(1.6 \times 100 = \%20)$ küçük hüzmeye yükselmesi vermektedir. $C_1 = 1.27$ için $\beta = 0.86$ olmaktadır. $X = 300$ m için datalar Şekil 4.14 c de verilmiştir. Şekil 4.14 c'nin incelenmesinden noktaların dağılımının arttığı ve buna bağlı olarak korelasyonun zayıfladığı görülmektedir. Regresyon doğrusunun Briggs formu $F^{1/3}/u$ 'nun 0.45 değeri için,

$$\Delta h = 0.77 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.13)$$

elde edilmektedir. $C_1 = 0.77$ için $\beta = 1.82$ bulunur.

$1.0 < w/u < 1.5$ kategorisi datalarının ortak özelliği artan dağılımları ve azalan korelasyonları ile kendini hissettirmektedir.

$w/u < 1.0$ kategorisi dataları Şekil 4.15 de verilmektedir. Önceki-lerde olduğu gibi $X=50$ m grubu (Şekil 4.15 a) dataları da $2/3$ üstel kanunu denkleminde daha küçük hızla yükselmesi vermektedir. Briggs formu $F^{1/3}/u$ 'nun 0,342 aritmetik ortalaması için

$$\Delta h = 0.92 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.14)$$

olarak elde edilir. Yukarıda belirtildiği gibi regresyon doğrusu $(1.6-0.92)/(1.6 \times 100 = \%43)$ daha küçük hızla yükselmesi vermektedir.

$C_1 = 0.92$ için $\beta = 1.4$ olarak bulunur.

$X=150$ m için aynı eğilim devam etmektedir. Regresyon doğrusundan $F^{1/3}/u$ 'nun 0.373 değeri için,

$$\Delta h = 0.8 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.15)$$

elde edilir. (5.15) eşitliği Briggs formuna göre $(1.6-0.8) / 1.6 \times 100 = \%50$ düşük hızla yükselmesi vermektedir. Bu grupta $C_1 = 0.8$ için $\beta = 1.7$ dir.

$X=300$ m ye ait datalar geri yıkama olayının etkisini bariz biçimde göstermektedir. Korelasyonun negatif işaretli olması değişkenlerden $F^{1/3}/u$ 'un artan değerlerine karşılık Δh 'in azalan değerlerinin teka-bül ettiğini göstermektedir. Regresyon doğrusundan $F^{1/3}/u$ ün 0.34 aritmetik ortalaması için,

$$\Delta h = 1.1 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.16)$$

ifadesi elde edilir. $C_1 = 1.1$ e $\beta = 1.05$ tekabül etmektedir.

Δh ile $F^{1/3}/u$ 'nun farklı X değerleri için bulunan regresyon doğru-la-rının Briggs formları, korelasyon katsayıları, C_1 ve β katsayıları Tablo 5.2 de birarada verilmiştir.

Bu bölümde incelenen datalarda F yoğunluk farklarının sağladığı kuvvetlerin akışı oldukça dar bir aralıkta ($13.5-18 \text{ m}^4/\text{s}^3$) değişmekte-dir. Bu aralık içinde yığılma $17 \text{ m}^4/\text{s}^3$ değerinde görülmektedir. Bu ortalama değer esas alındığında $F^{1/3}/u$ değişkeni aslında sadece u ba-ca seviyesindeki rüzgar hızının değişimini ifade etmektedir. Buna

Tablo 5.2 : Yıkama Potansiyellerine Göre Belirli Mesafelerde Δh ile $F^{1/3}/u$ Arasındaki Regresyon Doğruları

Geri Yıkama Potansiyeli	Regresyon Doğrusu	Briggs Formu	Kor.Kat.	C_1	β	$(F^{1/3}/u)_{ort.}$
$w/u > 1.5$	$\Delta h = 18.46(F^{1/3}/u)^{1.057}$	$\Delta h = 1.4F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.922	1.4	0.74	1.635
$X = 50$ m						
$X = 150$ m	$\Delta h = 46.09(F^{1/3}/u)^{0.493}$	$\Delta h = 1.21F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.81	1.21	0.92	1.802
$X = 300$ m	$\Delta h = 61.293(F^{1/3}/u)^{0.711}$	$\Delta h = 1.184F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.77	1.18	0.95	1.635
$1.0 < w/u < 1.5$	$\Delta h = 27.357(F^{1/3}/u)^{1.628}$	$\Delta h = 1.38F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.697	1.38	0.76	0.454
$X = 50$ m						
$X = 150$ m	$\Delta h = 37.8(F^{1/3}/u)^{1.089}$	$\Delta h = 1.266F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.483	1.266	0.86	0.454
$X = 300$ m	$\Delta h = 76.6(F^{1/3}/u)^{1.25}$	$\Delta h = 1.39F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.66	1.39	0.75	0.477
$w/u < 1.0$	$\Delta h = 23.2(F^{1/3}/u)^{1.578}$	$\Delta h = 0.92F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.868	0.92	1.4	0.342
$X = 50$ m						
$X = 150$ m	$\Delta h = 29.4(F^{1/3}/u)^{1.242}$	$\Delta h = 0.8F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	0.654	0.8	1.7	0.337
$X = 300$ m	$\Delta h = 7.5(F^{1/3}/u)^{-0.767}$	$\Delta h = 1.1F^{1/3}u^{-1}X^{2/3}$	-0.485	1.1	1.05	0.342

na göre U'nun kuvveti 0,5-1,63 arasında değişmekle beraber $w/u > 1.5$ grubunda 0.75, $1.0 < w/u < 1.5$ grubunda 1,32 ve $w/u < 1.0$ grubunda ise 1,21 olarak bulunmaktadır. Her üç grup için ortalama 1,09 ~1,1 olarak elde edilmektedir ki bu da teorinin ifade ettiği mertebelerdedir.

5.3. BRINGFELT DATALARININ İNCELENMESİ

Bringfelt tarafından yayınlanan hüzmeye yükselmesi dataları Bolu'daki gözlem neticelerine paralel geri yıkama potansiyellerine göre incelenmiştir. Özellikle bu datalarda belirli X mesafelerinde $\Delta_{h,u}$ çarpımı ile F'in değişimi üzerinde durulmuştur. Bu maksatla X'in 150, 300, 500 ve 750 m değerleri esas alınmıştır.

Nihai hüzmeye yükselmesinin teşekkül ettiği mesafe $F = 45 \text{ m}^4 \text{ s}^{-3}$ için

$$3X^{\frac{5}{8}} = 3 \times 14 F^{\frac{5}{8}} = 3 \times 14 \times 45^{\frac{5}{8}} = 450 \text{ m}$$

olarak bulunur. Bringfelt dataları için $X=500$ m değeri böylece nihai hüzmeye yükselmesinin gerçekleştiği mesafe olarak alınmıştır.

$w/u > 1.5$ kategorisi Şekil 4.17 de verilmektedir. Şekillerin tetkikinden iki önemli özellik görülmektedir. Birinci olarak, F'in büyümesi ile birlikte regresyon doğrusunun ve Briggs doğrusunun birbirine yaklaştığı ve ortalama $100 \text{ m}^4 \text{ s}^{-3}$ değerleri yakınında kesiştikleri söylenebilir. $X=300 \text{ m}$ dataları bu özellikte bir istisna arz etmektedir. İkinci olarak da $w/u > 1.5$ kategorisi için F'in üssünü Briggs ifadesinden ortalama 2-2.5 kat daha büyük olduğu görülmektedir. Buradan yoğunluk farklarının etken olduğu hüzmelerde geri yıkama potansiyelinin söz konusu olmadığı durumlarda F'in hüzmeye yükselmesine katkısının arttığı anlaşılmaktadır. X'in herbir değeri için bulunan regresyon doğruları ve Briggs formları Tablo 5.3 de verilmiştir. Bir diğer husus bu gruptaki dataların aralarındaki korelasyonların yüksek olmasıdır. Ayrıca X mesafesinin büyümesine paralel olarak regresyon doğrusundan elde edilen hüzmeye yükselmeleri Briggs ifadesi doğrusununkinden %25 e varan oranlarda küçük çıkmaktadır.

Şekil 4.18 de $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisi dataları verilmiştir. Bu grupta X'in bütün değerleri için regresyon doğrusunun Briggs doğrusunun

Tablo 5.3 : $w/u > 1.5$ Kategorisi Bringfelt Datalarına Göre $\Delta h.u$ ile F' in Değişimi

Kaynaktan Uzaklık	Regresyon Doğrusu	Briggs Formu	Kort. Kat.	C_1	β	F_{ort}
150	$\Delta h.u = 13.8 F^{0.573}$	$\Delta h = 1.23 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.61	1.23	0.9	47.8
300	$\Delta h.u = 11.62 F^{0.76}$	$\Delta h = 1.3 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.75	1.3	0.83	44.7
500	$\Delta h.u = 10.15 F^{0.85}$	$\Delta h = 1.18 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.845	1.18	0.95	47.3
750	$\Delta h.u = 75.1 F^{0.39}$	$\Delta h = 0.84 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.39	0.84	1.59	170.3

altında kalmaktadırlar. Bir diğer dikkat çekici özellik F' 'in kuvvetinin, hüzmünün 1. fazındaki kuvvetine yakın olduğudur. Orta derecede geri yıkama potansiyelinin mevcut olduğu bu kategoride korelasyon katsayıları, geri yıkamanın söz konusu olmadığı duruma göre düşük bulunmuştur. Bu kategoride hüzmeye yükselmesi değerleri Briggs eşitliğinden elde edilenin ortalama %70'i mertebelerindedir. Korelasyonun düşmesi hüzmeye yükselmesini etkileyen F' 'in dışında başka faktörlerin varlığına işaret etmektedir. X' 'in bilinen değerleri için elde edilen dataların regresyon doğrusu denklemleri ve Briggs formları Tablo 5.4 de verilmiştir. Tablo 5.4 ün incelenmesinden β sızma katsayısının 0.8-1.15 arasında değiştiği görülmektedir.

Geri yıkama potansiyelinin önemli derecede belirginleştiği $w/u < 1.0$ kategorisine ait datalar Şekil 4.19 da verilmiştir. Şekilden F' 'in kuvvetinin ortalama 0.4 civarında kaldığı görülmektedir. Bu grafiklerde geri yıkama dolayısı ile negatif yükselme gösteren datalar ihmal edilmişlerdir. Noktaların saçılımı artmakta ve buna paralel olarak korelasyonları zayıflamaktadır. $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisinde başlayan eğilim bu grupta bariz şekilde etkisini göstermektedir. Regresyon doğruları ve Briggs formları Tablo 5.5 de verilmiştir. Bu tablodan β 'nin 1,3-1,7 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama olarak bu kategorideki datalar Briggs ifadesinden elde edilen hüzmeye yükselmelerinin ancak %56 sı mertebelerindedir.

5.4. SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Gerek SEKA Bolu dataları gerekse Bringfelt'in datalarının incelenmesinden elde edilen genel sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

1. Geri yıkamanın görülmediği kategoride her iki data grubu da yüksek korelasyon göstermektedirler. Kaynaktan uzaklığa bağlı olarak yapılan incelemede yine her iki data grubunun aynı eğilimleri taşıdıkları Briggs formlarının karşılaştırılmasından anlaşılmaktadır. Buna göre her iki data grubu arasında benzerlik yeterince kuvvetlidir. Kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak hüzmeye yükselmeleri Briggs formundan %25-30 arasında düşük bulunmaktadır. β sızma katsayıları kaynaktan uzaklıkla 0.65 den 0.95'e büyümektedir.

Tablo 5.4 : 1.0 $\leq w/u \leq 1.5$ Kategorisi Bringfelt Datalarına Göre $\Delta h.u$ ile F' 'in Değişimi

Kaynaktan Uzaklık	Regresyon Doğrusu	Briggs Formu	Kor. Kat.	C_1	β	$F_{ort.}$
150	$\Delta h.u=70.35 F^{0,163}$	$\Delta h=1.28 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3}$	0.49	1.28	0.84	50
300	$\Delta h.u=59.9 F^{0,315}$	$\Delta h=1.24 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3}$	0.6	1.24	0.9	51.3
500	$\Delta h.u=43,5 F^{0,473}$	$\Delta h=1.22 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3}$	0.745	1.22	0.91	59.2
750	$\Delta h.u=52,3 F^{0,44}$	$\Delta h=0.98 F^{1/3} u^{-1} x^{2/3}$	0.74	0.98	1.26	59.9

Tablo 5.5 : w/u <1.0 Kategorisi Bringfelt Datalarına Göre $\Delta h.u$ ile F'in Değişimi

Kaynaktan Uzaklık	Regresyon Doğrusu	Briggs Formu	Kor. Kat.	C ₁	β	F _{ort}
150	$\Delta h.u=25.74 F^{0.3}$	$\Delta h=0.81F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.35	0.81	1.68	33.9
300	$\Delta h.u=53.06 F^{0.27}$	$\Delta h=0.94F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.3	0.94	1.34	39.5
500	$\Delta h.u=27.88 F^{0.506}$	$\Delta h=0.84F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.38	0.84	1.59	40.5
750	$\Delta h.u=54.12 F^{0.38}$	$\Delta h=0.8F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$	0.54	0.8	1.7	43.1

2. Geri yıkama olayının önem kazanmaya başladığı kategoride ($1.0 < w/u < 1.5$) dataların korelasyonlarının azaldıkları her iki data grubunda da görülmektedir. Önceki kategoride olduğu gibi burada da regresyon doğrularından elde edilen hüzmeye yükselmeleri, Briggs formuna göre %20-25 küçük bulunmaktadır. β sızma katsayıları 0,75-0,9 arasında değişmektedir.

3. Önemli ölçüde geri yıkama potansiyelinin bulunduğu kategoride ($w/u < 1.0$) genellikle korelasyonlar düşük bulunmaktadır. Hatta Bolu $X = 300$ m dataları negatif korelasyon göstermektedir. Her iki data grubunda da β sızma katsayıları 1.3-1.7 aralığında yer almaktadır. Bu grupta elde edilen regresyon doğruları Briggs ifadesinden %50 daha küçük hüzmeye yükselmesi vermektedirler. Bu da burada dikkate alınmayan bazı olayların müdahalesinin bulunduğunu göstermektedir. Ulaşılan bu sonuçların ışığı altında Briggs ifadesi veya daha çok bilinen adıyla "2/3 kanununu"nun gözden geçirilmesi ve endüstriyel kaynaklarda yukarıda belirlenen farkların sebepleri üzerinde durulması gerekmektedir.

Bölüm 3'de belirtildiği gibi bir hüzmeye elemanı üzerinde akışkanlar mekaniğinin kütle, momentum ve enerjinin korunumu ifadelerinin uygulanması ile hüzmeye davranışlarının temel denklemlerin integral formlarının alınmasında belirli yaklaşımlar yapılmaktadır. Bu yaklaşımlar iki genel başlık altında toplanabilir. Bunlar Boussinesq yaklaşımı ve yukarı kıvrık hüzmeye kabülüdür. Boussinesq yaklaşımı esas itibarı ile yoğunluk farkları terimleri dışında çevre havası yoğunluğu ile hüzmeyen yoğunluğunun birbirine eşit kabul edilmesine dayanmaktadır. Yukarı kıvrık hüzmeye yaklaşımı ise hüzmeye eksenindeki hızın çevre rüzgar hızının yatay bileşenine eşit olduğunu, kabul eder. Başka bir ifade ile hüzmeye, çevre atmosfere girer girmez çok kısa bir mesafe sonra ortalama yatay rüzgar hızı ile harekete başlamaktadır. Bu yaklaşımlara ilave olarak 2/3 kanunu nötr atmosferik yapılanma hali esas alınarak yani atmosferik türbülansın homojen olmasına dayalı olarak elde edilmektedir. Bu kabüllere göre yukarı kıvrık hüzmeler de rüzgar hızının yükseklikle üniform olarak değiştiği esastan hareketle çevre havasının hüzmeye içine sızma hızının da yükseklikle lineer olarak artacağı sonucuna varılmaktadır.

Yukarıda verilen bilgilerden anlaşılabacağı gibi 2/3 kanunu lokal etkilere bağlı olarak atmosferik türbülans ve rüzgar hızındaki değişimlerin ihmal edilmesi suretiyle elde edilmektedir. Büyük kaynaklar ($F > 100 \text{ m}^4/\text{s}^3$) ve yüksek bacalı tesislerde ($h_s > 150 \text{ m}$) bu ihmallere önemli bir etki yapmamaktadırlar. Zira bu tür kaynaklarda baca gazı deşarj hızı hemen daima çevre rüzgar hızından büyüktür. ($w=15-30 \text{ m/s}$) ve geri yıkama potansiyeli oldukça zayıftır. Ayrıca yüksek bacalar dolayısı ile deşarj, genellikle türbülans yoğunluğunun düşük ve lokal oluşumlardan etkilenmeyen hava katmanları içine yapılmaktadır. Bu irtifalardan sonra rüzgar hızı yükseklikle çok az değiştiği (arttığı) için 2/3 kanununda baca seviyesindeki rüzgar hızı hesaplamalarda esas alınmaktadır.

Endüstriyel kaynaklarda ($F < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$, bazı kaynaklarda $F < 100 \text{ m}^4/\text{s}^3$) baca gazı deşarj hızları çok büyük bir aralıkta değişmekle beraber genellikle 10 m/s nin altındadırlar. Baca uzunlukları da genellikle 100 m den küçüktür. Bundan dolayı atmosferik türbülansın önemli bir rol oynadığı yüzey tabakası (100 m yukarıya kadar) içine baca gazlarını vermektedirler. Dolayısı ile yüzey tabakası içindeki türbülans özellikleri hüzme davranışları üzerinde, büyük kaynaklara göre daha önemli etkilere sahiptir. Ayrıca yüzey tabakası içinde rüzgar hızının lineer değil üstel olarak değiştiği Bölüm 2 de belirtilmişti. Buna bağlı olarak 2/3 kanununda kullanılan üniform rüzgar hızı kabulü endüstriyel kaynaklar için geçerli olamaz. Bu sonuçların ışığı altında nonüniform rüzgar hızı gradyanının ve atmosferik türbülans yoğunluğunun hüzme yükselmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

5.4.1. Hüzme Yükselmesi Üzerinde Nonüniform Rüzgar Hızının Etkisi

Rüzgar hızının yüzey tabakası içindeki değişimi, q katsayısına bağlı olarak Bölüm 2.4.5. de verilmişti. Buna z yüksekliği için baca seviyesi, z yüksekliği için efektif hüzme yükselmesi esas alınacaktır. Buna göre 2.30 denklemi,

$$\frac{U_H}{U_s} = \left(\frac{h_s + \Delta h}{h_s} \right)^p = \left(1 + \frac{\Delta h}{h_s} \right)^p \quad (5.29)$$

şekline dönüşmektedir. Bu ifade $2/3$ kanununda U_s baca seviyesindeki rüzgar hızı yerine konulursa,

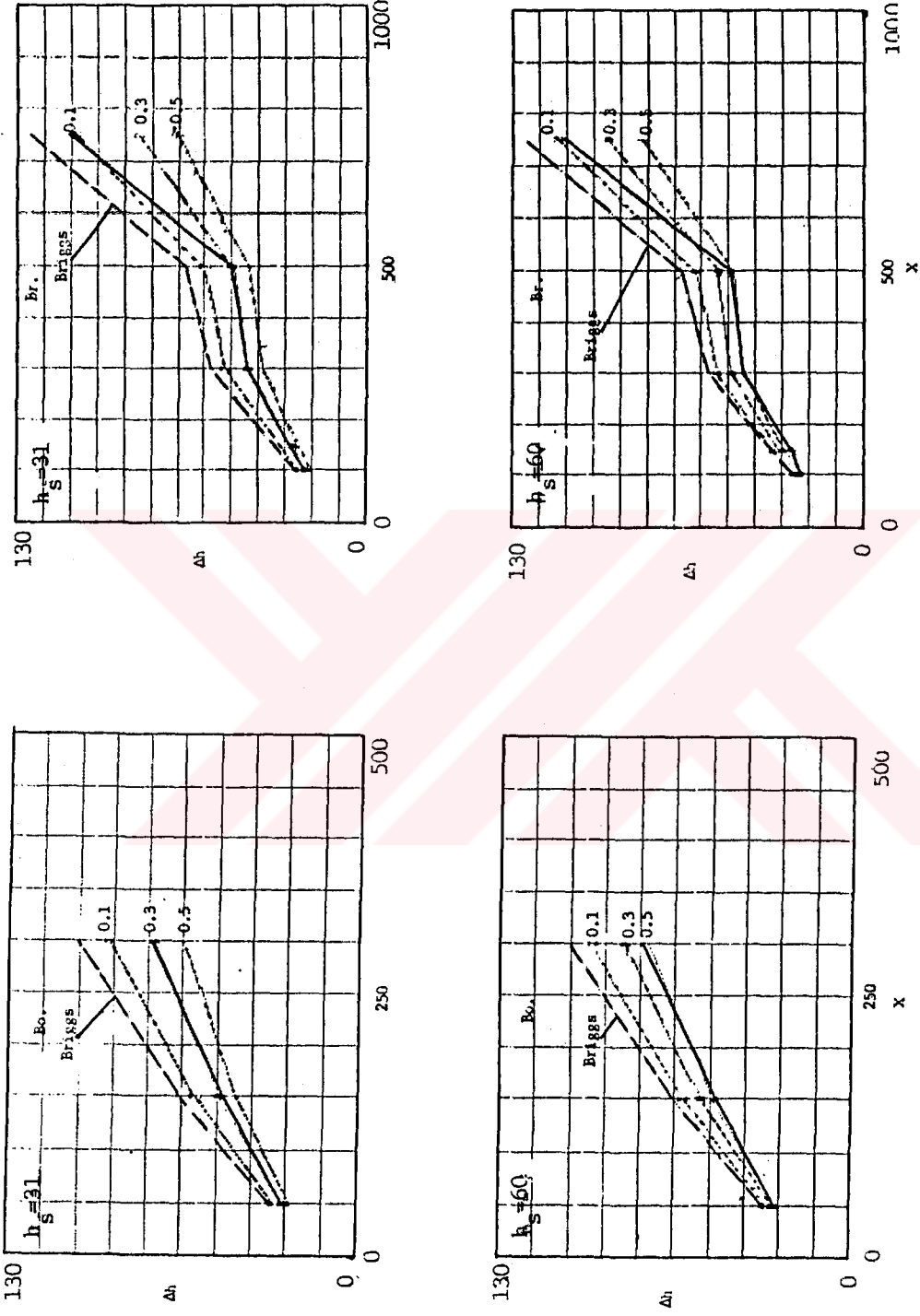
$$\Delta h \left(1 + \frac{\Delta h}{h_s}\right)^p = C_1 F^{1/3} \cdot U_s^{-1} \cdot X^{2/3} \quad (5.30)$$

denklemini elde edilmektedir. (5.30) ifadesinde eşitliğini sağ tarafı Briggs formunun aynı olup bilinen değerler yerlerine yerleştirildiğinde bir sabite eşit olmaktadır. İteratif olarak bu ifadenin çözümleri p 'nin 0.5, 0.3, 0.1 değerleri için yapılmıştır. $p=0$ için Briggs formuna ulaşılmaktadır. p 'nin değişimine paralel olarak h_s 'in değişiminde olaya etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu maksatla (5.30) denkleminin yapılan çözümleri grafiklerle Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de verilmiştir.

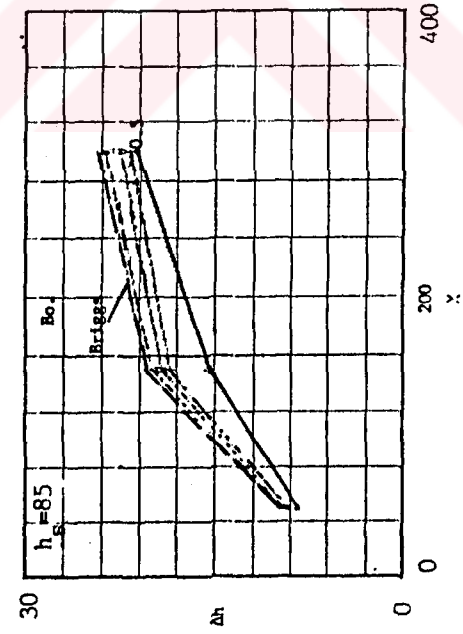
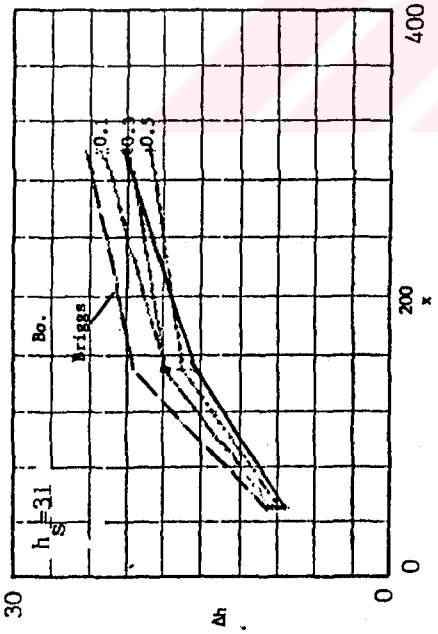
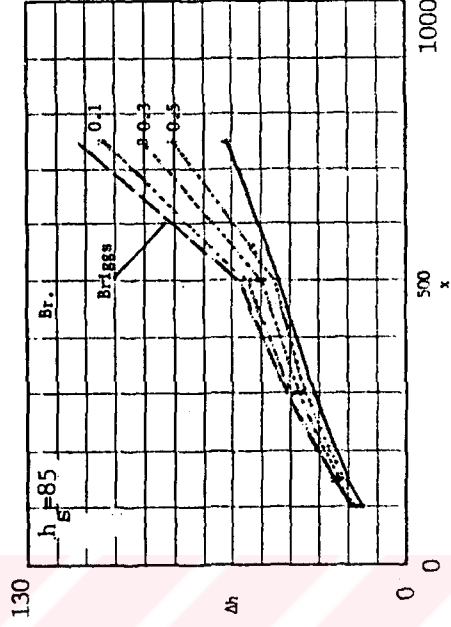
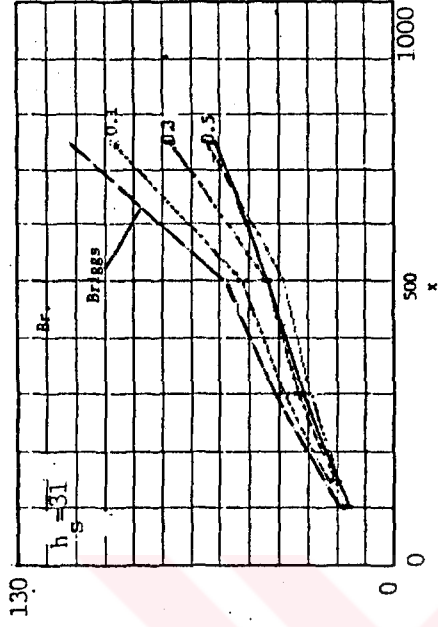
Şekil 5.2 de $w/u > 1.5$ kategorisine ait datalar bulunmaktadır. Bo. ile Bolu tesisleri, Br. ile Bringfelt dataları ifade edilmektedir. $h_s = 31$ m ye ait grafiklerin incelenmesinden regresyon doğrularından her iki data grubu için $p=0.3$ eğrisinin uygun olduğu görülmektedir. Sadece Br. dataları x 'in 750 m değeri için $p=0.1$ eğrisine yaklaşmaktadır. $h_s=60$ m ye ait grafiklerde ise regresyon doğruları $p=0.5$ eğrisi ile uyumludurlar. Buna göre $h_s=31$ m için nonüniiform rüzgar hızı kabulü ile gözlem sonuçları izah edilebilmektedir. Ancak h_s in artması ile regresyon doğruları, p nin atmosferik yapı bakımından kararlı hali veya baca yakınında yüzey pürüzlülüğünün büyük olduğu hali temsil eden 0.5 değerine ait eğriye yaklaştığı dikkati çekmektedir. $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisine ait Şekil 5.3 de $h_s=31$ m için Bolu dataları $p=0.5$ eğrisi ile Bringfelt dataları ise $p=0.3$ eğrisi ile uyushmaktadır. $h_s=85$ m grubunda ise regresyon doğruları $p=0.5$ eğrisinin altında kalmaktadırlar.

Şekil 5.4 de $w/u < 1.0$ kategorisi görülmektedir. $h_s=31$ m grafiklerinde her iki data grubu da p eğrilerinin altında kalmaktadırlar. Aynı eğilim $h_s=110$ m grubunda artarak devam etmektedir.

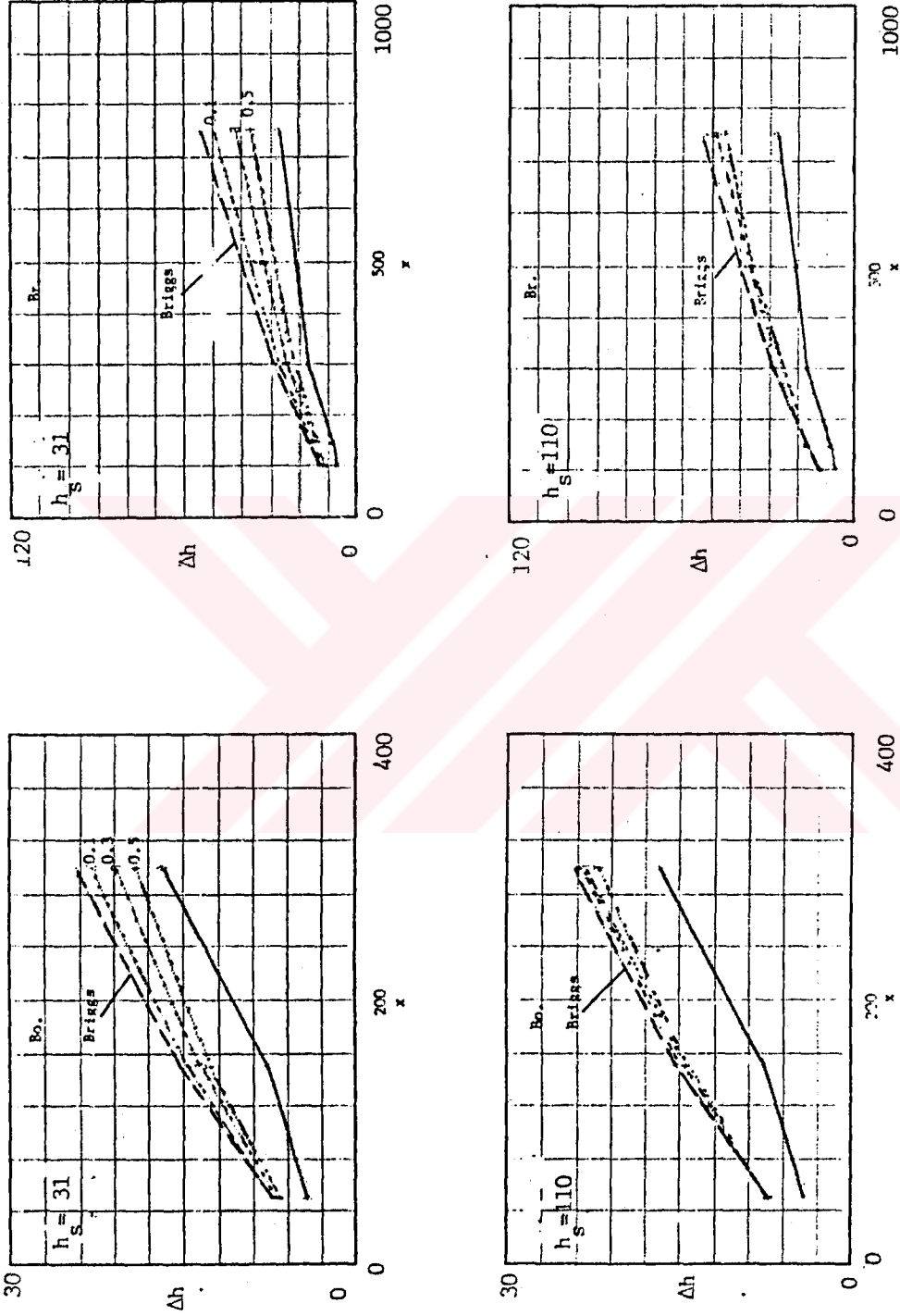
Bu grafiklerin incelenmesinden geri yıkama potansiyelinin olmadığı veya çok az ihtimal dahilinde bulunduğu $w/u > 1.5$ kategorisinde $h_s = 31$ m için nonüniiform rüzgar hızı kabulünün uygun çıkması önceki düşünüş tarzının doğruluğunu göstermektedir. Geri yıkamanın belirginleştiği $1.0 < w/u < 1.5$ ve $w/u < 1.0$ kategorilerinde ise nonüniiform rüzgar hızı ka-



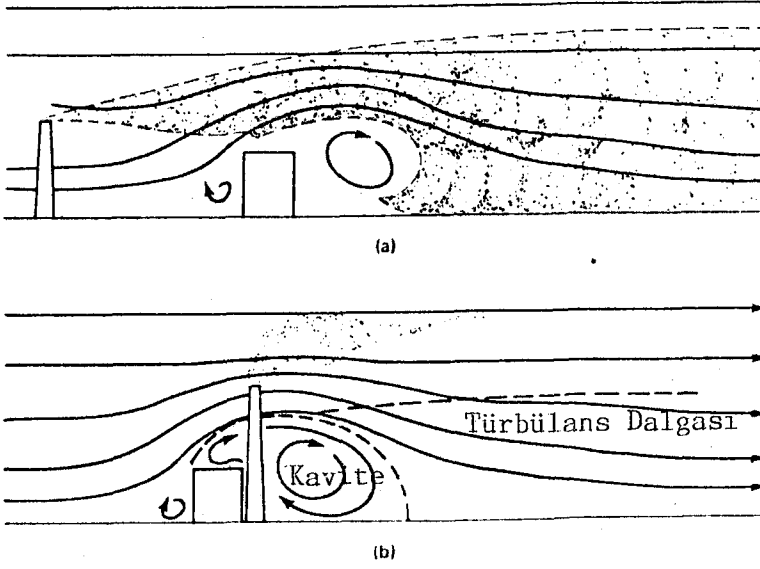
Şekil 5.2: $w/u > 1,5$ Grubu Hüzme Yükselmesi Dataları Üzerinde Nonüiform Rüzgar Hızının Etkisi



Şekil 5.3: $1.0 < w/u < 1.5$ Grubu Hüzme Yükselmesi Dataları Üzerinde Nonüiform Rüzgar Hızının Etkisi



Şekil 5.4 : $w/u < 1,0$ Grubu Hüzme Yükselmesi Dataları Üzerinde Nonüniiform Rüzgar Hızının Etkisi



Şekil 5.6 (a) Baca Gazlarının Dispersiyonu Üzerinde Bir Binanın Aerodinamik etkileri. (b) Bacaya Yakın Bir Binanın Rüzgar Yönündeki Dispersiyon Üzerindeki Etkileri.

Geri yıkama olayı hüzme yükselmesi üzerinde iki şekilde etkili olmaktadır. İlk olarak kavite bölgesindeki basınç düşüşü dolayısı ile hüzme aşağı doğru çekilmektedir. Bundan daha önemli olan etki ise oluşan mekanik türbülans tarafından yapılmaktadır. Mekanik türbülans dolayısı ile oluşan eddy'ler vasıtasıyla hüzme içine çevre havasının sızma hızı artmaktadır. Bunun sonucunda hüzme ile çevre havası arasındaki yoğunluk farkları azalmakta ve hüzmenin yükselmesi engellenmektedir.

Bolu datalarının incelenmesinde β sızma katsayısının 0.7-1.7 aralığında değiştiği bu bölümün başlarında belirtilmişti. β sızma katsayısı geri yıkama potansiyeline paralel olarak artış göstermektedir. Bu da oluşan mekanik türbülansın tabi bir neticesidir.

5.4.3. Atmosferik Türbülans Yoğunluğunun Hüzme Yükselmesi Üzerindeki Etkileri

Atmosferik türbülans yoğunluğunun zemin pürüzlülüğüne ve atmosferik yapılanmaya göre değişimi Bölüm 2.4.7. de verilmiştir. Özellikle di-

key atmosferik türbülans yoğunluğu $\bar{I}_z$ 'nin endüstriyel kaynaklarda hüzmeye davranışları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Hüzmenin birinci fazında kirleticilerin dağılımında bizzat hüzmenin kendi hareketinin yol açtığı türbülans yoğunlukları etkili olmaktadır. Nötr atmosferik yapıda hüzmeye içine çevre havasının sızma teorisine dayalı olarak Morton ve arkadaşlarının geliştirdikleri modeli esas alarak Slawson ve Csanady'nin yaklaşımı Bölüm 3.4 de verilmiştir. Slawson ve Csanady β sızma katsayısının, olayın fiziksel karakterini ifade etmede yetersiz kaldığını ileri sürerek yerine α ve γ_m gibi iki katsayı teklif etmişlerdir. Bu katsayılardan α yoğunluk farkları kuvvetlerinin katkısını, γ_m ise momentum kuvvetlerinin katkısını göstermektedirler. Buna göre "2/3 kanunu"nın ifadesi

$$\Delta h = \left(\frac{3}{2 \alpha^2 \gamma_m} \right)^{1/3} F^{1/3} u^{-1} x^{2/3} \quad (5.31)$$

veya Morton ve arkadaşlarının kullandıkları şekliyle $\ell = F/U^3$ olmak üzere

$$\Delta h = \left(\frac{3}{2 \alpha^2 \gamma_m} \right)^{1/3} \ell^{1/3} x^{2/3} \quad (5.32)$$

formunu almaktadırlar.

Richards ve Tsang tarafından α ve γ_m katsayılarının değişim aralıklarının belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır [81,82]. Richards'ın aniden serbest bırakılan bir çizgi kaynaga (Line Thermal) benzeşimi esas alarak yaptığı deneysel çalışmalarda α 'nın 0.25 ile 1.0 aralığında, γ_m 'nin de 7 ile 40 arasında değiştiği belirlemiştir. Aynı şekilde Tsang tarafından yapılan çalışmada α için 0.25 ortalama değeri elde edilirken γ_m için de α ve C değerlerinden hareketle 22 katsayısı bulunmuştur.

Yoğunluk farkları kuvvetlerinin etkili olduğu hüzmelerde 1.faz, yukarı doğru yükselme hızının, çevre havasında türbülans tarafından oluşturulan hız çalkantıları (fluctuations) mertebesine indiğinde sona etmektedir. Hüzmenin yukarıya doğru olan yükselme hızı W ile gösterildiğine göre (Şekil 3.2) 1. fazdan ikinci faza geçiş noktasında

$$W = \frac{\dot{I}_z u}{\alpha} \quad (5.33)$$

ifadesi geçerlidir. [28]. W/U hüzmenin eğimine eşit olduğundan

$$\left. \frac{d(\Delta h)}{dx} \right|_{\text{geç.nok.}} = \frac{\dot{I}_z}{\alpha} \quad (5.34)$$

denkleme ulaşılır. (5.2) denkleminin X'e göre türevinden geçiş noktasının koordinatları için,

$$\left. \frac{d(\Delta h)}{dx} \right| = C \ell^{1/3} \left(\frac{2}{3}\right) X^{-1/3} = \frac{\dot{I}_z}{\alpha}$$

$$\left. \frac{X}{\ell} \right|_{\text{geç.nok}} = \left(\frac{2C \cdot \alpha}{3 \dot{I}_z} \right)^3 = \quad (5.35)$$

ve,

$$\Delta h = C \ell^{1/3} X^{2/3} = C \ell^{1/3} \left(\frac{2C \cdot \alpha}{3 \dot{I}_z} \right)^2 X^{2/3}$$

$$\left. \frac{\Delta h}{\ell} \right| = C \left(\frac{X}{\ell} \right)^{2/3} = C \left(\left(\frac{2C \alpha}{3 \dot{I}_z} \right)^3 \right)^{2/3} = \frac{4C^3 \alpha^2}{9 \dot{I}_z^2}$$

$$\left. \frac{\Delta h}{\ell} \right|_{\text{geç.nok.}} = \frac{2}{3 \gamma_m \dot{I}_z^2} \quad (5.36)$$

elde edilir. Hüzme içine çevre havasının sızması, sadece hüzmenin kendi hareketinden kaynaklandığı için 1. fazda $\gamma_m = 1$ olacağından (5.36) ifadesi

$$\left. \frac{\Delta h}{\ell} \right|_{\text{geç.nok}} = \frac{2}{3 \dot{I}_z^2} \quad (5.37)$$

formuna dönüşmektedir. Morton ve arkadaşlarının notasyonları ile Briggs'in notasyonu arasında F'in ifadesinde fark bulunmaktadır. Her iki notasyon arasında

$$F_{\text{Briggs}} = \pi \cdot F_{\text{Marton}} \quad (5.38)$$

ilişkisi bulunmaktadır. (5.38) eşitliğinden hareketle β ile α arasında da

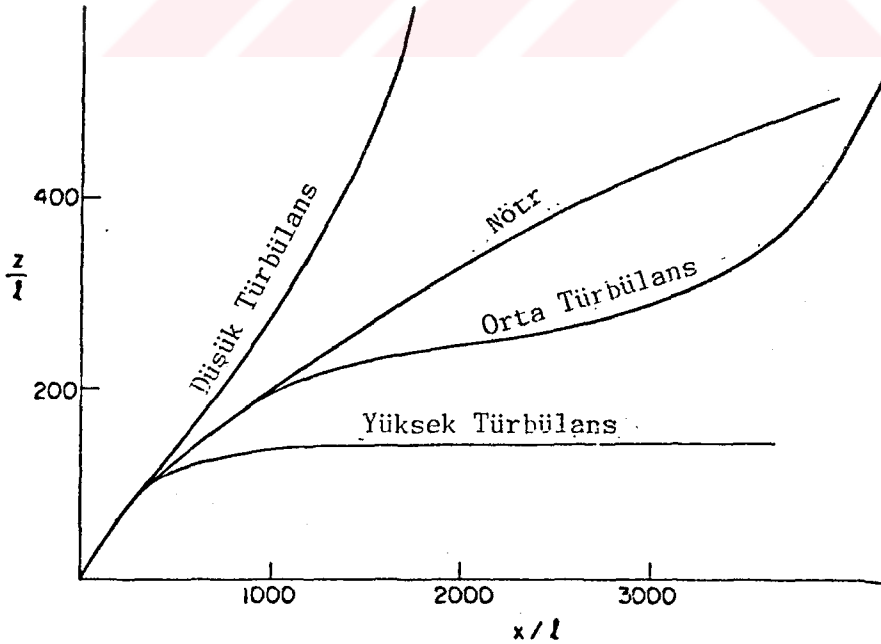
$$\alpha = \frac{\beta}{\pi^{1/2}} \quad (5.39)$$

ifadesi elde edilir. (5.39) eşitliği (5.35) de yerleştirilir ve sadeleştirilirse

$$\frac{x}{l} \Big|_{\text{geç.nok.}} = \frac{4 \beta}{9 \pi^{2/3} \bar{I}_z^3} \quad (5.40)$$

formülü elde edilir.

(5.37) ve (5.40) eşitliklerinin incelenmesi geçiş noktası koordinatlarının, atmosferik türbülansın dikey bileşenine şiddetle bağlı olduklarını göstermektedir. $\bar{I}_z$ ve β 'nin farklı değerleri için x/l ve z/l koordinatlarına bağlı olarak hüzme yörüngesinin değişimi Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7: Kararsız Atmosferik Yapıda Kalitatif Hüzme Yörüngeleri

Kararsız atmosferik yapılarda hüzme yükselmeleri genellikle "2/3 Kanunu"nın tahminlerinden büyük çıkmaktadır. Ancak bu yapının mevcudiyetinde atmosferik türbülans yoğunluğunun artması hüzme yükselmesinin belirlenmesinde hakim rol oynamaktadır. Türbülans yoğunluğu artışı ile "2/3 Kanunu"na göre daha küçük yükselmeler elde edilmektedir.

Kararsız yapı halinde önemli bir başka olay da konvektif hareketlerin yol açtığı termal orijinli türbülansın oluşumudur. Termal orijinli türbülans özellikle hafif ve mutedil rüzgar hızlarında, açık gökyüzü ve kuvvetli güneş radyasyonu altında meydana çıkmaktadır. Yer yüzeyinin örtü tabakası termal orijinli türbülans da birinci derecede öneme sahiptirler. Zira yer seviyesine kadar ulaşan güneş radyasyonunun geriye yansıtılan kısmının, gelen radyasyona oranı olarak tanımlanan "albedo" ne kadar büyükse termal orijinli türbülans da o kadar şiddetli olmaktadır. Özellikle yüzeyin karla örtülü olduğu durumlarda albedo %80-90 dolaylarında gerçekleşmektedir [24]. Ölçüm çalışmalarının yürütüldüğü Seka Bolu Tesis ve çevresi çalışma esnasında kar tabakası ile kaplı olduğundan önemli ölçüde termal orijinli türbülans oluşmuştur. Sabah erken saatlerde rüzgar hızı nispeten düşük olduğundan konvektif hareketlere bağlı olarak termal orijinli türbülans yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir. Bu tür hareketlerin meydana geliş periyodu, düzenli seyrelme halinden oldukça fazladır. Gerek mekanik gerekse termal orijinli türbülans hareketlerinin sonucu hüzme, kaynağa oldukça yakın mesafelerde parçalanmakta ve yükselmesi sınırlandırılmaktadır. (5.40) eşitliğini kullanarak gerek SEKA Bolu Tesislerinde yapılan gözlemlere gerekse Bringfelt datalarına göre geçiş bölgesi koordinatları belirlenebilir. Bunlar $i_z = 0.1$, $i_{zBr} = 0.08$, $\beta = 1.2$, $u_{Bo.} = 4.5 \text{ m/s}$, $u_{Br.} = 6.5 \text{ m/s}$, $F_{Bo.} = 17 \text{ m}^4/\text{s}^3$, $F_{Br.} = 45 \text{ m}^4/\text{s}^3$ olmak üzere

$$X_{(\text{geç.nok})_{Bo.}} = \frac{4.1,2}{9 \pi^{2/3} \cdot (0.1)^3} \frac{17}{(4.5)^3} = 46 \text{ m}$$

ve

$$X_{(\text{geç.nok})_{Br.}} = \frac{4.1,2}{9 \pi^{2/3} \cdot (0.08)^3} \frac{45}{(6.5)^3} = 80 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Hüzme davranışlarının ikinci ve üçüncü fazında hüzme elemanlarının karakteristik uzunluğu L ile atmosferik türbülans eddy'lerinin uzunluk skalası L arasındaki oran dispersiyon üzerinde etkili olmaktadır. $L_t \gg L$ halinde rüzgar yönünde kısa mesafelerde hüzmenin eğimi 10^{-2} mertebelerine inmektedir. Nihai eğim için,

$$\left. \frac{d\Delta h}{dx} \right|_{x \rightarrow \infty} = \frac{\ell}{2\dot{I}_y \gamma_m L_t} = \frac{F}{2\dot{I}_y \gamma_m L_t U^3} \quad (5.41)$$

ifadesi verilmektedir [28]. Burada nihai eğimin rüzgar hızına kuvvetle bağımlı olduğu dikkati çekmektedir. Aynı zamanda γ_m , akım şartlarına bağlı olarak belirlenmek durumundadır.

5.4.4. Genel İfadelerin Bulunması

SEKA Bolu Tesisleri gözlem sonuçları ve Bringfelt dataları geri yıkama potansiyellerine göre incelenmiş ve ayrı ayrı regresyon doğruları bulunmuştur. Bu kısımda her iki gruba ait datalar kendi aralarında birleştirilerek incelenmiştir.

Bolu Tesislerine ait birleştirilmiş dataların ($N=126$) analizinden regresyon doğrusu

$$\Delta h = 32.2 (F^{1/3}/u)^{1.098} \quad \text{Corr} = 0,77 \quad (5.42)$$

bulunmuştur. (Şekil 5.8). (5.42) ifadesinin Briggs formu ise

$$X = 3,5 \cdot X_{(\text{geç. bol})_{Bo}} = 3.5 \cdot 46 = 161 \text{ m için}$$

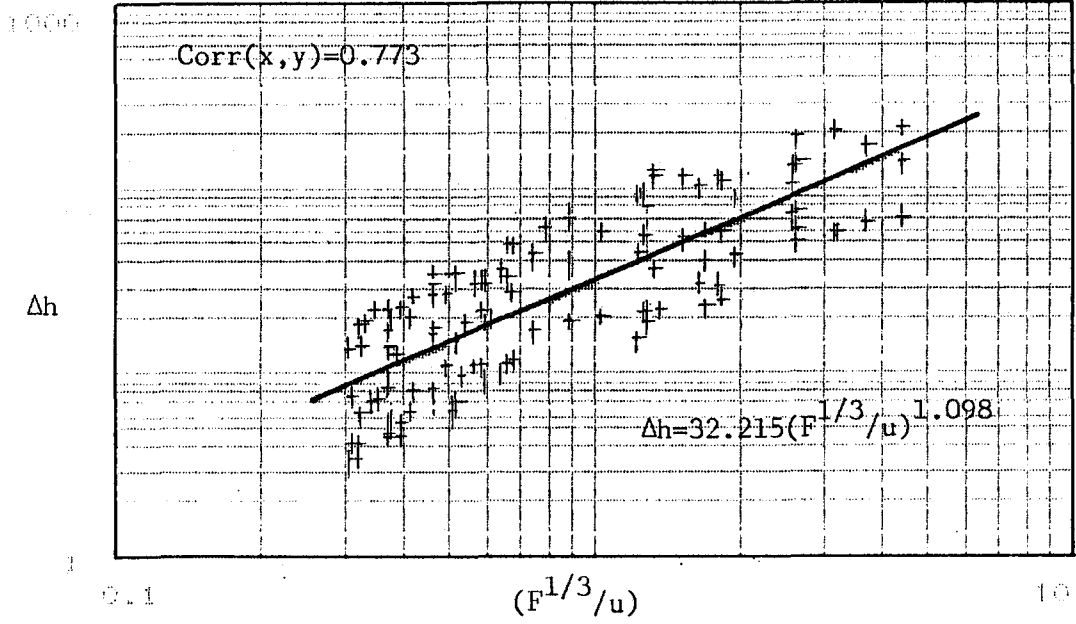
$$\Delta h = 1.10 F^{1/3} U^{-1} X^{2/3} \quad (5.43)$$

olmaktadır. Bringfelt dataları da aynı şekilde birleştirilerek analiz edildiğinde ($N = 92$)

$$\Delta h \cdot u = 44.41 F^{0.37} \quad \text{Corr} = 0,6 \quad (5.44)$$

eşitliği bulunmaktadır (Şekil 5.9). $X = 3.5 X_{(\text{geç. nok})_{Br}} = 3.5 \times 80 = 280 \text{ m}$ için Briggs formu ise

$$\Delta h = 1.2 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad (5.45)$$



Şekil 5.8 : Genel İfadenin Çıkarılmasında Kullanılan Bolu Dataları şeklinde elde edilmektedir.

Her iki data grubunun bir arada temsil etmek üzere genel ortalama olarak,

$$\Delta h = 1.15 F^{1/3} U^{-1} X^{2/3} \quad (5.46)$$

ifadesi bulunmuştur.

5.5. MAKSİMUM KİRLETİCİ KONSANTRASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Normal dağılım halinde bir nokta kaynaktan havaya verilen kirleticilerin yol açacakları maksimum kirletici seviyesi Bölüm 2'de (2.8) ifadesi ile verilmişti. (2.8) ifadesi iki farklı hüzmeye yükselmesi için yazılar ve orantılanırsa

$$\frac{C_{\max_1}}{C_{\max_2}} = \frac{H_2^2}{H_1^2} \quad (5.47)$$

elde edilir. Bu eşitlikte H_1 bu çalışma sonucunda bulunan hüzme yükselmesi ifadesinin kullanılması ile elde edilen efektif hüzme yükselmesini, H_2 de Briggs'in hüzme yükselmesi ifadesinden elde edilen efektif hüzme yükselmesini ifade etmektedir. H_1 ve H_2 yerine eşitlikleri yazılarak sadeleştirildiğinde

$$\frac{C_{\max_1}}{C_{\max_2}} = \frac{(1,6)^2}{(1,15)^2} = 1,93$$

bulunur. Buna göre bu çalışmadan elde edilen hüzme yükselmesi eşitliğinin kullanılması halinde bulunacak maksimum konsantras Briggs'in ifadesinin kullanılmasına göre yaklaşık iki misli büyük olmaktadır. Bu oldukça önemli bir farktır.

Maksimum kirlenmenin kaynaktan olan uzaklığı da her iki hüzme yükselmesi ifadesinin kullanılmasına göre değişiklik göstermektedir. Bunu belirlemek için (2.7) ifadesinden

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\sigma_{z_1}}{\sigma_{z_2}} = \frac{1.15}{1.6} = 0,72$$

bulunur. Buradan bu çalışmadan elde edilen hüzme yükselmesi ifadesinin kullanılması halinde maksimum kirlenmenin, oluşacağı nokta, Briggs ifadesinin kullanılması haline göre kaynağa %30 daha yakın teşekkül edecektir. Bu da kaynağa yakın bölgelerin daha büyük kirlenme risklerine maruz kalacaklarını göstermektedir.

Yukarıdaki sonuçlar endüstriyel tesislerin konumlandırılacakları yerin seçiminde daha gerçekçi değerlendirmelerin yapılmasına imkan vermesi bakımından büyük önem taşımaktadır [81,82,83].

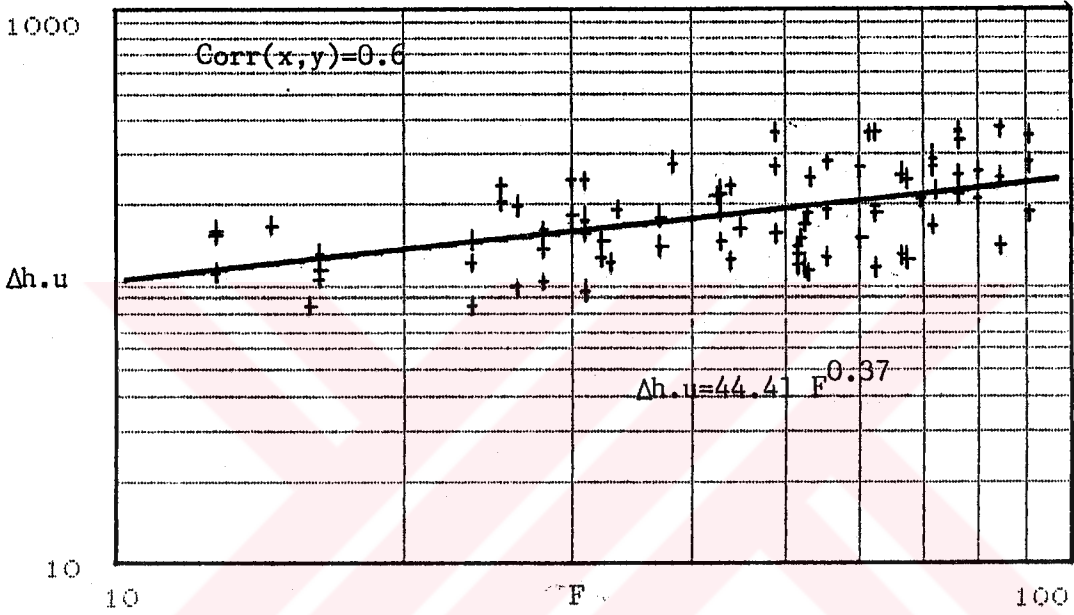
5.6 KARARLI ATMOSFERİK YAPIDA HÜZME YÜKSELMESİ

Şekil 4.16'da, kararlı atmosferik yapıdaki hüzme yükselmeleri, Briggs'in (3.15) eşitliğinden bulunan yükselmelere karşı işaretlenmiştir. Regresyon doğrusunun denklemi

$$\Delta h_{\text{Bolu}} = 4.43 \Delta h_{\text{Briggs}}^{0.65}$$

$$\text{Corr} = 0.95 \quad (5.47)$$

şeklinde elde edilmiştir. 0,95 korelasyon katsayısı ise oldukça yüksek bulunmuştur. Buna göre kararlı atmosferik yapı halinde geri yıkama olayı etkili olamamaktadır. Çünkü esasen bu yapı rüzgar hızının şeklinde elde edilmektedir.



Şekil 5.9 : Genel ifadenin Çıkarılışında Kullanılan Bringfelt Dataları

2.0 ms^{-1} düşük olması halinde görülmektedir. O halde (3.15) eşitliği kararlı atmosferik yapı halinde güvenle kullanılabilir.

5.7. HATA SINIRLARI VE HASSASİYET

Hüzme yükselmesi ölçüm çalışmalarında meteorolojik ve kaynak parametrelerinin belirlenmesinde yapılacak hatalar, kullanılacak ifade tipine bağlı olarak etkili olmaktadır. Meteorolojik parametreler içinde rüzgar hızı ve türbülans yoğunlukları önem taşımaktadır. Kaynak parametreleri içinde ise baca gazı deşarj hızı ve sıcaklığı önemli olmaktadır. Kaynak büyüklüğü ve baca uzunlukları da hüzme davranışları üzerin-

de etki etmektedirler. Bütün bu parametreler bir arada düşünöldüğünde hüzme yükselmesi eşitliklerinde hata payı ve hassasiyet hakkında belirli rakamların verilmesi her zaman mümkün olmamaktadır.

Bu güne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak türbölans yoğunluğundaki normal değişim nedeniyle geçiş noktasının kaynaktan uzaklığı olan X^* 'in F %20 değişebildiği belirtilmektedir [37] . Aynı şekilde hüzme yükselmesi hesaplamalarında düz ve üniform arazilerde + %10, önemli topoğrafik oluşumların mevcudiyetinde ise + %40 civarında değişim söz konusu olmaktadır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Endüstriyel kaynaklar, düşük ısı kapasite, kısa bacalar ve yerleşim bölgeleri içinde kalmaları gibi özellikleri ile büyük nokta kaynaklardan ayrılmaktadırlar. Bu özellikler aynı zamanda endüstriyel kaynakların yol açtıkları hava kirliliğinin kontrolünün önemini de vurgulamaktadır. Bu sebeplerle bu tür kaynaklarda kullanılan dağılım modellerinde hüzme yükselmesi parametresinin, büyük kaynaklardan farklılığının belirlenmesi gerekmektedir.

Endüstriyel kaynaklarda hüzme yükselmesinin incelendiği bu çalışma deneysel olarak elde edilmiş datalardan ve literatür datalarından istifade edilmek suretiyle yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bolu Meteoroloji İstasyonu kayıtları ile tesisde kurulu meteoroloji cihazı (MRI) kayıtlarının karşılaştırılmasından tesis bölgesinde rüzgar hızının daha büyük olduğu belirlenmiştir. İki data grubu arasında log-log eksen takımında

$$u_{\text{Bolu}} = 0.757 u_{\text{MRI}}^{0.537} \quad \text{Corr} = 0.62$$

regresyon doğrusu bulunmuştur. Farklılığa iki ölçüm istasyonunun yerleştirildikleri bölgelerin özelliklerindeki değişikliklerin yol açtığı belirlenmiştir. Bu sonuç aynı zamanda meteorolojik parametrelerin hüzme yükselmesi ölçümünün yapıldığı yerde ölçülmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Deneysel maksatla yürütülen çalışmalar tek kameranın kullanıldığı yersel fotoğrametri tekniği ile yapılmıştır. Bu teknik ülke şartlarına uygun, ekonomik ve yeterli hassasiyettedir. Ancak hüzmelerin kontrast rengine dayalı olarak ölçüm yapıldığı için kömür yakıtlı kaynaklarda daha başarılı sonuçlar alınmaktadır.

Hüzme yükselmesi modelleri içinde "2/3 Kanunu" olarak bilinen teorik temelli model çerçevesinde gerek gözlem sonuçları gerekse Bringfelt dataları geri yıkama olayının gerçekleşme potansiyelleri dikkate alınarak üç ayrı kategoride incelenmiştir. Birinci kategoride $w/u > 1.5$ şartının sağlandığı datalar bulunmaktadır ve geri yıkamanın ihmal edildiği hali temsil etmektedir. Bu kategori için X ve $\Delta h \cdot u / F^{1/3}$ değişkenlerinin değişiminden

$$\Delta h = 1.23 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr} = 0.79$$

bulunmuştur. Geri yıkamanın önem kazanmaya başladığı $1.0 < w/u < 1.5$ kategorisinde ise,

$$\Delta h = 1.06 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr} = 0.88$$

eşitliği bulunmuştur. Geri yıkamanın söz konusu olduğu $w/u < 1.0$ kategorisi için,

$$\Delta h = 0.55 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr} = 0.81$$

elde edilmiştir. Bu üç ifade de β sızma katsayısı sırasıyla 0.9, 1.12 ve 3.0 değerlerini almaktadır.

Aynı data grubu X 'in belirli değerlerinde Δh ile $F^{1/3}/u$ değişkenleri bakımından incelendiğinde elde edilen regresyon doğruları, Briggs formundan $w/u > 1.5$ ve $1.0 < w/u < 1.5$ hallerinde %25 daha küçük hüzme yükselmesi verdikleri görülmektedir. $w/u < 1.0$ halinde fark %45-50 mertebelerine ulaşmaktadır. Ayrıca X 'in ve geri yıkama potansiyelinin artışı ile korelasyonlar zayıflamakta, dağılım artmaktadır.

Bringfelt dataları özellikle kaynak büyüklüğünün etkisinin belirlenmesi maksadıyla $\Delta h \cdot u$ ile F değişkenleri bakımından incelenmiştir. X 'in belirli değerleri için yapılan incelemede $X=300$ m için $w/u > 1.5$ kategorisinde,

$$\Delta h = 1.3 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr}=0.75$$

1.0 $\leq w/u \leq 1.5$ kategorisinde

$$\Delta h = 1.24 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr}=0.6$$

ve $w/u \leq 1.0$ kategorisinde

$$\Delta h = 0.94 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr}=0.3$$

bulunmuştur. X 'in artması ile ($X=750\text{m}$) C 'nin değeri 0.8'e düşmektedir. Bolu gözlemlerinde olduğu gibi Bringfelt datalarında da geri yıkama potansiyeline bağlı olarak Briggs ifadesinden sapmalar artmaktadır.

Gözlem sonuçları ile Briggs ifadesi arasında belirlenen farklar endüstriyel kaynakların genel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Baca yakınında yer alan binaların oluşturduğu mekanik türbülans, atmosferik yapı ve lokal etkilere bağlı olarak meydana gelen termal orijinli türbülans ve nonuniform rüzgar hızı dağılımı bu farkların oluşumunda etkin durumdadırlar. β sızma katsayıları hemen daima büyük kaynaklar için belirlenen 0.6 değerinden büyük bulunmuştur.

Mekanik ve termal orijinli türbülansa bağlı olarak yapılan hesaplamalarla geçiş bölgesi sınırlarının kaynağa yaklaştığı, hüzmenin dispersiyonunun büyük kaynaklara göre daha kısa mesafelerde tamamlandığı belirlenmiştir.

SEKA Bolu ve Bringfelt datalarının kendi aralarında birleştirilerek analizinden SEKA Bolu gözlemleri için

$$\Delta h = 1.1 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr}=0.77$$

ve Bringfelt dataları için

$$\Delta h = 1.2 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3} \quad \text{Corr}=0.60$$

genel ifadeleri bulunmuştur. Her iki data grubu için

$$\Delta h = 1.15 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$$

ifadesi elde edilmiştir.

Hüzme yükselmesi değerlendirmelerinde türbölans yoğunluğundaki değişimler $\pm$ %20, topografik yapı ise $\pm$ %10 - $\pm$ %40 arasında değişimlere yol açmaktadır.

Sonuç olarak endüstriyel kaynaklarda nötr ve kararsız atmosferik yapılar da hüzme yükselmesi belirlemelerinde yukarıda verilen genel ifade $\pm$ % 20 hata ile kullanılabilir. Bu tür tesislerde baca yüksekliklerinin belirlenmesinde ve kirleticilerin dağılım modellerinde bu ifadenin kullanımı hava kalitesinin korunması bakımından büyük yararlar sağlayacaktır [85, 86, 87].

KAYNAKLAR

- [1] BEHÇET, Y., Enerjide Dışa Bağımlılık Giderek Artıyor, Mühendislik ve Mimarlıkta Ölçü, 22-23-24, 2. 1988.
- [2] KURAL, O., Kömür Kimyası ve Teknolojisi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi 1988.
- [3] Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Second Edition, U.S. E.P.A. 1977.
- [4] BRIGGS, G.A., A Smoke Plume Rise Theory, Preliminary Report, Oak Ridge, Tenn. USA, 1965
- [5] Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete, 2 Kasım 1986
- [6] Office of Air Quality Planning and Standards, EPA Guideline for on Air Quality Models, Oct. 1980.
- [7] HANNA, S.R. Urban Diffusion Problems, U.S. Department Administration, Oak Ridge, Tennessee, 1975.
- [8] BARTH, D.S. : Federal Motor Vehicle Emission Goals for CO, HC, and Nox Based on Desired Air Quality Levels, J. Air Poll. Cont. Assoc., 20, 519-523, 1971.
- [9] PETERSON, J.T. Distribution of Sulfur Dioxide Over Metropolitan St. Louis. Atmos. Environ., 4, 501, 1970.
- [10] LETTAU, H., Physical and Meteorological Basis for Mathematical Models of Urban Diffusion, Proc. of Symp. on Multiple Source Urban Diffusion Models, U.S. EPA., APCO Publ. No. AP 86, 1970.
- [11] GIFFORD, F.A. and HANNA S.R. : Urban Air Pollution Modeling, Int. Union of Air Poll. Prev. Assoc., Washington, 1970.

- [12] REYNOLDS, S.D. and ROTH, P.M.: Mathematical Modelling of Photochemical Air Pollution Part 3, Atmos. Environ., 7, 1973.
- [13] ERTÜRK, F., İstanbul'un Haliç Bölgesinde Hava Kirlenmesinin Matematik Modelle İncelenmesi, Doçentlik Tezi, 1981.
- [14] FRENKIEL, F.N. : Atmosferik Pollution in Growing Communities, Smithsonian Institute Report, 1957.
- [15] POOLER, F. A Prediction Model of Mean Urban Pollution for Use with Standard Wind Roses, Int.J. of. Air and Water Poll. 4, 1961.
- [16] TURNER, D.B. A Diffusion Model for an Urban Area, J. Appl. Meteorol. 3, 1964.
- [17] CLARKE, J.F: A Simple Diffusion Model for Calculating Point Concentrations from Multiple Sources, J. Air Poll.Contr. Assoc., 14, 1964.
- [18] MILLER, M. and HOLZWORTH, G An Atmospheric Diffusion Model for Metropolitan Areas, J. Air Poll.Contr. Assoc., 17, 1967.
- [19] DAVIDSON, B., A Summary of the New York Urban Air Pollution Dynamics Research Program, J. Air Poll Contr.Ass., 17, 154-158, 1967.
- [20] BOWNE, N.E., A Simulation Model for Air Pollution Over Connecticut., J.Air Poll. Cont. Ass. 19, 570-574, 1969
- [21] MARTÍN, D. and TÍKVART, J.A., A General Atmospheric Diffusion Model for Estimating the Effects on Air Quality of One or More Sources, Air Pol.Cont. Ass. 1968.
- [22] GLOSSARY on Air Pollution, WHO Regional Publ. European Series No 9, 14.
- [23] HALITSKY, J., A Method for Estimating Concentrations in Transverse Jet Plumes, Air and Water Poll. V. 10, 821-823, 1966.
- [24] WILLIAMSON, S.J., Fundamental of Air Pollution, Addison-Wesley Publ. Company, 1973.
- [25] WARK. K., Air Pollution, Its Origin and Control Harper and Row Publisher, Inc., 1976.
- [26] STERN, C.A., Air Pollution, Air Pollutants, Their Transformation and Transport VI, Academic Press, N.Y. 1976.

- [27] SEINFELD, J.H., Air Pollution, Physical and Chemical Fundamentals McGraw-Hill, 1975.
- [28] CSANADY, G.T., Turbulent Diffusion in The Environment, D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1973.
- [29] HINZE, J.O., Turbulence, An Introduction to Its Mechanism and Theory, McGraw-Hill Book Company, 1959.
- [30] BIBBERO, R.J. and YOUNG, I.G. Systems Approach to Air Pollution Control, John Wiley and Sons. Inc., 1974.
- [31] MORTON, B.R., TAYLOR G.I. ve TURNER, J.S., Turbulent Gravitational Convection From Maintained and Instantaneous Sources, Proc., R.Soc., 234A, London, 1956.
- [32] SLAWSON, P.R. ve CSANADY, G.T., On The Mean Path of Buoyant, Bent-Over Chimney Plumes, J. Fluid Mech. 28, 311, 1967.
- [33] BATCHELOR, G.K., An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge Univ. Press, London 1967.
- [34] CHANDRASEKHAR, S., Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, Oxford Uni.Press, London, 1961.
- [35] SPIEGEL, E.A., ve VERONIS, G., On the Boussinesq Approximation for a Compressible Fluid, Astrophys. J. 131, 440, 1960
- [36] CALDER, K.L., In Clarification of the Equations of Shallowlayer Thermal Convection for a Compressible Fluid Based on the Boussinesq Approximation, Q.J. Roy Meteorol. Soc., 94, 88, 1968.
- [37] BRIGGS, G.A., Plume Rise, AEC Crit. Rev. Ser., TID-25075, U.S. Atomic Energy Comm., Div., Inform. Oak Ridge, Tennessee, 1969.
- [38] CARPENTER, S.B., LEAVITT, J.M. THOMAS, F.W., FRIZZOLA, J.A., ve SMITH, M.E., J. Air Pollut. Contr. Ass. 18, 458, 1968. 1968.
- [39] THOMAS, F.W., CARPENTER, S.B., ve COLBAUGH, W.C., J. Air Pollut. Contr. Ass. 20, 170, 1970.
- [40] STROM, G.H., Transport and Diffusion of Stack Effluents, Air Pollution, V2, Academic Press, London, 1977.

- [41] BRINGFELT, B. , Plume Rise Measurement at Industrial Chimney
Atm.Env. 2, 575-598, 1968.
- [42] BRINGFELT, B., A Study of Buoyant Chimney Plumes In Neutral and
Stable Atmospheres, Atm.Environ. V3, 609-623,
1969.
- [43] FAY, J.A., ESCUDIER, M.P., ve HOULT.D.P., A Correlation of Field
Qbservations of Plume Rise, J.Air Poll.Cont.Ass.
20, 391-397.1969.
- [44] CARPENTER, S.B., Montgomery, T.L., LEAVITT, J.M., COLBAUGH, W.C.,
THOMAS, F.W., J. Air Pollut. Contr. Ass. 21, 491.
1971.
- [45] MONTGOMERY, T.L., CARPENTER, S.B., COLBAUGH, W.C. ve THOMAS,F.W.,
J.Air Pollut Contr. Ass. 22, 779, 1972.
- [46] HEWETT, T.A., FAY, J.A., ve HOULT, D.P., Laboratory Experiments
of Smokestack Plumes in a Stable Atmosphere, Atm.
Env., 5, 767-789, 1971.
- [47] DAVIDSON, W.F., Trans.Conf.Ind. Wastes, 14 th. Ann. Meeting, Ind.
Hyg. Foundation Am., 38, 1949.
- [48] Meteorology and Atomic Energy, U.S. Atomic Energy Commission Rept.
AECU-3066, 1955.
- [49] BOSANQUET, C.H., CAREY, W.F., ve HALTON, E.M., Proc.Inst. Mech.
Engrs. 162, 355,1950.
- [50] SUTTON, O.G., Micrometeorology, Mc Graw-Hill, New York 1953.
- [51] BRYANT, L.W., COWDRY, C.F., Proc Inst. Mech. Engrs., London 169,
371 1955.
- [52] PRIESTLEY, C.H.B., Quart. J.Roy. Meteorol. Soc 82, 165, 1956
- [53] HOLLAND, J.Z., A Meteorological Survey of the Oak Ridge Area, U.S.
Atomic Energy Rept. ORO-99, 1953.
- [54] THOMAS, F.W., J.Air Poll. Contr. Ass. 4,7, 1954.
- [55] MOSES, H., ve CARSON, S.E., J. Air Poll. Contr. Ass. 18, 454, 1968.
- [56] BRIGGS, S.A., Plume Rise, AEC Crit.Rev.Ser. TID-25075 U.S. At
Energy Comm., Div. Tech.Inform. Ext., Oak Ridge,
1969
- [57] Task Group for Second Edition,Recommended Guide for the Predictions
of the Dispersion of Airborne Effluents, Amer.Soc.
Mech.Eng. New York, 1968.
- [58] MONTGOMERY, T.L., NORRIS, W.B., THOMAS, F. W. and Carpenter, S.B.,
J.Air Pollut. Contr. Ass 23, 308, 1973.

- [59] LUCAS, D.H., MOORE D.J. and SPURR G., The Rise of Hot Plumes from Chimney, Air and Water Poll. Int.J. 7, 43, 1963.
- [60] SCORER, R.S., BARRET, C.F., Gaseous Pollution from Chimney, Air and Water Poll. Int.J. 6, 49, 1962.
- [61] RAUCH, H., Zur Schornsteinuberhohung, Beitr. Phys.Atmos. 37, 2, 1964
- [62] BRUMMAGE, K.G., The Calculation of Atmospheric Dispersion from at Stack, Stichting CONCAWE, The Hague, The Netherlands 1966.
- [63] LAMB, R.G., A Numerical Simulation of Dispersion from an Elevated Point Source in the Convective Planetary Boundary Layer, Atm.Env. 12, 1297-1304, 1978.
- [64] LAMB, R.G., The Effects of Release Height on Material Dispersion in the Convective P.B.L. In Fourth Symposium on Turbulance, Diffusion and Air Pollution, AMS. Reno, Newada 1979.
- [65] BRIGGS, G.A., Plume Rise Predictions., in Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses, Amer. Meteor. Soci., Boston, Massachusetts, 1975.
- [66] VENKATRAM, A., Estimating Convective Velocity Scale for Diffusion Applications, Boundary-Layer Met. 15, 447-452, 1978.
- [67] VENKATRAM, A., Dispersion from an Elevated Source in a Convective Boundary Layer, Atm. Env. 14, 1-10, 1980.
- [68] VENKATRAM, A., VET, R., Modeling of Dispersion from Tall Stacks Atm.Env. 15, 1531-1538, 1981.
- [69] WEIL, J.C., BROWER, R.P., An Updated Gaussian Plume Model for Tall Stacks, J. of Air Pollut. Contr. Ass. 34, 818-827, 1984.
- [70] Meteoroloji Bülteni, T.C. Gıda-Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1974.
- [71] CSANADY, G.T., Some Observations on Smoke Plumes, Int.J. Air Wat. Poll., 4.47-51, 1961.

- [72] MOSES, H. and STROM, G.H., A Comparison of Observed Plume Rises with Values Obtained from Well-Know Formulas, J. Air Poll.Control. Ass., 11, 455-466, 1961.
- [73] HALLIDAY, E.C., Measurements of the Rise of Hot Plumes, Atm.Env. 2,509-516, 1968.
- [74] LEAVITT, J.M., CARPENTER S.B. and THOMAS, F.W., An Interim Report on Full-Scale Study of Plume Rise at Large Electric Generating Stations, A.P.C.A. Meeting, Toronto, 1965.
- [75] HAMILTON, P.M., Plume Height Measurements at Northfleet and Tilbury Power Stations, Atm.Env., 1, 379-387, 1967.
- [76] MOORE, G.E., MILICH, L.B. and LIU, M.K., Plume Behaviors Observed Using Lidar and SF6 Tracer at a Flat and Hilly Site, Atm. Env., 22, 1673-1688, 1988
- [77] SANDRONI, S., BACCI, P. and ANFOSSI, D., Aircraft Observations of Plumes Emitted from Elevated Sources, Atm.Env., 15, 95-100, 1981.
- [78] NEMEC, L., An Experimental Contribution to the Method of Calculating the Ground Level Concentration of Gaseous Pollutants Emitted from High Stacks, Atm.Env. 3,-505-517, 1969.
- [79] BOND, R.G. and STRAUB, P.C., Handbook of Environmental Control Volume I. Air Pollution, CRC Press, 1972.
- [80] PORTER, R.A., A Guide for Air Pollution Engineers and Scientists, Meteorology Section, Texas Air Control Board, Second Edition, May 1976.
- [81] LUDWIG, F.L, SALVADOR, R. and BORNSTEIN, R., An Adaptive Volume Plume Model, Atm. Env.,23, 127-139, 1989.
- [82] DAVIDSON, G.A., Simultaneous Trajectory and Dilution Predictions From a Simple Integral Plume Model, Atm.Env., 23, 341-350, 1989.
- [83] HAMAN, K.E. and MALINOWSKI, S.P., Observations of Cooling Tower and Stack Plumes and Their Comparison with Plume Model "ALINA", Atm.Env., 23, 1223-1234, 1989.
- [84] HUBER, A.H., Performance of a Gaussian Model for Centerline Concentrations in the Wake of Bulding, Atm.Env., 22, 1039-1050, 1988.

- [85] ROBERTSON, E. and BARRY, P.J., The Validity of a Gaussian Plume Model When Applied to Elevated Releases at a Site on the Canadian Shield, *Atm.Env.*, 23, 351-363, 1989.
- [86] MOORE, G.E., MILICH, L.B. and LIU, M.K., Plume Behaviors Observed Using Lidar and SF₆ Tracer at a Flat and Hilly Site, *Atm.Env.*, 22, 1673-1688, 1988.
- [87] PETERSEN, R.L and DOWD, R.M., Proposed Pragmatic Methods for Estimating Plume Rise and Plume Penetration Through Atmospheric Layers, *Atm.Env.*, 22, 2061-2062, 1988.

Tablo A-1 Bolu Meteoroloji İstasyonu Kayıtlarına Göre Çalışma Periyodu İçinde Ortalamalı Meteorolojik Özellikler

METEOROLOJİK ELEMANLAR	A Y L A R				YILLIK
	I	II	III	IV	
Saat 7 ⁰⁰ de ort. rüz. hızı, m/s	1.0	1.1	0.8	0.9	0.7
Saat 14 ⁰⁰ de ort. rüz. hızı, m/s	1.9	2.4	1.9	1.9	3.0
Ort. rüzgar hızı, m/s	1.4	1.6	1.2	1.3	1.6
En hızlı rüzgar yönü ve hızı, m/s	S 20.0	S 19.8	W 18.6	NW 23.5	SW 28.5
N rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.3 - 39	1.9 - 33	1.5 - 37	1.4 - 51	1.7 - 434
NNE rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.1 - 5	1.5 - 12	1.1 - 20	1.4 - 12	1.5 - 175
NE rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.5 - 68	1.8 - 41	1.3 - 65	1.5 - 75	1.7 - 876
ENE rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.7 - 21	1.2 - 13	1.6 - 35	1.5 - 14	1.8 - 318
E rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.8 - 37	1.9 - 30	1.6 - 38	1.8 - 48	1.8 - 653
ESE rüz. ort. hızı ve esme sayısı	2.1 - 14	2.4 - 9	1.9 - 22	1.4 - 8	1.9 - 233
SE rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.6 - 93	1.6 - 79	1.6 - 83	1.9 - 89	1.7 - 968
SSE rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.6 - 30	2.2 - 23	2.1 - 43	1.9 - 33	1.8 - 357
S rüz. ort. hızı ve esme sayısı	2.7 - 120	2.5 - 94	2.4 - 131	2.4 - 131	2.4 - 1168
SSW rüz. ort. hızı ve esme sayısı	2.3 - 74	2.5 - 66	3.0 - 88	2.3 - 73	2.6 - 811
SW rüz. ort. hızı ve esme sayısı	2.4 - 214	3.0 - 220	2.4 - 193	2.3 - 247	2.8 - 2605
WSW rüz. ort. hızı ve esme sayısı	3.0 - 98	3.2 - 91	2.5 - 81	2.9 - 68	3.2 - 1098
W rüz. ort. hızı ve esme sayısı	3.0 - 217	2.9 - 208	2.6 - 161	2.5 - 174	3.1 - 2564
WNW rüz. ort. hızı ve esme sayısı	2.3 - 45	2.8 - 17	2.5 - 23	1.9 - 30	3.0 - 522
NW rüz. ort. hızı ve esme sayısı	2.1 - 65	2.3 - 84	2.0 - 64	2.0 - 70	2.7 - 847
NNW rüz. ort. hızı ve esme sayısı	1.3 - 13	1.9 - 23	1.4 - 27	1.7 - 17	2.1 - 224
Mahalli ort. aktüel basınç (m.b)	928,7	928,1	931,6	929,8	928,9
Saat 7 ⁰⁰ deki ort. sıcaklık (°C)	- 2.4	- 1.6	3.4	0.2	6.3
Saat 14 ⁰⁰ deki ort. sıcaklık (°C)	3.4	4.9	12.3	6.3	15.6
Ort. sıcaklık (°C)	0.1	1.4	7.2	2.8	10.2
Günlük en yük. sıcaklık farkı	25.9	26.4	26.2	24.5	29.2
Saat 7 ⁰⁰ deki ort. bulutluluk (0-10)	8.9	7.9	7.3	7.6	6.2
Saat 14 ⁰⁰ deki ort. bulutluluk (0-10)	7.4	7.4	6.4	7.3	6.1
Ort. bulutluluk (0-10)	7.3	7.2	6.2	7.0	5.6
Ort. kar yağışlı gün sayısı	8.1	7.7	0.9	3.5	25.9
Ort. karla örtülü gün sayısı	13.8	11.0	1.8	6.3	39.0

Tablo A -2 Baca Giriş ve Baca Çıkışında Atık Gaz Sıcaklıkları

2.12.1987			2.12.1987			4.12.1987		
Zaman	Baca Giriş	Baca Çıkış	Zaman	Baca Giriş	Baca Çıkış	Zaman	Baca Giriş	Baca Çıkış
13 ⁰⁵	335°C	310°C	15 ²⁵	287°C	275 °C	10 ¹⁸	285°C	272°C
13 ⁰⁷	301 "	285 "	15 ²⁷	288 "	275 "	10 ²⁰	274 "	262 "
13 ⁰⁹	271 "	260 "	15 ²⁹	290 "	275 "	10 ²²	272 "	260 "
13 ¹¹	278 "	267 "	15 ³¹	290 "	277 "	10 ²⁴	270 "	260 "
13 ¹³	280 "	270 "	15 ³³	289 "	275 "	10 ²⁶	268 "	255 "
13 ¹⁵	280 "	272 "	15 ³⁵	289 "	277 "	10 ²⁸	267 "	252 "
13 ¹⁷	280 "	270 "	15 ³⁷	290 "	280 "	10 ³⁰	265 "	255 "
13 ¹⁹	281 "	274 "	15 ³⁹	290 "	276 "	10 ³²	264 "	255 "
13 ²¹	281 "	272 "	15 ⁴¹	289 "	275 "	10 ³⁴	264 "	252 "
13 ²³	282 "	270 "	15 ⁴³	289 "	272 "	10 ³⁶	265 "	255 "
13 ²⁵	283 "	270 "	15 ⁴⁵	290 "	272 "	10 ³⁸	260 "	252 "
13 ²⁷	284 "	273 "	15 ⁴⁷	290 "	275 "	10 ⁴⁰	265 "	254 "
13 ²⁹	283 "	270 "	15 ⁴⁹	291 "	278 "	10 ⁴²	263 "	251 "
13 ³¹	284 "	271 "	15 ⁵¹	291 "	280 "	10 ⁴⁴	262 "	253 "
13 ³³	284 "	272 "	15 ⁵³	291 "	280 "	10 ⁴⁶	263 "	250 "
13 ³⁵	284 "	275 "	15 ⁵⁵	291 "	280 "	10 ⁴⁸	264 "	248 "
13 ³⁷	284 "	277 "	15 ⁵⁷	290 "	280 "	10 ⁵⁰	264 "	252 "
13 ³⁹	284 "	270 "	15 ⁵⁹	290 "	278 "	10 ⁵²	264 "	250 "
13 ⁴¹	284 "	274 "	16 ⁰¹	290 "	280 "	10 ⁵⁴	264 "	255 "
13 ⁴³	284 "	273 "	16 ⁰³	290 "	278 "	-	-	-

Tablo A-3 MRI istasyonu Kayıtlarına Göre Çalışma Periyodu İçindeki
Rüzgar Gücü Dataları

Yönler	Rüzgar Hızları, m/s				
	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1-8.0	8.1
N	3.55	0.33	-	0.23	-
NNE	0.33	-	-	-	-
NE	2.11	0.33	-	-	-
ENE	0.44	0.23	0.23	-	-
E	4.67	0.33	-	-	-
ESE	0.33	0.11	0.11	-	-
SE	3.44	-	-	-	-
SSE	-	0.11	0.11	-	-
S	2.44	0.56	-	-	-
SSW	0.56	1.88	0.78	-	-
SW	7.78	6.44	1.78	-	-
WSW	0.33	5.78	4.33	0.77	0.33
W	5.22	7.67	12.1	5.1	1.78
WNW	3.0	1.88	2.55	0.88	0.55
NW	5.0	1.22	1.22	0.23	-
NNW	0.2	-	-	-	-
Toplam, %	39.4	26.87	23.2	7.2	2.66

TABLO A-4 Bolu $w/u > 1,5$ Kategorisi $X - \Delta h \cdot u / F^{1/3}$ Dataları

Tarih	Saat	T_s	T_a	w_s	F	U_s	X	Δh	$\Delta h \cdot u / F^{1/3}$
1. 021287	0741-0753	257	0	7.0	16.2	1.5	92	35	20.7
2. 071287	0815-0850	278	- 1.0	7.3	17.8	1.0	156	78	29.9
3. 071287	1119-1155	272	0.5	7.2	17.2	1.0	182	110	42.6
4. 071287	1545-1620	265	1.0	7.1	16.7	1.3	181	71	36.1
5. 081287	0745-0812	275	1.5	7.2	17.3	1.9	71	26	19.1
6. 081287	1533-1600	286	-1	7.2	17.1	2.0	80	37	28.7
7. 091287	1315-1340	267	11.0	6.9	15.6	3.7	128	22	32.6
8. 091287	1540-1615	264	8.0	6.9	15.8	4.3	97	16	27.4
9. 101287	0745-0815	297	6.0	7.4	18.1	0.6	152	122	27.9
10. 111287	0720-0748	263	3.0	7.0	16.3	4.0	98	18	28.4
11. 111287	1345-1415	279	7.5	7.1	16.8	0.8	187	122	38.1
12. 141287	0815-0846	259	-5.0	7.2	17.1	0.7	96	95	25.8
13. 141287	1133-1218	266	3.0	7.0	16.5	1.4	176	62	34.1
14. 141287	1615-1639	294	3.0	7.4	18.3	1.6	143	66	40.1
15. 151287	1115-1142	287,5	7.5	7.2	17.3	3.5	88	21	28.4
16. 151287	1644-1712	280	7.0	7.1	16.9	2.5	76	26	25.3
17. 161287	1608-1617	270	10	7.0	16.1	1.9	39	37	27.8
18. 181287	0845-0906	237	2.5	6.7	14.8	1.6	70	51	33.2
19. 181287	1221-1242	277	4.0	7.2	17.1	4.6	145	17	30.4
20. 191287	0937-0949	237	3.5	6.7	14.7	2.0	172	31	25.3
21. 191287	1415-1439	265	7.5	6.9	15.9	2.0	113	47	37.4
22. 160189	0936-0944	263	-1.7	7.1	16.8	4.2	98	15	24.6
23. 160189	1538-1558	280	0.0	7.3	17.8	4.4	154	17	28.6
24. 170189	1650-1707	273	2.5	7.2	17.1	1.4	99	46	25.0
25. 180189	0807-0825	260.0	- 10.0	7.3	17.8	1.0	71	98	37.5
26. 180189	1140-1201	255	- 2.0	7.0	16.5	0.8	136	92	28.9
27. 190189	0725-0739	275	- 1.5	7.3	16.7	2.0	98	32	25.0
28. 200189	1700-1714	281	- 4.0	7.4	18.3	4.0	167	26	39.5
29. 210189	0830-0835	270	- 12.0	7.5	18.7	3.0	77	26	29.4

Tablo A-5 Bolu 1.0 <w/u <1.5 Kategorisi X- $\Delta h \cdot u / F^{1/3}$ Dataları

Tarih	Saat	T _s	T _A	w _s	F	u	X	Δh	$\Delta h \cdot u / F^{1/3}$
1. 031287	0731-0801	257	4	6.9	15.8	5.5	78	11.3	24.8
2. 041287	0810-0844	264	- 1	7.1	16.8	5.0	76	9.9	19.3
3. 051287	1306-1318	257	- 1.5	7.0	16.4	6.5	84	6.4	16.4
4. 091287	0926-1006	286	12	7.08	16.7	5.1	145	13.8	27.5
5. 101287	1400-1430	287	8	7.2	17.2	5.6	94	9.7	21.0
6. 111287	1550-1612	268	4	7.0	16.5	6.2	145	11.7	28.5
7. 121287	1245-1309	262	- 1.5	7.1	16.8	5.6	126	12.3	26.9
8. 121287	1518-1542	243	- 1.5	0.85	15.6	5.1	119	12.0	24.5
9. 161287	0838-0847	264	9.5	6.9	15.7	6.4	54	5.0	12.8
10. 181287	1609-1629	270	10	6.9	17.3	5.6	109	12.5	27.1
11. 170189	0729-0751	273	3	7.1	17.1	4.8	107	15	27.9
12. 170189	1316-1345	284	4	7.3	17.5	6.2	76	9	21.5
13. 180189	1543-1601	254	2.5	6.9	15.8	6.7	159	11.9	30.7
14. 200189	1125-1139	300	5.0	7.4	18.4	5.3	119	14	28.1

Tablo A-6. Bolu $w/u < 1.0$ Kategorisi $X - \Delta h \cdot u / F^{1/3}$ Dataları

Tarih	Saat	T _s	T _A	w	F	u	X	Δh	$\Delta h \cdot u / F^{1/3}$
1. 031287	1330-1402	252	1.5	6.9	15.8	7.8	92	3.5	10.9
2. 031287	1615-1640	269	0	7.2	17.2	8.3	71	3.0	9.6
3. 041287	1300-1321	280	0	7.3	17.8	8.5	85	4.0	13.0
4. 041287	1520-1548	249	0	6.9	15.8	7.8	92	3.5	10.9
5. 051287	0800-0824	276	7.5	7.3	17.7	7.5	73	3.5	10.0
6. 101287	1635-1700	286	5.0	7.3	17.5	7.4	68	6.3	18.0
7. 121287	0810-0840	277	0	7.3	17.6	7.5	57	5.0	14.4
8. 161387	0817-0835	264	9.0	6.9	15.7	8.7	65	2.5	8.7
9. 171287	0832-0912	277	3.0	7.2	17.2	7.6	68	4.5	13.2
10. 171287	1351-1422	275	3.5	7.2	17.2	7.8	75	3.0	9.1
11. 140189	1427-1445	280	2.0	7.3	17.6	8.0	118	14.5	44.6
12. 170189	1503-1523	277	3.5	7.2	17.1	7.4	95	5.0	14.4
13. 190189	1454-1516	280	2.0	7.3	17.6	7.5	83	7.5	21.6
14. 190189	1600-1629	279	1.0	7.2	17.7	8.0	83	5.0	15.3
15. 200189	0825-0845	264	-2.5	7.2	17.2	7.4	79	6.0	17.2

Tablo A-7 Bolu Mesafelere Göre Hüzme Yükselmesi Dataları

a. $w/u > 1.5$ Kategorisi					
X=50m		X=150		X=300	
1.686	24	1.69	40.6	1.686	60
2.58	74.7	2.58	105	2.58	136
2.61	51.3	1.29	45	2.61	143
1.966	42.7	1.26	59	1.966	87
1.361	22.4	1.22	45	1.288	70.5
1.288	23.5	0.61	20	0.675	49.3
0.675	12.2	0.593	19	0.583	33.7
0.583	11.3	1.84	60	4.376	215
4.376	71	0.66	33	0.634	37
0.634	10	0.885	41	3.2	18.7
3.2	59.7	1.328	115	3.68	168
3.68	69.5	1.52	56	1.82	117
1.83	31.3	2.61	75	1.647	103
1.647	32	0.786	64	0.739	45
0.739	17.3	0.136	42	1.026	61
1.026	21.2	1.29	45	1.329	129
1.329	36.5	0.67	29	1.534	115.6
1.534	51	0.58	22	0.56	32
0.56	11.2	4.38	140	1.257	97
1.257	21.7			1.225	93
1.225	15.5			0.592	33
0.609	8			1.84	111
0.592	9.6			2.61	189
1.84	26.5			3.182	207
2.61	63			1.278	58
3.182	60			0.659	50
1.28	18.7			0.885	71.8
0.659	11.8				
0.885	19.6				
b. $1.0 < w/u < 1.5$ Kategorisi					
X=50m		X=150m		X=300m	
0.456	7	0.456	17.6	0.456	32.6
0.512	7	0.512	15	0.512	34
0.391	4.5	0.46	16.4	0.391	31.5
0.5	6.9	0.39	13	0.5	25
0.461	8.2	0.54	19	0.461	28.3
0.411	6.4	0.38	13	0.411	20.3
0.457	8.3			0.457	23.4
0.49	10.8			0.49	28.3
0.39	5.5			0.39	23.3
0.462	8.2			0.462	34
0.532	9.9			0.532	41.4
0.419	8.1			0.419	27.3
0.375	6.2			0.375	20.4
0.498	11			0.498	34.4

Tablo A-7'nin Devamı

c. w/u 1.0<Kategorisi					
X=50m		X=150m		X=300m	
0.32	3.4	0.32	6.3	0.32	18.3
0.311	4.1	0.31	7.5	0.311	14
0.307	3.4	0.31	7.5	0.307	22.3
0.32	4.1	0.35	7.3	0.32	17.3
0.371	5.2	0.37	10.2	0.371	19
0.372	4.5	0.34	7	0.372	14.5
0.368	4.7	0.37	8.2	0.369	14.5
0.369	5			0.369	17

Tablo A-8 Kararlı Atmosferik Yapıdaki Bolu Dataları

u(m/s)	S(s ⁻²)	Δh_{Bolu}	Δh_{Briggs}
1.2	6.9×10^{-4}	85	65
1.8	1.2×10^{-3}	45	45
1.0	7.2×10^{-4}	111	69
1.0	7.0×10^{-4}	60	66
0.3	7.0×10^{-4}	181	150
2.0	7.0×10^{-4}	34	53
0.3	7.0×10^{-4}	124	103
0.7	7.0×10^{-4}	69	79
0.3	7.0×10^{-4}	194	150

Tablo A-9 Bringfelt Dataları

T _s C	T _A C	r _s m	V 10 ³ Nm ³ /sa.	w m/s.	u m/s.	F 4 m/s ³	Δh, m			
							X=150	X=300	X=500	X=750
1.	130		152	6.1	8.0	66	16	31	56	50
2.	110	3.6	65	2.5	6.0	23.5	-	14	20	24
3.	200	4.0	133	5.1	5.0	90.5	23	37	56	69
4	136	3.6	167	6.8	6.0	84	23	41	62	80
5.	130	3.6	76	3.1	3.4	32.5	42	73	104	110
6.	300	2.0	37	6.9	3.0	37	80	148	200	281
7.	37	4.5	400	7.9	12.6	55	8	10	15	22
8.	100	2.2	166	17.0	10.7	60	20	32	33	-
9.	33	4.5	391	7.7	10.7	52	6	13	11	12
10.	103	2.2	167	17.0	8.4	62	23	42	42	-
11.	27	4.5	415	8.0	6.0	52.5	20	28	21	18.5
12.	104	2.2	157	16.0	3.6	61.5	32	51	61	-
13.	155	1.7	63	12.0	4.3	31	22	36	56	40
14.	25	4.0	265	6.4	4.2	16.3	25	31	-	-
15.	440	2.2	49	9.4	6.3	71	40	55	66	98
16.	200	2.0	110	17.0	4.7	67	36	51	113	-
17.	45	4.5	305	6.2	7.6	26	13	25	45	-
18.	90	2.2	156	15.0	6.6	37	21	-	-	-
19.	50	2.5	100	6.7	6.9	10	15	15	6	15
20.	60	4.5	289	6.2	3.3	42.5	55	65	64	-
21.	90	2.2	138	13.0	2.7	32	55	-	-	-
22.	40	2.5	47	3.0	2.9	3.6	20	26	-	-
23.	61	4.5	307	6.6	5.5	49	28	48	62	57
24.	45	2.5	79	5.2	4.7	8	22	33	-	-
25.	760	3.5	185	20.0	7.5	470	39	56	-	-

Tablo A-9'un Devamı

T _s C	T _A C	r _s m	V 10 ³ Nm ³ /sa.	w m/s	u m/s	F $\frac{4}{m}/s$	$\Delta h, m$			
							X=150	X=300	X=500	X=750
26.	36	3.2	290	11.0	8.7	28	11	12	18	29
27.	57	1.8	72	9.5	8.7	12	5	8	8	52
28.	145	3.0	167	10.0	4.2	76	60	84	87	89
29.	36	3.2	290	11.0	5.3	30	33	44	67	75
30.	145	3.0	165	9.9	6.3	76	34	53	65	-
31.	176	2.5	79	7.4	6.2	44	20	37	-	28
32.	36	3.2	290	11.0	6.0	31	14	14	28	-
33.	57	1.8	72	9.5	6.0	13	6	-	-	-
34.	25	4.0	180	4.3	6.2	13	7	-	-	62
35.	190	0.5	27	65.0	2.0	16	31	47	57	127
36.	175	2.3	67	7.7	4.3	38	43	64	92	57
37.	132	3.0	59	3.4	4.0	25	36	50	54	-
38.	18	8.5	2000	10.0	4.5	98	33	-	-	-
39.	8	10.5	2000	6.6	4.5	32.5	7	6	19	-
40.	29	3.0	500	22.0	4.0	42.5	23	36	-	-
41.	142	2.3	95	10.0	7.0	45	23	46	67	87
42.	140	2.9	60	3.8	6.4	28	6	10	-	-
43.	280	5.0	829	24.0	5.4	778	57	69	93	110
44.	154	3.0	55	3.4	7.9	28	19	17	13	63
45.	7	10.5	2000	6.6	5.8	39	7	-	-	-
46.	125	2.0	36	4.6	6.1	14.5	26	35	34	27
47.	15	10.5	2000	6.8	1.5	32.3	58	80	58	42
48.	125	3.0	33	1.9	1.4	12.7	79	107	111	112
49.	180	0.5	24	56.0	5.4	12.7	-8	-	-	-
50.	33	1.7	60	8.2	8.7	3.6	-5	-3	-1	-
51.	205	1.6	23	5.6	8.3	14.5	2	8	-	-
52.	44	4.5	478	9.7	12.8	70	-2	4	6	16

Tablo A-9'un Devamı

T _s °C	T _A °C	r _s m	V 10 ³ Nm ³ /sa.	w m/s	u m/s	F $\frac{4}{m} \cdot s^3$	$\Delta h, m$			
							X=150	X=300	X=500	X=750
53.	115									
54.	480	2.2	155	16.0	11.2	60	13	24	17	-
55.	60	1.6	45	17.0	11.0	71.5	11	15	26	24
56.	105	4.5	488	10.0	9.8	97	8	14	19	12
57.	300	2.2	150	15.0	8.8	53.5	13	21	28	-
58.	60	1.6	30	8.7	8.9	30	11	20	19	27
59.	105	4.5	430	9.2	11.6	80	7	10	19	22
60.	43	2.2	150	15.0	9.1	52	16	24	-	-
61.	760	2.5	109	7.2	10.8	13.6	2	5	6	-
		3.5	140	15.0	6.0	371	47	78	103	127

ÖZGEÇMİŞ

Kadir ALP 1955 yılında Kahramanmaraş'ta doğmuştur. İlk, orta ve lise tahsilini aynı ilde bitirerek bir yıl İstanbul Eğitim Enstitüsü' bir yıl da Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde okuduktan sonra girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Fakültesi'nden 1980 yılında Kimya mühendisi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ İnşaat Fakülte-Çevre Mühendisliği Bölümü'ne Teknisyen Mühendis görevi ile girmiştir. 1983 yılında Master eğitimini tamamlayarak Yüksek Mühendis ünvanını almış ve 1984 yılında Doktora eğitimine başlamıştır. Çevre Mühendisliği Bölümü'nde görevini halen sürdürmekte olup evli ve bir çocuk babasıdır.