

Eskişehir'deki Sanayi Kaynaklı NO₂ ve CO Emisyonları ve Modelleme

Serdar Arar

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2007

Industrial NO₂ and CO Emissions In Eskişehir and Modelling

Serdar Arar

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mechanical Engineering

August 2007

Eskişehir'deki Sanayi Kaynaklı NO₂ ve CO Emisyonları ve Modelleme

Serdar Arar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof.Dr. Kemal TANER

Ağustos 2007

Serdar Arar' in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Eskişehir'deki Sanayi Kaynaklı NO₂ ve CO Emisyonları ve Modelleme" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof.Dr. Kemal TANER

Üye : Doç.Dr. Haydar ARAS

Üye : Doç.Dr. Neşe ÖZTÜRK

Üye : Yrd.Doç.Dr. İrfan ÜREYEN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Abdullah KEÇECİLER

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada Eskişehir'deki hava kirliliğine sanayinin etkisi incelenmiştir.

Uygun modelleme yönteminin bulunması için çeşitli Euler, Lagrange ve Gauss dispersiyon modelleri verilerek sürekli rejim Gauss modeli olan ISC3-ST (Industrial Source Complex-Short Term) modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Modelde, nokta kaynağından yayılan emisyon, Gauss duman denklemi kullanılarak modellenmiştir. Bu denklem emisyon debisi, duman yüksekliği, yaş ve kuru çökme terimi, yatay ve dikey dispersiyon katsayıları, bozunma terimi, dikey terim ve karışım yüksekliğini içerir. Bu modelde bacadan çıkan emisyon bir duman olarak kabul edilmiş ve dumanın etkin rüzgar yönünde merkez çizgisi boyunca yayıldığı kabul edilmiştir.

İl Çevre-Orman Müdürlüğü'ndeki Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan sanayi kuruluşlarının ait Temmuz 1999-Mayıs 2007 yıllarına ait emisyon ölçümleri incelenerek kuruluşlardaki her bir baca için CO ve NO₂ debileriyle birlikte baca çapı, baca gazı çıkış hızı, baca yüksekliği ve baca gazı sıcaklık değerleri alınmıştır. Ayrıca model için gerekli olan atmosfer sıcaklığı ve basıncı, ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü değerleri aylık ortalamalar olarak İl Meteoroloji Müdürlüğü'nden sağlanmıştır.

Bu çalışmada, tüm aylar için modelleme yapılmamış, en yüksek yer seviyesi kirlenici konsantrasyonlarının olduğu kasım ayı için modellemeler yapılmıştır. Burada tüm bacalardan elde edilen kirlenici konsantrasyon değerleri rüzgar yönüne dik bir hat üzerinde şehrin Organize Sanayi Bölgesi'ne en yakın noktaları için bulunmuş ve bu değerler CO ve NO₂ konsantrasyonları için birer çizelge ile gösterilmiştir.

Sonuç olarak, Eskişehir'de sanayi kaynaklı hava kirliliğinin şehre olan etkisi incelenmiş ve Eskişehir için çözüm önerileri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: NO₂ Emisyonları, CO Emisyonları ve Gauss Duman Dispersiyonu

SUMMARY

In this study, the air pollution in Eskisehir caused by the industry has been evaluated .

In order to find the proper modeling method, various Euler, Lagrange and Gauss dispersion models were used and steady state Gauss model ISC3-ST (Industrial Source Complex-Short Term) was decided to be applied. In this model, the emission spreading out of the point source was modeled by using the Gauss plume equation. This equation contains emission flow, plume height, wet and dry deposition term, horizontal and vertical dispersion coefficient, decay term, vertical term and mixing height. During this modeling, emission that's coming out of the stack was considered as plume and this plume was assumed that it was spreaded out through the active wind direction.

The emission measurements that was taken from companies that are located in the Organized Industry Zone have been evaluated and CO, NO₂ flows as well as stack diameter, exit velocity of the stack gas, stack height and temperature of the stack gas were taken. Also, atmospheric temperature and pressure, average wind velocity and direction measures were obtained from the Meteorology Department of City of Eskisehir as monthly averages.

During this study, the situation has not been modeled within all months but just in November when the highest degree of ground level concentration was generated. In that modeling, the values of the concentration that were coming out of the stacks have been measured on a line was vertical to the wind direction and this was at the closest locations to the industrial area; then these values have been put on a scale as CO and NO₂ concentrations.

As a summary, the air pollution in Eskisehir caused by the industry has been evaluated and corrective actions have been advised accordingly.

Keywords: NO₂ Emission, CO Emission and Gaussian Plume Dispersion

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana büyük destek veren danışmanım ve tez hocam olan sayın Kemal TANER'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca tezimde kullandığım verileri bana sağlayan Eskişehir İli Çevre-Orman Müdürü Mehmet KARAKAYA'ya, Meteoroloji Müdürlüğü çalışanlarına, tezimin yazımında bana yardımlarından dolayı Sezcan YILMAZ'a, tezimin oluşumunda fikirleriyle bana destek olan hocalarım Neşe ÖZTÜRK ve Haydar ARAS'a, manevi desteğinden dolayı anneme teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1.Enerji Kaynakları	1
1.1.1.Kömür	2
1.1.2.Asfaltit ve ham petrol.....	3
1.1.3.Doğalgaz	4
1.1.4.Bitümlü şist	4
1.2.Hava Kirleticileri.....	4
1.2.1. Hava kirleticilerinin çeşitleri.....	5
1.2.2. Hava kirleticilerinin kaynakları.....	6
1.2.3. Hava kirleticilerinin etkileri	6
2. ATMOSFERİK DİSPERSİYON YÖNTEMLERİ	9
2.1. Kutu Modelleri	9
2.1.1. Tek kutu modeli	9
2.1.2. Dizi modeli.....	10
2.1.3. Çoklu kutu modeli.....	11
2.2. Diğer Euler Modelleri	12
2.2.1. İkinci derece kapalılık modeli.....	12
2.2.2. Büyük Eddy Simülasyon Modelleri	12
2.3. Gauss Modelleri	13
2.3.1. Gauss yaklaşımı	13
2.3.2. σ_y ve σ_z hesabı.....	15
2.3.3. Gauss modeli için S_y ve S_z boyutsuz fonksiyonları	15
2.3.4. Yarı ampirik σ hesaplamaları	17

İÇİNDEKİLER(devam)

	Sayfa
2.3.5. Yansıtma terimleri.....	21
2.3.6. Çökme / bozulma terimleri.....	23
2.3.7. Kuru çökme.....	25
2.3.8. Yaş çökme.....	26
2.3.9. Kimyasal dönüşüm.....	26
2.3.10. Özel durumlar.....	27
2.4. İklimsel Modeller.....	30
2.5. Bölümlü Duman Modeli.....	32
2.6. Küme (Puff) Modelleri.....	32
2.6.1. Bölümlü – küme karışım metodolojisi.....	35
2.6.2. Duman elemanlarının üretilmesi.....	37
2.6.3. Transport (taşınım).....	38
2.6.4. Difüzyon.....	38
2.6.5. Kuru ve yaş çökme.....	39
2.6.6. Kimyasal çökme.....	40
2.6.7. Konsantrasyon hesabı.....	41
2.6.8. Küme dağılımı.....	41
2.6.9. Segman (segment) dağılımı.....	41
2.6.10. Elemanların bölünmesi.....	42
2.7. Gauss Denklemlerinin Türevleri.....	43
2.7.1. Yari ampirik türevler.....	43
2.7.2. Gauss kümelerinin süperpozisyonu.....	43
2.8. Langrange Dispersiyon Modelleri.....	44
2.8.1. Lagrange yaklaşımı.....	44
2.8.2. Lagrange kutu modelleri.....	47
2.8.3. Partikül modeller.....	48
2.8.4. Partikül modellerinin atmosferik difüzyon simülasyonu.....	51
2.8.5. u' için saptanabilir çözüm.....	52
2.8.6. u' için istatistiksel çözüm.....	52

İÇİNDEKİLER(devam)

	Sayfa
2.8.7. Düzensiz şartlar	53
2.8.8. Düzenli şartlar	55
2.8.9. Nötral şartlar.....	57
2.8.10. MONTE-CARLO partikül modeliyle konvektif şartların simülasyonu.....	57
2.8.11. Partikül maddeleri kullanarak konsantrasyon hesaplamaları	60
2.8.12. Kimya ve çökme	61
2.9. Diğer Modelleme Yöntemleri	62
2.9.1. K-Teori modeli.....	62
2.9.2. Dalgalı duman dispersiyon modeli.....	66
2.9.3. SCREEN modeli	70
2.9.4. TAPM(Hava kirliliği modeli)	72
2.9.5.CALPUFF modelleme sistemi	77
2.9.6. CALGRID	78
2.9.7. AERMOD	79
2.9.8. CAPAS	96
2.9.9. DISTDECAY modeli	107
2.9.10. HPDM(Hyrid Plume Dispersion Model)	109
2.9.11. PCCOSYMA.....	109
2.9.12. HYSPLIT	109
2.9.13. Kutu modelleri	109
2.9.14. AEROPOL	109
2.9.15. ADMS	110
2.9.16. SPRAY	110
2.9.17. FARM	110
3. ENDÜSTRİYEL KAYNAK KOMPLEKS(ISC) MODELİ.....	111
3.1. ISC Kısa Süreli Dispersiyon Modeli.....	112
3.1.1. Nokta kaynağı emisyonları için Gauss denklemi.....	113
3.1.2. Aerodinamik izler.....	115

İÇİNDEKİLER(devam)

	Sayfa
3.1.3. Huber ve Snder bina çökme işlemleri	116
3.1.4. İz etkilerini belirlemek için duman yüksekliğinin belirlenmesi.....	119
3.1.5. Schulman-Scire bina alçalma işlemi	121
3.1.6. Etkileri.....	122
3.1.7. Kuru ve yaş çökme.....	124
3.2. Nokta Olmayan Kaynaklar.....	126
3.3. ISC uzun süreli dispersiyon modeli	127
3.3.1. Nokta kaynak emisyonları-Gauss sektör ortalama denklemi.....	127
3.3.2. Dispersiyon parametreleri	129
3.3.3. Dispersiyon üzerine bina iz etkisinin hesabında kullanılan işlemler	129
3.3.4. Düzeltme faktörü.....	129
3.3.5. Nokta olamayn kaynak emisyonları- uzun süreli hacim kaynak modeli	130
3.3.6. Nokta olmayan kaynak emisyonları- uzun süreli alan kaynak modeli	130
4. TEORİ.....	132
4.1. Atmosferik Türbülans	132
4.2. Adyabatik Düşme Oranı ve Potansiyel Sıcaklık	132
4.3. Richardson Sayısı ve Kararlılık	134
4.4. Rüzgar Profili için Güç Kanunu.....	135
4.5. L Monin-Obukhov Uzunluğunun Hesabı.....	136
4.6. Ortalama Maksimum Karışım Derinliği	137
4.7. Rüzgar Hızı Profili	137
4.8. Nokta Kaynağı Disperiyon Parametreleri	139
4.9. Pasquill-Gifford Dispersiyon Parametrelerinin Ortalama Zamanı (Süresi).....	145
4.10. Dispersiyon Modelleri.....	145
4.10.1. Kutu ve hücre modeli	145
4.10.2. Dumanın fiziksel resmi	147
4.10.3. Türbülans difüzyon işlemi için istatistiksel yaklaşım.....	147
4.10.4. Temel teorem	150

İÇİNDEKİLER(devam)

	Sayfa
4.10.5. Rastlantı işlemleriyle ilgili bazı tanımlamalar	151
4.10.6. Taylor teoremi	153
4.10.7. Bir difüzyon bulutu yayılımının ölçülmesi	154
4.10.8. Taylor teoreminin sonuçları	155
4.10.9. Lagrange otokorelasyon fonksiyonun şekli	158
4.10.10. Partikül yerdeğişimi olasılık dağılımının şekli	159
4.11. Gauss Dispersiyon Modeli	160
4.11.1. Sürekli bir kaynağın ortalama konsantrasyon alanı	160
4.11.2. Dünya sınır problemleri	161
4.11.3. Temel Denklem 4.59 için özel durumlar	162
4.12. Duman Yükselmesi	162
4.12.1. Yoğunluk farkının atmosferik difüzyona etkisi	163
4.12.2. Giriş yada jet fazı	164
4.12.3. Termal faz	164
4.12.4. Parçalanma fazı	165
4.12.5. Dağılma fazı	165
4.12.6. Duman yükselmesine etkileyen değişkenler	165
4.12.7. Nötral bir atmosferde çizgisel ısı modeli	166
4.12.8. Yükselme (yüzme) akısı parametresi	168
4.12.9. Nötral atmosferde benzer bir teori ve yükselen (yüzen) dumanın yükselmesi	172
4.12.10. Alan verileriyle Birggs duman yükselmesinin doğrulanması	174
4.12.11. Holland duman yükselme formülü	180
4.12.12. Düzeltmiş Briggs duman yükselme denklemleri	181
4.12.13. Final yükselmesine kadar olan mesafeler	184
4.12.14. Yükselme (yüzme) içeren dispersiyon	186
4.13. Ortalama Zaman ve Alıcı Etkisi	187
4.13.1. Kısa süre zaman ortalamalı düzeltmeler	187
4.13.2. Uzun süre ortalamalı düzeltmeler	187

İÇİNDEKİLER(devam)

	Sayfa
4.13.3. Rüzgar yönü ve çapraz (yan) rüzgar yönü mesafeleri.....	190
4.14. ISCPC Kullanım Klavuzu	191
4.14.1. Komut butonları	191
4.14.2. Programın mantığı.....	192
5. SONUÇ.....	195
5.1.Yanma Reaksiyonları	195
5.2.Kirletici Emisyonlarının Azaltılması ile İlgili Yöntemler	197
5.2.1.Yanmanın iyileştirilmesi	197
5.2.2.Uygun yakıt seçimi	198
5.2.3.Baca gazı arıtması	198
5.2.4.Enerji tasarruf.....	199
5.2.5.Alternatif enerji kanakları	200
5.3.Eskişehir'deki Sanayi Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği.....	201
5.4.Yorum	202
6. KAYNAKLAR DİZİNİ	204
ÖZGEÇMİŞ.....	214
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının kalan ömürleri (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu).....	2
Şekil 1.2. Türkiye'nin toplam birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu)	2
Şekil 1.3. Hava Kirliliğine Sebep Olan Gazlar (Gürbüz, 2001).....	8
Şekil 1.4. Sera Gazı Emisyonları (kt CO ₂ /TWh)(Gürbüz, 2001).....	8
Şekil 2.1. Tek Kutu Modeli (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan vd, 1993, Müezzinoğlu, 2000).....	9
Şekil 2.2. Rüzgar Doğrultusundaki Koordinat Sistemine Sahip Gauss Dumanı (Zannetti, 1990)	13
Şekil 2.3. Hayali metatla simüle edilmiş yer yansımalarına örnek (Zannetti, 1990).....	21
Şekil 2.4. Çizgi, alan ve hacim kaynaklarının simülasyonda gerçek kaynak yaklaşımı (Zannetti, 1990).....	24
Şekil 2.5. Kübik bir binanın çevresindeki ortalama akış (Zannetti, 1990)	25
Şekil 2.6. Çöken partiküllerin iniş duman hareketine ait şematik gösterimi (Zannetti, 1990)	26
Şekil 2.7. Bölümlü duman modeliyle üretilmiş r alıcısındaki konsantrasyon hesabı (Zannetti, 1990).....	33
Şekil 2.8. t zamanında S kaynağının eleman zinciri (Zannetti, 1990)	37
Şekil 2.9. Bir duman(üstteki) ve bir segmentin(alttaki) bölünmesi işlemi (Zannetti, 1990)	45
Şekil 2.10. Tek Lagrange Kutu Dinamikleri (Zannetti, 1990).....	50
Şekil 2.11. Dikey Lagrange Kutu Dinamikleri (Zannetti, 1990)	50
Şekil 2.12. Çökme mesafesinin bir fonksiyonu olan konsantrasyon değerleri (Zannetti, 1990)	56
Şekil 2.13. Gauss duman modelindeki yayılma disklerinin alansal görünüşü(a); dalgalı duman modelinin yayılma disklerinin alansal görünüşü(b); dalgalı duman modelindeki çaprak rüzgar mesafelerinin standart sapmaları(c)(Mussio, et al.,2001).	67

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil	Sayfa
Şekil 2.14. SCREEN ve ISC tahminlerinin ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması (Mehdizadeh, et al., 2004).....	72
Şekil 2.15. AERMOD'un iki durum yaklaşımı (Cimoreelli, et al., 2004)	85
Şekil 2.16. Yanal yayılma(saçılma) (Cimoreelli, et al., 2004).....	89
Şekil 2.17. CBL'deki AERMOD'un üç duman davranış (Cimoreelli, et al., 2004)	90
Şekil 2.18. CAPAS'taki hücreler ve alt hücreler (Olcese, et al., 2005).....	97
Şekil 2.19. Üç boyutlu etkilenme profili(Scott, et al., 2003)	108
Şekil 3.1. İz etkilerinin sınırları (Shnelle, et al., 2000).....	116
Şekil 4.1. Rüzgar hızı profili (Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)	138
Şekil 4.2. Pasquill-Gifford dispersiyon parametreleri (Schnelle, et al., 2000)	140
Şekil 4.3. Açık Arazi için Briggs nterpolasyon formülünden türetilmiş dispersiyon parametreleri (Schnelle, et al., 2000)	142
Şekil 4.4. Kentsel bölgeler için dispersiyon parametreleri (Schnelle, et al., 2000)	142
Şekil 4.5. Normalleştirilmiş bir Gauss fonksiyonunun karakteristikleri (Schnelle, et al., 2000)	148
Şekil 4.6. Alıcı-kaynak uyumunu (Schnelle, et al., 2000)	149
Şekil 4.7. Zamana göre ortalaması alınmış anlık durumu (Okutan ve diğerleri, 1993) 149	149
Şekil 4.9. Giriş fazının grafik gösterimi (Schnelle, 2000)	164
Şekil 4.10. Duman yükselmesinin grafik gösterimi (Schnelle, 2000).....	165
Şekil 4.11. Alıcı-kaynak mesafesi parametreleri (Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000)	191
Şekil 5.1. Enerji Tasarruf İmkanları (Gürbüz, 2001).....	200
Şekil 5.2. Türkiye'deki Emisyonların Sektörel Dağılımı (Gürbüz, 2001).....	200
Şekil 5.3. Eskişehir OSB'deki Kuruluşlarının Şehir Girişindeki CO Konsantraasyonları($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	204
Şekil 5.4. Eskişehir OSB'deki Kuruluşlarının Şehir Girişindeki NO ₂ Konsantrasyonları($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	205

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Türkiye’deki nüfus, ekonomi, enerji ilişkisi(Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu).....	1
Çizelge 1.2. Birincil Enerji Tüketimi ve Kaynakların Oranları(Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Atlası)	3
Çizelge 1.3. Havanın Bileşimi(Arar, S., 2001)	5
Çizelge 2.1. Atmosferik Kararlılık Sınıfları(Zannetti, 1990).....	18
Çizelge 2.2. Atmosferik Kararlılık Sınıfları(Zannetti, 1990).....	18
Çizelge 2.3. Pasquill Gece Kararlılık Kategorileri(Zannetti, 1990).....	19
Çizelge 2.4. Denklem 2.24 ve 2.25’teki Sabitlerin Değerleri(Zannetti, 1990)	19
Çizelge 2.5. Denklem 2.26’daki a ve b Katsayıları(Zannetti, 1990).....	19
Çizelge 2.6. Gustiness ve Pasquill Sınıflarının Karşılaştırılması(Zannetti, 1990).....	20
Çizelge 2.7. (a) şehir (b) kırsal için Briggs Sigma Fonksiyonları(Zannetti, 1990).....	20
Çizelge 4.1 Richardson Sayısı ve Kararlılık(Schnelle, 2000).....	135
Çizelge 4.2. Pasquill-Gifford Kararlılık Sınıfları (A-çok kararsız; B-orta kararsız; C-az kararsız; D-nötral; E-az kararlı; F-orta kararlı) (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993).....	135
Çizelge 4.3.Hız Profil Denklemindeki p Güç Değerleri(Schnelle, 2000).....	136
Çizelge 4.4. Maksimum Karışım Derinliği Değerleri (www.ajdesigner.com, www.csiro.au)	138
Çizelge 4.5. Açık Alan Şartları için Briggs Formülleri($10^2 < x < 10^4$ m) (Schnelle, et al., 2000)	143
Çizelge 4.6. Kırsal şartlarda Pasquill-Gifford σ_y hesabında kullanılan TH denklemleri (Schnelle, et al., 2000).....	143
Çizelge 4.7. Kırsal şartları için Briggs Formülleri($10^2 < x < 10^4$ m) (Schnelle, et al., 2000)	143
Çizelge 4.8. Kırsal şartlar için Pasquill-Gifford σ_z hesabında kullanılan parametreler (Schnelle, et al., 2000).....	144
Çizelge 4.9. Bir baca gazının ortalama molar özgül ısısı(Schnelle, 2000)	171

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.10. Holland duman yüksekliği için düzeltme faktörleri(Schnelle, et al., 2000)	181
Çizelge 4.11. Zamana göre konsantrasyon oranı. (Schnelle, et al., 2000)	188
Çizelge 4.12. Aylara göre rüzgar hızı değerleri(Meteoroloji Müdürlüğü Eskişehir İli Yıllık İstatistikleri)	194
Çizelge 4.13. Aylara göre rüzgarın esme yönleri(Meteoroloji Müdürlüğü Eskişehir İli Yıllık İstatistikleri)	194
Çizelge 5.1. Yakıtların bileşimleri(www.igdas.com.tr)	197
Çizelge 5.2. Hava fazlalık katsayısı(www.eie.gov.tr).....	198
Çizelge 5.3. Türkiye'deki alternatif enerji miktarları(Atılğan, 2000).....	201
Çizelge 5.4. Eskişehir O.S.B.'deki Kuruluşların Yıllara Göre Dağılımı (www.eosb.gov.tr).....	201
Çizelge 5.5. Eskişehir O.S.B.'deki Kuruluşların Yıllara Göre Enerji Dağılımları (1KVA=1kW) (www.eosb.gov.tr)	202

BÖLÜM 1

GİRİŞ

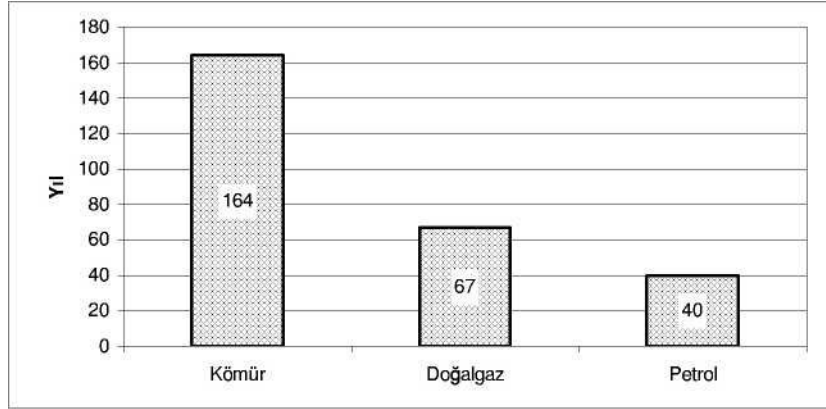
1.1.Enerji Kaynakları

İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Ancak enerji; yaşantımızdaki vazgeçilmez yararlarının yanı sıra üretim, çevrim, taşınım ve tüketim esnasında büyük oranda çevre kirlenmesine de yol açmaktadır. (Durmaz vd., 1987)

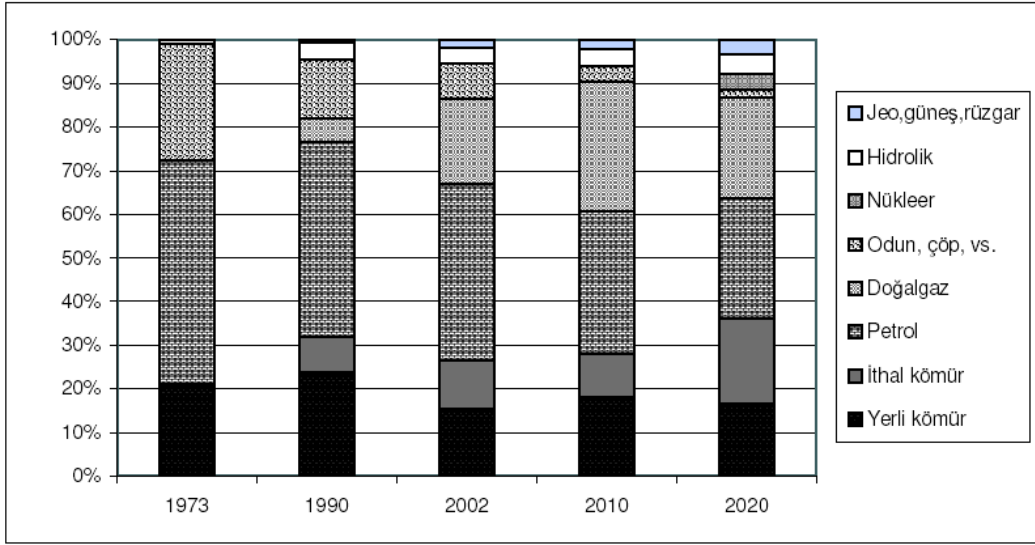
Petrol tüketiminin % 9,1'i, doğal gaz tüketiminin % 2,3'ü, taşkömürü tüketiminin %15,8'i yerli üretimle karşılanmıştır. Linyit tüketiminin tamamı yerli üretime dayanmaktadır. Çizelge 1.1 ile Türkiye'nin kişi başına enerji ihtiyaçları verilmiştir.(www.tusiad.org, Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu)

Çizelge 1.1. Türkiye'deki nüfus, ekonomi, enerji ilişkisi (Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu)

Yıl	Nüfus Bin kişi	GSMH 1990 fiyatı Milyar \$	Kişi başı GSYİH \$/kişi	Enerji talebi Mtep	Elektrik talebi TWh	Kişi başıKi enerji talebi kep/kişi	Kişi başı elekt. talebi kWh/kişi
1973	38072	75,9	1994	24,5	12,4	644	326
1990	56098	150,0	2674	53,0	56,8	945	1013
1995	62171	177,9	2861	63,7	85,6	1025	1376
1998	65244	215,5	3303	74,7	114,0	1145	1747
2000	67804	214,1	3158	81,3	128,3	1199	1892
2001	68618	193,9	2826	76,0	126,9	1108	1849
2010	78459	421,0	5366	153,9	286,6	1962	3653



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının kalan ömürleri (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu)



Şekil 1.2. Türkiye'nin toplam birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu)

Çizelge 1.2. Birincil Enerji Tüketimi ve Kaynakların Oranları (Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Atlası)

	1996	1997	1998	1999	2000	2005	2010	2020
Taşkömürü (mt)	13,17	15,06	14,98	13,44	13,266	29,026	51,837	147,035
Linyit (mt)	53,89	59,47	64,50	64,05	64,984	100,691	160,542	184,555
Asfaltit (mt)	0,03	0,03	0,02	0,03	0,35	0,1	0,1	0,1
Petrol (mt)	29,60	29,18	29,02	31,94	33,231	38,560	44,656	64,364
Doğalgaz (milyar m ³)	8,11	10,07	10,65	12,90	15,463	46,382	55,156	82,749
Nükleer (GWh)							14,035	63,159
HidrolikEn. (TWh)	40,48	39,82	42,23	34,68	30,898	48,398	65,387	97,456
JeotermalEl. (TWh)	0,08	0,08	0,09	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09
Jeotermal Isı (mtoe)	0,08	0,11	0,15	0,09	0,1	0,1303	0,28	0,62
GüneşveDiğ. (mtoe)	0,08	0,08	0,1	0,11	0,159	0,758	1,312	2,756
Odun (mt)	18,37	18,37	18,37	17,64	16,938	13,819	11,275	10,250
Hay.ve Bit.Art. (mt)	6,67	6,58	6,74	6,53	5,981	5,127	4,493	3,696

1.1.1.Kömür

Türkiye'nin resmi verilere göre 8,4 milyar ton linyit, 1,1 milyar ton taşkömürü rezervi mevcuttur. (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu, Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu, www.dpt.gov.tr)

1.1.2.Asfaltit ve ham petrol

Türkiye'nin 82 milyon ton asfaltit rezervi mevcuttur. Üretilabilir 43,7 milyon ton petrol ile bugünkü üretim seviyesine göre yaklaşık 14 yıllık miktar mevcuttur. (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu, Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu, www.dpt.gov.tr, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Atlası)

1.1.3.Doğalgaz

Üretilebilir rezervin 10 milyar m³ olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 1.1’de enerji kaynaklarının kalan ömürleri gösterilmiştir. Doğal kaynakların verimli kullanılmasının önemi enerji kaynaklarının ömürleri ile daha da önem kazanmaktadır. Şekil 1.2’de ise Türkiye’nin toplam birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı verilmiştir. Çizelge 1.2 ise Türkiye’deki enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımını göstermektedir. (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu, Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu, www.dpt.gov.tr)

1.1.4.Bitümlü şist

Toplam 1,64 milyar ton mertebesinde bulunan rezerv, İç Anadolu merkezli 11 ayrı sahaya dağılmıştır. (Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu, Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu,www.dpt.gov.tr)

1.2.Hava Kirleticileri

Atmosfer, genel olarak dünyayı çevreleyen bir gaz küre olarak tarif edilmektedir. Alt sınırı yer yüzeyidir.Üst sınırı teorik olarak bulunmamakla birlikte atmosfer basıncının sıfır veya değişmez olduğu yer, atmosferin tepe noktası olarak kabul edilmektedir. Çizelge 1.3 ile havanın doğal bileşimi verilmiştir. (Arar, 2001, Ertaş, 2004)

Hava kirlenmesi havanın yapısında bulunan esas maddelerin yüzde miktarının değişimi veya bu yapıya is, duman, aerosol halinde kimyasal maddelerin girmesidir.Hava kirliliği hava ortamındaki kirletici unsurların havanın kendini temizleme kapasitesini aşması sonucu meydana gelmektedir. Bu kirleticilerle hava

insan sağlığını bozacak, hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenir. (Ertaş, 2004)

Çizelge 1.3. Havanın Bileşimi (Arar, S., 2001)

Bileşen	Hacimsel Yüzdesi	Konsantrasyon(ppm)
Azot	78,048	780900
Oksijen	20,946	209400
Argon	0,934	9300
Karbondioksit	0,033	315
Neon		18
Helyum		5,2
Metan		1,2
Kripton		0,5
Hidrojen		0,5
Ksenon		0,08
Azotdioksit		0,02
Ozon		0,01-0,04

1.2.1. Hava kirleticilerinin çeşitleri

1.2.1.1. Birincil hava kirleticileri

Bunlar çeşitli kaynaklar tarafından yayılan kirleticilerdir. Partikül maddeler, kükürt bileşikleri, azot bileşikleri, karbon monoksit, halojen bileşikleri, organik bileşikler ve radyoaktif bileşikleri bu gruba girerler. (Rao, et al., 1989)

1.2.1.2. İkincil hava kirleticileri

Bu gruptaki kirleticileri ise atmosferdeki tepkimeler sonucu diğer kirleticilerden meydana gelirler. Ozon, formaldehid, PAN(peroksi asetil nitrat), fotokimyasal duman, asit bulutları bu grup içinde yer alırlar. (Rao, et al., 1989)

1.2.2. Hava kirleticilerinin kaynakları

1.2.2.1. Doğal kaynaklar

Volkanlar(SO_2 , H_2S ve metan), yangınlar(duman, yanmamış hidrokarbonlar, karbon dioksit, karbon monoksit, azot oksitler), toz fırtınaları, okyanuslar ve göller(aeosollar,tuz partikülleri ve kükürk gazları), ve canlılar(bitkiler ve hayvanlar) doğal kaynakları oluştururlar.

1.2.2.2. İnsanla ilgili kaynaklar

Bunlar arasında sanayi kaynakları, güç santralleri, ulaşım, ısınma gibi insanın neden olduğu kaynaklardır. (Boubel, et al,1994, Karpuzcu, 1994, Müezzinoğlu, 2000, Okutan ve diğerleri, 1993) Bu kaynaklar genellikle yanma ürünlerini yayarlar.

1.2.3. Hava kirleticilerinin etkileri

1.2.3.1. İnsanlar üzerine Etkisi

Kirli hava, insanların solunum yollarını etkileyerek, doğrudan insan sağlığını tehdit etmektedir. Bunun yanı sıra kirli hava insanlar üzerinde olumsuz psikolojik etkiler de yaratabilmekte, salgın hastalıklara karşı vücudun direncini azaltmakta,

hastalıkların iyileşmesini geciktirmektedir. Ayrıca gözlerde hasarlara, astım hastalığına, diş hastalıklarına, kanda heomglobinin azalmasına ve ayrıca kansere sebep olabilirler. (Boubel, et al,1994, Karpuzcu, 1994, Müezzinoğlu, 2000, Okutan vd, 1993)

1.2.3.2. Hayvan ve bitkiler üzerine etkisi

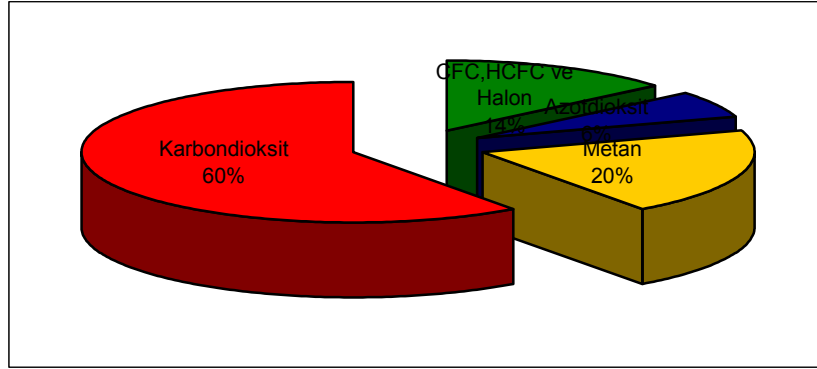
Çeşitli solunum hastalıkları,zehirlenmeler ve özellikle diş hastalıklarına neden olurlar. Bitkilerde ise yaprakların bozulmasına, büyümenin yavaşlaması, yapısal bozukluklara ve tarımsal üretimin düşmesine neden olur. (Boubel, et al,1994, Karpuzcu, 1994, Müezzinoğlu, 2000, Okutan vd, 1993)

1.2.3.3. Yapılara ve eşyalara etkisi

Eşyalarda ve yapılarda renk solması, lekeler, korozyon, çürüme gibi etkileri olmaktadır. (Boubel, et al,1994, Karpuzcu, 1994, Müezzinoğlu, 2000, Okutan vd., 1993)

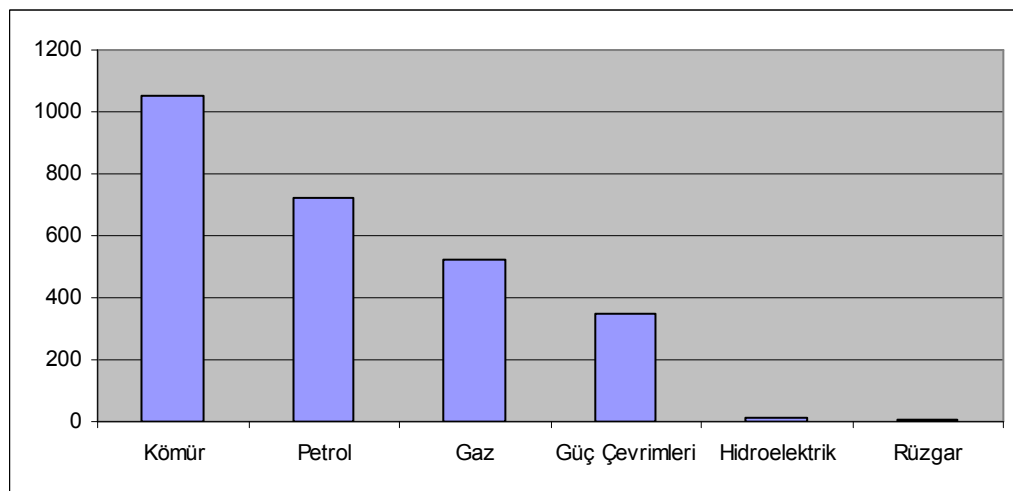
1.2.3.4. İklim etkisi

Dünya yüzeyine ulaşabilen güneş ışınları, yeryüzü tarafından soğurularak ısıya dönüştürülür. Bu ısı, yeryüzündeki atomların titreşimine ve kızılötesi ışımaya yapmalarına neden olur. Bu kızılötesi ışımalar, oksijen veya azot gazı tarafından soğurulmaz. Ancak havada bulunan CO₂ ve CFC (kloroflorokarbon) gazları, kızılötesi ışımaların bir kısmını soğurarak, atmosferden dışarı çıkmalarını engeller. Bu soğurma olayı, atmosferin ısınmasına yol açar. Bunun sonucunda dünya, güneşin altına park edilmiş bir arabanın içi gibi ısınır. İşte bu etkiye, sera etkisi adı verilir. Şekil 1.4'te sera etkisinin nedenlerinden olan CO₂ gazı emisyonları verilmiştir.



Şekil 1.3. Hava Kirliliğine Sebep Olan Gazlar (Gürbüz, 2001)

Ayrıca, azot oksit(NO), CFC ve HCFC gazları kızılötesi ışınları tutarak dünyayı ulaşmalarını engelleyen ozon(O₃) gazıyla tepkimeye girerek ozonun atmosferdeki miktarını azaltırlar. Bu da küresel ısınmaya etkide bulunan diğer bir faktördür. Sera gazlarına sebep olan gazlar ve yüzdeleri Şekil 1.3 ile verilmiştir. (Boubel, et al,1994, Karpuzcu, 1994, Müezzinoğlu, 2000, Okutan vd, 1993, Haktanır, 2002, Koçak, 1997, www.odew.net, Gürbüz, 2001)



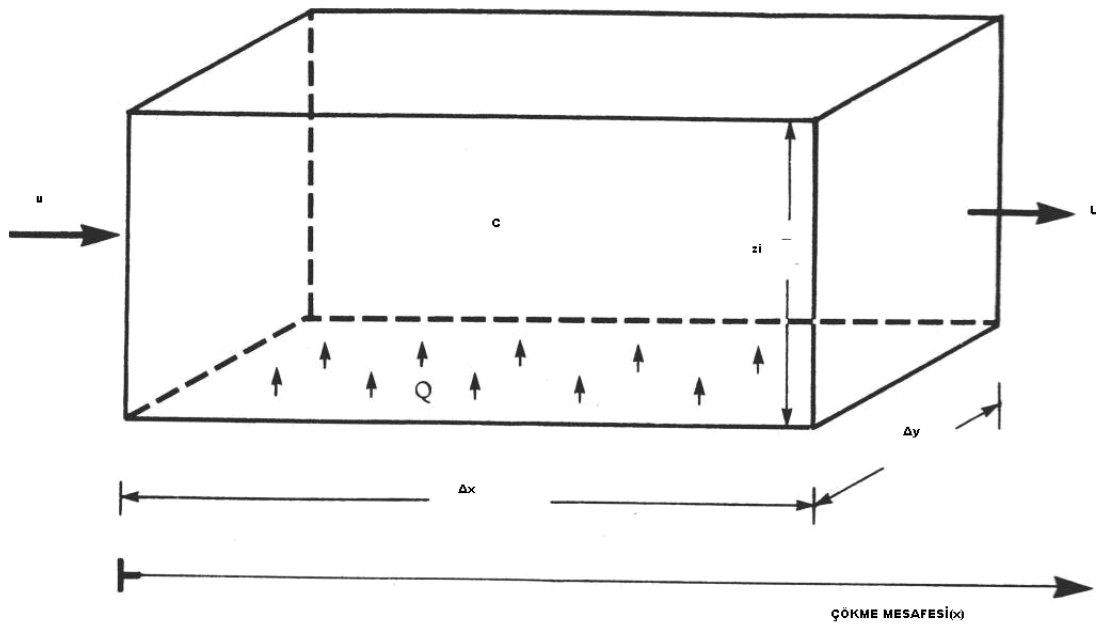
Şekil 1.4. Sera Gazı Emisyonları (kt CO₂/TWh)(Gürbüz, 2001)

BÖLÜM 2

ATMOSFERİK DİSPERSİYON YÖNTEMLERİ

2.1. Kutu Modelleri

2.1.1. Tek kutu modeli



Şekil 2.1. Tek Kutu Modeli (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan vd, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

Tek kutu modeli (Lettau) en basit hava kirliliği metodudur ve şehir gibi geniş alanları tanımlayan bir Euler kutusunun içinde kirleticinin kütle korunumuna dayanmaktadır. Kütle korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t}(cz_i) = Q - cz_i \frac{u}{\Delta x} \quad (2.1)$$

verir bu ise;

$$c(t)z_i(t) = c(t_0)\exp(-t/T_f) + QT_f(1 - \exp(-t/T_f)) \quad (2.2)$$

denkleminin integrali ile elde edilir.

Eğer $z_i(t)$ 'nin dinamikleri biliniyorsa, denklem 2.2 $c(t)$ 'nin hesabına olanak sağlar. Sabit şartlarda (yani, $t = 0$), c limit değerlere gider;

$$c(\infty) = QT_f / z_i \quad (2.3)$$

burada kentsel çalışmalar için uygun yarı – sabit kabuller yapılmaktadır.

Tek kutu modeli, inert (tepkimeye girmez) ve reaktif kirleticiler için kullanılabilir; kütle – denge hesaplamalarında kimyasal modül göz önüne alınarak denklem 2.3 düzeltilmelidir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.1.2. Dizi modeli

Venkatram, kutu modelin büyük bir ataletle sahip olduğunu ve hızlı Q ile u değişimlerinde uygun olmadığını göstermiştir. Dizi modelin kutu modelin gelişmiş hali olduğunu ve özellikle durağan (değişmeyen) durumlara uygun olduğunu göstermiştir. Dizi modeli, x rüzgar doğrultusu boyunca ve z düşey doğrultusunda c konsantrasyon değişiminin bulunmasına olanak sağlasa bile yan rüzgar doğrultusu y boyunca değişimin olmadığı kabul edilmektedir. Bu ise iki boyutta (x, z) kütlelerin korunumunun yazılmasına olanak sağlar.

$$\frac{\partial(cz_i)}{\partial t} + u \frac{\partial(cz_i)}{\partial x} = Q \quad (2.4)$$

burada x kutu içinde rüzgar (çökme) mesafesidir. x mesafesinde ortalama konsantrasyon $\bar{c}(x)$ şu şekilde bulunur:

$$\bar{c}(x)z_i(x) = \int_0^{z_i(x)} c(x,z)dz \quad (2.5)$$

burada $z_i(x)$ karışım yüksekliği veya yer seviyesindeki Q emisyonundan türetilen kentsel dumanın düşey büyüklüğüdür.

Emisyon yayılımı yokken (yani, Q, sıfır olduğunda), denklem 2.4 ve 2.5'in çözümü $t \leq x/u$ için;

$$\bar{c}(x,t) = (x-ut) \frac{Q}{z_i(x)} \quad (2.6)$$

ve $t > x/u$ için;

$$\bar{c}(x,t = 0) \quad (2.7)$$

şeklinde. $t = T_f$ için, tek kutu modeli çözüm üretmese bile bu yöntemle $\bar{c} = 0$ olarak çözüm bulunur. (Zannetti, 1990)

2.1.3. Çoklu kutu modeli

Bu model, tek kutu modelin genişletilmiş halidir. Johnson, bu modeli;

$$\Delta c_{i,j} = [(F_{i-1/2,j} - F_{i+1/2,j}) + (F_{i,j-1/2} - F_{i,j+1/2}) + Q_{ij} \Delta t] / V \quad (2.8)$$

denklemini yardımıyla oldukça basit bir şekilde tanımlamıştır, burada $\Delta c_{i,j}$, Δt zaman aralığında i,j kutusundaki $c_{i,j}$ ortalama konsantrasyonun değişimi; i,j kutunun yatay eksenleri; $Q_{ij}(t)$, tüm kaynaklardan kutu içine yayılan kirletici emisyon hızı; V ise kutunun hacmidir. F ise kutunun yüzeylerinden giren kirletici akısını ifade eder, yani;

$$F_{i\pm 1/2,j} = c_{i,j} A_{i\pm 1/2,j} u_{i,j\pm 1/2} \quad (2.9)$$

$$F_{i,j\pm 1/2} = c_{i,j} A_{i,j\pm 1/2} u_{i,j\pm 1/2} \quad (2.10)$$

burada A kutunun yüzey alanı; u, A alanına dik rüzgar hızı bileşeni; ½ ifadesi ise iki hücre arasındaki yüzeyi tanımlar. (Zannetti, 1990)

2.2. Diğer Euler Modelleri

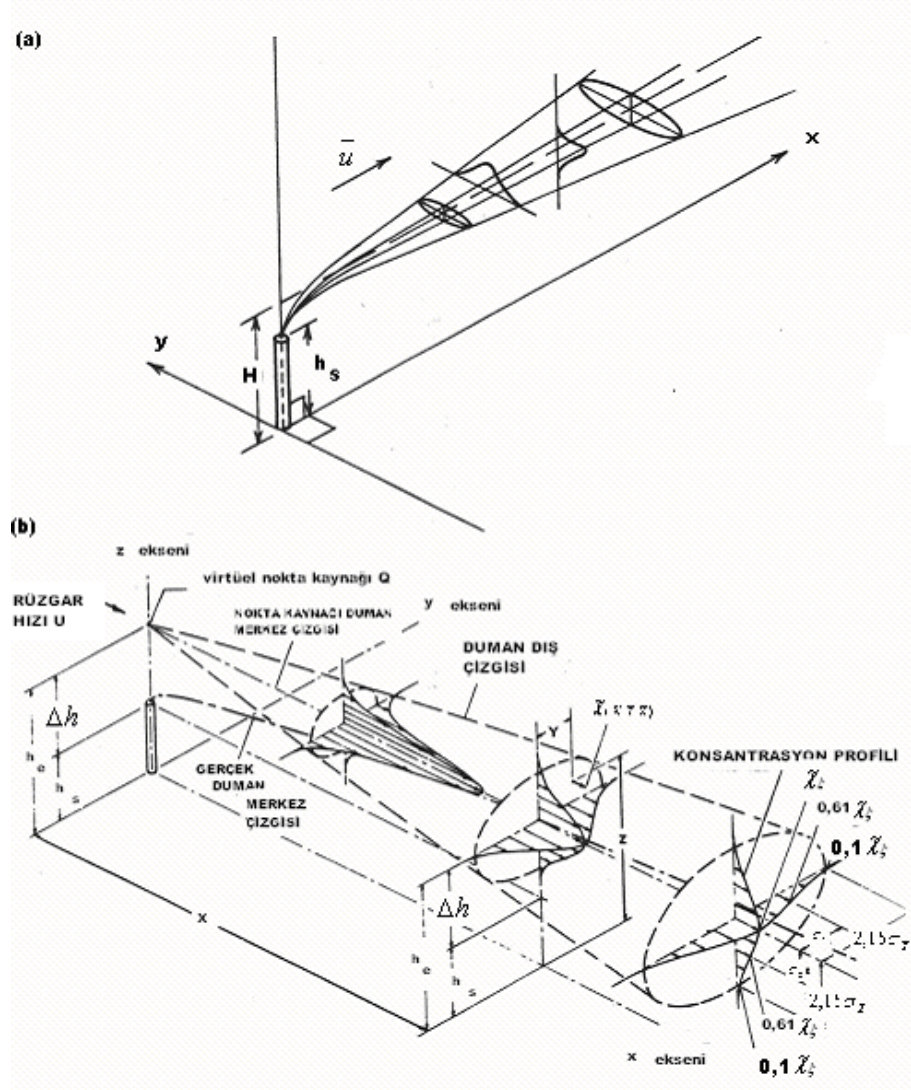
2.2.1. İkinci derece kapalılık modeli

$\langle c'u' \rangle$ ifadesinin ikinci dereceden bağıntılarını hesaplamak için K – teorisi yaklaşımını ($\langle c'u' \rangle = -K\nabla\langle c \rangle$) kullanan bir modeldir. (Zannetti, 1990)

2.2.2. Büyük Eddy Simülasyon Modelleri

Bu modeller, düzeltilmiş Navier – Stokes denklemini kullanarak büyük skalalı türbülans hareketlerini hesaplar. Bu denklemler, 50 – 1000 m arasında gridler kullanarak ve 5 sn aralıklarla çözülür. (de Nevers, 2000, Müezzinoğlu, 2000, Okutan ve diğerleri,1993, Wark,et al.,1998, Zannetti, 1990)

2.3. Gauss Modelleri



Şekil 2.2. Rüzgar Doğrultusundaki Koordinat Sistemine Sahip Gauss Dumanı (Zannetti, 1990)

2.3.1. Gauss yaklaşımı

Gauss duman modeli, en yaygın hava kirliliği modelidir. Sabit meteorolojik ve emisyon şartları için bir nokta kaynağından üretilen üç boyutlu olarak konsantrasyon

alanını tanımlayan basit bir formüle dayanmaktadır. Gauss duman modeli, şekil 2.3 ile gösterilmiştir; burada duman pozitif x – eksenini boyunca hareket etmektedir. Genel olarak Gauss duman formülü;

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_h\sigma_z\bar{u}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_{cw}}{\sigma_h}\right)^2\right] \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_s + \Delta h - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.11)$$

ile tanımlanmaktadır; burada $c(s, r)$, $s (x_s, y_s, z_s)$ 'deki emisyonlara bağlı olarak $r = (x_r, y_r, z_r)$ 'deki konsantrasyon; Q , emisyon hızı; $\sigma_h(J_h, d)$ ve $\sigma_z(J_z, d)$, duman konsantrasyonu uzaysal dağılımının (yatay ve düşey) standart sapmaları; J_h ve J_z , yatay ve düşey türbülans bölgeleri; d ise alıcı ile kaynak arasındaki çökme mesafesidir, yani;

$$d = [(r - s)\bar{u}] / |\bar{u}| \quad (2.12)$$

burada \bar{u} , emisyon yüksekliğindeki ortalama hız vektörüdür. $(\bar{u}_z \ll (\bar{u}_x^2 + \bar{u}_y^2)^{1/2})$ olarak kabul edilir; Δ_{cw} ise kaynakla alıcı arasında yan rüzgar mesafesidir (yani, alıcı ile duman merkez çizgisi arasındaki mesafedir); burada;

$$\Delta_{cw} = \left(|r - s|^2 - d^2 \right)^{1/2} \quad (2.13)$$

ve Δh ise emisyon ve meteorolojik parametrelerle d çökme mesafesinin bir fonksiyonu olan emisyon dumanı yüksekliğidir. $d > 0$ ise denklem 2.11 uygulanabilir; eğer $d \leq 0$ ise $c = 0$ olur.

Denklem 2.11 genel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_h\sigma_z\bar{u}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.14)$$

burada \bar{u} , ortalama yatay rüzgar hızı; h_e , efektif emisyon yüksekliği (yani, $h_e = z_s + \Delta h$); σ_y ise σ_h standart sapma olarak tanımlanmıştır. Burada rüzgar yönlü bir koordinat sistemi kullanılmaktadır. (Şekil 2.3 ile gösterilmiştir.) (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.2. σ_y ve σ_z hesabı

Burada iki ayrı metot kullanılmaktadır. Birinci metot, boyutsuz fonksiyonun hesaplanmasına ve türbülans yoğunluk ölçümlerinin direkt olarak kullanımına dayanmaktadır. İkincisi ise, atmosferi farklı kararlılık sınıflarına ayırarak, her sınıf için farklı σ fonksiyonlarının türetilmesine dayanır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.3. Gauss modeli için S_y ve S_z boyutsuz fonksiyonları

Pasquill, duman sigmaları için, içinde Taylor istatistiksel difüzyon teorisinin bulunduğu aşağıdaki bağıntıları yazmıştır:

$$\sigma_y = \sigma_v t S_y(t/T_L) \quad (2.15)$$

$$\sigma_z = \sigma_w t S_z(t/T_L) \quad (2.16)$$

burada σ_v ve σ_w , yan rüzgar ve düşey rüzgar vektör bileşenlerinin standart sapmaları; S_y ve S_z , difüzyon zamanı, t için genel fonksiyonlar ve T_L ise Lagrange zaman skalasıdır.

Draxler, yukarıdaki denklemleri düzenlemiştir;

$$\sigma_y = \sigma_\theta x S_y(t/T_i) \quad (2.17)$$

$$\sigma_z = \sigma_\phi x S_z(t/T_i) \quad (2.18)$$

burada σ_θ ve σ_ϕ , azimut rüzgar vektörü ve yükselme açısının (radyan) olarak standart sapmaları; T_i , normalizasyon faktörüdür ve T_L ile orantılıdır. $\sigma_\theta = \arctan(\sigma_v/\bar{u})$ ve $\sigma_\phi = \arctan(\sigma_w/\bar{u})$; burada küçük açılar için $\sigma_\theta \approx (\sigma_v/\bar{u})$ ve $\sigma_\phi \approx (\sigma_w/\bar{u})$ alınabilir.

Draxler, varolan dispersiyon verilerini kullanarak, S_y ve S_z için özel formlar bulmuş ve T_i 'yi belirlemiştir. Pasquill, S_y için sadece x 'e bağlı genel bir denklem elde etmiştir. Bu formüller Irwin tarafından düzenlenmiştir, burada $x \leq 10^4$ m için;

$$S_y(x) = (1 + 0,0308x^{0,4548})^{-1} \quad (2.19)$$

ve $x > 10^4$ m için;

$$S_y(x) = 0,333(10000/x)^{0,5} \quad (2.20)$$

olmaktadır.

Yukarıdaki S_y formülasyonu, σ_y hesabındaki en iyi yöntemdir. Buna rağmen, küçük x değerindeki deneysel veriler için doğru S_y formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$S_y = 0,617 \left[\frac{T_i}{t} - \frac{(T_i/t)^2}{5,25} \ln \left(1 + 5,25 \frac{t}{T_i} \right) \right]^{1/2} \quad (2.21)$$

S_z 'nin kesin olarak hesabı hala mümkün değildir. Draxler, nötral ve stabil şartlarda aşağıdaki ifadeleri türetmiştir; burada $x < 50$ m için,

$$S_z = [1 + 0,9(t/T_0)^{1/2}]^{-1} \quad (2.22)$$

ve $x \geq 50$ için,

$$S_z = [1 + 0,945(t/T_0)^{0,8}]^{-1} \quad (2.23)$$

olur, karakteristik zaman T_0 ise ≈ 50 saniyedir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğeri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.4. Yarı ampirik σ hesaplamaları

Birçok çizelge, varolan atmosferik kararlılık sınıfı ve çökme mesafesine bağlı olarak σ_y ve σ_z hesabı mümkündür. Kararlılık sınıfı, çizelge 2.1 ve 2.2 ile gösterildiği gibi düşey sıcaklık gradyanı $\Delta T/\Delta z$ veya σ_θ ve σ_w ölçümlerinden, Pasquill veya Turner metotlarının kullanılmasıyla bulunabilir. Gece şartları düşük rüzgar hızlıdır, rüzgar yönünde büyük yatay dispersiyona ve yeryüzü sıcaklığına bağlı inversiyona göre küçük dikey dispersiyona sahiptir.

Bu yüzden, yatay rüzgar yönündeki dalgalanmaların standart sapmalarını (çizelge 2.2) kullanarak kararlılık hesaplanırken, bu kararlılığın gece için tanımlanmış dikey difüzyona bağlı olarak tanımlanmış çizelge 2.3 ile düzeltilmesi gerekir.

Üç boyutlu çalışmalar, yatay ve düşey difüzyon hızlarının farklı kararlılık kategorilerle bağlantılı olduğunu göstermiştir; bu yüzden, σ_y ve σ_z dinamiklerini sırasıyla yatay ve düşey kararlılık sınıflarının fonksiyonları olarak tanımlayan bir “yarı sigma” yaklaşımına ihtiyaç vardır. Sonuç olarak, σ_θ ölçümlerinin yatay kararlılığın tahmini için, dikey sıcaklık gradyanı verilerin ise dikey kararlılık sınıfının tespitinde kullanıldığını söyleyebiliriz.

Kararlılık sınıfı belirlendikten sonra, belirli bir x çökme mesafesi için σ_y ve σ_z birçok yolla bulunabilir:

1. Pasquill – Gifford Sigmaları;

$$\sigma_y(x) = \frac{k_1 x}{[1 + (x/k_2)]^{k_3}} \quad (2.24)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{k_4 x}{[1 + (x/k_2)]^{k_5}} \quad (2.25)$$

burada k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 çizelge 2.4 ile verilen sabitlerdir.

Çizelge 2.1. Atmosferik Kararlılık Sınıfları (Zannetti, 1990)

Kararlılık Sınıfı	Pasquill Kategorileri	σ_θ (dereceler)	Yükseklikle T Sıcaklık Değişimi ($^{\circ}\text{C } 10^{-2}\text{m}^{-1}$)	2 m için R_i Richards Gradyen sayıları	σ_θ/u
Çok Kararsız	A	25,0	<-1,9	-0,9	> 0,15
Orta Kararsız	B	20,0	-1,9 to -1,7	-0,5	0,1 - 0,15
Az Kararsız	C	15,0	-1,7 to -1,5	-0,15	0,1 - 0,15
Nötral	D	10,0	-1,5 to -0,5	0	0,05 - 0,1
Az Kararlı	E	5,0	-0,5 to 1,5	0,4	0,0 - 0,05
Orta Kararlı	F	2,5	1,5 to 4,0	0,8	0,0 - 0,05
Çok Kararlı	G	1,7	>4,0	0,8	0,0 - 0,05

Çizelge 2.2. Atmosferik Kararlılık Sınıfları (Zannetti, 1990)

Pasquill Kararlılık Sınıfları	Yatay Rüzgar Yönü Dalgalanmalarının Standart Sapması (dereceler)	Dikey Rüzgar Yönü Dalgalanmalarının Standart Sapması (dereceler)
A	22,5°'ten büyük	11,5°'ten büyük
B	17,5° to 22,5°	10,0° to 11,5°
C	12,5° to 17,5°	7,8° to 10,0°
D	7,5° to 12,5°	5,0° to 7,8°
E	3,8° to 7,5°	2,4° to 5,0°
F	3,8°'den küçük	2,4°'ten küçük

Çizelge 2.3. Pasquill Gece Kararlılık Kategorileri (Zannetti, 1990)

σ_y Kararlılık Kategorisi	10 m içim Rüzgar Hızı (ms^{-1})	Pasquill Kararlılık Kategorisi
A	< 2,9	F
	2,9 to 3,6	E
	$\geq 3,6$	D
B	< 2,4	F
	2,4 to 3,0	E
	$\geq 3,0$	D
C	< 2,4	E
	$\geq 2,4$	D
D	Rüzgar Hızı Önemli Değil	D
E	Rüzgar Hızı Önemli Değil	E
F	Rüzgar Hızı Önemli Değil	F

Çizelge 2.4. Denklem 2.24 ve 2.25'teki Sabitlerin Değerleri (Zannetti, 1990)

Kararlılık Sınıfı	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
A	0,250	927	0,189	0,1020	-1,918
B	0,202	370	0,162	0,0962	-0,101
C	0,134	283	0,134	0,0722	0,102
D	0,0787	707	0,135	0,0475	0,465
E	0,0566	1,07	0,137	0,0335	0,624
F	0,0370	1,17	0,134	0,0220	0,700

Çizelge 2.5. Denklem 2.26'daki a ve b Katsayıları (Zannetti, 1990)

Güçlülük Kategorisi	σ_y		σ_z	
	a	b	a	b
B₂	0,40	0,91	0,41	0,91
B₁	0,36	0,86	0,33	0,86
C	0,32	0,78	0,22	0,78
D	0,31	0,71	0,06	0,71

Çizelge 2.6. Gustiness ve Pasquill Sınıflarının Karşılaştırılması (Zannetti, 1990)

Pasquill Sınıfı	Gustiness Kategorisi	
	A	B ₂
B	B ₁	(kararsız)
C	B ₁	(kararsız)
D	C	(nötral)
E	C/D	(nötral/kararsız)
F	D	(kararlı)

Çizelge 2.7. (a) şehir (b) kırsal için Briggs Sigma Fonksiyonları (Zannetti, 1990)

(a) Kentsel Dispersiyon Parametreleri (100 and 10,000 m arası mesafeler için)		
Pasquill Sınıfı	σ_y (m)	σ_z (m)
A-B	$0,32 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$	$0,24 \times (1+0,001 x)^{0,5}$
C	$0,22 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$	0,20 x
D	$0,16 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$	$0,14 \times (1+0,0003 x)^{-0,5}$
E-F	$0,11 \times (1+0,0004 x)^{-0,5}$	$0,08 \times (1+0,00015 x)^{-0,5}$
(b) Kırsal Dispersiyon Parametreleri (100 and 10,000 m arası mesafeler için)		
Pasquill Sınıfı	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0,22 \times (1+0,0001 x)^{-0,5}$	0,20 x
B	$0,16 \times (1+0,0001 x)^{-0,5}$	0,12 x
C	$0,11 \times (1+0,0001 x)^{-0,5}$	$0,08 \times (1+0,0002 x)^{-0,5}$
D	$0,08 \times (1+0,0001 x)^{-0,5}$	$0,06 \times (1+0,0015 x)^{-0,5}$
E	$0,06 \times (1+0,0001 x)^{-0,5}$	$0,03 \times (1+0,0003 x)^{-1}$
F	$0,04 \times (1+0,0001 x)^{-0,5}$	$0,016 \times (1+0,0003 x)^{-1}$

Brookhaven Sigmaları ise aynı şekilde tanımlanmıştır, yani;

$$\sigma = ax^b \quad (2.26)$$

olarak tanımlanır; çizelge 2.5, her rüzgarlılık kategorisi için a ve b katsayılarını verir. Çizelge 2.6 ise rüzgarlılık kategorileri ile Pasquill sınıfları arasındaki ilişkiyi verir.

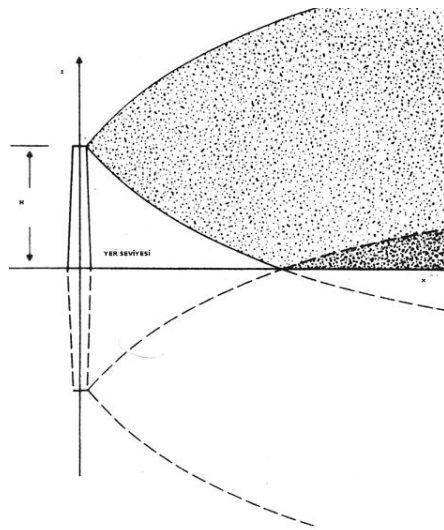
Briggs Sigmalarının ise kentsel kırsal versiyonları vardır. Çizelge 2.7, Briggs sigmalarını vermektedir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.5. Yansıtma terimleri

Temel Gauss formülü, yüzeydeki toplam veya kısmi konsantrasyon yansımısıyla birlikte kullanılır (Şekil 2.4). Böylece, denklem 2.14 aşağıdaki forma dönüşür;

$$S(z_r) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + r_g \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e + z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.27)$$

burada r_g , yüzey yansıtma katsayısı(yani, $r_g=1$ olarak kabul edilir). Yer seviyesindeki alıcılar için ($z_r = 0$) Denklem 2.27,



Şekil 2.3. Hayali metotla simüle edilmiş yer yansımına örnek (Zannetti, 1990)

şu şekle dönüşür;

$$S(0)=2\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.28)$$

burada yer seviyesindeki kaynaklar için (yani, $h_e = 0$)

$$S(0)=0 \quad (2.29)$$

olur.

Eğer duman uzaysal sınır tabaka (PBL) tarafından yayılıyorsa, bu tabakanın z_i yüksekliğinden yansıtıldığı kabul edilirse;

$$S(z_r) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + r_g \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e + z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + r_i \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{2z_i - h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.30)$$

burada r_i , z_i için yansıtma katsayısıdır. ($r_i = 1$ olduğunda toplam yansıtma meydana gelir.)

İkinci bir yansıtıcı engelin meydana getirdiği çoklu yansıtma sebebiyle denklem (7.20) $r_g = r_i = 1$ için kullanılması daha uygundur,

$$S(z_r) = \sum_{j=0,\pm 1,\pm 2,\dots} \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r + 2jz_i - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r + 2jz_i + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2.31)$$

Bazı durumlarda denklem 2.31 hızlı hesaplamalar sağlayamaz. Bu gibi durumlar için Yamartino denklem 2.31 için uygun bir yöntem geliştirmiştir:

- $\sigma_z/z_i \leq 0,63$ için, $J = 0, \pm 1$ değerinde denklem 2.31 tanımlı değerlerinde tanımlı değildir.

- $0,63 < \sigma_z/z_i \leq 1,08$ için denklem 2.31 yaklaşık

$$S(z_r) = \frac{\sqrt{2\pi}\sigma_z}{z_i} (1 - \beta^2) [1 + \beta^2 + 2\beta \cos(\pi z_r / z_i) \cos(\pi h_e / z_i)] \quad (2.32)$$

olarak tanımlanabilir. Burada;

$$\beta = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\pi\sigma_z}{z_i}\right)^2\right] \quad (2.33)$$

ve $\sigma_z > z_i > 1,08$ için, denklem 2.32'de $\beta = 0$ için kullanılır, bu durumda

$$S(z_r) = \frac{\sqrt{2\pi}\sigma_z}{z_i} \quad (2.34)$$

olacaktır; bu ise denklem 2.14'te yerine konursa "tutulma" denklemi elde edilir.

$$c = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\sigma_y u z_i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (2.35)$$

Denklem 2.35, dumanın üniform karışımını dikey ekseninde gösterir ($z = 0$ ile $z = z_i$ arasında), buradaki konsantrasyonlar z ile değişmemektedir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.6. Çökme / bozulma terimleri

Gauss modelinde kuru çökme, yağ çökme ve kimyasal dönüşüm olaylar

$$\exp\left[-\frac{t}{T}\right] \quad (2.36)$$

gibi terimlerin denklem 2.14 içine katılmasıyla gösterilmiştir, burada t gezinme süresi

$$t = \frac{x}{u} \quad (2.37)$$

ve T ise uygun zaman skalasıdır.

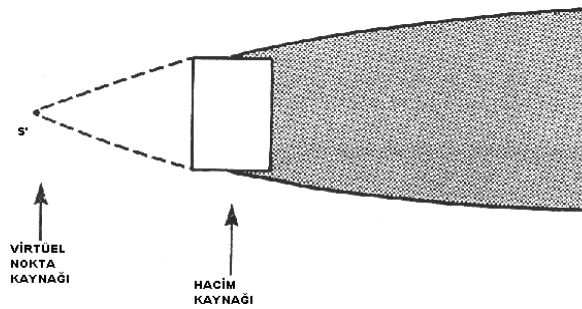
Saatteki kütle azalma yüzdesi (%/h) ile denklem 2.36 içindeki zaman skalası arasındaki ilişki şöyledir;

$$\%/h = 100[1 - \exp(-3600/T)] \quad (2.38-a)$$

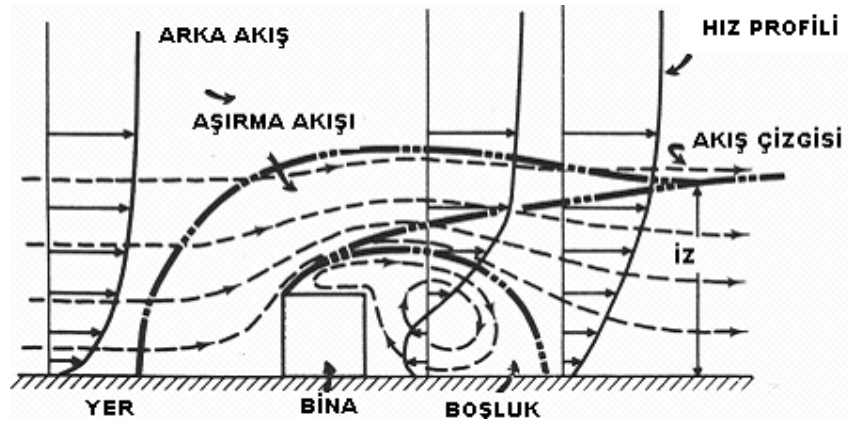
ve büyük T için;

$$\%/h = 360000/T \quad (2.38-b)$$

olur. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)



Şekil 2.4. Çizgi, alan ve hacim kaynaklarının simülasyonda gerçek kaynak yaklaşımı (Zannetti, 1990)



Şekil 2.5. Kübik bir binanın çevresindeki ortalama akış (Zannetti, 1990)

2.3.7. Kuru çökme

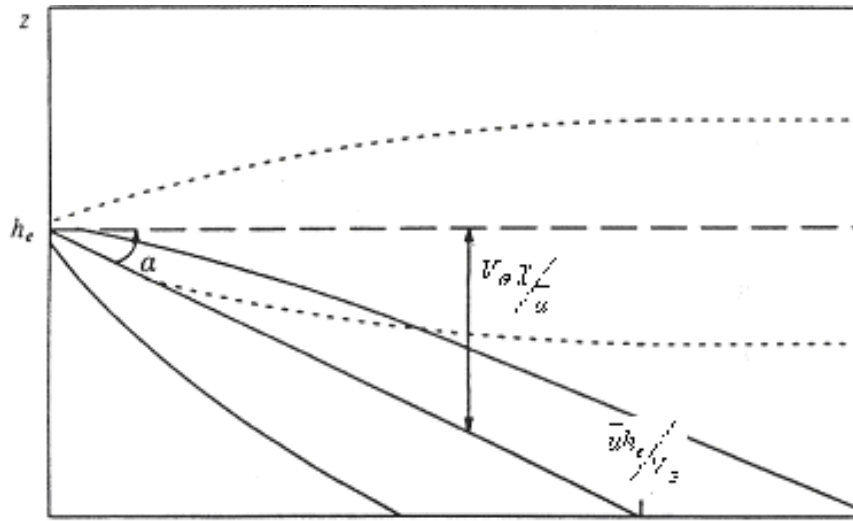
Kuru çökmenin zaman skalası T_d , V_d çökme hızının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

$$\frac{1}{T_d} = V_d / \Delta p \quad (2.39)$$

burada Δp , dumanın dikey kalınlığıdır ve

$$\Delta_p \cong 4\sigma_z \quad (2.40)$$

olarak tanımlanır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)



Şekil 2.6. Çöken partiküllerin iniş duman hareketine ait şematik gösterimi (Zannetti, 1990)

2.3.8. Yaş çökme

Yaş çökmenin zaman skalası

$$T_w = \frac{3,610^6 P_L}{S_r P_R} \quad (2.41)$$

olarak tanımlanabilir; burada P_L , çökme tabakasının kalınlığı (ortalama değeri 4,000 m); S_r , kirleticinin tarama oranı (SO_2 için $S_r = 4,2 \cdot 10^5$ olarak alınabilir); ve P_r ise mm/h biriminden çökme hızıdır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.9. Kimyasal dönüşüm

Kimyasal dönüşüm zaman skalası T_c , kirletici reaktifliğinin bir fonksiyonudur. SO_2 için $T_c = 100 \cdot 800$ s (yani, 28 gündür) olarak verilmiştir. (Zannetti, 1990)

2.3.10. Özel durumlar

2.3.10.1. Çizgi, alan ve hacim kaynakları

Denklem 2.11 veya 2.14 uzaysal olarak integre edilirse çizgi, alan ve hacim kaynaklarının etkilerini gösterebiliriz. Analitik integrasyon imkânsızdır veya çeşitli sadeleştirmeler gerektirir (özellikle σ_y ve σ_z fonksiyonlarıyla ilgili yapılarda). Birçok Gauss modeli; alan, çizgi ve hacim kaynakları içermektedir.

Birçok durumda gerçek nokta kaynağı metodu basitlik sağlar ama çizgi, alan ve hacim kaynaklarının hareketlerinin integrasyonu yoktur. Bu metodu kullanarak, gerçek nokta kaynağı olmayan durumlar için rüzgara karşı gerçek nokta kaynağı S' kullanılır; bu durum şekil 2.5 ile gösterilmiştir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

2.3.10.2. Sis

Dengeli tabaka içine önceden emilmiş olan yükseltilmiş dumanın maksimum sabah sis etkisi Turner tarafından tanımlanmıştır(Zannetti,1990):

$$c(x,0,z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\sigma_{yF}H_i u} \quad (2.42)$$

burada

$$H_e = h_e + 2\sigma_{zs} \quad (2.43)$$

$$\sigma_{yF} = \sigma_{ys} + (h_e / 8) \quad (2.44)$$

2.3.10.3. Bina önündeki konsantrasyon

Şekil 2.6'da çizgilerle gösterilen duman çökme etkileri için birçok yöntem geliştirilmiştir. Özel olarak geliştirilen iki Gauss bilgisayar metotları Endüstriyel Kaynak Kompleks Modeli İle Sınır Çizgi ve Nokta Kaynak Dispersiyon Modelidir. ISC modeli birçok sefer geliştirilmiştir.

Binalardan kaynaklanan ekstra difüzyonunu basit olarak tahmin edebilmek için sigmaları aşağıdaki yol ile arttırmak gerekir.

$$\sigma_{yw} = (\sigma_y^2 + \text{sabit}A / \pi)^{1/2} \quad (2.45)$$

$$\sigma_{zw} = (\sigma_z^2 + \text{sabit}A / \pi)^{1/2} \quad (2.46)$$

burada σ_y ve σ_z , bina etkileri olmayan duman sigmaları; σ_{yw} ve σ_{zw} , bina etkilerini içermektedir; A ise rüzgar yönüne dik düzlemdeki bina alanıdır. (Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000)

2.3.10.4. Bir vadide duman düşüşü

Turner, bir vadideki duman düşüşünü, yer seviyesi ile z_i , yüksekliği arasındaki duman düşüşüne benzetmiştir; düşüş denklemi ise denklem 2.45 ile aynıdır, fakat doğrultu dikey yerine yatay olarak ele alınır. Bu kabulde birlikte, rüzgarın x – eksenini boyunca vadiye paralel üniform bir akış olduğu kabul edersek, y için

$$c(x, y, 0) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \frac{Q}{W\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.47)$$

bulunur, buradaki w vadi genişliğidir. (Zannetti, 1990)

2.3.10.5. Eğilmiş duman

Büyük parçacıklı dumanlar serbest düşüş ile hareket ederler; yani yerçekimsel hız V_G şekil 2.7 ile gösterildiği gibi Gauss eğilmiş duman yaklaşımıyla tanımlanabilir. (Zannetti, 1990)

2.3.10.6. Kıyı difüzyonu ve sahil sisi

Sahil sisi, önemli bir problemdir. Stabil (dengeli) deniz dispersiyon şartlarıyla karşılaştırıldığında yükselmiş dumanlar deniz veya kıyı çizgisi boyunca yayılmışlardır.

Lyons ve Cole sis problemin çözümünde aşağıdaki yaklaşımı geliştirmişlerdir. Eğer $z_i(x)$, sahil çizgisinden olan x mesafesinin fonksiyonu olarak tanımlanan karışım yüksekliği ise, sis bölgesindeki konsantrasyon,

$$c_F(x) = \frac{1}{z_i(x)} \int_{-\infty}^{z_i(x)} c dz \quad (2.48)$$

burada c , stabil sigmalar kullanılarak standart Gauss duman denklemi tarafından üretilmiş konsantrasyon alanıdır. Bazı basit kabullerle, küçük σ_{zs} ve $y = 0$ için;

$$c_F(x) \cong \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \sigma_{yF} u z_i(x)} \quad (2.49)$$

bulunur; burada σ_{yF} daha önce denklem 2.44 ile tanımlanmıştır. (Zannetti, 1990)

2.3.10.7. Kompleks alanlar

Birkaç Gauss bilgisayar programı kompleks alanlar için kullanılmaktadır. Bunlar sert bölge dispersiyon modeli (RTDM, ERT) ve kompleks (CFDM) alan dispersiyon

modelidir; bunların her ikisi de Amerikan EPA tarafından geliştirilmiştir. (2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000)

2.4. İklimsel Modeller

Bu modeller, zamana bağlı konsantrasyonunu sürekli rejim kabulleriyle yapar, Diğer bir deyişle eğer saatlik emisyon ve meteorolojik değerler biliniyorsa, sürekli rejim denklemi (Denklem 2.14 gibi) saatlik sabit konsantrasyon alanlarının gösterilmesi için kullanılabilir.

Birçok hava kalitesi uygulamaları uzun süreli konsantrasyon ortamları gerektirir, bunun için çok sayıda saatlik hesaplamalara ihtiyaç vardır.

Kullanılan yöntem aşağıdaki gibidir. Bir kaynağın N_i farklı emisyon şartlarıyla çalıştığını ve meteorolojiyi ise N_j meteorolojik şartlarıyla tanımlandığını kabul edelim. Genel iklimsel model denklemi;

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} f_{ij} Q_i \Psi_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} f_{ij} \right)} \quad (2.50)$$

şeklini alır; burada \bar{c} , s çalışma süresince kaynağa bağlı olarak r alıcısındaki ortalama konsantrasyon f_{ij} , i.nci emisyon şartı ve j.nci meteorolojik durum için nokta frekansı; Q_i , i.nci emisyon şartı süresince kirletici emisyon hızı; $Q_i \Psi_{ij}$, i.ci emisyon şartı ve j.nci meteorolojik durum için s süresince emisyonla ilgili olarak meydana gelen konsantrasyonu veren sürekli rejim denklemidir (yani, Gauss duman denklemidir). Ψ_{ij} , her i ve j için önceden hesaplanabildiği için farklı Q_i ve/veya f_{ij} değerleri için kolaylıkla hesaplanabilir.

Bu model için genel olarak aşağıdaki kabuller yapılır:

1. Gauss duman denklemi (Denklem 2.14) kernel ψ_{ij} hesabında kullanılır.
2. Q sabittir.
3. j meteorolojik şartları için; rüzgar yönü sınıfı j_1 , rüzgar hızı sınıfı j_2 ve sabitlik sınıfı j_3 olarak tanımlama yapılır. (yani; f_{ij} , $f(j_1, j_2, j_3)$ şeklini alır)
4. Her yöndeki rüzgarın yüksek frekansı yüzünden, bir üniform yan rüzgar yatay konsantrasyon dağılımı sadece çökme bölgelerinde olduğu kabul edilir.
5. Alıcılar yer seviyesindedir.

Bu kabullerle denklem 2.50

$$\bar{c} = \sum_{j_1 j_2 j_3} f(j_1, j_2, j_3) Q(j_1, j_2, j_3) \Psi(j_1, j_2, j_3) \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z_s + \Delta h}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (2.51)$$

şeklini alır; burada $\psi(j_1, j_2, j_3)$, üniform yan rüzgar Gauss kernelidir:

$$\Psi(j_1, j_2, j_3) = \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{N_{wd} / (2\pi\Delta_d)}{\sigma_z \bar{u}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z_s + \Delta h}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (2.52)$$

Burada N_{wd} , rüzgar yönü sektör sayısı (yani, $j_1 = 1, 2, \dots, N_{wd}$; genelde $N_{wd} = 16$); $\Delta d(s, r, j_1)$, kaynakla alıcı arasındaki yatay çökme mesafesi; $\sigma(\Delta d, j_3)$, dikey duman sigması; $\Delta h(j_2, j_3)$, duman yüksekliği; $\bar{u}(j_2)$, rüzgar hızı ve z_s ise kaynak yüksekliğidir. Denklem 8.3, her bir j_1, j_2, j_3 için tekrar hesaplanabilir, böylece \bar{c} için daha hızlı bir hesapsal yaklaşım elde edilir. Denklem 2.52, sadece j_2 rüzgar yönü sınıfı için r alıcısının s kaynağının çökme mesafesinde olduğu zaman kullanılır; diğer zamanlarda ψ sıfıra eşit olur.

Eğer duman, karışım yüzeyinde üniform olarak bulunuyorsa denklem 2.52 aşağıdaki şekli alır;

$$\Psi(j_1, j_2, j_3) = \frac{N_{wd} / (2\pi\Delta_d)}{z_i \bar{u}} \quad (2.53)$$

burada z_i , karışım yüksekliğidir. (Zannetti, 1990)

2.5. Bölümlü Duman Modeli

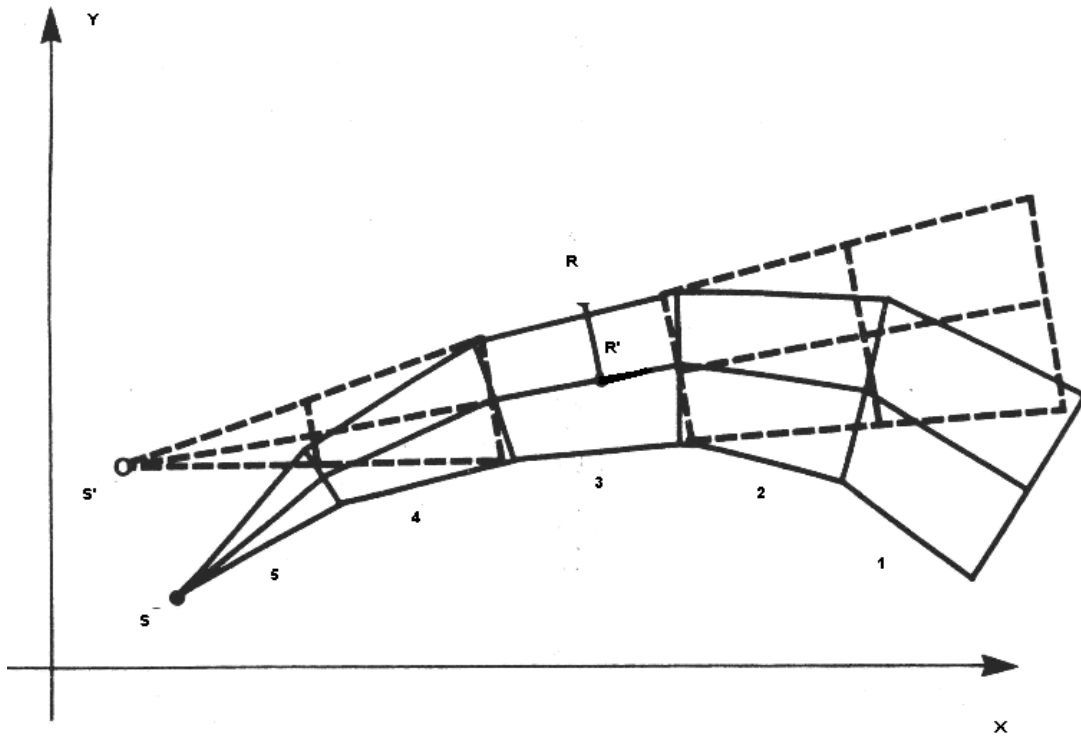
Denklem 2.11 veya 2.14 ile tanımlanan Gauss sürekli rejim formülü sadece transport koşullarının (yani, $\bar{u} \geq 1m/s$) sabit ve homojen olduğu durumlarda geçerlidir. Zamana bağlı transport şartları ve özellikle rüzgar yönü değişimlerinde bölümlü Gauss modeli kullanılır. Bu modelde; duman, başlangıç özellikleri ve zaman dinamikleri zamana bağlı emisyon şartlarının bir fonksiyonu olan ve zamana bağlı lokal meteorolojik şartların hareket süresince duman elemanları arasında benzerlikler gösterdiği bağımsız elemanlara bölünür.

Bölümlü duman modeli Şekil 2.7 ile gösterilmiştir. Segmentler, Gauss dumanın parçalarıdır. Her segment, denklem 2.11 ile hesaplanan bir konsantrasyon alanı üretir; bu ise bu segmentten geçen tam gerçek dumanı tanımlamaktadır. (Zannetti, 1990)

2.6. Küme (Puff) Modelleri

Bölümlü modeller gibi küme modelleri de homojen olmayan dispersiyon şartları ve sabit olmayan emisyonlar için geliştirilmiştir. Bu modellerin avantajı, sakin ve düşük rüzgar şartlarında sonuç alınabilmesidir.

Gauss küme modeli, Δt süresince her kirletici emisyonu için $\Delta m = Q\Delta t$ kütlesini atmosfere atıldığını kabul eder; burada Q değişken emisyon hızıdır. t zamanında duman kümesinin merkezi $p(t) = (x_p, y_p, z_p)$ şeklinde tanımlansın; $r(x_r, y_r, z_r)$ konumundaki bir alıcı için konsantrasyon temel Gauss küme formülü ile bulunur;



Şekil 2.7. Bölümlü duman modeliyle üretilmiş r alıcısındaki konsantrasyon hesabı (Zannetti, 1990)

$$\Delta c = \frac{\Delta M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_h^2 \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_p - x_r}{\sigma_h}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_p - y_r}{\sigma_h}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_p - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.54)$$

bu formül yansıtma ve çökme/bozulma terimlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Denklem 2.50'in sabit, homojen transport şartları için analitik integrasyonu, (Denklem 2.14) Gauss duman formülünü verir.

Denklem 2.50, her küme (puff) büyümesine ait yatay (σ_h) ve dikey (σ_z) dinamiklerinin tam hesabını gerektirir. Herhangi bir t anında alıcıdaki konsantrasyon, tüm kaynaklarca üretilmiş olan var olan bütün kümelerden gelen Δc ilavesi ile hesaplanır. Küme denklemi olan denklem 2.50 temel olarak duman denklemi, denklem 2.14 ile ayrılık gösterir, çünkü \bar{u} rüzgar hızının uygun bir şekilde formülden çıkartılmasıyla ekstra bir yatay difüzyon terimi transport teriminin yerini almıştır. Diğer

bir değişle, rüzgar hızının konsantrasyon hesabı üzerindeki etkisi sadece bölgedeki kümelerin yoğunluğunun kontrol edilmesiyle mümkündür. Sonuç olarak, bulunan bu model durgun veya düşük hız şartları için uygundur ve Gauss formülünün güçlü bir uygulamasıdır. Küme modeli sigmalarının bulunması biraz karışıkır.

Gerçekte iki yol vardır. Yukarıda anlatılan birinci yolda, sürekli yayılan dumanın karakteristiklerinin simülasyonu için kümeleri kullanır.

Bağlı difüzyon için, Hana ve diğerleri Barchelor formülünü geliştirmişlerdir.

$$\sigma_h^2 = \epsilon t^3 \quad (2.55)$$

burada hareket (düşme) zamanı 10^4 sn'den küçüktür; ϵ , eddy kayıp hızıdır. ϵ için ilk önce lokal olarak; sonra $\sigma_z=0,3 z_i$ değerine yaklaşırken $z = z_i/2$ yüksekliği için hesaplanması tavsiye edilmiştir. Yüzey tabaka içinde ϵ eddy kayıp hızı şu şekilde bulunur;

$$\epsilon = \frac{u_*^3}{kz} \left(\phi_m - \frac{z}{L} \right) \quad (2.56)$$

burada gün ortasında yüzey tabakasının üstündeki yükseklikler için;

$$\epsilon = 0,5H' \quad (2.57)$$

şeklini alır. H' terimi yüzey kaldırma akısıdır;

$$H' = \frac{g}{T} \overline{w'T'} = \frac{Hg}{c_p \rho T} \quad (2.58)$$

burada H , $H = c_p \rho \overline{w' T'}$ ile tanımlanmış yüzey ısı akısıdır. Nötral şartlarda $H' = 0$ olur ve dolayısıyla $\epsilon = 0$ olacaktır. Bu durumda, var olan bilgiler yüzey sınırının üzeri için aşağıdaki formülü verir.

$$\epsilon = u_*^3 / (0.5z) \quad (2.59)$$

10^4 sn'den büyük hareket (düşme) zamanları için Hana ve diğerleri

$$\sigma_h = \text{sabit}(t) \quad (2.60)$$

Formülünü geliştirmişlerdir; burada

$$\text{sabit} = 100\sqrt{\epsilon} \quad (2.61)$$

olarak türetilmiştir. (Zannetti, 1990)

2.6.1. Bölümlü – küme karışım metodolojisi

Zannetti, Gauss formülünü kullanarak kısa süreli duman dispersiyonun maliyet – etkinlik simülasyonu ile gerçekliğini, bölümlü ve küme yaklaşımlarının avantajlarının kombinasyonlarını içeren karma bir yöntemi geliştirmiştir.

Kirletici dinamikleri, büyüklüklerine göre bölümlü yada küme şeklinde hareket eden duman elemanlarının geçici gelişimiyle tanımlanmaktadır. Transport şartları süresince segmentler (bölümler) nümerik olarak hızlı simülasyon sağlarken, kümeler ise durgun veya düşük rüzgar hızı dumanlarının tam simülasyonunu sağlar.

Bu yöntem, hesaplamalarda kullanıcıya esneklik sağlayan bir bilgisayar programında (AVACTA II) kullanılmıştır. Programda üç boyutlu meteorolojik ve emisyon girdileri, alıcı yerleşimleri, duman yüksekliği ve sigma formüllerinin seçimi

bulunmaktadır. AVACTA II, kirletici alan çifti ve ıslak – kuru çökelme olaylarını sağlar. Program lineer kimyayı kullanır(Zannetti, 1990).

Bu programa göre; her duman, her dispersiyon zaman aralığı Δt için karakteristikleri güncelleşmiş olan bir eleman serisi (segment veya küme) ile tanımlanmaktadır. Üç boyutlu meteorolojik alanlar (rüzgar ve türbülans durumları) ve emisyon parametreleri her meteorolojik zaman adımı Δt_m için değişime olanak sağlar. Her elementin dinamikleri;

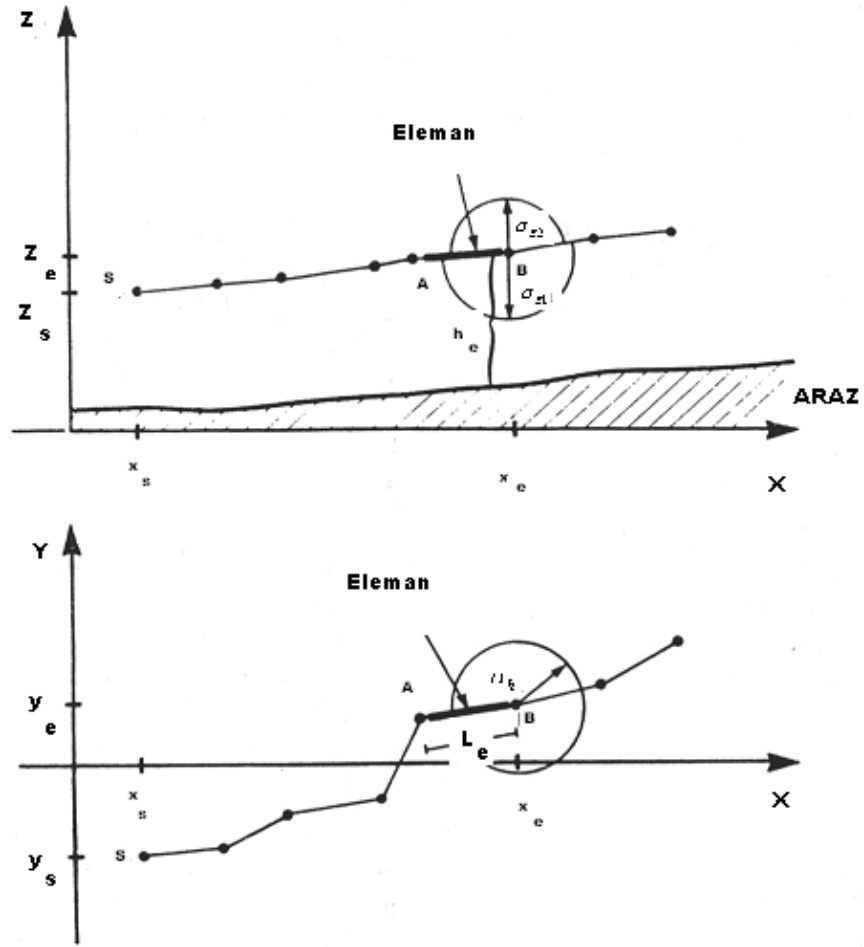
1. Kaynakta üretilme,
2. Duman yüksekliği,
3. Advektif rüzgarla taşınma,
4. Atmosferik türbülansla difüzyon,
5. Islak ve kuru yer çökmesi,
6. Birincil kirleticiden reaksiyonla ikincil kirleticinin olduğu kimyasal dönüşümdür.

Eleman tipinin (segment ve küme) kendi dinamikleri üzerine etkisi yoktur; sadece konsantrasyon alanının hesabına etkisi vardır. Her eleman, kendisinin final noktası B için hesaplanmış zamana bağlı aşağıdaki parametrelerle tanımlanırlar:

$e = (x_e, y_e, z_e)$ B noktasının koordinatları

h_e Yer seviyesinin üstündeki B noktasının yüksekliği

M_1, M_2 Birincil ve ikincil kirleticilerinin kütleleri



Şekil 2.8. t zamanında S kaynağının eleman zinciri (Zannetti, 1990)

$$\sigma_h, \sigma_{z1}, \sigma_{z2}$$

Gauss konsantrasyon dağılımının standart sapmaları; sırasıyla yatay, B'den aşağı dikey ve B'den yukarı dikey

Her elemanın A giriş noktasının t zamandaki karakteristikleri aynıdır. (Zannetti, 1990)

2.6.2. Duman elemanlarının üretilmesi

Her Δt zaman aralığında, her kaynak için eleman zincirine yeni bir eleman katılır. Her yeni elemanın parametreleri aşağıdaki giriş değerlerine sahiptir: merkez final noktası, kaynağın çıkış noktasından dikey duman yüksekliği Δh kadar uzakta

bulunur; $M_1 = Q_1 \cdot \Delta t$, $M_2 = Q_2 \cdot \Delta t$, burada Q_1 ve Q_2 birincil ve ikincil kirleticilerin gerçek emisyon hızlarıdır (genelde $Q_2 = 0$); $\sigma_z, \sigma_{z1}, \sigma_{z2}$ ise dumanın giriş sigmalarıdır. (Zannetti, 1990)

2.6.3. Transport (taşıma)

Her Δt zaman aralığında, var olan tüm elemanların merkez final noktası, eleman boyutlarında hacimsel ortalamaya sahip $\bar{u} = (u_x, u_y, u_z)$ gerçek rüzgar vektörüyle taşınırlar; yani;

$$e^{(yeni)}_+ e^{(eski)}_+ \bar{u} \Delta t \quad (2.62)$$

Eğer yatay transport terimi

$$u_h = (u_x^2 + u_y^2)^{1/2} \quad (2.63)$$

bir u_{min} kritik değerinden küçükse, u_x ve u_y değerlerinin sıfır olduğu düşünülür; çünkü böyle küçük terimlerin gerçek transport yerine lokal etkileşimleri ifade ettiği kabul edilir. (Zannetti, 1990)

2.6.4. Difüzyon

Her Δt süresince, sigmalar artma eğilimi gösterirler.

1. Elemanın bulunduğu yere bağlı olarak gerçek yerel meteorolojik şartlar için elemana ait gerçek sigma fonksiyonu $\sigma = \sigma(d)$ seçilir (d, çökme mesafesi); bu durum, eleman boyutlarındaki hacimsel ortalama atmosferik türbülans durumudur.

2. Gerçek mesafe d_v

$$\sigma^{(eski)} = \sigma(d_v) \quad (2.64)$$

ile hesaplanır; burada $\sigma^{(eski)}$ eleman için gerçek sigma değeridir.

3. Eğer $u_h < u_{min}$ ise $u_h = u_{min}$ olarak alınır.

4. Artan sigma

$$\sigma^{(yeni)} = \sigma(d_v + u_h \Delta t) \quad (2.65)$$

ile hesaplanır.

Yukarıdaki eleman sigmalarının dinamikleri, sigma fonksiyonunun seçimine ve elemanın bulunduğu yerdeki gerçek atmosferik türbülans durumuna göre değişir. Eğer meteorolojik veriler uygunsa, yatay (σ_h) ve dikey (σ_{z1} , σ_{z2}) artışlardan söz etmek mümkündür. Eleman merkezinin yukarısında ve aşağısındaki farklı dikey farklı dikey türbülans durumları, σ_{z1} , σ_{z2} için farklı dinamikler yaratırlar. (Zannetti, 1990)

2.6.5. Kuru ve yağ çökme

Birincil ve ikincil kirleticilerinin kuru ve yağ çökmeleri, birinci dereceden reaksiyon şemaları ile simüle edilmişler ve her Δt için eksponansiyel kirletici kütesinin azalması denklemi ile hesaplanmışlardır;

$$M_i^{yeni} = M_i^{eski} \exp[-P_{i,j} \Delta t / 360000] \quad (2.66)$$

burada i , birincil ($i=1$) veya ikincil ($i=2$) kirleticiyi ifade eder; j , kuru ($j=1$) veya ıslak ($j=2$) çökmeyi ve P_{ij} ise saatlik azalma yüzdesini ($\% h^{-1}$) ifade eder. $M_i^{(eski)}-M_i^{(yeni)}$ arasındaki kütle farklı yere çökmüş ve birikmiştir.

Eğer kuru çökme için iki $P_{i,1}$ değeri giriş değerleriyle hesaplanamıyorsa, bunlar çökme hızı değerleriyle

$$P_{i,1} = 360000V_i / \Delta z_e \quad (2.67)$$

formülüyle hesaplanır; burada V_i , elemanın olduğu yerdeki gerçek çökme hızları;

$\Delta z_e = (2\sigma_{z1} + 2\sigma_{z2})$ değeri ise elemanın dikey kalınlığıdır.

Eğer yaş çökme için iki $P_{i,2}$ değeri giriş değerleriyle hesaplanamıyorsa, bunlar çökme verilerinden;

$$P_{i,2} = S_i P_r / (10T_p) \quad (2.68)$$

Formülüyle hesaplanır; burada S_i , kirletici bozulma oranı; P_i , elemanın bulunduğu yerdeki ortalama gerçek çökme oranı (mmh^{-1}); ve T_p ise çökme tabakasının kalınlığıdır. (Zannetti, 1990)

2.6.6. Kimyasal çökme

Δt süresince, her eleman için μ_2 ikincil kirletici kütleindeki artış ile μ_1 birincil kirletici kütleindeki artış şu şekilde tanımlanır;

$$M_1^{yeni} = M_1^{eski} \exp[-k\Delta t / 360000] \quad (2.69)$$

$$M_2^{yeni} = M_2^{eski} + (w_2 / w_1) M_1^{eski} [1 - \exp(-k\Delta t / 360000)] \quad (2.70)$$

burada k , elemanın bulunduğu yerdeki saatlik azalma yüzdesi anlamına gelen gerçek kimyasal dönüşüm katsayısı ($\%h^{-1}$) ve w_i ise kirleticinin moleküler ağırlığıdır ($i=1,2$). (Zannetti, 1990)

2.6.7. Konsantrasyon hesabı

Duman elemanı dinamikleri, eleman tipinden (segman (segment) veya küme) bağımsız olarak hesaplanabilirler. Ancak eleman tipi her Δt süresince duman alan konsantrasyonu hesabından anahtar faktördür. (Zannetti, 1990)

2.6.8. Küme dağılımı

Her Δt süresince, alıcıdaki tek bir kümenin konsantrasyon dağılımı denklem 2.54 ile hesaplanmaktadır; bu denklemde birincil kirletici konsantrasyonu c_1 (yada ikincil konsantrasyon c_2) kümenin değişkenleri olan M_1 (veya M_2), σ_h ve σ_{z1} (veya σ_{z2}) gerçek değerleriyle hesaplanmaktadır. Bu değişkenler, ilk ve final merkez noktaları arasındaki herhangi bir nokta için interpolasyon yardımıyla hesaplanır. (Zannetti, 1990)

2.6.9. Segman (segment) dağılımı

$L_e / \sigma_h > 2$ ile tanımlanan durumdan dolayı, her segment L_e etkin uzunluğa sahiptir; burada yataydaki akış difüzyonunun transport terimiyle karşılaştırıldığında ihmal edilebileceği söylenebilir. Bu, denklem 2.14 için temel bir kabuldür. Denklem 2.14'te parametreler aşağıdaki yolla bulunurlar:

1. Segment (segman) parametreleri (M_1 , M_2 , σ_h , σ_{z1} , σ_{z2}) segment merkez çizgisi üzerinde R noktasına en yakın nokta olan R' noktasında interpolasyon yardımıyla bulunur. (Şekil 2.7)
2. Q_1 Gerçek tam (kullanışlı) emisyon hızıdır; yani,

$$Q = \left(\frac{M_1}{\Delta t} \right) \text{veya} \left(\frac{M_2}{\Delta t} \right) \quad (2.71)$$

3. \bar{u} , gerçek tam (kullanışlı) rüzgar hızıdır; yani

$$\bar{u} = \frac{L_e}{\Delta t} \quad (2.72)$$

4. Eğer R alıcısı R' nokrasının üzerindeyse σ_{z1} , σ_{z2} kullanılabilir. (Zannetti, 1990)

2.6.10. Elemanların bölünmesi

Dumanın elemanlarına bölünmesi, yerel zaman değişkenli meteorolojik şartların birer fonksiyonu olan eleman denklemlerinin hesaplanmasına olanak sağlar. Bu yer değiştirmenin yatay bileşeni

$$\Delta d_h = u_h \Delta t \quad (2.73)$$

olarak tanımlanır; buradaki $u_h(u_x, u_y)$ hızı gerçek lokal yatay hız vektörüdür. Bu yöntem küme modelleme simülasyonu için geliştirilmiştir; ancak şekil 2.9'da gösterildiği gibi küme segment olarak iki şekilde de kullanılabilir. Bu programlama yöntemi uygun çözümü sağlamak için Δt süresince elemanların yörüngesi üzerinde gerektiği kadar hayali eleman üretir.

1. R alıcısı bu eleman tarafından etkileniyorsa,
2. Kümeler için $|\Delta dh| > \sigma_h$ olduğunda ve segmentler için $|\Delta dt| > \sigma_h$ olduğunda (burada Δdt , Δdh 'ın segment merkez çizgisine dik olan bileşenidir), eleman yörüngesi R alıcısındaki konsantrasyon dağılımını hesaplamak için bölünür. (Zannetti, 1990)

2.7. Gauss Denklemlerinin Türevleri

2.7.1. Yari ampirik türevler

Yari ampirik türevlerin elde edilmesi için;

1. Duman konsantrasyonunun c olduğunu,
2. Her çökme mesafesinin x olduğunu,
3. Yatay ve dikeyde bağımsız Gauss dağılımlarının olduğu kabul edilmiştir. Yani,

$$c(x, y, z) = \text{sabit} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_h} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_{cw}}{\sigma_h}\right)^2\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2.74)$$

çökme mesafesi x Bölüm 2.3.1'deki d ile aynıdır ve birbirlerinin yerine kullanılmışlardır.

Kütlenin korunumu, (x, y) kesit alanına gelen her konsantrasyon akısının aynı olmasını gerektirir; yani her x için;

$$Q = \int_{(y,z)} c(x, y, z) \bar{u} dy dz \quad (2.75)$$

olarak hesaplanır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000)

2.7.2. Gauss kümelerinin süperpozisyonu

Bir duman, sonsuz sayıda kümeden oluşan sonsuz bir seri ile tanımlanabilir; burada her küme (x, y, z) düzleminindedir ve (x_r, y_r, z_r) alıcısı için bir konsantrasyon alanı üretir;

$$dc(x, y, z) = \frac{dM}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x-x_r}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y-y_r}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{z-z_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (2.76)$$

burada $dM = Qdt = Qdx/\bar{u}$ olarak tanımlanan dumanın kütlesidir. Eğer $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$ ise; denklem 2.76, x'e göre integre edildiğinde denklem 2.14'ü verir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000)

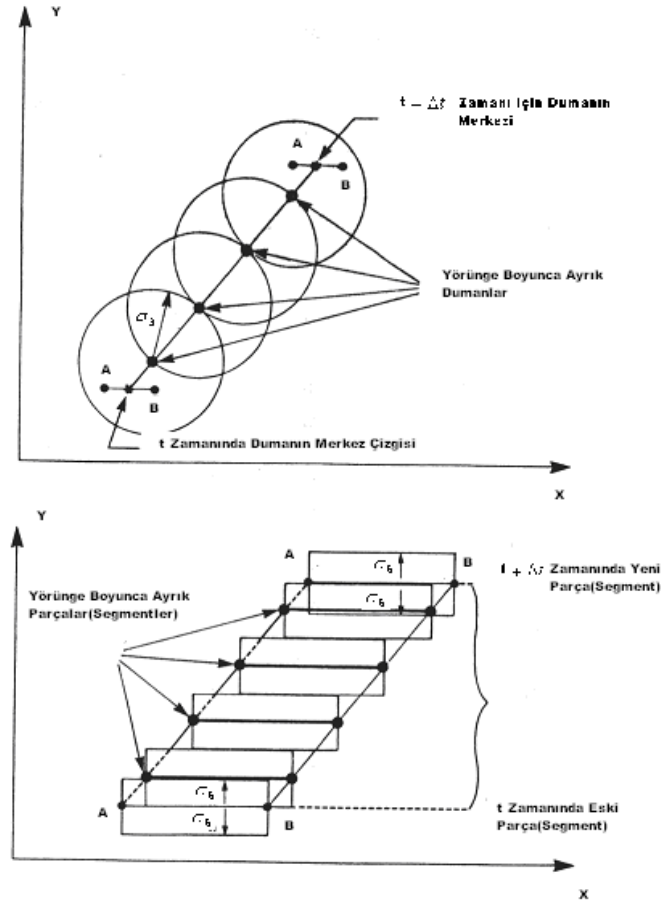
2.8. Langrange Dispersiyon Modelleri

2.8.1. Lagrange yaklaşımı

Tek çeşit kirleticinin atmosferik dispersiyonunun temel Lagrange denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\langle c(r, t) \rangle = \int_{-\infty}^t \int p(r, t/r', t') S(r', t') dr' dt' \quad (2.77)$$

burada $\langle c(r, t) \rangle$, t zamanında r'deki toplam konsantrasyon; $S(r', t')$, kaynak terimi (kütlesel hacim⁻¹zaman⁻¹); $p(r, t/r', t')$ ise hava t' zamanında r' konumundan t zamanında r konumuna hareket ederken olası yoğunluk fonksiyonudur (hacim⁻¹); her bir $t > t'$ ve r' için



Şekil 2.9. Bir duman(üstteki) ve bir segmentin(alttaki) bölünmesi işlemi (Zannetti, 1990)

$$\int p(r, t | r', t') dr \leq 1 \quad (2.78)$$

şeklinde tanımlanır. Denklem 2.78, kimyasal veya çökme olayları için içine girdiğinde daha küçük değer alacaktır; burada da kütle korunumu her zaman kullanılacaktır. Birincil kirleticiler için, sadece kirleticinin çıkış noktası olan r' noktasında $S(r', t')$ değeri sıfırdan büyüktür. İkincil kirleticiler için $S(r', t')$ hiçbir zaman sıfır olamaz. Kirletici korunumunu ifade eden denklem 2.78 her iki kirletici için uygulanabilir.

$-\infty \leq t' \leq t$ için, tam emisyon hesabı zor olduğu denklem 2.77 aşağıdaki şekilde yazılır;

$$\langle c(r,t) \rangle = \int p(r,t|r',t_0) \langle c(r',t_0) \rangle dr' + \int_{t_0}^t p(r,t|r',t') S(r',t') dr' dt' \quad (2.79)$$

Özel bir kaynağın sürtünme etkisinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulduğu durumlarda denklem 2.77'nin yerine denklem 2.79'un kullanılması doğru olmayabilir. Eğer denklem 2.79 kullanılmak isteniyorsa daha önce bilinen konsantrasyonlardan $\langle c(r',t_0) \rangle$ teriminin hesaplanabilmesi gerekir.

Gauss duman ve küme formülleri aşağıda verilen basit kabullerle Lagrange denklemi 2.77'den türetilmektedir:

1. Türbülans sabit ve homojendir; yani,

$$p(r,t|r',t') = p(r-r',t-t') \quad (2.80)$$

2. P, çok boyutlu normal dağılıma uygundur; yani,

$$p(r-r',t-t') = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} |P|^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\zeta^T P^{-1} \zeta / 2\right] \quad (2.81)$$

Burada P matrisinin her elemanı P_{ij} (i ve j=1,2 veya 3) aşağıdaki gibi tanımlanır

$$P_{ij} = \langle \zeta_i \zeta_j \rangle \quad (2.82)$$

Ve ξ_i yer değiştirmesi ise

$$\xi_i = |r - r'|_i - \langle |r - r'| \rangle_i \quad (2.83)$$

olarak tanımlanır; buradaki i uzay bileşenlerini gösterir (sırasıyla i=1,2 veya 3 için x,y veya z)

3. $\langle r - r' \rangle$ terimi, sadece ortalama rüzgar hızına (\bar{u}) bağlı ortalama yer değiştirmedir.

4. $i \neq 0$ için $P_{ij} = 0$ olur. (Zannetti, 1990)

Aşağıdaki modeller Lagrange modelleri olarak tanımlanabilir;

. Fotokimyasal simülasyonlar kullanan Lagrange kutu modelleri

. Gauss bölümlü küme modelleri

. Gauss küme modelleri

. Partikül modeller (Zannetti, 1990)

2.8.2. Lagrange kutu modelleri

Lagrange kutu modelleri ile Gauss kutu modelleri benzerdir; en önemli fark şekil 2.7 ve 2.8'de gösterildiği gibi zaman değişkenli yerel ortalama rüzgar hızıyla yatay olarak taşınan hareketli kutudur.

Bu yöntem, kutunun yörüngesi boyunca zaman değişkenli ortalama konsantrasyon tahminini fotokimyasal simülasyonları kullanarak yapar. Buradaki önemli problem rüzgarın sabit olduğunun kabul edilmesidir. Diğer bir problem ise Euler denklemlerine göre çıktılarının zor olmasıdır.

Lagrange kutu modelleri, az sayıdaki hareketli hücre üzerinde üç boyutlu hesaplamalar yapar. Bu yöntemle çalışan REM 2 modeli şekil 2.10'de, DIFKIN modeli ise şekil 2.11'te gösterilmiştir.

TRACE ve PLMSTAR modelleri de Lagrange fotokimyasal modelleri kullanılarak geliştirilmiştir. (Zannetti, 1990)

2.8.3. Partikül modeller

Bu modeller, seçilen parametrelerin dinamiklerini simüle edecek kadar sayıda partikülü hesaplarda kullanır. Partikül hareketi, var olan hızlarla Monte-Carlo teknikleriyle yarı ampirik bulunan hızların birleşimiyle oluşur. Burada tek bir partikülün yörüngesi için sonsuz sayıda çözüm kümesi vardır.

3 tip partikül modeli tanımlanabilir:

. Partikül-partikül modeli; burada her zaman adımı için partiküller arasındaki etkileşim kuvvetleri hesaplanır.

. Partikül-meş modeli; burada potansiyel için alan denklemleri kullanılarak kuvvetler hesaplanır.

. PP-PM(veya P³M) modelleri; burada partiküller arası kuvvetler kısa aralıklı bir bileşenle(PP metodunda) yavaş değişen başka bir bileşene (PM metodunda) ayrılır.

Zaman ve uzunluk skalaları bu modellerde çok önemli bir rol oynar. Özellikle, bilgisayar model simülasyon partikülleri ile gerçek fiziksel partiküller arasındaki ilişki, simülasyon sonuçlarının yorumlanmasında önemli bir faktördür. Genelde üç önemli durum vardır:

. Örneğin moleküler dinamiklerin simülasyonunda olduğu gibi, gerçek ve simülasyon partiküllerinin birebir benzeşmesi,

. Örneğin fiziksel partiküllerin benzeşiminin toplamda ihmal edildiği vorteks akış simülasyonunda olduğu gibi akışkan elemanlarının tanımlanması (pozisyon-hız),

. Süper partiküllerin kullanılması; yani simülasyon partikülleri benzer karakteristiklere sahip fiziksel partikül kümesini tanımlar.

Lagrange partikül metodlarının kullanıldığı, yayılan gaz malzemesinin hesaplanmış partikül kümesi olarak tanımlandığı ve her partikülün her zaman adımında hayali hızlarla hareket ettiği hava kirliliği uygulamalarında üç temel dispersiyon bileşeni vardır:

1. Ortalama akışkan hızına bağlı olan transport,
2. Rüzgar bileşenlerinin gelişigüzel türbülans dalgalanmaları,
3. Moleküler difüzyon.

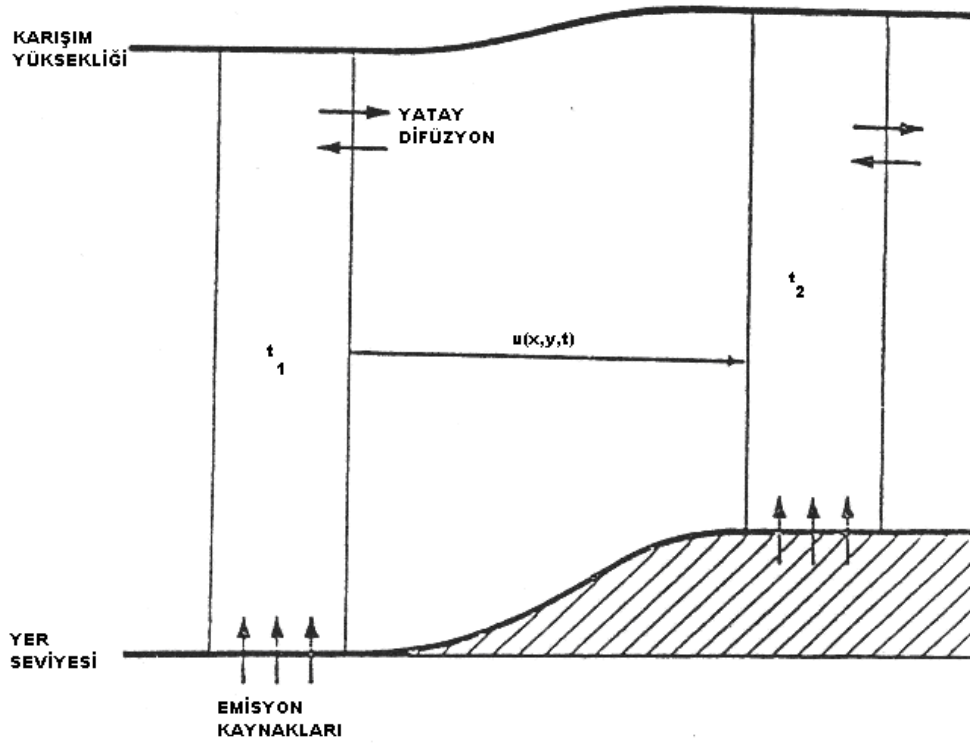
Dikey türbülans olayında her partikülün hızı

$$w = w_d + w_s \quad (2.84)$$

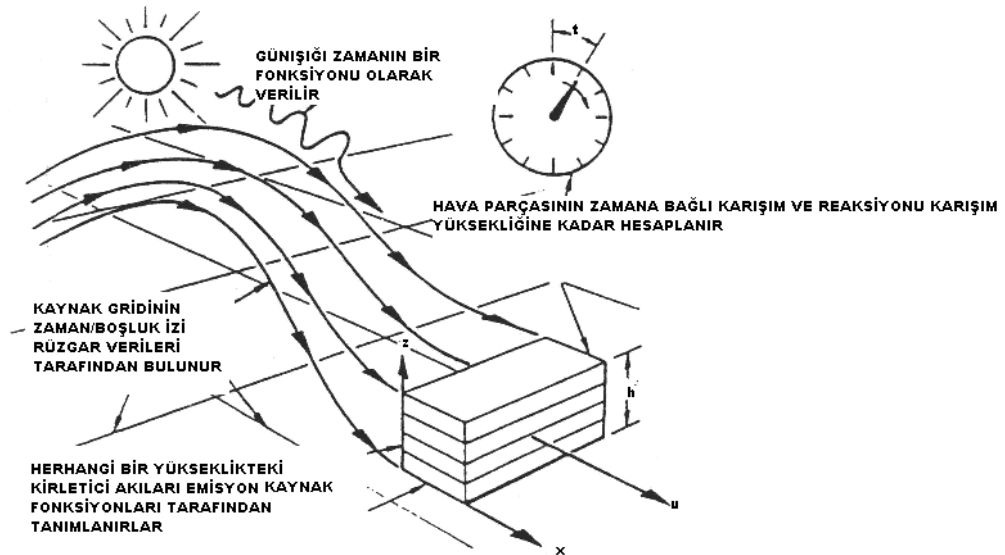
olarak tanımlanır; burada w_d , Deardoff'un Euler nümerik modeliyle bulunur; w_s ise nümerik modellerde olmayan ve alt grid dalgalanmalarının etkisini tanımlayan sabit bir terimdir. Partikül modellemesiyle ilgili birçok araştırma, Langevin stotastik diferansiyel denkleminin birer nümerik çözümüdür;

$$dw = -(w/T_L)dt + d\mu \quad (2.85)$$

burada w , Lanrange partikül hızının herhangi bir bileşeni; T_L , Lanrange zamana skalası ve $d\mu$ ise rasgele hız artışıdır. (Zannetti, 1990)



Şekil 2.10. Tek Lagrange Kutu Dinamikleri (Zannetti, 1990)



Şekil 2.11. Dikey Lagrange Kutu Dinamikleri (Zannetti, 1990)

2.8.4. Partikül modellerinin atmosferik difüzyon simülasyonu

Denklem 2.77 veya 2.79 analitik veya nümerik olarak çözülebilir. Örneğin; p 'nin bir Gauss dağılımı, $\langle c \rangle$ için Gauss duman ve Gauss küme denklemlerinin türevine olanak sağlar. p 'nin daha karmaşık fonksiyonları nümerik integrasyonlara ihtiyaç duyar.

Eğer kirletici kütlelerine ait dinamik atmosferik yörüngeler üretilebilirse, denklem 2.77 veya 2.78'in olası bir çözümü elde edilebilir. t' zamanında r' merkezli her yörünge için $p(r,t | r',t')=0$ kabul edilir; yörünge noktası t zamanında ve $r=r^*$ konumunda bulunuyorsa $p(r,t | r',t')=\delta(r-r^*)$ olduğu söylenebilir.

Partikül modeller tek partikül modeli ve çift partikül modeli olmak üzere ikiye ayrılır. Burada daha kesin sonuçlar veren tek partikül modeli incelenecektir.

Hava kalitesi uygulamalarında, her zaman adımında simülasyon partikülleri hayali hız olan u_e ile hareket ederler. t_1 zamanında ve x_1 konumundaki partikülün t_2 zamanındaki konumu;

$$x(t_2) = x(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} u[x(t),t] dt \quad (2.86)$$

ile tanımlanır; burada u , t_1 ve t_2 arasında partikül yörüngesinin herhangi bir $x(t)$ noktasındaki ani rüzgar vektörüdür.

Atmosferik türbülans özellikleri, u değerinin pratikte bilinmesini imkansız kılar. Fakat eşdeğer veya etkin rüzgar vektörü u_e aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$u_e = \int_{t_1}^{t_2} u[x(t),t] dt / (t_2 - t_1) \quad (2.87)$$

burada hareket (t_1, t_2) zaman aralığında $x(t_1)$ ile $x(t_2)$ arasında meydana gelir. Buradaki problem u hızına ait Euler ölçümlerinden u_e tahminin yapılmasıdır. Burada

$$u_e = \bar{u} + u' \quad (2.88)$$

şeklinde tanımlayabiliriz; buradaki \bar{u} ,partikül konumundaki ortalama Euler rüzgar vektörü için en iyi tahmindir ve u' ise difüzyon hızıdır. (Zannetti, 1990)

2.8.5. u' için saptanabilir çözüm

Partikül hücre metodu kullanılarak bulunan tipik deterministik yaklaşım şöyledir;

$$u' = \left(-\frac{K}{c} \right) \nabla c \quad (2.89)$$

burada K, eddy difüzyon katsayısı ve c ise yoğunluktan hesaplanan konsantrasyondur. (Zannetti, 1990)

2.8.6. u' için istatistiksel çözüm

Bu yaklaşım, deterministik yaklaşıma göre çok daha esnek ve uygulanabilir. Bu yaklaşımda, bilgisayar tarafından üretilmiş rasgele sayılar kullanılarak hesaplama yapılır. Bu yöntemin iyi bir şekilde kullanılabilmesi için u hızının Euler ölçümlerinin u' için istatistiksel verileri sağlaması gerekir.

Eğer u' ile kabulleri genişletirsek

$$u'(t_2) = R(\Delta t)u'(t_1) + u''(t_2) \quad (2.90)$$

formülünü elde ederiz; burada $R(\Delta t)$, $\Delta t=t_2-t_1$ zaman gecikmesi için otomatik korelasyon içeren u' bileşeni olan bir vektör; u' ise rasgele bir vektördür.

Denklem 2.90'nın uygulanabilmesi için t_0 üretim zamanındaki $u'(t_0)$ giriş değeriyle u'' ve R 'nin dinamik hesaplarına ihtiyaç duyulur. Lagrange zaman skalaları yardımıyla R bulunabilir;

$$R(\Delta t) = \exp(-\Delta t / T_L) \quad (2.91)$$

burada T_L , iki yatay ve bir dikey Lagrange zaman skalasıdır.

Genelde, T_L için Lagrange ölçümleri kullanışlı değildir; fakat Euler meteorolojik ölçümleri kullanılarak ampirik formüllerle hesaplanabilir.

Burada u'' rasgele vektörünü sadece $\sigma_{u''}$ bileşenlerin standart sapmalarıyla tanımlarsak denklem 2.90 aşağıdaki şekli alır:

$$\sigma_{u''} = \sigma_{u'} [1 - R^2(\Delta t)]^{1/2} \quad (2.92)$$

Denklem 2.92, varolan Euler rüzgar ölçümlerinin standart sapmalarından yararlanılarak bulunmuş olan u' bileşenlerinin standart sapması olan $\sigma_{u'}$ değerinin bilinmesini gerektirir. (Zannetti, 1990)

2.8.7. Düzensiz şartlar

Düzensiz şartlarda, $\sigma_{u'}$ nün yatay bileşenleri sabittir; yani

$$\sigma_{u'a} = \sigma_{u'c} = u_* (12 + 0,5h/L)^{1/3} \cong \sqrt{0,31} w_* \quad (2.93)$$

ve dikey bileşen z ile değişmektedir:

$z \leq 0,03h$ için;

$$\sigma_{u'z} = 0,96w_* \left(\frac{3z}{h} - \frac{L}{h} \right)^{1/3} \quad (2.94)$$

$0,03h < z < 0,4h$ için;

$$\sigma_{u'z} = w_* \min \left[0,96 \left(\frac{3z}{h} - \frac{L}{h} \right)^{1/3} ; 0,763 \left(\frac{z}{h} \right)^{0,175} \right] \quad (2.95)$$

$0,4h < z < 0,96h$ için;

$$\sigma_{u'z} = 0,722w_* \left(1 - \frac{z}{h} \right)^{0,207} \quad (2.96)$$

ve $0,96h < z < h$ için ise;

$$\sigma_{u'z} = 0,37w_* \quad (2.97)$$

Denklem 2.91 yardımıyla hesaplanan T_L otokorelasyonun yataydaki iki bileşeni sabit olarak tanımlanır; yani

$$T_{La} = T_{Lc} = 0,15 \frac{h}{\sigma_{u'a}} \quad (2.98)$$

ve dikey bileşeni z ile değişmektedir:

$z < 0,1h, z - z_0 > -L$ için;

$$T_{Lz} = 0,1 \frac{z}{\sigma_{u'z} [0,55 + 0,38(z - z_0) / L]} \quad (2.99)$$

$z < 0,1h, z - z_0 < -L$ için;

$$T_{Lz} = 0,59 \frac{z}{\sigma_{u'z}} \quad (2.100)$$

$z > 0,1h$ için ise (Zannetti, 1990);

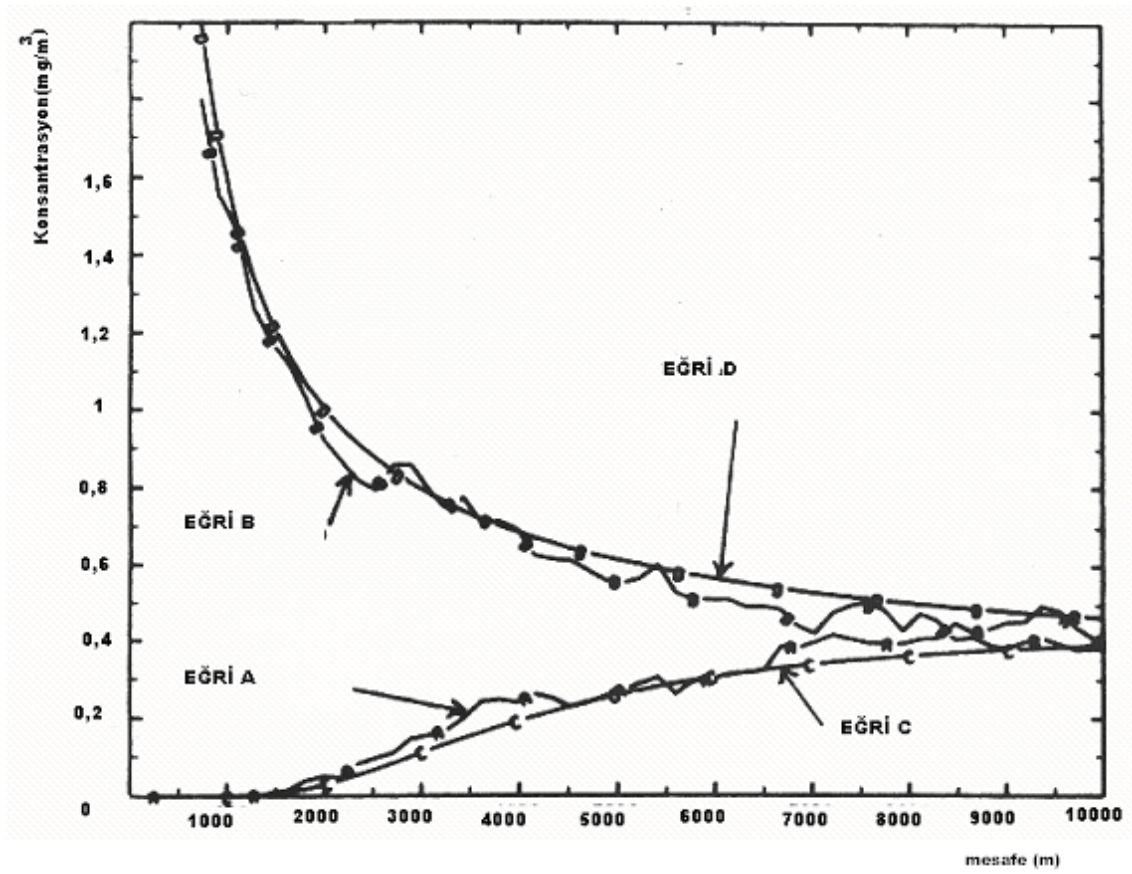
$$T_{Lz} = 0,15 \frac{h}{\sigma_{u'z}} \left[1 - \exp\left(-\frac{5z}{h}\right) \right] \quad (2.101)$$

2.8.8. Düzenli şartlar

Düzenli şartlarda, yer seviyesinin üzerindeki mekanik türbülans tabakasının en üst noktasını tanımlamak için h değeri kullanılır ve $h_{eq} = \text{sabit} \sqrt{\frac{u_*}{f}} L$ veya

$$H = 0,25 u_* L / f \quad (2.102)$$

kullanılarak hesaplanır. σ_u bileşenleri z ile değişmektedir:



Şekil 2.12. Çökme mesafesinin bir fonksiyonu olan konsantrasyon değerleri (Zannetti, 1990)

$$\sigma_{u'a} = 2,0u_* \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad (2.103)$$

$$\sigma_{u'c} = \sigma_{u'z} = 1,3u_* \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad (2.104)$$

ve denklem 2.91 yardımıyla otokorelasyonlar

$$T_{La} = 0,15 \frac{h}{\sigma_{u'a}} \left(\frac{z}{h}\right)^{0,5} \quad (2.105)$$

$$T_{Lc} = 0,07 \frac{h}{\sigma_{u'c}} \left(\frac{z}{h} \right)^{0,5} \quad (2.106)$$

$$T_{Lz} = 0,10 \frac{h}{\sigma_{u'z}} \left(\frac{z}{h} \right)^{0,8} \quad (2.107)$$

olarak hesaplanır. (Zannetti, 1990)

2.8.9. Nötral şartlar

Nötral şartlarda, σ_u bileşenleri

$$\sigma_{u'a} = 2,0u_* \exp(-3fz/u_*) \quad (2.108)$$

ve

$$\sigma_{u'c} = \sigma_{u'z} = 1,3u_* \exp(-2fz/u_*) \quad (2.109)$$

olarak hesaplanır; oto korelasyonlar ise denklem 2.91 ile bulunur (Zannetti, 1990):

$$T_{La} = T_{Lc} = T_{Lz} = \frac{0,5z/\sigma_{u'z}}{1+15fz/u_*} \quad (2.110)$$

2.8.10. MONTE-CARLO partikül modeliyle konvektif şartların simülasyonu

Denklem 2.85, $d\mu$ rasgele hız artışlarının özelliğine bağlı olarak farklı simülasyon çıktı kümeleri sağlar. Homojen türbülânsta,

$$\overline{d\mu} = 0 \quad (2.111)$$

$$\overline{(d\mu)^2} = 2\overline{u_z^2} dt / T_L \quad (2.112)$$

$$\overline{d\mu^3} = 0 \quad (2.113)$$

olarak bulunur; burada u dikey hız bileşenidir. Sınır şartları altında ve $dt=t_2-t_1$ için; denklem 2.85, denklem 2.90'nın dikey bileşeni haline gelir. Bu durumda, partikül simülasyonu homojen türbülans için daha uygun hale gelir; bu durum şekil 2.12 ile gösterilmiştir (MC-LAGPAR).

Homojen olmayan şartlar olarak tanımlanan atmosferdeki şartlar için, örneğin $\overline{u_z^2}$ değeri z yüksekliği ile değişiyor olsun. Bu durumda denklem 2.85 ve 2.12 birlikte kullanılıp bir $\overline{u_z^2}$ teriminin z ile değiştiği kabul edilirse, başka bir fiziksel tanımlama kullanmaksızın partiküllerin bölgeler içinde düşük bir $\overline{u_z^2}$ hızıyla düşme eğilimine sahip oldukları söylenebilir. Bu durum denklem 2.111'in değişmesine sebep olur:

$$\overline{d\mu} = dt \overline{\partial u_z^2} / \partial z \quad (2.114)$$

Bu denklem $\overline{u_z^2}(z)$ 'nin dikey gradyeni ile orantılıdır ve sıfır olmayan ortalama rasgele zorlamayı (yani; serbest hız) gösterir.

Konvektif şartlar için farklı bir yaklaşım ise aşağı ve yukarı akımlar için iki Langevin denklemi kullanır. Bu yöntem, düzensiz şartlar için daha gerçekçi ve daha açık sonuçlar verir; buradaki çıkış hızları iniş hızlarına göre daha kuvvetli olsalar bile etki süreleri kısadır.

Konvektif şartlardaki hareket için en çok kullanılan yaklaşım, denklem 2.113 ve Langevin denkleminde bulunan uygun bir $\overline{(d\mu)^3}$ terimiyle bağlantılıdır. Bu ifade, $d\mu$ rasgele kuvvet (zorlama) fonksiyonunu kullanarak aşağıdaki şekilde üretilmiştir:

$$\overline{d\mu} = \Delta t \left[\overline{\partial u_z^2(z) / \partial z} \right] \quad (2.114)$$

$$\overline{d\mu^2} = \Delta t \left[\overline{2u_z^2(z) / T_L + \partial u_z^3 / \partial z} \right] \quad (2.115)$$

$$\overline{d\mu^3} = \Delta t \left[\overline{3u_z^3(z) / T_L + \partial u_z^4 / \partial z - 3u_z^2(z) \overline{\partial u_z^2(z) / \partial z}} \right] \quad (2.116)$$

Denklem 2.14'ü kullanmak için, $P(d\mu)$ eğri (simetrik olmayan) dağılım fonksiyonundan Gauss olmayan $d\mu$ terimlerinin türetilmesi gerekir. Sırasıyla q ve $(1-q)$ olasılığına sahip $P_1=N(m_1, \sigma_1)$ ve $P_2=N(m_2, \sigma_2)$ Gauss dağılımlarından $d\mu$ seçilerek $P(d\mu)$ hesaplanır. Bu ise aşağıdaki bağıntılara olanak sağlar;

$$qm_1 + (1-q)m_2 = \overline{d\mu} \quad (2.117)$$

$$q(m_1^2 + \sigma_1^2) + (1-q)(m_2^2 + \sigma_2^2) = \overline{(d\mu)^2} \quad (2.118)$$

$$q(m_1^3 + 3m_1\sigma_1^2) + (1-q)(m_2^3 + 3m_2\sigma_2^2) = \overline{(d\mu)^3} \quad (2.119)$$

Burada sadeleştirme yapmak için $m_1^2 = \sigma_1^2$ ve $m_2^2 = \sigma_2^2$ kabul edilir.

Langevin denklemini (2.85), aşağıdaki sonlu fark formunda daha uygun, hızlı ve düzenli bir durumdadır;

$$w(t + \Delta t) = w(t)(1 - 0.5\Delta t / T_L)(1 + 0.5\Delta t / T_L)^{-1} + d\mu(1 + 0.5\Delta t / T_L)^{-1} \quad (2.120)$$

$$z(t + \Delta t) = z(t) + 0.5\Delta t[w(t + \Delta t) + w(t)] \quad (1.19112.46)$$

burada z , partikül yüksekliğidir; w , partikülün Lagrange dikey hızıdır; $d\mu$ ise rasgele terimleri denklem 2.14 ve 2.116 yardımıyla hesaplanır veya denklem 2.117 ve 2.119

yardımıyla P_2 ve P_1 Gauss dağılımlarından üretilirler. Karma tabaka bölme işleminin kullanılmasıyla ikinci ana ait profil aşağıdaki şekilde kabul edilmiştir;

$$u_z^{2(z)} / w_*^2 = 1.54(z/z_i)^{2/3} \exp(-2z/z_i) \quad (2.121)$$

$$\overline{u_z^2} = 0.028w_*^2 \quad (2.122)$$

burada $\alpha = 3$ olarak alınır. Kaynak yüksekliği $z=z_s$ için türetilen partiküllerle w Lagrange giriş hızı tarafından oluşturulmuş simülasyonlar aşağıdaki bağıntıları sağlarlar (Zannetti, 1990);

$$\overline{w} = 0 \quad (2.123)$$

$$\overline{w^2} = \overline{u_z^2(z_s)} \quad (2.124)$$

$$\overline{w^3} = \overline{u_z^3(z_s)} \quad (2.125)$$

2.8.11. Partikül maddeleri kullanarak konsantrasyon hesaplamaları

Partikül modeller, atmosferik hareketi simüle etmek için hayali partiküllerin gerçekçi yörüngelerinin üretilmesini sağlayan bir algoritma kümesidir.(Yegnan, et al.,2002)

Monte-Carlo partikül modelleri, en kullanışlı partikül modelleridir. Diğer teknikleri göre daha yüksek zaman ve mesafe çözümü sağlayan gridsiz karakteristiklere sahip bir yöntemdir. Bu yöntemi kullanan Kernel metodu kesin ve verimli bir metottur. Kernel yoğunluk tahmininin genel formu

$$c(r,t) = \frac{A(r)}{l^3} \sum_{i=1}^n m_i W(r_i - r, l) \quad (2.126)$$

şeklindedir; burada c, t zamanında r konumundaki konsantrasyon; l, zamana bağlı çözüm kalınlığı(yada uzunluğu); m_i, her i partikülünün kirletici kütlesi; W ise alıcı noktasından olan r_i-r mesafesi ile l 'nin bir fonksiyonu olan düzeltilmiş Kerneldir. D hesap alanının sınırına yakın r yerlerindeki konsantrasyon hesabı için A(r) doğru bir terimdir;

$$A(r) = \frac{l^3}{\int_D W(r' - r, l) dr'} \quad (2.127)$$

burada D alanı sonsuz olursa A(r)=1 olur.

Birçok W Kernel fonksiyonu mevcuttur.En çok kullanılanı Gauss Kernel fonksiyonudur(Zannetti, 1990):

$$d_i = r_i - r \quad (8,99-100)$$

$$W(d_i, l) = \frac{1}{(2\pi)^{2/3}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{|d_i|^2}{l^2}\right) \quad (2.128)$$

2.8.12. Kimya ve çökme

$$m_i(t + \Delta t) = m_i(t) \exp(-\Delta t/T) \quad (2.129)$$

Bu formül kuru çökme, yaş çökme ve lineer kimya dönüşümleri için kullanılır; burada m_i, her partikülün kütlesi; T ise zamana ve mesafeye göre değişen uygun zaman skalasıdır.

Lineer olmayan kimya için iki farklı yol izlenebilir. Biricisinde, alan süperpozisyon yöntemiyle gridlerine ayrılır; her zaman adımı için her gridin konsantrasyonu hesaplanır. Daha sonra, Euler fotokimyasal model kullanarak her zamana adımı için her kaynaktan meydana gelen kimyasal reaksiyonların etkileri hesaplanır. Eğer tek bir dumanın kimyasal reaksiyonları simüle edilecekse ikinci metot kullanılır. Bu ikinci metotta, her partikül zamanla büyüyen bir kutu olarak ifade edilir. Daha sonra Lagrange kutu modelinin fotokimyasal modülü ile her zaman adımı için her kutudaki kimyasal reaksiyonların etkileri hesaplanır. (Zannetti, 1990)

2.9. Diğer Modelleme Yöntemleri

2.9.1. K-Teori modeli

2.9.1.1. Model formülasyonu

x eksenini boyunca sabit bir hızın olduğu kabul edilmiştir; bu durumda atmosferdeki kirleticilerin sürekli rejim dispersiyonu aşağıdaki gibi bulunur:

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S \quad (2.130)$$

Burada C, ortalama konsantrasyon; K_x, K_y, K_z , x, y ve z doğrultularındaki eddy difüzyon katsayıları; S ise kaynak terimidir.

Bu denklem, birçok hava kalitesi modelleri için temel bir denklemdir. U, belirli bir zaman diliminde sabit alınır veya z'ye bağlı olarak bir güç fonksiyonundan bulunur. Benzer şekilde difüzyon katsayıları sabit kabul edilebilir veya uzaysal koordinatların bir fonksiyonu olarak hesaplanır.

Burada U değeri sabit veya difüzyon katsayıları ise Taylor teorisine bağlı olarak çökme mesafesinin lineer fonksiyonları olarak alınmıştır:

$$K_x = \alpha Ux, K_y = \beta Ux, K_z = \gamma Ux \quad (2.131)$$

Buradaki α , β ve γ terimleri atmosferik kararlılıkla değişen türbülans parametreleridir. Bu parametrelerle denklem 2.130 aşağıdaki şekle dönüşür:

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha Ux \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta Ux \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\beta Ux \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (2.132)$$

Kaynak terimi S, aşağıdaki sınır şartlarının herhangi birini tanımlamak için kullanılmıştır:

1. Q kaynak gücüne sahip ve (0,0,H) noktasındaki bir kaynaktan yayılan sürekli emisyonlar için Dirac delta fonksiyonu tanımlanır:

$$x=0 \text{ için } UC = Q\delta(y)\delta(z-H) \quad (2.133)$$

2. Kaynaktan çok uzakta, konsantrasyon sıfıra düşer; yani:

$$\chi|y|, z \rightarrow \infty \text{ için } C \rightarrow 0 \quad (2.134)$$

3. Kirleticiler için yeryüzeyi geçirimsiz kabul edilirse:

$$z=0 \text{ için } \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (2.135)$$

Denklem 132, 133-135 sınır şartlarıyla çözülmüşse aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$C(\chi, y, z) = \frac{Q}{2U\pi\sqrt{\beta\gamma}x^2} [F_{z+H} + F_{z-H}] \quad (2.136)$$

Burada

$$F_{z+H} = \left[1 + \frac{\alpha}{x^2} \left(\frac{y^2}{\beta} + \frac{(z+H)^2}{\gamma} \right) \right]^{-(1/2\alpha+1)} \quad \text{ve}$$

$$F_{z-H} = \left[1 + \frac{\alpha}{x^2} \left(\frac{y^2}{\beta} + \frac{(z-H)^2}{\gamma} \right) \right]^{-(1/2\alpha+1)} \quad \text{olarak tanımlanır. } H=0 \text{ için yukarıdaki}$$

ifadeden konsantrasyon formülü elde edilir (Sharan, et al., 1998):

$$C(\chi, y, z) = \frac{Q}{U\pi\sqrt{\beta\gamma}x^2} \left[1 + \frac{\alpha}{\chi^2} \left(\frac{y^2}{\beta} + \frac{z^2}{\gamma} \right) \right]^{-(1/2\alpha+1)} \quad (2.137)$$

2.9.1.2. İnce duman yaklaşımı

Bu duman yaklaşımında, konsantrasyonun duman merkez çizgisinde olduğu kabul edilir. Bu durum denklem 2.136'nın $\alpha \rightarrow 0$ için çözümüyle elde edilir:

$$C(\chi, y, z) = \frac{Q}{2U\pi\sqrt{\beta\gamma}x^2} \left[(1 + \alpha p)^{-\delta} + (1 + \alpha q)^{-\delta} \right] \quad (2.138)$$

Burada $p = \frac{1}{x^2} \left(\frac{y^2}{\beta} + \frac{(z+H)^2}{\gamma} \right)$ ve $q = \frac{1}{x^2} \left(\frac{y^2}{\beta} + \frac{(z-H)^2}{\gamma} \right)$ olarak tanımlanır. C ifadesini

aşağıdaki gibi tekrar yazalım:

$$C = Y_1 + Y_2.$$

Burada;

$$Y_1 = \frac{Q}{2U\pi\sqrt{\beta\gamma}x^2} (1 + \alpha p)^{-\delta} \quad \text{ve} \quad Y_2 = \frac{Q}{2U\pi\sqrt{\beta\gamma}x^2} (1 + \alpha q)^{-\delta} \quad \text{olarak yazılabilir. } Y_1 \text{ ifadesini}$$

aşağıdaki gibi tekrar yazalım:

$$Y_1 = \frac{Q}{2\pi\chi\sqrt{\beta Ux}\sqrt{\gamma Ux}} (1 + \alpha p)^{-1} (1 + \alpha p)^{-1/2\alpha}.$$

$(1 + \alpha p)^{-1/2\alpha}$ ifadesini $[(1 + \alpha p)^{1/\alpha} p]^{-p/2}$ şeklinde tanımlayıp $\alpha \rightarrow 0$ için limiti alırsak, $(1 + \alpha p)^{-1} \rightarrow 1$ ve $[(1 + \alpha p)^{1/\alpha} p]^{-p/2} \rightarrow e^{-p/2}$ olur; çünkü $x \rightarrow 0$ $(1+x)^{1/x} \rightarrow e$ olur. Böylece;

$$Y_1 = \frac{Q}{2\pi\chi\sqrt{\beta Ux}\sqrt{\gamma Ux}} \exp\left\{-\frac{U}{2x}\left(\frac{y^2}{\beta Ux} + \frac{(z+H)^2}{\gamma Ux}\right)\right\} \text{ ve}$$

$$Y_2 = \frac{Q}{2\pi\chi\sqrt{\beta Ux}\sqrt{\gamma Ux}} \exp\left\{-\frac{U}{2x}\left(\frac{y^2}{\beta Ux} + \frac{(z+H)^2}{\gamma Ux}\right)\right\} \text{ olur. Sonuç olarak;}$$

$$C = \frac{Q}{2\pi\chi\sqrt{\beta Ux}\sqrt{\gamma Ux}} \exp\left\{-\frac{U}{2x}\left(\frac{y^2}{\beta Ux}\right)\right\} \times \left[\exp\left(-\frac{U}{2x}\frac{(z+H)^2}{\gamma Ux}\right) + \exp\left(-\frac{U}{2x}\frac{(z-H)^2}{\gamma Ux}\right)\right]$$

olarak bulunur. Yukarıdaki denklemlerde $\sigma_y^2 = \beta x^2$ ve $\sigma_z^2 = \gamma x^2$ değişikliği yapılırsa Gauss duman çözümü için bir denklem elde edilmiş olur:

$$C = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} e^{-y^2/2\sigma_y^2} \left[e^{-(z+H)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z-H)^2/2\sigma_z^2} \right]. \quad (2.139)$$

Sürekli rejim çözümü için $U=0$ ve izentropik difüzyonite kullanılır:

$$C = \frac{Q}{4\pi Kr}.$$

Buradaki r terimi kaynaktan olan radyal mesafesidir. (Sharan, et al., 1998)

2.9.1.3. Parametrizasyon

Denklemler 136'nın pratik uygulamaları için α , β ve γ türbülans parametrelerinin tanımlanmaları gerekir. Bu parametreler genellikle türbülans yoğunluklarının karesi şeklinde tanımlanır:

$$\alpha = \left(\frac{\sigma_u}{U}\right)^2, \beta = \left(\frac{\sigma_v}{U}\right)^2, \gamma = \left(\frac{\sigma_w}{U}\right)^2 \quad (2.140)$$

Türbülans yoğunluk ölçümleri uygunsalar, türbülans parametreleri yukarıdaki ifadelerden hesaplanabilirler. Ancak bu ölçümlerin yokluğunda ise ortalama rüzgar hızı(U), düzensiz şartlara ait konvektif hız skalası(w_*) ver düzenli şartlara ait sürtünme hız skalası(u_*) içeren ampirik formüller kullanılır:

$$\alpha = \beta = 0,36(w_* / U)^2, \gamma = 0,16(w_* / U)^2 \text{ (düzensiz şartlar)}$$

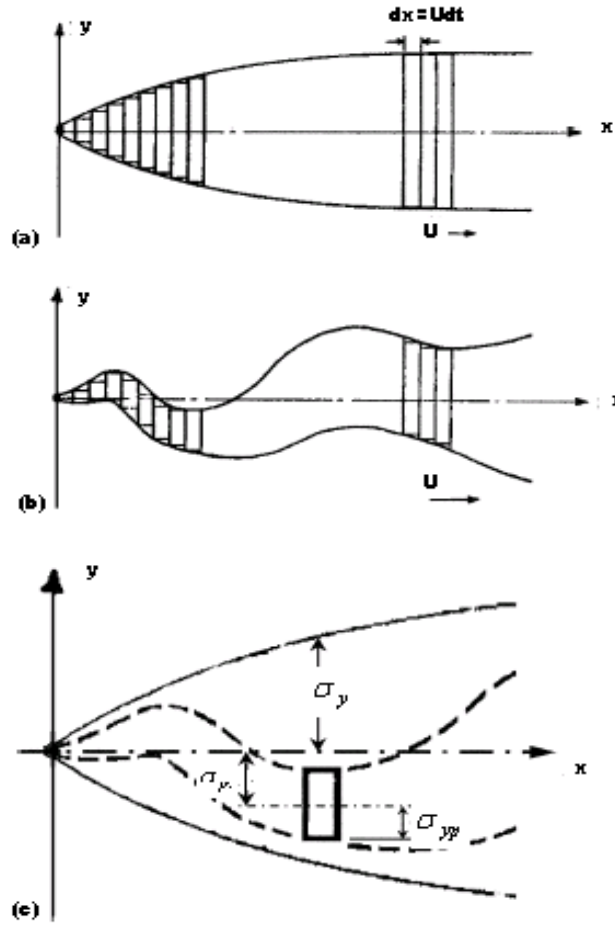
$$\alpha = 6,25(u_* / U)^2, \beta = 3,61(u_* / U)^2, \gamma = 1,69(u_* / U)^2 \text{ (düzensiz şartlar)} \quad (2.141)$$

$$\alpha = \left(\frac{\sigma_u}{U}\right)^2 = \text{Cosh}(\sigma_\theta^2) - 1, \beta = \left(\frac{\sigma_v}{U}\right)^2 = \text{Sinh}(\sigma_\theta^2) \quad (2.142)$$

σ_θ (rüzgar yönünün standart sapması) değerlerini kullanarak yukarıdaki formül ile türbülans yoğunluğu hesaplanabilir. (Sharan, et al., 1998)

2.9.2. Dalgalı duman dispersiyon modeli

Gauss duman dispersiyon modelleri, bir kirleticinin konsantrasyonunu, kaynağın çökme düzleminde ve rüzgar yönüne dik olacak şekilde, çökme yönündeki eksen üzerinde merkezi olarak dağıldığını kabul eder. Çökme düzlemleri, yükseltilmiş baca yüksekliğinden başlayan yatay bir doğrultuda hareket eden dikey katmanlardır.



Şekil 2.13. Gauss duman modelindeki yayılma disklerinin alansal görünüşü(a); dalgalı duman modelinin yayılma disklerinin alansal görünüşü(b); dalgalı duman modelindeki çapraz rüzgar mesafelerinin standart sapmaları(c)(Mussio, et al.,2001).

Herhangi bir (x, y, z) koordinata sahip bir a noktasının kirletici konsantrasyonu, Gauss duman modeli tarafından sabit olarak hesaplandığı halde, dalgalı duman dispersiyon modeli tarafından çökme yönünde duman merkezi dalgalanmalarına bağlı olarak değişken değerler bulunabilir. Bir noktaya ait dalgalı dispersiyon modeli tarafından konsantrasyonunun zamana göre ortalama değeri, Gauss dispersiyon modelinin zamana göre ortalama değerine ulaşmaktadır.

Dalgalı duman dispersiyon modeli tarafından yapılan konsantrasyon tahmini, iki Gauss dağılımının sonucudur. Birincisi, duman katmanının merkez çizgisinin konumunu belirler; ikincisi ise duman katmanındaki konsantrasyon değişimini belirler. Çökme yönündeki duman katmanındaki merkez dalgalanma değişimi σ_c^2 ile duman katmanının değişimi σ_p^2 , uzun süreli ortalama değer olan dumanın dispersiyonu σ^2 ile ilişkilidir:

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 + \sigma_c^2 \quad (2.143)$$

Her duman katmanı için, duman merkez çizgisinin çapraz(yan) rüzgar yönünde rastgele bir y_c değeri üretilir, bu değer x eksenini boyunca ortalaması sıfırdır ve σ_{y_c} standart sapma değeri ile dağılım gösterir. Duman katmanı ile alıcı arasındaki çapraz rüzgar mesafesi y_p ise seyrelmeyi hesaplamak için denklem 2.144 içinde kullanılmıştır. y_c değerinin ortalama değeri, alıcının çapraz rüzgar mesafesi olan y değerine eşittir. Burada $y_p = y - y_c$ olarak tanımlanır. y_c , duman merkez çizgisiyle herhangi bir duman merkezi arasındaki mesafedir.

Dikeyde, uzun süre ortalama Gauss duman çizgisi, H etkin baca yüksekliğinde x eksenine paraleldir. Her duman katmanının etkin baca yüksekliğiyle olan dikey mesafesi, dalgalı duman merkez çizgisini oluşturmak için üretilmiştir.; burada tüm katmanların değerleri σ_{z_c} standart sapma değeriyle dağılmışlardır ve bu değerlerin ortalaması etkin baca yüksekliğine eşittir. Duman merkez çizgisi yüksekliği z_c ile alıcı yüksekliği z arasındaki fark olan z_p değeri hesaplanarak denklem 2.144 içinde kullanılmıştır. Yer seviyesindeki alıcı için ($z=0$) z_p ve z_c değerleri eşittir:

$$N_i = \frac{V_0 N_0}{\pi u_H \sigma_{z_p}} \left[-\frac{y_p^2}{2\sigma_{y_p}^2} - \frac{z_p^2}{2\sigma_{z_p}^2} \right] \quad (2.144)$$

Burada N_i , alıcıdaki duman katmanının koku direnci(miktarı); V_0 , baca gazının hacimsel akış hızı(m^3/s); N_0 , bacadaki kokun direnci; u_H , etkin baca yüksekliğindeki yatay rüzgar

hızıdır(m/s); y_p , duman katmanının merkeziyle alıcı arasındaki çapraz rüzgar yönü mesafesi; z_p ise duman katmanının merkez çizgisiyle alıcı arasındaki dikey mesafedir.

Bu modelde uygulanan temel adımlar aşağıda verilmiştir:

1. Baca verilerini, meteorolojik verileri ve alıcı konumlarını gir.
2. Kararlılık sınıfı, rüzgar hızı ve potansiyel sıcaklık gradyanını hesapla.
3. Duman yükselmesini hesapla.
4. Uzun süreli duman dispersiyon katsayılarını hesapla.
5. Duman katmanı dispersiyon katsayılarını hesapla.
6. Duman katmanı merkez çizgisinin standart sapmasını hesapla.
7. Gauss modeli ortalama yer seviyesi konsantrasyonunu hesapla.
8. y_c ve z_c değerlerini hesapla.
9. y_p ve z_p değerlerini hesapla.
10. Denklem 2.144 ile yer seviyesi konsantrasyonlarını hesapla.
11. Her duman katmanı için 8-10 adımlarını tekrar et.
12. her baca için 3-11 adımlarını tekrar et.
13. Alıcı konsantrasyonlarının frekans dağılımını hesapla.
14. Her alıcı konumu veya periyot için 1-13 adımlarını tekrar et.

15. çıktı al.

Bu model anlık değerlerin bulunması için kullanılan bir yöntemdir (Mussio, et al.,2001).

2.9.2.1. Kararlılık sınıfı

Pasquill kararlılık sınıfı, yüzey rüzgar hızına ve güneş ışınlarına bağlı olarak tanımlanır. Kazanılan güneş radyasyonu olan R değeri enlem, gün uzunluğu, yıllık gün sayısı ve bulutluluk durumuna göre hesaplanır. (Mussio et al.,2001)

2.9.2.2. Duman yükselmesi

F_m momentum akısı, yükselme(yüzme) F, kararlılık parametresi s ve maksimum duman yüksekliğinin çökme yönündeki mesafesi olan X_f değerleri Briggs'e bağlı olarak hesaplanmıştır. (Mussio et al.,2001)

2.9.3. SCREEN modeli

Bu model, Gauss dispersiyon modeline bağlı olarak aşağıdaki denklemden bulunur:

$$C(x, y, z) = \frac{Q \times 10^6}{2\pi U_s \sigma_z \sigma_y} \left\{ \exp\left[-\left(\frac{(H_r - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] + \exp\left[-\left(\frac{(H_r + H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] + A \right\} \quad (2.145)$$

Burada

A=

$$\sum_{N=1}^k \left\{ \exp\left[-\left(\frac{(H_r - (2NH_m - H_e))^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] + \exp\left[-\left(\frac{(H_r + (2NH_m - H_e))^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] + \exp\left[-\left(\frac{(H_r - (2NH_m + H_e))^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] + \exp\left[-\left(\frac{(H_r + (2NH_m + H_e))^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \right\}$$

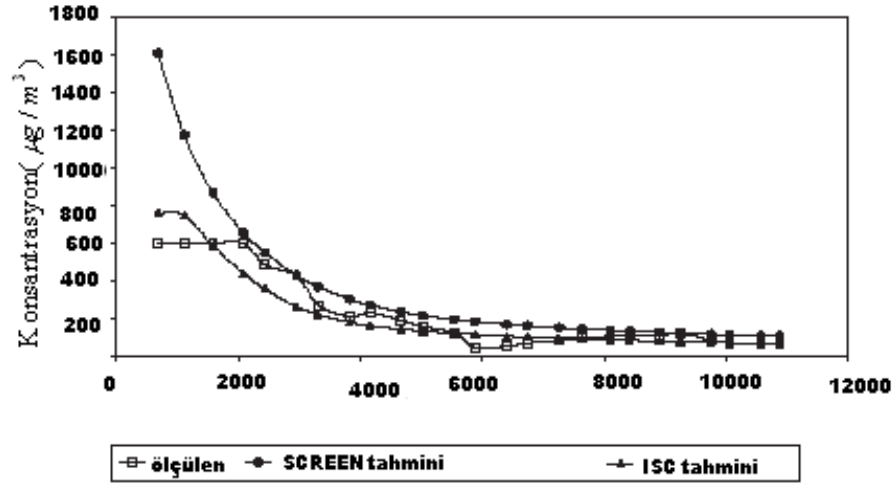
olarak tanımlanır. Buradaki C, konsantrasyon ($\mu\text{g} / \text{m}^3$); Q, emisyon hızı(g/s); U_s , baca yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı(m/s); H_e , etkin baca yüksekliği($H_e=H_s+\Delta h$)(m); H_s , fiziksel baca yüksekliği(m); Δh , duman yüksekliği(m); H_r , alıcı yüksekliği(m); H_m , karışım yüksekliği(m); σ_y , yatay yöndeki dispersiyon katsayısı(m); σ_z , dikey yöndeki dispersiyon katsayısı(m); A ise yanıtma terimidir.

Burada Briggs duman yükselmesi denklemi ve Pasquill-Gifford dispersiyon denklemleri kullanılmaktadır. Karışım yüksekliği, ortalama rüzgar hızına bağlı olarak tanımlanır.

Bacaya yakın yerlere ait tahminler için ISC modeli tavsiye edilir. ISC'nin Excel versiyonu için aşağıdaki denklemi kullanan düzeltilmiş ISC modeli kullanılmıştır:

$$C(x, y, z) = \frac{Q \times 10^6}{2\pi U_s \sigma_z \sigma_y} \left\{ \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \right\} \left\{ \exp\left[-\left(\frac{H_r - H_e}{2\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\left(\frac{H_r + H_e}{2\sigma_z}\right)^2\right] + A \right\} \quad (2.146)$$

Şekil 2.14, SCREEN ve düzeltilmiş ISC modelinin verilerini göstermektedir. Buradaki en önemli fark, SCREEN yönteminin karışım yüksekliğini sadece rüzgar hızına göre tanımlarken, ISC modelinin ise günlük düşey sıcaklık gradyanına göre tanımlamasıdır. Ayrıca SCREEN modeli sadece çökme yönünde tahmin sağladığı halde ISC modeli çapraz rüzgar yönü tahminlerini de sağlayabilmektedir. (Mehdizadeh, et al., 2004)



Şekil 2.14. SCREEN ve ISC tahminlerinin ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması (Mehdizadeh, et al., 2004)

2.9.4. TAPM(Hava kirliliği modeli)

Atmosferik akış, termodinamik, nem korunumu, türbülans ve dispersiyonun temel denklemleri bu model tarafından kullanılmaktadır. Hesapsal verim, meteorolojik ve hava kirliliğiyle ilgili iç içe bir yaklaşımla, ilgilenilen bölgeyi meteorolojik gridlere göre daha iyi bir inceleme sağlayacak şekilde kirletici gridleri içerir. Model önce Lagrange sonra ise Euler modellemesini yapmaktadır. Bu model özellikle deniz kıyısı olan nemli bölgeler için kullanılır.

TAPM'nin meteorolojik bileşeni, dikey koordinatlarda bir arazinin üç boyutlu simülasyonlarını sağlayan sıkıştırılmaz, tercihen hidrostatik olmayan basit bir denklem modelidir. Bu model bulut/yağmur olayları, türbülans, kentsel/bitkisel gölge, toprak ve radyoaktif akılar için parametreler içerir. Model denklemleri dünyanın eğriliğini ihmal ederek arazi boyunca düzgün bir grid sistemi olduğunu kabul eder; bu yüzden yatayda modellenen arazinin $1000 \times 1000 \text{ km}^2$ 'den küçük olması gerekir.

Ortalama rüzgar, momentum denklemindeki yatay bileşenleri olan u ve v için belirlenir ve arazinin dikey hızı σ ise süreklilik denkleminde bulunmaktadır. Potansiyel virtüel sıcaklık θ_v ise ısı ve su buharının korunması denklemlerinden elde edilir. $\pi = \pi_H + \pi_N$ (j/kgK) olan Exner basınç fonksiyonu, π_H hidrostatik bileşenle π_N hidrostatik olmayan bileşenin toplamıdır. Bunlarla ilgili denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\frac{du}{dt} = F(u) - \frac{\overline{\partial w' u'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} - \theta_v \left(\frac{\partial \pi}{\partial x} + \frac{\partial \pi}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) + fv - N_s (u - u_s) \quad (2.147)$$

$$\frac{dv}{dt} = F(v) - \frac{\overline{\partial w' v'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} - \theta_v \left(\frac{\partial \pi}{\partial y} + \frac{\partial \pi}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) + fu - N_s (v - v_s) \quad (2.148)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \sigma} = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) + v \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \quad (2.149)$$

$$\frac{\partial \theta_v}{dt} = F(\theta_v) - \frac{\overline{\partial w' \theta_v'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} + S_{\theta_v} - N_s (\theta_v - \theta_{vs}) \quad (2.150)$$

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial \sigma} = \frac{g}{\theta_v} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial z} \right)^{-1} \quad (2.151)$$

$$\frac{dq}{dt} = - \frac{\overline{\partial u' q'}}{\partial x} - \frac{\overline{\partial v' q'}}{\partial y} - \frac{\overline{\partial w' q'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} + S_{qv} + S_{qc} - N_s (q - q_s) \quad (2.152)$$

Burada x , y , σ ve t , koordinat sistemi(m) ve zaman bileşenleridir ($\sigma = z_T \left(\frac{z - z_s}{z_T - z_s} \right)$); z , z_T ve z_s , dikey kartezyen koordinatı(m), model tepesinin yüksekliği(m) ve arazi yüksekliğidir(m); $\frac{d\phi}{dt} = \frac{\partial \phi}{dt} + u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} + \sigma \frac{\partial \phi}{\partial \sigma}$ eşitliğinde $F(\phi)$, ϕ 'nin yataydaki

filtrelenmiş hali; $\overline{w'\phi'}$, ϕ' 'nin dikey akısı; f , Koriyolis parametresi ($4\pi_c \sin(lat) / 24 \times 3600$) (s^{-1}); $\pi_c = 3,1459365$; lat , enlem(derece); u_s , u_v , θ_{sv} ve q_s , büyük skalalı hava rüzgarları, potansiyel virtüel sıcaklık ve bağıl nem; N_s , büyük skalalı dürtme(nudging) katsayısı ($1/24 \times 3600$); $S_{\theta_v} = \frac{\theta_v}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_{RADYASYON} - \frac{\lambda}{c_p} S_{qv}$ eşitliğinde T , sıcaklık(K); g , yerçekimi ivmesi; λ , suyun buharlaşma özgül ısı ($2,5 \times 10^6$ J/kg); c_p , sabit basınctaki özgül ısı (1006 J/kgK); $q = q_v + q_c$ ise su buharının ve bulut suyu özgül nemliliğini toplamı(kg); S_{qv} , S_{qc} ve S_{qr} , mikrofiziksel kaynak terimleri; V_T , istasyondaki yağmur yağma hızı; $\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \left(\frac{\sigma - z_T}{z_T - z_s} \right) \frac{\partial z_s}{\partial x}$,

$$\frac{\partial \sigma}{\partial y} = \left(\frac{\sigma - z_T}{z_T - z_s} \right) \frac{\partial z_s}{\partial y} \text{ ve } \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \left(\frac{z_T}{z_T - z_s} \right) \text{ dir. (Hurley, at al., 2005)}$$

2.9.4.1. Hava kirliliği modülü

TAPM modelinin hava kirliliği modülü, Euler grid modülü, Lagrange partikül modülü, duman yükselme modülü ve bina iz modülünü içerir. Model nokta, çizgi, alan/hacim kaynakları ve gridlenmiş yüzey kaynaklarını kullanır. (Hurley, at al., 2005)

1. Euler Grid Modülü

Bu modül, potansiyel virtüel sıcaklık ve özgül nem değişkenleriyle benzer şekilde χ konsantrasyonu için tahmini denklemin iç içe geçmiş grid temelli çözümlerini içerir.

$$\frac{\partial \chi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \chi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial \chi}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial \sigma}{\partial z} \right) \times \frac{\partial}{\partial \sigma} (\overline{w'\chi'}) + S_\chi + R_\chi \quad (2.153)$$

Burada kirletici emisyonları S_χ ve kimyasal reaksiyonlar ise R_χ ile gösterilmiştir.

Başlangıçta, χ değeri olarak bir yer seviyesi konsantrasyonu girilir. Dış grid üzerindeki akış sınırlarına ait kirletici konsantrasyonu, bir yer seviyesi konsantrasyonu seçilirken içteki gradyenlerin sınırlarındaki değerler önceki değerden bulunur. Dış sınırlarda sıfır gradyen sınır şartarı kullanılır. (Hurley, at al., 2005)

2. Kimya

Model, hem iz(reaktif olmayan veya basit birinci derece reaksiyon) hem de kimyasal mod ile çalışır. Kimyasal modda, gaz fazı fotokimyası Genel Reaksiyon Seti(GRS) olarak bilinen yarı ampirik bir mekanizmaya dayanır. Programda 13 çeşit reaksiyon için 10 farklı reaksiyon bulunmaktadır: duman reaktifliği, köklü birleşme, hidrojen peroksit, azot oksit, azot dioksit, ozon, kükürtdioksit, kararlı olmayan gaz organik karbon, kararlı azot gazı ürünleri, kararlı olmayan azot gazı ürünleri, kararlı olmayan kükürt gazı ürünleri, toz partikül maddeleri ve ince partikül maddeleri. (Hurley, at al., 2005)

3. Çökme

Kirletici çökme hızı, $V_d=(r_{hava}+r_{yüzey})^{-1}$ olarak tanımlanır; burada $r_{yüzey}$ yüzey tipine göre değişir; $r_{hava}=r_{aH}+r_{bH}Sc^{2/3}$; r_{aH} ve r_{bH} , ısı transferi için direnç fonksiyonları; Sc ise Schmidt sayısıdır. Burada NO_2 , NO , O_3 , SO_2 ve H_2S_2 için direnç değerleri Wesley, Harley tarafından bulunmuştur; toz partikül ve ince partikül maddelerin kuru çökme hızlarının hesabı ise Seinfeld ve Pandis yaklaşımıyla bulunur. (Hurley, at al., 2005)

4. Lagrange Partikül Modülü

LPM, kütleli yatayda bir duman ve dikeyde ise bir partikül olarak tanımlayan bir PARTPUFF yaklaşımını kullanır. Kimya, Euler Grid Modülü ile birlikte kullanılır; burada ikincil partikül konsantrasyonları partikül kütlelerine geri dönmez. Çökme işlemleri LPM içinde ihmal edilmiştir.

Dikey doğrultuda partikül pozisyonu,

$$\frac{d\sigma_{partikül}}{dt} = \dot{\sigma} + \dot{\sigma}' + \dot{\sigma}_p \quad (2.154)$$

ile bulunur; burada koordinat sistemindeki partikül pozisyonu $\sigma_{partikül}$, ortalama ortam dikey hızı $\dot{\sigma}$, türbülansa bağlı ortam dikey hız bozukluğu $\dot{\sigma}'$, duman yükselme(yüzme) etkilerine bağlı olan dikey hız bozukluğu ise $\dot{\sigma}_p$ ile gösterilmiştir.

Kimyasal hesaplarda ve zaman ortalama hesaplarında kullanılan toplam kirletici konsantrasyon hesabında, partiküller bir grid noktasındaki bir partikülün konsantrasyon artışını tanımlayan bir denklem kullanan EGM grid noktalarındaki konsantrasyona dönüştürülürler:

$$\Delta\chi = \frac{\Delta M}{2\pi_c \sigma_c^2 \Delta z} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2.155)$$

Burada ΔM , partikül kütlesi; σ_y , yatay duman genişliğinin standart sapması; Δz , dikey grid boşluğu; r ise partikül pozisyonuyla grid noktası arasındaki yatay mesafedir. (Hurley, at al., 2005).

5. Duman Yükselme Modülü

Bir nokta emisyon kaynağının ortalama yükselmesi aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$\frac{dG}{dt} = 2R(\alpha w_p^2 + \beta u_a w_p) \quad (2.156)$$

$$\frac{dF}{dt} = \frac{sM}{u_p} \left(\frac{M}{M_e} u_a + w_p \right) \quad (2.157)$$

Burada $\frac{dM}{dt} = F$; $\frac{dx_p}{dt} = u$; $\frac{dy_p}{dt} = v$; $\frac{dz_p}{dt} = w$; $G = \frac{T_a}{T_p} u_p R^2$; $F = g u_p R^2 \left(1 - \frac{T_a}{T_p} \right)$;

$$M = \frac{T_a}{T_p} u_p R^2 w_p$$
; $w_p = \frac{M}{G}$; $R = \sqrt{\frac{(G + F/g)}{u_p}}$; $u_p = \sqrt{u_p^2 + u_a^2}$; $u_a = \sqrt{u^2 + v^2}$; G, F ve M,

dumanın hacim, yüzme(yükselme) ve momentum akıları; R, duman yarıçapı; u, v ve w, hızın x, y ve z bileşenleri; T, sıcaklık; s, ortam yüzme(yükselme) frekansı; alt indis a ve p ortam ve duman değişkenlerini tanımlar; $\alpha=0,1$ ve $\beta=0,6$; $M/M_e=1/2,25$; g ise yerçekimi ivmesidir(9,8 m/s). (Hurley, at al., 2005)

6. Bina İz Modülü

Duman yükselmesi ve dispersiyon üzerine bina izlerinin etkisi PRIME(Schulman Duman Yükselmesi Artışlarının Modellenmesi) yaklaşımına dayanır. Etkin bina boyutları, boşluk ve iz boyutları PRIME rüzgar koordinat sisteminde tüm binalar için hesaplanıp kombine iz meteorolojisini ve türbülansını belirlemek için kullanılır. (Hurley, at al., 2005)

2.9.5.CALPUFF modelleme sistemi

PUFF modelleri, kirleticilerin belirli sayıdaki kesikli paketlerinden oluşmuş sürekli bir dumanı tanımlar. Bu model, bir alıcıdaki konsantrasyon için bir dumanın dağılımını bir ‘şipşak’ yöntemle hesaplar. Burada her duman özel zaman aralıklarında donmuş olarak kabul edilir. Konsantrasyon ise bu dumana bağlı olarak hesaplanır. Daha sonra dumanın hareket etmesine izin verilir ve diğer adım için işlem yapılır. Bir alıcıdaki toplam konsantrasyon, arka arkaya gelen tüm dumanların dağılımlarının toplamına eşittir.

CALPUFF modelleme sisteminin 3 ana bileşeni vardır: CALMET, CALPUFF ve CALPOST. CALMET, 3 boyutlu gridlenmiş bir bölgede saatlik rüzgar hızı ve sıcaklık alanları geliştiren bir meteorolojik modeldir. CALPUFF, bir tranport ve dispersiyon modelidir. CALPOST ise CALPUFF tarafından dosyaları işlemek ve sonuçları çizelge haline getirmek için kullanılır.

CALPUFF, düzensiz rejim bir Lagrange-Gauss duman modelidir. Bir alıcıdaki duman dağılımını veren temel denklem aşağıdaki gibidir:

$$C = g \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_c} \exp\left(-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2.158)$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2.159)$$

Burada C, yer seviyesi konsantrasyonu; Q, duman içindeki kirletici miktarı; σ_x , Gauss dağılımının rüzgar yönündeki standart sapması(m), σ_y , Gauss dağılımının çapraz rüzgar yönündeki standart sapması(m); σ_z , Gauss dağılımının dikey yöndeki standart sapması(m); d_a , rüzgar yönündeki duman merkezi ile alıcı arasındaki mesafe(m); d_c , çapraz rüzgar yönündeki duman merkezi ile alıcı arasındaki mesafe(m); g, Gauss denkleminin dikey terimi(1/m); H, etkin baca yüksekliği(m) ve h ise karışım tabakası yüksekliğidir.

Bu model alan kaynaklar için kullanılmaktadır. (Wang, et al., 2006)

2.9.6. CALGRID

Bu model, düzensiz akışlı nokta kaynağı için tasarlanmıştır. Bir noktadaki bir kirleticinin ortalama konsantrasyonu için korunum denklemi şöyledir:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{V} \bar{c}) + \nabla \cdot (\bar{V}' c') = R + S + L \quad (2.160)$$

Burada \bar{V} ve V' ifadeleri, rüzgarın dikey, doğu-batı ve kuzey-güney yönlerine ait rüzgar vektörünün ortalama ve dalgalanma bileşenleridir; \bar{c} ve c' ise kirletici konsantrasyonunun ortalama ve dalgalanma bileşenleridir; kirletici reaksiyonlarla oluşan kirletici ürünü net hızı R ile; kirleticinin emisyon hızı S ile; yüzey çekiş(yansıtma) işlemiyle oluşan kirleticinin net uzaklaşma hızı ise L ile gösterilmiştir.

Euler yaklaşımı, işlem alanını grid hücrelerine böler. Bu yaklaşım genellikle türbülans akıları için K teorisini denklem 2.160 için ise sonlu elemanlar yöntemini kullanır. Sıkıştırılmaz bir akış için difüzyon tensörü diagonal kabul edilir ve böylece denklem 2.230 aşağıdaki biçime dönüşür:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u} \bar{c}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v} \bar{c}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w} \bar{c}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) = R + S + L \quad (2.161)$$

CALGRID, çeşitli kaynaklardan çıkan ozon gibi fotokimyasal dumanın transport, dispersiyon ve dönüşümünü tanımlayan orta skalalı bir Euler grid modelidir. Bu model, sonlu farklar yöntemini kullanarak her grid hücresindeki ortalama kirletici konsantrasyonunu denklem 2.161'in çözümüyle tahmin eder. Bu modelde çok sayıda ikinci ve daha yüksek dereceli kimyasal kinetik denklemini fotokimyasal duman üretimini tanımlamak için kullanır (Nguyn, et al., 1997).

2.9.7. AERMOD

2.9.7.1. Konvektif sınır tabakada(CBL) türetilen parametreler

Konvektif şartlar altında, AERMET(AERMOD modelinin meteorolojik işlemcisi) basit bir enerji dengesiyle hassas ısı akısını, sürtünme hızını(u_*) ve Monin-Obukhov uzunluğunu(L) tanımlar. Bu parametrelerle AERMET, (z_i) karışımı yüksekliğini ve konvektif hız skalasını(w_*) tahmin eder.

$$u_* = \frac{ku_{ref}}{\ln(z_{ref}/z_0) - \psi_m\{z_{ref}/L\} + \psi_m\{z_0/L\}} \quad (2.162)$$

Burada k , von Karman katsayısı; u_{ref} , referans yüksekliğindeki hız; z_{ref} , rüzgar için en düşük yüzey tabaka ölçüm yüksekliği; z_0 , pürüzlülük uzunluğu; ψ_m , değişkenlerin fonksiyonel formudur. Nötral şartlarda u_* ve L arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir:

$$L = \frac{\rho c_p T_{ref} u_*^3}{kgH} \quad (2.163)$$

Burada g , yerçekimi ivmesi; c_p , sabit basınçtaki özgül ısı; T_{ref} , ortam sıcaklığıdır. Konvektif hız skalası(w_*) aşağıdaki ifade ile bulunur:

$$w_* = \left(\frac{gHz_{ic}}{\rho c_p T_{ref}} \right)^{1/3} \quad (2.164)$$

Buradaki z_{ic} konvektif karışım yüksekliğidir. Hiçbir ölçüm sonucunun olmadığı durumda, z_{ic} , tek boyutlu basit bir enerji denge modelinden hesaplanır. Mekanik karışım yüksekliği(z_{im}) ise aşağıdaki ampirik formülden bulunur:

$$Z_{im} = 2300 u_*^{2/3} \quad (2.165)$$

Konvektif dispersiyon hesapları için, karışım yüksekliği(z_i) değeri, z_{im} ve z_{ic} değerlerinden büyük olarak tanımlanır. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.2. Düzgün sınır tabaka(SBL) için türetilen parametreler

Burada sıcaklık skalası(θ_*), yüzey tabakadaki sıcaklık dalgalanmalarının sınırını belirler ve gece boyunca çok az bir değişim gösterir:

$$\theta_* = -H / \rho c_p u_* \quad (2.166)$$

Burada $\theta_* = 0,09(1 - 0,5n^2)$ ve n ise bulutluluk oranıdır.

Denklem 2.163 ve 2.266 kombinasyonundan L yazılabilir:

$$L = \frac{T_{ref} u_*^2}{kg \theta_*} \quad (2.167)$$

Rüzgar hızı profili için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$u = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + \frac{\beta_m z_{ref}}{L} \right] \quad (2.168)$$

Buradaki $\beta_m = 0,5$ olarak verilmiştir.

u_* ve θ_* hesabı için, AERMET denklem 2.166'dan yüzey akısını hesaplar. Düzgün sınır tabaka içinde konvektif bileşen olmadığı için, toplam karışım derinliği (z_i) zamandan bağımsız mekanik karışım derinliği (z_{im}) şeklinde tanımlanır. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.3. Gezegenel sınır tabakanın dikey yapısı

AERMOD, ölçümleri ve benzetim parametrelerini birlikte kullanarak meteorolojik profilleri tahmin eder. AERMOD'un konsantrasyonu rüzgar, sıcaklık ve türbülanstaki dikey değişimlerin etkisini içerir. Bu profiller, dumanın alıcı ile kaynak arasındaki direkt hareketi boyunca olan tabakanın ortalamasıyla bulunmuş etkin değerler tarafından tanımlanır. (Cimorelli, et al., 2004)

1. Rüzgar Hızı ve Yönü

Rüzgar hızının profil denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 z < 7z_0 \text{ için } u\{z\} &= u\{z = 7z_0\} \left(\frac{z}{7z_0} \right) \\
 7z_0 \leq z \leq z_i \text{ için } u\{z\} &= \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) \right] \\
 z > z_i \text{ için } u\{z\} &= u\{z = z_i\}
 \end{aligned} \tag{2.169}$$

Buradaki $7z_0$ ifadesi, lineer olarak kabul edilen profilin altındaki pürüzsüz elementlerin yaklaşık yüksekliğini tanımlar. (Cimorelli, et al., 2004)

2. Potansiyel Sıcaklık Gradyeni

CBL'de $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0$ olur; düzgün ara yüzey tabakasında ise $0,005 \text{ Km}^{-1}$ değerine

eşit kabul edilir. SBL'de ilk yüz metre için $\frac{\partial \theta}{\partial z}$ ifadesi aşağıda tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
 z \leq 2m \text{ için } \frac{\partial \theta}{\partial z} &= \frac{\theta_*}{k(2)} \left[1 + 5 \frac{(z-2)}{L} \right] \\
 2m < z \leq 100m \text{ için } \frac{\partial \theta}{\partial z} &= \frac{\theta_*}{kz} \left[1 + 5 \frac{z}{L} \right]
 \end{aligned} \tag{2.170}$$

100 metrenin üzerindeki sıcaklık gradyeni aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial \theta\{z_{\max}\}}{\partial z} \exp \left[- \frac{(z - z_{\max})}{0,44z_{i\theta}} \right] \tag{2.171}$$

Buradaki $z_{\max}=100$ m; $z_{i\theta}=\max(z_{im},100\text{m})$ ve 0,44 sabiti ise ölçümlerden elde edilmiştir. AERMOD, $\frac{\partial\theta}{\partial z}$ ifadesinin $0,002 \text{ Km}^{-1}$ değerini minimum değer olarak sınırlandırmıştır. (Cimoreelli, et al., 2004)

3. Dikey Türbülans

CBL'de, dikey türbülans bir mekanik (σ_{wm}) ve bir konvektif (σ_{wc}) bileşen içerir; toplam dikey türbülans ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$\sigma_{wT}^2 = \sigma_{wm}^2 + \sigma_{wc}^2 \quad (2.172)$$

SBL'de $\sigma_{wm} = \sigma_{wT}$ olur. Toplam değişkenin konvektif parçası (σ_{wc}^2) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} z \leq 0,1z_{ic} \text{ için } \sigma_{wc}^2 &= 1,6 \left(\frac{z}{z_{ic}} \right)^{2/3} w_*^2 \\ 0,1z_{ic} < z \leq z_{ic} \text{ için } \sigma_{wc}^2 &= 0,35w_*^2 \\ z > z_{ic} \text{ için } \sigma_{wc}^2 &= 0,35w_*^2 \exp \left[-\frac{6(z - z_{ic})}{z_{ic}} \right] \end{aligned} \quad (2.173)$$

Mekanik türbülans (σ_{wm}), bir önceki günün sınır tabakasından kalan türbülans (σ_{wmr}) ve bugünkü sınır tabakasının dağılımından oluşur:

$$\sigma_{wm}^2 = \sigma_{wmr}^2 + \sigma_{wml}^2 \quad (2.174)$$

σ_{wml} için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$z < z_i \text{ için } \sigma_{wml} = 1,3u_* \left(1 - \frac{z}{z_i} \right)^{1/2}$$

$$z \geq z_i \text{ için } \sigma_{wml}=0 \quad (2.175)$$

Burada $z=0$ için $\sigma_{wml}=1,3u^*$ olur. z_i değerinin üzerinde ölçümlerin olmadığı durumlarda $\sigma_{wml}=0,02u(z_i)$ olur. (Cimoreelli, et al., 2004)

4. Yanal Türbülans

CBL'de yan türbülans, mekanik(σ_{vm}) ve konvektif(σ_{vc}) parçaların kombinasyonudur:

$$\sigma_{vT}^2 = \sigma_{vm}^2 + \sigma_{vc}^2 \quad (2.176)$$

Karışım tabakasında $\sigma_{vT}^2=0,35w^*{}^2$ olur. AERMOD, yüzeydeki σ_{vm}^2 değerinin lineer değiştiğini kabul eder ve z_{im} 'deki kalan değerini alan ölçümlerinden elde eder. z_{im} 'deki σ_{vm}^2 değerlerinin yüksek seviyelerde sürekli olduğu kabul edilir. Yanal mekanik türbülans aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$z \leq z_{im} \text{ için } \sigma_{vm}^2 = \left(\frac{\sigma_{vm}^2 \{z_{im}\} - \sigma_{v0}^2}{z_{im}} \right) z + \sigma_{v0}^2$$

$$z > z_{im} \text{ için } \sigma_{vm}^2 = \sigma_{vm}^2 \{z_{im}\} \quad (2.177)$$

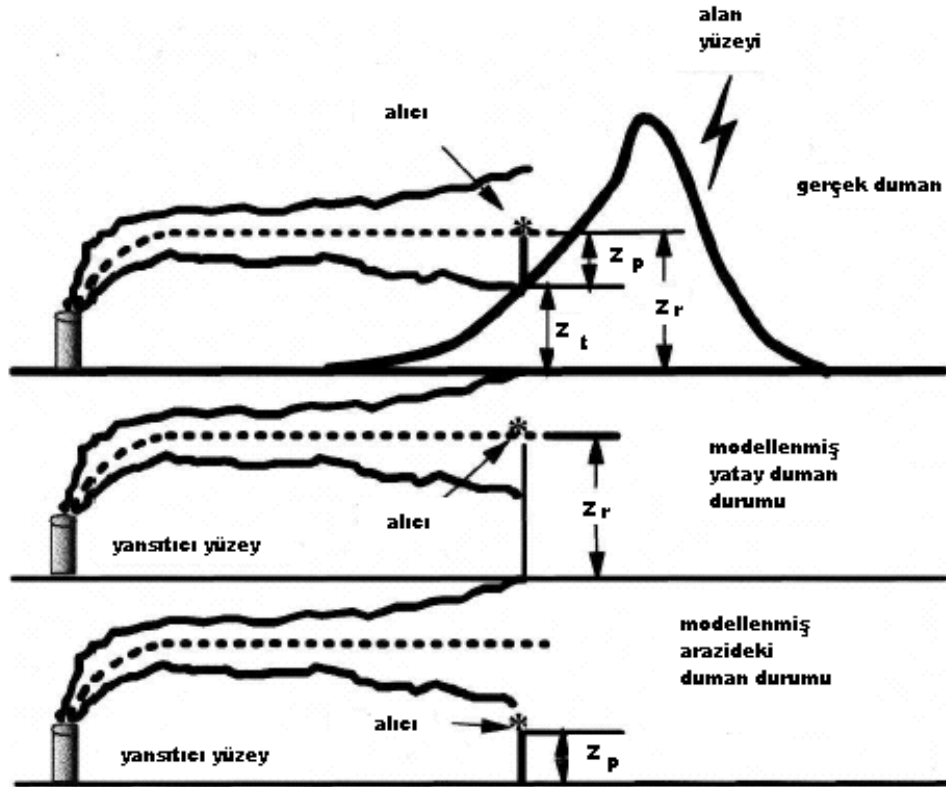
Burada $\sigma_{vm}^2 \{z_{im}\} = \min(\sigma_{v0}^2, 0,25 \text{ m}^2/\text{s}^2)$ ve σ_{v0}^2 değeri ise $3,6u^*{}^2$ olur. SBL'de türbülans kesinlikle mekaniktir. (Cimoreelli, et al., 2004)

2.9.7.4. AERMOD'un genel yapısı

Yükseltilmiş arazide, AERMOD dumanı iki sınırlı durumun konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalaması şeklinde tanımlanır: yatay duman ve araziye takip eden duman. Genel konsantrasyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$C_T(x_r, y_r, z_r) = f C_{c,s}(x_r, y_r, z_r) + (1-f) C_{c,s}(x_r, y_r, z_p) \quad (2.178)$$

Burada C_T , toplam konsantrasyon; $C_{c,s}(x_r, y_r, z_r)$, yatay dumanın dağılımı (alt indis c ve s konvektif ve düzgün şartları tanımlar); $C_{c,s}(x_r, y_r, z_p)$, araziye takip eden dumanın dağılımı; (x_r, y_r, z_r) , alıcı koordinatı; f , ağırlık faktörü; $z_p (= z_r - z_t)$, alıcı yüksekliği; z_t ise yerel alanın yüksekliğidir.



Şekil 2.15. AERMOD'un iki durum yaklaşımı (Cimorelli, et al., 2004)

Bu iki parçanın ağırlık ortalaması, her iki parçadaki kütlenin miktarına bağlıdır. Bu oran, bölünmüş kritik akış çizgisi yüksekliğine (H_c) ve bir alıcıdaki dikey konsantrasyon dağılımına bağlıdır. Bölünmüş duman çizgisi yüksekliğinin (H_c) altındaki duman kütlesinin oranı aşağıdaki gibi bulunur:

$$\varphi_p = \frac{\int_0^{H_c} C_s \{x_r, y_r, z_r\} dz}{\int_0^{\infty} C_s \{x_r, y_r, z_r\} dz} \quad (2.179)$$

Konvektif şartlarda $H_c = 0$ ve $\varphi_p = 0$ olur. Duman parçasının ağırlık faktörü $f=0,5(1+\varphi_p)$ şeklinde tanımlanır. Duman tam olarak H_c 'nin altında ise ($\varphi_p=1, f=1$), konsantrasyon sadece yatay dumanla bulunur. Eğer duman tam olarak kritik bölünmüş akış çizgisi yüksekliğinin üzerindeyse veya atmosfer konvektif ise $\varphi_p=0$ ve $f=0,5$ olur. Bu durumda konvektif şartlar süresince yükseltilmiş bir alıcıdaki konsantrasyon iki parçanın konsantrasyonlarının ortlamasıdır. Duman H_c 'nin üzerindeyse dikey olarak yansıtılır; aynı zamanda dumanın yüzeye yaklaşma ve arazinin çeşitli bölgelerine saçılma eğilimi vardır. Bunu göstermek için, konsantrasyon her zaman yatay parçanın bir bileşeni olarak tanımlanır. Düz arazide iki parçanın konsantrasyonları eşittir. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.5. SBL'de AERMOD konsantrasyon tahminleri

Düzenli şartlar için konsantrasyon aşağıdaki gibi bulunur:

$$C_s = \frac{Q}{\sqrt{2\pi u \sigma_{zs}}} F_y \times \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left\langle \exp \left[-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ief})^2}{2\sigma_{zs}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ief})^2}{2\sigma_{zs}^2} \right] \right\rangle \quad (2.180)$$

Burada z_{ief} , etkin mekanik karışım yüksekliği; σ_{zs} , toplam dikey dispersiyon; h_{es} , duman yüksekliği; F_y ise yanal dağılım fonksiyonudur.

Mekanik karışım tabakasının üzerinde türbülans küçük kabul edilir. AERMOD, etkin karışım sınırına göre tanımlanır; fakat düşük türbülans bölgesinde saçılan dumanı engelleyemez.

Yanal dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2.181)$$

Yanal dispersiyon ise aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_y = (\overline{\sigma_v x / \bar{u}}) \left(1 + \frac{x/\bar{u}}{2T_{Ly}}\right)^p \quad (2.182)$$

Burada $p=0,5$; \bar{u} , ortalama rüzgar hızı; $\overline{\sigma_v}$, yanal türbülans hızı; T_{Ly} ise Lagrange integral zaman skalasıdır. Denklem 2.182'nin kullanıldığı AERMOD'un ilk versiyonu iyi sonuç vermemiştir. Bu yüzden, yanal dispersiyon ifadesi daha iyi sonuçlar için tekrar düzenlenmiştir.

$T_L=1/\overline{\sigma_v}$ yazılabilir; buradaki 1 terimi yanal türbülans uzunluk skalasıdır. Bu ifade, denklem 2.181'nin boyutsuz çökme mesafesi (X) ve boyutsuz yükseklik skalası (δ) ile yazılmasına olanak sağlar:

$$\sigma_y = \overline{\sigma_v x / \bar{u}} (1 + \delta X)^p \quad (2.183)$$

Buradaki $X = \overline{\sigma_v x / \bar{u}} z_i$ ve $\delta = z_i/l$ ile tanımlanır.

SBL'de dikey dispersiyon (σ_{zs}), yükseltilmiş (σ_{zes}) ve yakın yüzey (σ_{zgs}) bileşenlerindeki dağılımlarının bileşkesi şeklinde tanımlanır. $h_{es} < z_i$ için, iki bileşenin lineer interpoasyonu kabul edilir; yani:

$$\sigma_{zs} = \left(1 - \frac{h_{es}}{z_i}\right) \sigma_{zgs} + \left(\frac{h_{es}}{z_i}\right) \sigma_{zes} \quad (2.184)$$

Burada h_{es} , duman yüksekliği; $h_{es} > z_i$ için $\sigma_{zs} = \sigma_{zes}$ olur. Yükseltilmiş bileşen için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\sigma_{zes} = \overline{\sigma_{wT}} (x/\bar{u}) / \left(1 + \frac{x/\bar{u}}{2T_{Lzs}} \right)^{1/2} \quad (2.185)$$

Burada $\overline{\sigma_{wT}}$ terimi mekanik karışıma bağlı dikey türbülansdır.

Lagrange zaman skalasını $T_{Lzs} = l/\overline{\sigma_{wT}}$ olarak yazıp l terimini nötral ($l_n = 0,36h_{es}$) ve düzgün ($l_s = 0,27\overline{\sigma_{wT}}$) limitler arasında interpolasyon yaparak denklem 2.185 aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir ($1/l = 1/l_n + 1/l_s$):

$$\sigma_{zes} = \overline{\sigma_{wT}} t / \left(1 + \frac{\overline{\sigma_{wT}} t}{2} \left(\frac{1}{0,36h_{es}} + \frac{N}{0,27\overline{\sigma_{wT}}} \right) \right)^{1/2} \quad (2.186)$$

Burada N terimi Brunt-Vaisala frekansıdır.

Yüzey bileşeni ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_{zgs} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{u_* x}{u} \right) \left(1 + 0,7 \frac{x}{L} \right)^{-1/3} \quad (2.187)$$

İlave olarak, duman yükselmesi (yüzmesi) toplam dispersiyona ilave edilir. Yüzme (yükselme) içeren dispersiyon aşağıdaki ifade ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_b = \frac{0,4\Delta h}{\sqrt{2}} \quad (2.188)$$

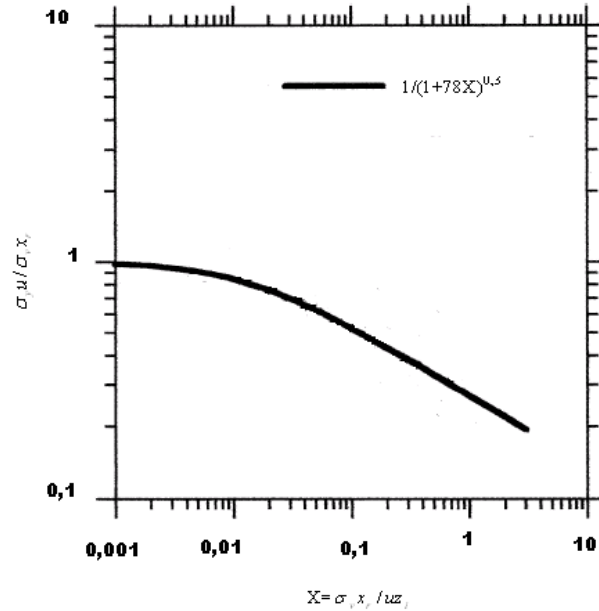
Buradaki Δh baca üzerindeki düzgün duman yükselmesidir. Toplam dispersiyon, σ_p ifadesinin karesinin σ_y ve σ_{zs} ifadelerinin karelerine eklenmesiyle bulunur. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.6. CBL’de AERMOD konsantrasyon tahminleri

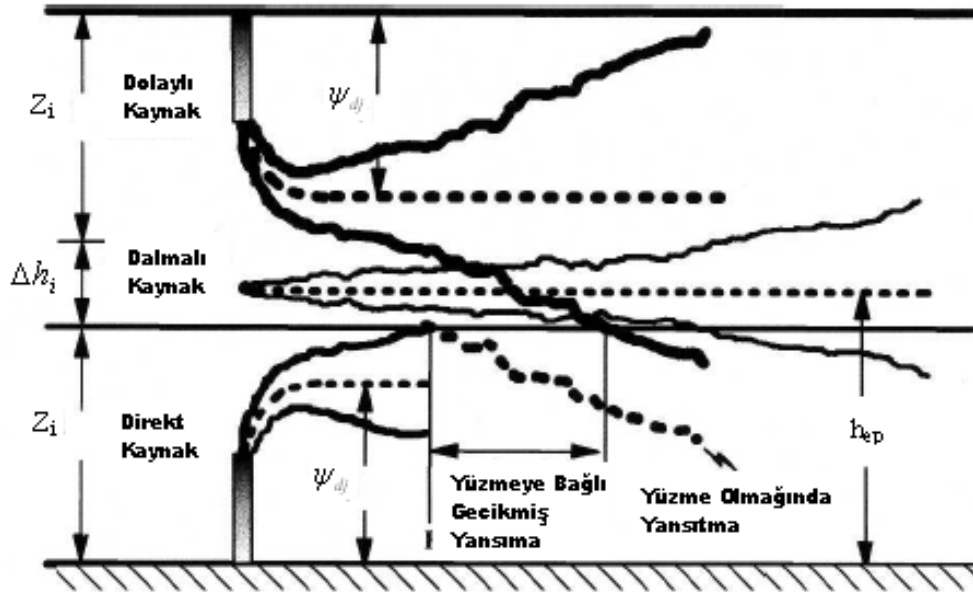
CBL’de direkt, dolaylı ve penetrasyonlu kaynakların $C_p C_r$ ve C_p dağılımlarının toplamına eşittir:

$$C_c(x_r, y_r, z_r) = C_d(x_r, y_r, z_r) + C_r(x_r, y_r, z_r) + C_p(x_r, y_r, z_r) \quad (2.189)$$

Bu üç duman çeşidi şekil 2.17 ile gösterilmiştir. Araziyi takip eden parçanın konsantrasyonu, denklem 2.189 ile benzerdir; tek fark z_r ve z_p yerdeğiştirmiştir. (Cimorelli, et al., 2004)



Şekil 2.16. Yanal yayılma(saçılma) (Cimorelli, et al., 2004)



Şekil 2.17. CBL'deki AERMOD'un üç duman davranış (Cimorelli, et al., 2004)

1. CBL'de Konsantrasyonlar için Direkt Kaynak Dağılımı

Direkt dumana bağlı olan konsantrasyon aşağıdaki gibidir:

$$C_d \{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}u} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \times \left\langle \exp \left[-\frac{(z - \psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z + \psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] \right\rangle \quad (2.190)$$

Buradaki ψ_{dj} , $h_s + \Delta h_d + w_j x / \bar{u}$ ifadesi duman yüksekliği; \bar{u} , etkin rüzgar hızı; F_y ; yanal dağılım fonksiyonu; Δh_d , duman yüksekliğidir.

$z=z_r$ ve $z=z_p$ için, denklem 2.260 konsantrasyonu yatay ve araziye takip eden duman için takip eder. λ_j 'deki j ifadesi yukarı akım için 1, aşağıya akım için 2 olur; burada λ_j her dağılım için ağırlık katsayısıdır. Denklem 2.190, hayali bir dumanın

yerden yansımalarını, kaynağın $z=-h_s$ konumunda olduğunu kabul ederek hesaplar. Sırasıyla tüm yansımalar, kaynağın $z=2z_i+h_s$, $-2z_i-h_s$, $4z_i+h_s$, $-4z_i-h_s$ şeklinde giden konumlarda olduğu kabul ederek bulunur.

SBL'de, F_y içindeki denklemde bulunan yanal dispersiyon katsayısı (σ_y) benzer bir yolla bulunur.

Dikey dispersiyon katsayısı (σ_{zj}), yüzey (σ_{zg}) ve yükseltilmiş (σ_{zej}) parçalarının bileşkesine eşittir:

$$\sigma_{zj}^2 = \sigma_{zej}^2 + \sigma_{zg}^2 \quad (2.191)$$

Yükseltilmiş bileşen ise şöyledir:

$$\sigma_{zej} = \alpha_b \frac{\sigma_{wj} x}{u} \quad (2.192)$$

Buradaki σ_{wj} terimi, dikey hızın üst akım ve alt akım dağılımlarının standart sapmasıdır. $\alpha_b = \min(0,6 + 4\psi_{dj} / z_i, 1)$ katsayısı yüzey tabakanın üzerindeki ($\psi_{dj} \geq 0, 1z_i$ değeri 1 olarak dizayn edilebilir. Yüzey bileşeni için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\sigma_{zg} = b_c \left[1 - 10(\psi_{dj} / z_i)(u_* / \bar{u})^2 (x^2 / |L|) \right] \quad (2.193)$$

Buradaki b_c modellenmiş ve ölçülmüş konsantrasyon arasında ilişkiyi sağlamak için seçilen bir katsayıdır ve değeri 0,5 alınır. Sınır tabakanın üzerinde σ_{zg} değeri sıfır olur. (Cimorelli, et al., 2004)

2. CBL'de Konsantrasyonlar için Dolaylı Kaynak Dağılımı

Dolaylı kaynaklara bağlı olan konsantrasyon aşağıdaki ifade ile bulunur:

$$C_d \{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi u}} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \times \left\langle \exp \left[-\frac{(z + \psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z - \psi_{rj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2} \right] \right\rangle \quad (2.194)$$

Buradaki σ_{zj} ve F_y , direkt kaynaklar için olan terimlerdir; $\psi_{rj} = \psi_{dj} - \Delta h_i$ terimi, duman yüksekliği; Δh_i ise sınır tabakanın üzerindeki dumanın kalan yüzebilirliği(yükselebilirliği) için hesaplanan karışım yüksekliğidir:

$$\Delta h_i = \left(\frac{2F_b z_i}{\alpha_h u_p r_y r_z} \right)^{1/2} \frac{x}{u_p} \quad (2.195)$$

buradaki r_z ve r_y terimleri, dumanın dikey ve yanal kalınlıklarının yarısıdır; u_p ise duman yükselmesinde kullanılan rüzgar hızı ve $\alpha_h = 1,4$ 'tür. (Cimorelli, et al., 2004)

3. CBL'de Konsantrasyonlar için Dalmalı(Penetrasyonlu) Kaynak Dağılımı

Buradaki dikey ve yanal konsantrasyon Gauss formundadır:

$$C_d \{x_r, y_r, z\} = \frac{Q(1-f_p)}{\sqrt{2\pi u \sigma_{zp}}} F_y \times \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left\langle \exp \left[-\frac{(z - h_{ep} - 2mz_{ief})^2}{2\sigma_{zp}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z + h_{ep} + 2mz_{ief})^2}{2\sigma_{zp}^2} \right] \right\rangle \quad (2.196)$$

Buradaki F_y terimi SBL ile aynıdır; z_{ief} , düzgün tabakada yansıtma yüzeyinin yüksekliğidir.

Dalmalı duman yüksekliği $h_{ep} = h_s + \Delta h_{eq}$ olurken, kısmi dalma $h_{ep} = (h_s + z_i/2) + 0,75 \Delta h_{eq}$ olur. σ_{zp} ise dikey dispersiyon katsayısıdır; tek bir sabit yükseltilmiş bileşeni vardır, çünkü bu kaynak yüzeyden körüklenmiştir.

$\Delta h_h < 0,5 \Delta h_{eq}$ için $f_p = 0$

$\Delta h_h > 1,5 \Delta h_{eq}$ için $f_p = 1$

$0,5 \Delta h_{eq} \leq \Delta h_h \leq 1,5 \Delta h_{eq}$ için $f_p = \Delta h_h / \Delta h_{eq} - 0,5$ (2.197)

Buradaki $\Delta h_h = z_i - h_s$ ifadesi düzgün(dengeli) bir çevre için dengeli duman yüksekliğidir. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.7. Yanal duman zikzak işlemi

Duman zikzağı, dumandan büyük olan dispersiyonsuz yanal edilerin sonucu oluşan yavaş yanal ileri-geri dönme hareketidir. Zaman ortalamalı konsantrasyonlar için, zikzaklar gerçek duman dağılımındaki yanal saçılmaları arttıran bir etkiye sahiptir. Zikzak; yatay dağılım fonksiyonuna ait uygun duman limiti (F_{yC}) ile rastgele duman limiti (F_{yR}) arasında yapılan interpolasyonla bulunur. Tahmini konsantrasyon, bu iki limite ait konsantrasyonların ağırlıkça ortlamasına eşittir.

Uygun duman limiti:

$$F_{yC} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2.198)$$

Rastgele duman limiti:

$$F_{yR} = \frac{1}{2\pi x_r} \quad (2.199)$$

Buradaki x_r terimi, alıcıyla kaynak arasındaki düz doğru mesafesidir.

Düzgün ve konvektif şartlar için 1 saatlik toplam konsantrasyon değeri zikzak olayına bağlı olarak uygun ve rastgele duman konsantrasyonların ağırlıklı ortalamasına eşittir:

$$C_{c,s} = C_{Ch}(1 - \sigma_r^2 / \sigma_h^2) + C_R(\sigma_r^2 / \sigma_h^2) \quad (2.200)$$

C_{Ch} , SBL'de denklem 2.180'den, CBL'de denklem 2.189'dan hesaplanır; buradaki yanal terimler denklem 2.188 ile yerdediştir. Ağırlık faktörü, yatay rüzgar enerjisinin rastgele bileşenin toplam yatay rüzgar enerjisine (σ_h^2) oranıdır.

Yatay rüzgar ise \bar{u} ortalama bileşenle, σ_u ve σ_v rastgele bileşenlerin bileşkesidir. Böylece toplam yatay rüzgar enerjisi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\sigma_h^2 = 2\sigma_y^2 + \bar{u}^2 \quad (2.201)$$

Burada ortalama hız $\bar{u} = (\bar{u}^2 - 2\sigma_v^2)^{1/2}$ ile tanımlanır. Büyük hareket sürelerinde ortalama rasgele bileşeni başlangıçta $2\sigma_v^2$ olsa bile σ_h^2 değerine eşit hale gelir:

$$\sigma_r^2 = 2\sigma_v^2 + \bar{u}^2 [1 - \exp(-x_r / \bar{u}T_r)] \quad (2.202)$$

Buradaki otokorelasyon zaman skalası T_r , bağımsız rüzgarlar için 24 saat olarak alınır. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.8. Bina çökmesi

AERMOD, bina izlerinin etkisini tanımlayan PRIME(Plume Rise Model Enhancement) algoritmasını içerir. Bir kavite(boşluk) ve iz bölgesi arasında PRIME bölmelerinin duman kütlesi, yatay ve yanal ayırma akım çizgileriyle tanımlanır. Kütle dispersiyonu, girişte bina geometrisine bağlı olan kavite tarafından yakalanır ve bu

dumanların düzgün dağıldığı kabul edilir. Boşluğun ötesinde bu kütle iz içine emilir, burada yakalanmamış duman kütlesiyle karışır ve iz bölgesinin ötesine çoğalmış bir hızda yayılır (disperse olur); böylelikle konsantrasyonlar AERMOD tahminine ulaşır. İze doğru pürüzsüz bir geçişi tanımlamak için, toplam konsantrasyon (C_{toplam}) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C_{\text{toplam}} = \gamma C_{\text{PRIME}} + (1 - \gamma) C_{\text{AERMOD}} \quad (2.203)$$

Burada C_{PRIME} , PRIME algoritmasıyla elde edilen konsantrasyon; C_{AERMOD} , bina etkisi olmadan AERMOD ile bulunan konsantrasyon; γ ise ağırlık parametresidir ve aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma = \exp\left[\frac{-(x - \sigma_{xg})^2}{2\sigma_{xg}^2}\right] \exp\left[\frac{-(y - \sigma_{yg})^2}{2\sigma_{yg}^2}\right] \exp\left[\frac{-(z - \sigma_{zg})^2}{2\sigma_{zg}^2}\right] \quad (2.204)$$

Burada x , alıcı ile binanın yukarı rüzgar (rüzgar yönü) ucu; y , alıcıyla bina merkez çizgisi arasındaki çapraz rüzgar mesafesi; z , alıcının yerden yüksekliği; σ_{xg} , izin uzunluk boyutu; σ_{yg} , izin yanal ucu ile bina merkez çizgisi arasındaki mesafe; σ_{zg} ise alıcı konumunda izin yüksekliğidir. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.7.9. Kentsel sınır tabakadaki dispersiyon karakterizasyonu

Her zaman kentsel yüzey karakteristikleri sınır tabaka parametrelerini etkilediği için, sınır tabakada kentsel alanın termal etkileri geceleri büyüktür ve dolayısıyla gündüzleri küçüktür. Bina alanlarında, ısınan kentsel bir yüzeye düzgün bir kırsal hava akışı olduğu için gece boyunca zayıf bir tabaka meydana gelir. AERMOD bu sorunu dikey türbülansı gece süresince kırsal sınır tabakaya kadar genişleterek çözmüştür. Kentsel karışım tabaka yüksekliği (z_{iu}) ve kırsal ısı akısından (H_u) bir vekil konvektif hız skalası tanımlanır. Isı akısı H_u aşağıda verilmiştir:

$$H_u = \alpha \rho c_p \Delta T_{u-r} u_* \quad (2.205)$$

ΔT_{u-r} , kırsal-kentsel sıcaklık farkının 10 °C civarı olduğu ve u^* hafif rüzgar değerinin 0,1 m/s olduğu için α değeri kent merkezinde 0,1 civarı olmalıdır. (α : kabarcık transfer katsayısı). Kentsel alanın ucunda α değerinin 0, merkezinde ise 0,1 olduğu kabul edilir; bunun alansal ortalaması 0,03'tür. ΔT_{u-r} terimi H_u terimini bulmak için kullanılır:

$$\Delta T_{u-r} = \Delta T_{\max} [0,1 \ln(p/P_0) + 1] \quad (2.206)$$

Buradaki $\Delta T_{\max} = 12^\circ\text{C}$, $P_0 = 2000000$ (kişi) ve P ise modellenen alanın popülasyonudur.

$$z_{iu} = z_{iu0} (P/P_0)^{1/4} \quad (2.207)$$

Burada z_{iu} , P_0 için sınır tabaka yüksekliği; z_{iu0} , gece saatindeki karışım yüksekliğidir (genellikle 400 m alınır).

Gece süresince konvektif hız skalası, z_{iu} v H_u yardımıyla bulunur:

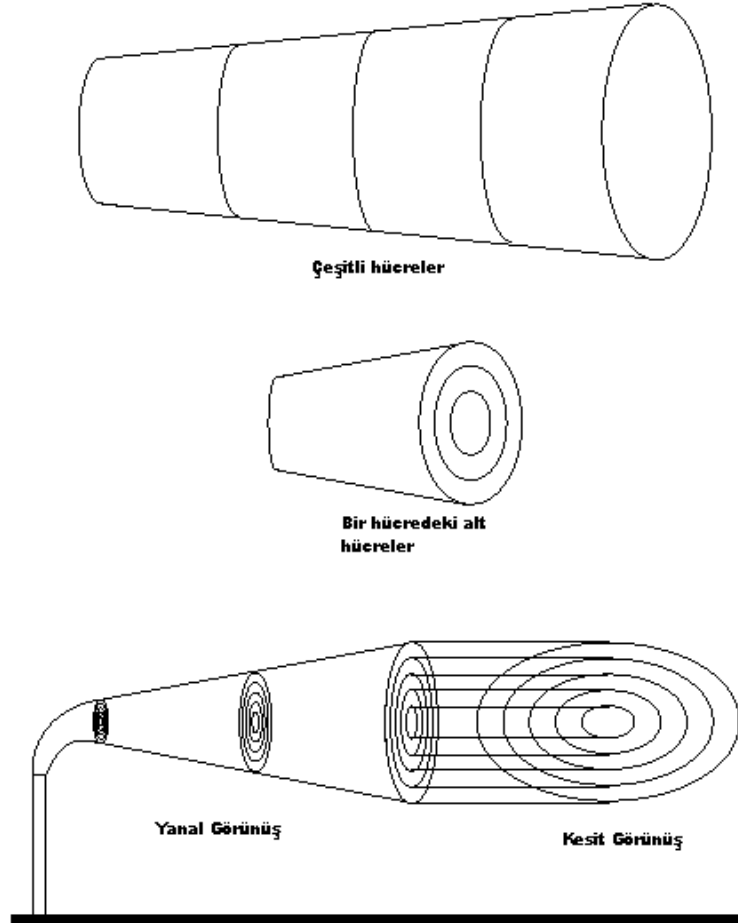
$$w_{*u} = \left(\frac{g H_u z_{iu0}}{\rho_p T_{ref}} \right) \quad (2.208)$$

Konvektif hız skalası için denklem 2.172 ve 2.208'den kentsel sınır tabakadaki genişletilmiş dikey tabaka hesaplanır. Genişletilmiş türbülansla, denklem 2.186'den dikey dispersiyon hesaplanır. (Cimorelli, et al., 2004)

2.9.8. CAPAS

Bu model, türbülans difüzyonu için Lagrange yaklaşımını kullanmaktadır. Model, hücreler dizisinden oluşur, kutu modeller içindeki her biri birbirlerine benzer; hücreler sürekli bir yol üzerinde x ekseni boyunca dizilmişlerdir ve hücrelerin şekli kesilmiş bir eliptik konidir. Bir hücrenin büyüklüğü, y ve z eksenlerindeki Pasquill sigmalarının 4 katıdır. Her hücre daha sonra 10-30 halkaya bölünür ve her alt hücrenin

konsantrasyonunun homojen olduğu kabul edilmiştir. Hücreseler ve alt hücreseler şekil 2.20 ile gösterilmiştir.



şekil 2.18. CAPAS'taki hücreseler ve alt hücreseler (Olcese, et al., 2005)

Bu modelde uygulanan adımlar aşağıda gösterilmiştir:

1. Tüm gazlar, bir çıkış reaksiyonu olmadan atmosfere salınır. Gazlar bacadan Gauss dağılımlarıyla çıkarlar; salınan gazların çıkıştaki ilk dağılımları iki boyutta tanımlanan bir giriş fonksiyonuyla oluşur.

2. Gaz çıkış sıcaklığı sabittir.

3. Duman final yüksekliği hesaplanacaktır.
4. Meteorolojik şartlar zamana göre değişmektedir.
5. Katı diferansiyel denklemler kümesi, kirleticilerin konsantrasyonlarını hesaplamak için gerekli olan kimyasal mekanizmayı tanımlar.
6. İlk hücreden sonra yeni atmosferik gazlar dıştaki alt hücelere ilave olur ve sıcaklık hesaplanır.
7. Hücrenin boyutu σ_y ve σ_z değerlerinin artmasıyla büyür.
8. Alt hücrenin hacmine ve yüzeydeki dispersiyon katsayısına bağlı olarak her kirleticinin kütlesi tekrar hesaplanır.
9. Kirleticilerin konsantrasyonları, kimyasal mekanizmaya bağlı olarak yayılır.
10. Final mesafesine ulaşana kadar 6-9 adımları tekrar edilir. (Olcese, et al., 2005)

2.9.8.1. Giriş dağılımı

İki boyutlu Gauss dağılımının giriş hücresinin sınırları arasında olduğu kabul edilir. Her kirleticinin alt hücredeki kütlesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\text{Kütle}_{i,j,1} = \text{kütle}_{\text{bacası}} \times \text{hücre uzunluğu} \times \left[\text{erf}\left(\frac{\sigma_{y,j}}{\sigma_{y,\text{duş}} \times \sqrt{2}}\right) - \text{erf}\left(\frac{\sigma_{y,j}}{\sigma_{y,j-1} \times \sqrt{2}}\right) \right] \quad (2.209)$$

Burada dış halka konsantrasyonları, atmosferik konsantrasyonla aynıdır. (Olcese, et al., 2005)

2.9.8.2. Duman final yükselmesi

Dumanın final yüksekliği, Turner ve Briggs denklemlerine bağlı olarak bulunmuştur.

Burada ilk önce düzeltilmiş baca yüksekliği(h'_s) rüzgar hızına(w_s) bağlı olarak tanımlanır:

$$w_s < 1,5u_s \text{ için } h'_s = h_s + 2d_s \left[\frac{w_s}{u_s} - 1,5 \right]$$

$$w_s \geq 1,5u_s \text{ için } h'_s = h_s \quad (2.210)$$

Yüzme(yükselme)(F_b) ve momentum(F_m) akıları, çıkış sıcaklığı(T_s) ve ortam sıcaklığı(T_a) arasındaki fark için bulunur:

$$F_b = gv_s d_s^2 \frac{\Delta T}{4T_s} \quad (2.211)$$

$$F_b = v_s^2 d_s^2 \frac{T_a}{4T_s} \quad (2.212)$$

Pasquill kararlılığına bağlı olan formüller ise aşağıda verilmiştir:

Kararsız-Nötral Atmosfer için:

$$F_b < 55 \text{ için } (\Delta T)_c = 0,0297T_s \frac{v_s^{1/3}}{d_s^{2/3}}$$

$$F_b \geq 55 \text{ için } (\Delta T)_c = 0,00575T_s \frac{v_s^{1/3}}{d_s^{2/3}} \quad (2.213)$$

Eğer iki sıcaklı birbirine eşitse, ısı akısı duman hareketinde etkindir.

Isı akısı için;

$$F_b < 55 \text{ için } h_e = h'_s + 21,425 \frac{F_b^{3/4}}{u_s} \text{ ve } x_f = 49 F_b^{5/8}$$

$$F_b \geq 55 \text{ için } h_e = h'_s + 38,71 \frac{F_b^{3/5}}{u_s} \text{ ve } x_f = 119 = F_b^{2/8} \quad (2.214)$$

Mekanik türbülans için;

$$h_e = h'_s + 3d_s \frac{v_s}{u_s} \text{ ve } x_f = 119 F_b^{2/5} \quad (2.215)$$

Burada h_e , dumanın final yüksekliği ve x_f ise mesafesidir.

Kararlı Atmosfer için:

Kararlılık parametresi s aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$s = g \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a} \quad (2.216)$$

Burada $\partial \theta / \partial z$, atmosferin yükseklikle değişen potansiyel sıcaklığıdır:

$$(\Delta T)_c = 0,019582 T_s v_s \sqrt{s} \quad (2.217)$$

Isı akısı için;

$$h_e = h'_s + 2,6 \left(\frac{F_b}{u_s s} \right)^{1/3} \text{ ve } x_f = 2,0715 \frac{u_s}{\sqrt{s}} \quad (2.218)$$

Mekanik türbülans için;

$$h_e = h'_s + 1,5 \left(\frac{F_m}{u_s \sqrt{s}} \right) \text{ veya } h_e = h'_s + 3d_s \frac{v_s}{u_s} \text{ ve } x_f = \frac{\pi u_s}{2\sqrt{s}} \quad (2.219)$$

x_f 'den küçük değerler için mekanik türbülans dalma (penetrasyon) katsayısı hesaplanmalıdır:

$$\beta_j = \frac{1}{3} + \frac{u_s}{v_s} \quad (2.220)$$

Kararsız-Nötral Atmosfer için:

Verilen bir x mesafesi için etkin yükseklik aşağıdaki gibidir:

$$h_e = h'_s + \left(\frac{3F_m x}{\beta_j^2 u_s^2} \right) \quad (2.221)$$

Kararlı Atmosfer için:

Verilen bir x mesafesi için etkin yükseklik aşağıdaki gibidir (Olcese, et al., 2005):

$$h_e = h'_s + \left[3F_m \frac{\sin(x\sqrt{s}u_s)}{\beta_j^2 u_s \sqrt{s}} \right] \quad (2.222)$$

2.9.8.3. Fotoliz hız sabitleri

Kimyasal mekanizma fotoliz reaksiyonlarını içeriyorsa, fotoliz hız sabitleri TUV programı tarafından bulut ve aerosol şartları için hesaplanır. (Olcese, et al., 2005)

2.9.8.4. Kütle değişimi

Duman hacmindeki artışa bağlı olarak, gazlar k hücresinden k+1 hücresine geçerken ayarlanmalıdır. Model j ile j+1 alt hücreleri arasındaki kütle değişimini hesaplar:

$$\text{değişim}_j = \sum_{j=1}^{\text{althücresayısı}} \text{hacim}_{j+1} - \sum_{j=1}^{\text{althücresayısı}} \text{hacim}_j \quad (2.223)$$

Verilen kirleticilerin j alt hücresindeki kütlesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} \text{kütle}_{i,j,k} = \\ \text{kütle}_{i,j,k-1} + \text{kütle}_{i,j+1,k-1} (\text{değişim}_j / \text{hacim}_{j+1,k-1}) - \text{kütle}_{i,j,k-1} (\text{değişim}_{j-1} / \text{kütle}_{j,k-1}) \end{aligned} \quad (2.224)$$

İlk hücrede, alt hücrelerin hacimlerindeki hızlı değişime bağlı olarak eksi hacimler meydana gelir. Bu sorun, yeni bir zaman adımı seçilip halledilir. Yeni bulunan hacim sıfırdan büyükse işlemlere devam edilir. Eğer sıfırdan küçükse, model adım sürelerini azaltarak pozitif hacimler elde eder. (Olcese, et al., 2005)

2.9.8.5. Sıcaklık değişimi

Her alt hücrenin sıcaklığı, hesaplamının her adımında ayarlanır; verilen bir k hücresinin j alt hücresine ait sıcaklık değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Olcese, et al., 2005):

$$m1 = \sum_{i=1}^{\text{türsayür}} [\text{kütle}_{i,j,k} - \text{kütle}_{i,j,k} (\text{değişim}_{j-1} / \text{hacim}_j)] \quad (2.225)$$

$$m2 = \sum_{i=1}^{\text{türsayür}} [\text{kütle}_{i,j,k+1} - \text{kütle}_{i,j,k} (\text{değişim}_j / \text{hacim}_{j+1})] \quad (2.226)$$

$$sıcaklık_j = m_1 sıcaklık_j + m_2 sıcaklık_{j+1} / m_1 + m_2 \quad (2.227)$$

2.8.8.6. Sigma 'y' ve Sigma 'z'

Her iki sigma değeri, atmosferik kararlılığa bağlı olarak Pasquill tarafından tanımlanmıştır. Kentsel ve kırsal şartlar ise arazi şartları için kullanılmıştır. (Olcese, et al., 2005).

2.9.8.7. Alt hücre hacmi

Alt hücrenin yere göre olan konumuna bağlı olarak her alt hücrenin hesabı için üç farklı olasılık vardır:

1. Alt hücre hiçbir noktada yere ulaşmamıştır.
2. Alt hücre, atmosfere girişinden sonra yüzeye ulaşmıştır.
3. Alt hücre, giriş ile final arasında yüzeye ulaşmamıştır.

İlk durumda, hacim halkalı eliptik kesik koni şeklinde hesaplanabilir. İkinci durumda, $z=0$ için ilk durumdan hesaplanabilir. Üçüncü durumda ise alt hücre ikiye ayrılır, atmosfere girişi ile yere düştüğü nokta arası ve bu nokta ile final noktası arasıdır.

Verilen bir alıcıdaki bir kirleticinin konsantrasyonu, (x,y,z) koordinatlarında tanımlanmış ve alıcıyı içeren alt hücrenin konsantrasyonu şeklinde bulunur. Eğer alıcı dışarıdaysa dumanın limiti için atmosferik değerler kullanılır. Burada CAPAS ile ISCST arasındaki farkın maksimum %12 olduğu söylenebilir.

d_1 ve d_2 mesafeleri arasındaki eliptik koninin hacmini tanımlamak için aşağıdaki tanımları yapmak gerekir (Olcese, et al., 2005):

$$\sigma_{ya} = \frac{\sigma_{sony,j} - \sigma_{ilky,j}}{uzunluk} \sigma_{yb} = \sigma_{sony,j} - \sigma_{ya} d_2 \quad (2.228)$$

$$\sigma_{za} = \frac{\sigma_{sonz,j} - \sigma_{ilky,j}}{uzunluk} \sigma_{zb} = \sigma_{sonz,j} - \sigma_{za} d_2 \quad (2.229)$$

Durum a

Alt hücrenin integrale bağlı olarak hacmi aşağıdaki gibidir:

$$\text{Hacim} = \int_{d_1}^{d_2} \pi \sigma_y(x) \sigma_z(x) dx \quad (2.230)$$

İntegralin sonucu aşağıdaki gibidir (Olcese, et al., 2005):

$$\begin{aligned} \text{Hacim} = & \frac{\pi \sigma_{ya} \sigma_{za} d_2^3}{3} + \frac{\pi \sigma_{yb} \sigma_{za} d_2^2}{2} + \frac{\pi \sigma_{ya} \sigma_{zb} d_2^2}{2} + \pi \sigma_{yb} \sigma_{zb} d_2 - \frac{\pi \sigma_{ya} \sigma_{za} d_1^3}{3} - \frac{\pi \sigma_{yb} \sigma_{za} d_1^2}{2} - \\ & \frac{\pi \sigma_{ya} \sigma_{zb} d_1^2}{2} - \pi \sigma_{yb} \sigma_{zb} d_1 \end{aligned} \quad (2.231)$$

Durum b

Verilen bir h yüksekliğinin üzerindeki alt hücrenin hacmini tanımlayan integrale bağlı olarak hacim tanımlanabilir:

$$\text{Hacim} = \int_{d_1}^{d_2} \left[\pi \sigma_y(x) \sigma_z(x) + 2hp(x) - \frac{\sigma_z(x)}{\sigma_y(x)} p(x) \sqrt{\sigma_y(x)^2 - p(x)^2} - \sigma_y(x) \sigma_z(x) \arcsin\left(\frac{p(x)}{\sigma_y(x)}\right) \right] dx \quad (2.232)$$

Burada $p(x)=\sigma_y(x)\sqrt{1-\left(\frac{h}{\sigma_z(x)}\right)^2}$ olarak tanımlanabilir.

Bu integralin analitik sonucu aşağıda verilmiştir (Olcese, et al., 2005):

$$a_1=(\sigma_{za}d_2 + \sigma_{zb})^2 - h^2 \quad (2.233)$$

$$a_2=(\sigma_{za}d + \sigma_{zb})^2 - h^2 \quad (2.234)$$

$$a_3=(h + \sigma_{zb} + \sigma_{za}d_1)(-h + \sigma_{zb} + \sigma_{za}d) \quad (2.235)$$

$$s_2=1/6 \quad (2.236)$$

$$s_5=$$

$$\begin{aligned} & 2\pi\sigma_{ya}\sigma_{za}^3d_2^3 - 3\arcsin(1/(\sigma_{zb} + \sigma_{za}d_2)\sqrt{a_1})d_2^2\sigma_{yb}\sigma_{za}^3 + 3\pi d_2^2\sigma_{yb}\sigma_{za}^3 - \\ & 2\arcsin(1/(\sigma_{zb} + \sigma_{za}d_2)\sqrt{a_1}) \times d_2^2\sigma_{yz}\sigma_{zb}\sigma_{za}^2 + 3\pi d_2^2\sigma_{ya}\sigma_{zb}\sigma_{za}^2 - \\ & 6\arcsin(1/(\sigma_{zb} + \sigma_{za}^2)\sqrt{a_1})d_2\sigma_{yb}\sigma_{zb}\sigma_{za}^2 + 6\pi d_2\sigma_{yb}\sigma_{zb}\sigma_{za}^2 \\ & + 4h\sigma_{ya}\sigma_{za}d_2\sqrt{a_1} \end{aligned} \quad (2.237)$$

$$s_4=$$

$$\begin{aligned} & s_5 - 5h\sigma_{ya}\sqrt{a_1}\sigma_{zb} - \\ & 2\sigma_{ya}h^3 \log(\sigma_{za}d_2 + \sigma_{zb} + \sqrt{(h + \sigma_{za}d_2 + \sigma_{zb})(-h + \sigma_{za}d_2 + \sigma_{zb})}) + \\ & 9h\sqrt{a_1}\sigma_{yb}\sigma_{za} + 3\arctan(h/\sqrt{a_1})\sigma_{zb}^3\sigma_{ya} + 6h^2 \arctan(h/\sqrt{a_1})\sigma_{yb}\sigma_{za} \\ & - 6h^2 \arctan(h/\sqrt{a_1})\sigma_{ya}\sigma_{zb} \\ & - 2\arcsin(1/(\sigma_{zb} + \sigma_{za}d_2))\sqrt{a_1}\sigma_{ya}\sigma_{za}^3d_2^3 \end{aligned} \quad (2.238)$$

$$s_5=1/\sigma_{za}^2 \quad (2.239)$$

$$s_3=s_4s_5 \quad (2.240)$$

$$s_1 = s_2 s_3 \quad (2.241)$$

$$s_3 = -1/6 \quad (2.242)$$

$$s_5 = s_6 - 5h\sigma_{ya}\sqrt{a_2}\sigma_{zb} - 2\sigma_{ya}h^3 \log(\sigma_{za}d_1 + \sigma_{zb} + \sqrt{a_3}) + 9h\sqrt{a_2}\sigma_{yb}\sigma_{za} + 3\arctan(h/\sqrt{a_2})\sigma_{zb}^2\sigma_{ya}\sigma_{za} - \arctan(h/\sqrt{a_2})\sigma_{zb}^3\sigma_{ya} + 6h^2 \arctan(h/\sqrt{a_2})\sigma_{ya}\sigma_{zb} - 6h^2 \arctan(h/\sqrt{a_2})\sigma_{ya}\sigma_{zb} - 2\arcsin(1/(\sigma_{zb} + \sigma_{za}d_1))\sqrt{a_2}\sigma_{ya}\sigma_{za}^3d_1^3 \quad (2.243)$$

$$s_6 = 1/\sigma_{za}^2 \quad (2.244)$$

$$s_4 = s_5 s_6 \quad (2.245)$$

$$s_2 = s_4 s_3 \quad (2.246)$$

$$\text{Hacim} = s_1 + s_2 \quad (2.247)$$

2.9.8.8. Absorbsiyon katsayısı

Her kirleticinin yüzeyle etkileşimi ürünlere neden olur ve ayırık reaksiyonların hız sabitleri çok çeşitli değişkenlere bağlı karmaşık bir olaydır. Burada basitleştirmek için 3 olası durum ele alınmıştır: toplam absorpsiyon, kısmi absorpsiyon ve toplam absorpsiyon.

Modelde üç durumu birlikte anlatmak için absorpsiyon katsayısı(abs) kullanılmıştır. Bu katsayı 0 ile 1 arasında değişmektedir. Her hücrede,

$$\text{kütle}_{i,j} = \text{kütle}_{i,j} - \text{kütle}_{i,j} \times \text{abs}_i(\text{yüzey altındaki hacim})_j / \text{hacim}_j \quad (2.248)$$

Buradaki abs katsayısının tespiti zordur; genellikle sabit kabul edilir(Olcese, et al., 2005).

2.9.8.9. Kimyasal mekanizma

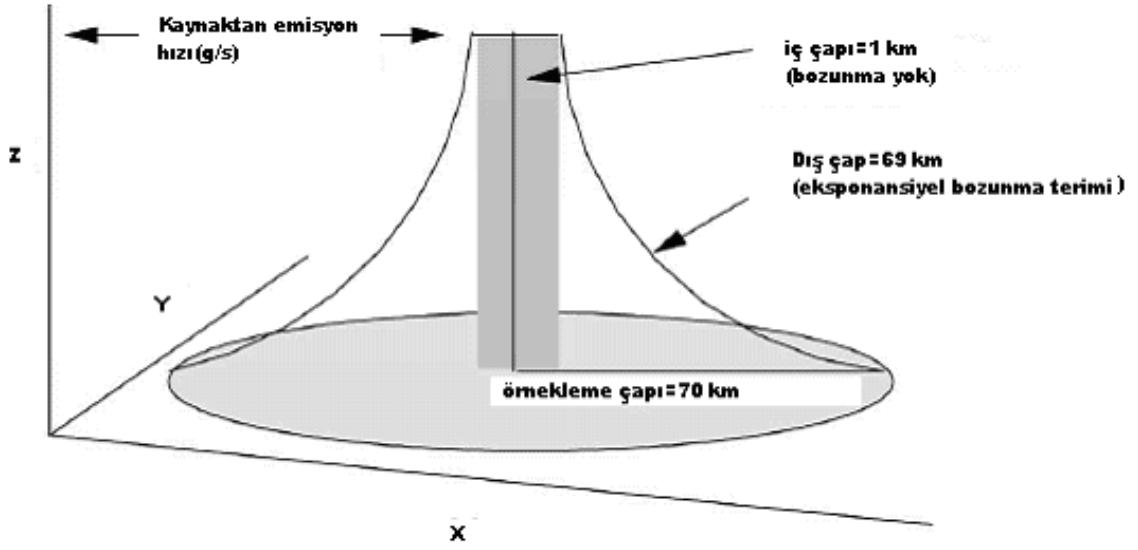
Bayağı diferansiyel denklemlerin katı sistemleri çözmek için, zaman adımı seçimiyle hata kontrolünü otomatik olarak yapan Gear(dişli) metodunu kullanmaktadır. Burada Hov, Seinfeld ve CBM-IV mekanizmalarını kullanır. Bu üç mekanizmalardan en iyi sonucu CBM-IV mekanizması vermektedir. (Olcese, et al., 2005)

2.9.9. DISTDECAY modeli

Bu model, artış mesafelerindeki etkilenme profilini oluşturmak için eksponansiyel bozunma fonksiyonudur. Bir modül kullanılarak nokta kaynaktan yayılan kirletici verileri istatistiksel yüzey interpolasyon yöntemiyle elde eder. Asimptotik eksponansiyel bozunma fonksiyonu, nokta kaynağı emisyonunun her ayki değerleri için tahmin edilir. Her gaz ünitesinin çevresindeki tahmini etkilenme çevresi, bu üniteden aylık olarak yayılan emisyon hızına ve bu ünitenin çevresindeki 70 km çaplı tahmini yüzey alanını etkileyen diğer ünitelere bağlıdır. Bozunma fonksiyonu, üniteye 1 km mesafedeki bir çap içindeki emisyon hızı için uygulanmaz. Maksimum tahmini yer seviyesi konsantrasyonu değişkendir ve tahmin zordur; 10 baca yüksekliğindeki mesafede olduğu kabul edilir.

$$D_s = 2 \left(\sqrt{\frac{C_{scp} H_s \times 0,45}{g[(T_s - T_a)/T_s] W_s}} \right) \quad (2.249)$$

Burada D_s , içteki baca çıkış çapı (m); C_{scp} , hava için standart atmosfer basıncındaki özgül ısı ve gaz sabiti ($8,9 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \text{ s}^{-2} \text{ J}^{-1}$); H_s , ısı salınım hızı (J/s); 0,45, raydan ısı kaybı(%55); g , yerçekimi ($9,8 \text{ m/s}^2$); T_s , baca çıkış sıcaklığı (K); T_a , ortam sıcaklığı (K); W_s ise dikey çıkış hızıdır (m/s).



Şekil 2.19. Üç boyutlu etkilenme profili(Scott, et al., 2003)

Şekil 2.21, özel bir bozunma hızına sahip (0,2) tek bir kaynak için, DISTDECAY modeli kullanılarak elde edilmiş üç boyutlu etkilenme profil tahminini göstermektedir; iç çap 1 km ve dış çap ise 69 km olarak her kaynak için kullanılır. i gaz ünitesinden 70 km mesafedeki verilen bir yüzey veri noktası için etkilenme tahminleri şu şekilde hesaplanır:

$$\sum [w_i(d)z_i] \quad (2.250)$$

Burada $w_i(d)$, i gaz ünitesi için mesafe ortalaması; z_i ise i gaz ünitesinin aylık ortalama emisyon hızıdır (g/s).

SPAN-GIS, bir interpolasyon kombinasyonu elde etmek için kullanılır; buradaki istatistiksel model seçenekleri kirletici emisyonlarının mesafe ortalamalarının toplamına eşittir.

Veri noktası mesafesi $> \gamma$ ise, mesafe ortalaması=0 olur; veri noktası mesafesi $< \alpha$ ise mesafe ortalaması aşağıdaki gibi tanımlanır(w_i):

$$w_i(d) = [2(1 - \beta')]^{(-d/\beta'\gamma)} \left(\frac{\gamma - d}{\gamma} \right) \quad (2.251)$$

Burada α , iç çap; γ , örnekleme çapı; d, veri noktasına olan mesafe; β' ise bozunma hızıdır ($0 \leq \text{bozunma hızı} \leq 0,5$). (Scott, et al., 2003)

2.9.10. HPDM(Hybrid Plume Dispersion Model)

Uzun bir bacadan (>50 m) salınan reaktif olmayan gaz konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanılır. (Caputo, et al., 2003)

2.9.11. PCCOSYMA

Bu model, bir nükleer kaza için hava konsantrasyonu, organlar içindeki dozları, çökme, sürekli ölçümleri, risk ve ekonomik maliyetleri hesaplar. (Caputo, et al., 2003)

2.9.12. HYSPLIT

Bu model acil atmosferik durumlar için tasarlanmıştır. Özellikle kazalar için geliştirilmiştir. (Caputo, et al., 2003)

2.9.13. Kutu modelleri

Fotokimyasal kutu modelleri, kentsel skaladaki fotokimyasal dumanların simülasyonu için kullanılır. Diğer kutu modelleri sabit bir alana sahiptir; yatayda 10-50 km mesafeler için kullanılır. (Holmes, et al., 2006)

2.9.14. AEROPOL

Kaynaktan 100 km'ye kadar olan mesafelerde inert gazlar için uygulanan düzenli rejim dispersiyon rejimidir. Sadece, düz arazilerde kullanılır, bina etkilerini içerir. Gauss dispersiyon formülünü kullanır. (Holmes, et al., 2006)

2.9.15. ADMS

Genellikle kent içindeki modelleme için kullanılan Gauss dispersiyon yöntemidir. (Holmes, et al., 2006)

2.9.16. SPRAY

Lagrange partikül modelidir. Geniş bir skalada uygulanabilen çoklu kaynakların dispersiyonudur. (Holmes, et al., 2006)

2.9.17. FARM

Euler yaklaşımını kullanır. 50-1000 km içindeki gazların konsantrasyonunu hesaplamak için kullanır. (Holmes, et al., 2006)

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL KAYNAK KOMPLEKS(ISC) MODELİ

Bu model, çift Gauss duman modelidir ve çok değişik kaynaklardan yayılan kirleticiler için kullanılır. Kimyasal ve petrol işlem fabrikalarından kaynaklanan kirleticilerin çökme konsantrasyonlarının hesabında kullanılır. ISC modeli;

- Baca dizayn çalışmaları
- Yanma uygulamaları
- İzleme network dizaynı
- Ülke gelişim planları için kontrol strateji hesabı
- Yakıt dönüşüm çalışmaları
- Kontrol teknoloji hesabı
- Yeni kaynak araştırmaları
- Önemli kayıpların önlenmesi

çalışmalarında kullanılır. Bu model, çift Gauss formülü ile birlikte Briggs duman yükselme formülü ve dispersiyon parametre formüllerinin Pasquill-Gifford ve McElroy-Pooler datalarından türetildiği yükseltilmiş dispersiyon yüksekliğini, yerden yansıma olayını ve rüzgar hızı güç kanunu içerir.

ISC modeli, kullanılan zaman aralığına bağlı olarak iki form halinde kullanılır. ISC kısa süreli (ST) modeli, zaman periyodu olarak 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 ve 24 saat

aralıklarını kullanır. Saatlik meteorolojik veriler gereklidir. Her alıcıdaki her kaynağa ait saatlik konsantrasyonlar basit hesaplamalarla bulunabilir. Kombine kaynak emisyonlarının hesaplanması, saatlik konsantrasyonlarının toplanmasıyla yapılır. ISC kısa süreli modeli, o seneye ait saatlik ardaşık veriler kullanarak senelik konsantrasyonu hesaplayabilir. (Abdul-Wahab, et al., 2002, Alameddine, et al., 2005, Bhanarkar, et al., 2005, Krishna, et al., 2004, Krishna, et al., 2005, Sivacoumar, et al., 2001, Yegnan, et al., 2002, Lorber, et al., 2000, de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğeri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

ISC uzun süreli (LT) modeli, sektör ortalamasını kullanır. STAR (Stability ARay) meteorolojik kodun hesapladığı istatistiksel rüzgar toplamalarını kullanılır. (Schnelle, et al., 2000)

3.1. ISC Kısa Süreli Dispersiyon Modeli

ISC kısa süreli modeli, tipik bir endüstriyel kaynak alanında çok sayıda kaynak için emisyonların modellenmesine olanak sağlar. Bu modelin temelini, bacalardan çıkan nokta kaynak emisyonlarını modellemek için çeşitli değişiklikler yapılmış olan düz-çizgi, düzenli rejim Gauss duman denklemi oluşturur. Emisyon kaynakları nokta, alan, hacim ve açık çukur kaynakları olarak 4 sınıfa ayrılır. Hacim kaynağı ve alan kaynağı seçenekleri genellikle çizgisel kaynakların simülasyonunda kullanılırlar.

ISC kısa süreli modeli; duman yükselmesi, transport, difüzyon ve çökme için şartları tanımlamak amacıyla saatlik meteorolojik verileri kullanılır. Bu model, girilen her saatlik meteorolojik veri için kaynak-alıcı kombinasyonuna ait konsantrasyon veya çökme değerlerini tahmin eder ve seçilen bir zaman aralığı ortalamaları hesaplar. Çökme değerleri için kuru çökme akısı, yaş çökme akısı veya toplam çökme akısı hesaplanabilir. Özel bir alıcı noktasındaki toplam çökme akısı, kuru ve yaş çökme akılarının toplamı olarak tanımlanır. Kullanıcı hesaplama için zaman aralığını seçebilir. (Abdul-Wahab, et al., 2002, Alameddine, et al., 2005, Bhanarkar, et al., 2005, Krishna, et al., 2004, Krishna, et al., 2005, Sivacoumar, et al., 2001, Yegnan, et al., 2002, Lorber,

et al.,2000, de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğeri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

3.1.1. Nokta kaynağı emisyonları için Gauss denklemi

Baca, menfez gibi nokta kaynaklardan yayılan emisyonları modellemek için ISC kısa süreli modeli düzenli rejim Gauss duman denklemini kullanır. Bu bölüm, dispersiyon parametrelerini tanımlamada kullanılan formülleri, duman yükselme formüllerini ve basit Gauss denklemini içeren Gauss nokta kaynak modelini tanımlamaktadır.

Her saat ve kaynak için, kaynağın koordinat sisteminin orjini yer seviyesinde bacanın tabanı alınmıştır. x ekseninin pozitif yönü çökme yönündedir, y eksenini ise x ekseninin yan (çapraz) rüzgar yönündedir (normalidir); z eksenini ise diğer iki eksene diktir. Saatlik her konsantrasyon hesabı için sabit alıcı yerleri her kaynağın koordinat sistemine uygun olarak dönüştürölür.

Kombine kaynaklı emisyonların herhangi bir alıcıdaki toplam konsantrasyonunu bulmak için her kaynağın her alıcıdaki saatlik konsantrasyonları hesaplanarak birbirleriyle toplanır.

Düzenli rejim bir dumanı için, y(m) yan (çapraz) rüzgar mesafesine bağlı olarak x(m) çökme mesafesindeki saatlik konsantrasyon,

$$\chi = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0,5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (3.1)$$

ile verilmiştir. Burada,

K= hesaplanmış değerleri istenen değerlere dönüştüren skala faktörü,

Q= kirletici emisyon hızı,

D= bozunma terimi,

σ_y, σ_z = yatay ve düşey konsantrasyon dağılımının standart sapmaları,

u_s = arttırılmış yükseklikteki ortalama rüzgar hızı,

V=dikey terimdir.

Genellikle kuru çökme olmadığı kabul edilip,

$$V = \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^{\infty} \exp\left[-0,5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (3.2)$$

ile hesaplanır. Burada,

z_r = alıcı yüksekliği,

h_e = etkin baca yüksekliği,

h_s = gerçek baca yüksekliği,

Δh = duman yüksekliği,

z_i = karışım yüksekliği,

$h_e = h_s + \Delta h$,

$H_1 = z_r - (2iz_i - h_e)$,

$H_2 = z_r + (2iz_i - h_e)$,

$H_3 = z_r - (2iz_i + h_e)$,

$H_4 = z_r + (2iz_i + h_e)$.

Denklem 3.1'deki dikey terim (V), bozunma terim (D) ve dispersiyon parametreleri (σ_y ve σ_z) daha sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Dikey terim partiküllerin kuru çökmesi, yerçekimi çökmesi, dikey yönde sınırlı çökme, duman yükselmesi, alıcı yükselmesi ve kaynak yükselmesi etkilerini içerir.

Kırsal mod için Pasquill-Gifford eğrilerini veren denklemler, σ_y ve σ_z hesaplarında kullanılır. Bozunma terimi D,

$$\psi > 1 \text{ için } D = \exp\left(-\psi \frac{x}{u_s}\right)$$

$$\psi = 0 \text{ için } D = 1 \quad (3.3)$$

olarak tanımlanır; burada,

ψ = bozunma katsayısı (s^{-1}),
 x = çökme mesafesidir (m).

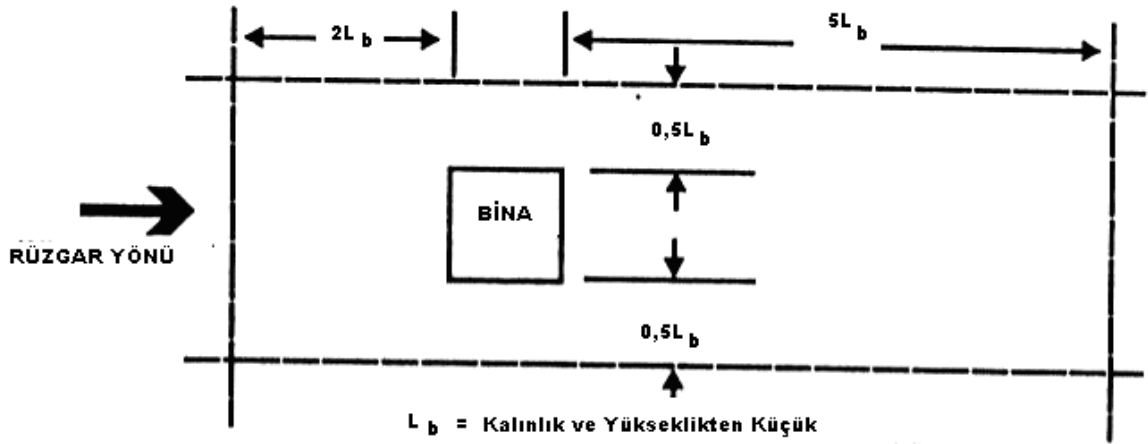
Örneğin, $T_{1/2}$ saniyeler kadar kısa bir yarılanma ömrü olsun, bu durumda

$$\psi = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (3.4)$$

olarak bulunabilir. (Alameddine, et al., 2005, Bhanarkar, et al, 2005, Krishna, et al., 2004, Krishna, et al., 2005, Sivacoumar, et al., 2001, de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

3.1.2. Aerodinamik izler

Birçok uygulamada, binalar bacalara yakındır ve bu durum iz etkilerine neden olur. L_b değeri, binanın genişliğinden ve yüksekliğinden küçüktür. Çökme analizi için, binanın bir dikdörtgen içinde olduğu; dikdörtgenin rüzgar yönüne dik ve boyutlarının binaya kadar $2L_b$ ve binadan sonra ise $5L_b$ olduğu; dikdörtgenin rüzgar yönüne dik olan boyutunun binanın her iki ucundan $0,5 L_b$ olması gerektiği kabul edilmiştir. Bu durum şekil 3.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İz etkilerinin sınırları (Shnelle, et al., 2000)

Binalar uzun veya kısa olarak tanımlanmıştır. Bina yüksekliği h_b genişliği ise h_w ile tanımlanırsa

$h_w \geq h_b$ ise kısa bina,

$h_w < h_b$ ise uzun bina

olur. Havanın yüksek türbülansla aktığı bina boşluğunda ISC için çökme modelleri uygun değildir. (Shnelle, et al.,2000)

3.1.3. Huber ve Snder bina çökme işlemleri

Duman yüksekliğinin bina yüksekliğine oranı 1,2 ve daha küçük olduğu durumlarda ISC modeli σ_y ve σ_z standart sapmaları değiştirilerek bina etkisini hesaplayabilir. Duman yüksekliğiyle bina yüksekliğinin oranının 1,2'den büyük 2,5'ten küçük olduğu durumlarda bacalardan yayılan duman için sadece σ_z değiştirilir. Baca ağzı alçalma ilavesi olmadan $h_s + \Delta h$ olan duman yüksekliği

1. $2,5 h_b$ 'den büyükse

2. $h_b+1,5h_w$

ise dumanın bina izi üzerine etkisi olmadığı kabul edilir.

Kısa binalar için,

$$3h_b \leq x < 10h_b \text{ ise } \sigma'_z = 0,7h_b + 0,067(x - 3h_b)$$

$$x \geq 10h_b \text{ ise } \sigma'_z = \sigma_z(x + x_z) \quad (3.5)$$

ve uzun binalar için,

$$3h_w \leq x < 10h_w \text{ ise } \sigma'_z = 0,7h_w + 0,067(x - 3h_w)$$

$$x \geq 10h_w \text{ ise } \sigma'_z = \sigma_z(x + x_z) \quad (3.6)$$

ifadeleri yazılabilir; burada h_b ve h_w birimleri metredir.

Bina iz etkileri, dumanın ilk gelişiminde etkili olabilir. Bu etki, virtüel (x_y) ve (x_z) mesafelerinin denklem 3.5 ve 3.6'da olduğu gibi gerçek mesafelerine ilave edilmesiyle tanımlanmaktadır. Bu ilave, kısa binalar için $10 h_b$, uzun binalar için ise $10 h_w$ mesafe kadar uzakta gerçekleşir. Kırsal modda kısa bina için, $\sigma_z = ax^b$ denklemi, denklem 3.8'yi oluşturmak için denklem 3.5 ile birlikte kullanılmıştır. $10h_b$ çökme mesafesi için genişletilmiş σ_z değeri yaklaşık $1,2 h_b$ olacaktır. Böylece

$$\sigma_z = 1,2h_b = a(0,01h_b + x_z)^b \quad (3.7)$$

ve

$$x_z = \left(\frac{1,2h_b}{a} \right)^{1/b} - 0,01h_b \quad (3.8)$$

olur. Burada x 'in birimi kilometredir; a ve b değeri ise izelge 7.3 ile verilmiştir. Uzun binalar için düsey virtüel mesafe

$$x_z = \left(\frac{1,2h_w}{a} \right)^{1/b} - 0,01h_w \quad (3.9)$$

ile bulunur.

Kentsel seçenek için, x_z değeri izelge 7.4 içindeki denklemlerin özölmesiyle elde edilir. σ_z değeri kısa binalar için $1,2h_b$ ve uzun binalar için ise $1,2h_q$ olacaktır.

$h_w/h_b \leq 5,0$ olduğu durumlarda kısa bir bina için,

$$\begin{aligned} 3h_b \leq x < 10h_b \text{ ise } \sigma'_y &= 0,35h_w + 0,067(x - 3h_b) \\ x \geq 10h_b \text{ ise } \sigma'_y &= \sigma_y(x + x_y) \end{aligned} \quad (3.10)$$

olur. $h_w/h_b > 5,0$ olduğunda ve baca binanın merkezinde bulunduğu durumlar için,

$$\begin{aligned} 3h_b \leq x < 10h_b \text{ ise } \sigma'_y &= 0,35h_b + 0,067(x - 3h_b) \\ x \geq 10h_b \text{ ise } \sigma'_y &= \sigma_y(x + x_y) \end{aligned} \quad (3.11)$$

olur. $h_w/h_b > 5,0$ olduğunda ve baca binanın ucundan yatayda $1,5h_b$ mesafeye yerleştirildiği durumlar için,

$$\begin{aligned} 3h_b \leq x < 10h_b \text{ ise } \sigma'_y &= 0,175h_b + 0,067(x - 3h_b) \\ x \geq 10h_b \text{ ise } \sigma'_y &= \sigma_y(x + x_y) \end{aligned} \quad (3.12)$$

olur. Bu durumlarda, yatay duman yayılımı bina ucundaki akış tarafından etkilenir. İlk yatay yayılımdaki genişleme değerinin denklem 3.10 ile verilen değeri aşmadığı kabul edilir.

Rüzgar yönü binanın uzun yüzeyine dik olduğunda, bacanın bina merkezine yakın olduğu kısa binalar için denklem 3.11 uygundur. Bu denklem, denklem 3.12 ile kıyaslandığında daha yüksek konsantrasyonların tahminine olanak sağlar. Yukarıda verilen baca yerleşimindeki sınırlamalar yüzünden denklem 3.12, denklem 3.11'e göre daha uygundur. Uzun bir bina için

$$\begin{aligned} 3h_w \leq x < 10h_w \text{ ise } \sigma'_y &= 0,35h_w + 0,067(x - 3h_w) \\ x \geq 10h_w \text{ ise } \sigma'_y &= \sigma_y(x + x_y) \end{aligned} \quad (3.13)$$

yazılabilir. Bu program, kaynak-alıcı mesafesinin 1 metreden az olduğu yerlerde konsantrasyon hesabı yapamaz; bina iz etkilerinin olduğu bir uzun bina için bu mesafenin en az $3h_w$, kısa bina için ise $3h_b$ olmalıdır. Bu yüzden, program x_y ve x_z virtüel mesafelerinin sıfır olmasına izin vermez. (Shnelle, et al.,2000)

3.1.4. İz etkilerini belirlemek için duman yüksekliğinin belirlenmesi

Shulman-Scire metodu, bina iz etkilerini belirlerken giriş duman yükselmesindeki seyrelmeye bağlı olarak indirgenmiş duman yükselme özelliğini kullanır. Hesaplarda baca ağzı çökme olayı kullanılmamıştır. Duman yükselme formülleri ilk önce binanın rüzgar altı (leeward) köşesindeki iki bina yüksekliği mesafedeki mesafeye bağlı momentum duman yükselmesini hesaplamak için kullanılır. Eğer iz etkileri varsa dumna yükselmesi aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

Alçaltılmış dumanın ilk boyutları bir çizgi kaynağın boyutlarına benzer:

$$\begin{aligned} \sigma_y \geq \sigma_z, x = 3L_b \text{ ise } L_y &= \sqrt{2\pi}(\sigma_y - \sigma_z) \\ \sigma_y < \sigma_z, x = 3L_b \text{ ise } L_y &= 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

ve

$$\begin{aligned} \text{Derinlik} &= 2R_0 \\ X = 3L_b \text{ ise } R_0 &= \sqrt{2S}\sigma_z \end{aligned} \quad (3.15)$$

Burada bina yüksekliği h_b , yan (çapraz) rüzgar bina kalınlığı h_w ve L_b ise h_b ve h_w için minimum değerdir. Eğer σ_y genişletilmemişse ya da genişletilmiş σ_y değeri genişletilmiş σ_z değerinden küçükse, ilk duman R_0 çapında bir daire şeklini alır. Lineer bozunma faktörü A aşağıdaki gibi bulunur:

$$\begin{aligned} h_0 \leq h_b \text{ ise } A &= 1,0 \\ h_b < h_c \leq h_b + 2L_b \text{ ise } A &= \frac{h_b - h_c}{2L_b} + 1,0 \\ h_c > h_b + 2L_b \text{ ise } A &= 0 \end{aligned} \quad (3.16)$$

Burada iz etkilerini control etmek için kullanılan $2h_b$ mesafedeki yavaş momentum yükselmesine bağlı olan duman yüksekliği h_c olarak verilmiştir.

Z mesafeye bağlı yükselme aşağıdaki kübik denklemlerden hesaplanır:

Nötral şartlar için:

$$Z^3 + \left(\frac{3L_y}{\pi\beta} \right) Z^2 + \left(\frac{6R_0L_y}{\pi\beta^2} + \frac{3R_0^2}{\beta^2} \right) Z = \frac{3F_b x^2}{2\beta^2 u^3} + \frac{3F_m x}{\beta_j^2 u^2} \quad (3.17)$$

Düzenli şartlar için:

$$Z^3 + \left(\frac{3L_y}{\pi\beta}\right)Z^2 + \left(\frac{6R_0L_y}{\pi\beta^2} + \frac{3R_0^2}{\beta^2}\right)Z = \frac{3F_b x^2}{2\beta^2 u^3} + \frac{3F_m \sin\left(\frac{x\sqrt{s}}{u}\right)}{\beta_j^2 u^2 \sqrt{s}} \quad (3.18)$$

Maksimum düzenli yüzme (yükselme) yükselmesi:

$$Z^3 + \left(\frac{3L_y}{\pi\beta}\right)Z^2 + \left(\frac{6R_0L_y}{\pi\beta^2} + \frac{3R_0^2}{\beta^2}\right)Z = \frac{6F_b}{\beta^2 u s} \quad (3.19)$$

Burada işletme sabiti $\beta=0,6$ 'dır.

Daha büyük duman yükselmesi, ayrı ayrı F_b veya F_m değerleri 0,0 koyularak hesaplanır; daha sonar hesaplanmış Z değeri Schulman-Scire metoduyla yapılan duman yükseklik hesapları için seçilir. (Shnelle, et al.,2000)

3.1.5. Schulman-Scire bina alçalma işlemi

Schulmaz-Scire bina alçalma işlemi şu özellikleri içerir:

1. ilk duman seyrelmesine bağlı olarak indirgenmiş duman yükselmesi
2. Etkin duman yüksekliğinin lineer bir fonksiyonu olan genişletilmiş dikey duman yayılımı
3. Rüzgar yönünün bir fonksiyonu olan bina boyutlarının özellikleri

Bu metod kullanıldığında, σ_z' değerleri lineer bozunma faktörüyle düzeltilir. (Shnelle, et al.,2000):

$$\sigma_z'' = A\sigma_z' \quad (3.20)$$

3.1.6. Kompleks Arazi Etkileri

Baca veya yayılma yüksekliğinin üzerindeki arazi, kompleks arazi olarak tanımlanır. ISC kısa süreli modeli, kompleks arazilerdeki uygulamalar için sürekli rejim, sektör ortalamalı Gauss duman denklemi kullanır. Yayılma yüksekliğinin altındaki arazi basit arazi olarak tanımlanır; basit araziye yerleştirilmiş alıcılarla bir nokta kaynağı denklem 3.1 ile modellenmiştir. Kompleks arazide sektör ortlaması yaklaşımı, yatay konsantrasyonların dağılımını 22,5°'lik sektör boyunca üniform (düzgün) kabul eder. Kompleks arazi görüntüleme algoritmaları, sadece nokta ve hacim kaynak emisyonları için uygulanabilir.

ISCST kompleks alan görüntüleme algoritması, sürekli bir yüksetilmiş kaynak için sürekli rejim, sektör ortalamalı Gauss duman denklemini kullanır. Her saat ve her kaynak için kaynağın koordinat sisteminin orjini, kaynağın merkezinde ve yer seviyesindedir. x eksenini, rüzgar doğrultusunda pozitifdir, y eksenini x ekseninin normalidir ve z eksenini ise her iki eksene diktir. Sabit alıcı yerleri, saatlik konsantrasyon hesapları için her kaynağın koordinat sistemine göre değiştirilir. 22,5°'lik bir sektör boyunca konsantrasyonlar üniform olduğu için kompleks arazi algoritması çökme mesafesi yerine alıcı ve kaynak arasındaki radyal mesafe kullanılır. Kombine kaynak emisyonlarının her alıcıdaki toplam konsantrasyonlarını bulmak için her kaynağın her alıcıdaki saatlik konsantrasyonları bulunur ve birbirleriyle toplanır.

Çökme mesafesi x(m) ve yan (çapraz) rüzgar (sürüklenme) mesafesi y(m) için saatlik konsantrasyon değeri

$$\chi = \frac{QKVD}{\sqrt{2\pi R\Delta\theta'u_s\sigma_z}} \bullet CORR \quad (3.21)$$

ile verilmiştir; burada

χ = ortalama konsantrasyon,

Q= kirletici emisyon hızı(kütle/birim zaman),

K= skala sabiti,

$\Delta\theta'$ = sektör kalınlığı (rad) ($22,5^\circ = 0,3927$ radyan),

R= nokta kaynaktan alıcıya olan radyal mesafe= $\left[(x + x_y)^2 + y^2\right]^{1/2}$ (metre),

x= Kaynak merkezinden alıcıya olan çökme mesafesi (metre),

y= duman eksenine alıcı arasındaki yatay mesafe (metre),

x_y = hacim kaynaklar için yatay virtüel mesafe, nokta kaynaklar için sıfıra eşittir (metre),

u_s = kaynak yüksekliğinde ortalama rüzgar hızı (m/s),

σ_z = Dikey konsantrasyon dağılımının standart sapması (metre),

V= düşey terim,

D= bozunma terimi,

CORR= duman merkez çizgisinin üstündeki alıcılar için seyreklik düzeltme faktörüdür.

Denklem 3.21 bir düşey terim, bir bozunma terimi ve bir dikey konsantrasyon terimi içerir. Düşey terim kaynak yükselmesi, alıcı yükselmesi, duman yükselmesi, sınırlandırılmış dikey karışım, gravitasyonel çökme ve kuru çökme etkilerini içerir.

Düzenli şartlarda kompleks arazi özelliklerinden kaynaklanan duman sapması, ilgilenilen sektörün belirli bir yüksekliğindeki konsantrasyona seyreklik düzeltme faktörünün eklenmesiyle simüle eder. Bu durum, denklem 3.21'de CORR değişkeniyle tanımlanmıştır. Bu değer aşağıda gösterilmiştir:

CORR= 1,0	dengesiz(düzensiz)/nötral	
= 1,0	$\Delta H_r \leq 0 \text{ metre}$	
= 0,0	$\Delta H_r \geq 400 \text{ metre}$	
= $(400 - \Delta H_r)/400$	$\Delta H_r < 400 \text{ metre}$	(3.22)

Burada

CORR= 0 ile 1 arasında değişen seyreklik düzeltme faktörü,

ΔH_r = dağılmamış duman yüksekliğinin üzerindeki alıcı yüksekliğidir.

ISC modelinin arazideki difüzyon davranışı oldukça farklıdır ve Briggs veya Egan yöntemlerine göre oldukça gelenekseldir. ISC modeli sadece etkin duman yüksekliğindeki dumanın davranışını tanımlamaz, aynı zamanda kararlılık sınıflarının dispersiyon katsayılarını Briggs ve Egan yöntemlerine göre daha farklı bir şekilde hesaplar. Duman yükseltilmiş araziye ulaştığında bacanın temeline bağlı olarak alandaki yükselme etkin duman yüksekliğinden çıkartılır; yani:

$$h_e' = h_e - zst \quad (3.23)$$

Bu model, duman merkez çizgisinin arazi üzerine yükselmediği ilk yayılma yörüngesinde kaldığını kabul eder. ISC modeli, duman yükseltilmiş arazi üzerinde yayılmışsa tüm düzenli veya nötral atmosferik şartları nötral veya kararsız şartlara indirger. (Shnelle, et al.,2000)

3.1.7. Kuru ve yaşı çökme

Çökme hesaplarında, ara (orta) arazi analizi verilen bir alıcıdaki konsantrasyonlar için uygulanır; algoritma ise çökme değerinin hesaplanması için kullanılan bu alıcıdaki en yüksek değeri verir.

Kuru çökme, türbülanslı difüzyon ve gravitasyonel çökme işlemlerinin bir kombinasyonu olarak meydana gelir. İlk önce yakın yüzeylerde, atmosferden uzaklaşan partiküller yüzeye çökerler. Bu uzaklaşma işlemi v_d çökme hızıyla tanımlanmıştır; yüzey üzerine çökmüş materyalin konsantrasyonu c_d olarak tanımlanırsa materyalin çökme akısı $v_d c_d$ değerine eşit olacaktır. Yüzeylere yakın yerlerde oluşan çökme duman

içindeki partikül konsantrasyonu azaltılır; böylece kalan partiküllerin büyüklüklerine göre yer çekimine bağlı olarak çökerler.

Tarama (süpürme) oranı yaklaşımı, partikül ve gazların yaş çökmesini modellemek için kullanılır. Bu yaklaşımda yaş çökme boyunca materyalin akısı (F_w), tarama oranının konsantrasyonla çarpımının düşeyde integraline eşittir:

$$F_w = \int_0^{\infty} \Lambda \chi(x, y, z) dz \quad (3.24)$$

Buradaki Λ , s^{-1} birimine sahip tarama oranıdır. Konsantrasyon değeri, denklem 3.1 ile hesaplanır. Çökmenin duman yüksekliğinin üzerinde başladığı kabul edildiği için, duman yüksekliği karışım yüksekliğini aşıya bile yaş çökme akısı hesaplanabilir. Duman boyunca, yüzeye çöken toplam akının dumandan kaybedilen kütleyle eşit olması gerekir; yani:

$$-\frac{d}{dx} Q(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_w(x, y) dy = \Lambda Q(x) / u \quad (3.25)$$

Bu denklem $Q(x)$ 'in çözümlerse aşağıdaki formül elde edilir:

$$Q(x) = Q_0 e^{-\Lambda x / u_s} = Q_0 e^{-\Lambda t} \quad (3.26)$$

Buradaki $t=x/u_s$ ifadesi saniye biriminde dumanın hareket süresidir. Kuru çökme için, denklem 3.21'deki akı terimine uygulanan $Q(x)/Q_0$ oranı yaş tükenme faktörü olarak tanımlanır. Islak çökme hesabı isteğe bağlı olarak yapılır. (Shnelle, et al.,2000, Zannetti, 1990)

3.2. Nokta Olmayan Kaynaklar

ISC modeli, nokta kaynaklara ilave olarak hacim, alan ve açık çukur kaynaklarını modelleyen algoritmalar içerir. Bu kaynaklar, endüstriyel kaynakların büyük çeşitlilik gösteren emisyonlarını modellemek için kullanılır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

ISC modelleri, hacim kaynakların etkilerini modellemek için bir virtüel nokta kaynağı algoritması kullanır; bu yüzden nokta kaynak emisyonlarının konsantrasyon hesabı için genellikle denklem 3.1 kullanılır.

İki çeşit hacim kaynağı vardır: İlki alan kaynakları gibi modellenebilen yüzey temelli kaynaklar ve diğeri ise yükseltilmiş kaynaklardır. Yüzey temelli kaynak için h_e etkin emisyon yüksekliği sıfır olarak alınır. Eğer kaynak yükseltilmişse, kullanıcı bir h_e etkin emisyon yüksekliği belirler; yani hacim kaynaklar için bir duman yükselmesinin meydana gelmediği kabul edilir. Kullanıcı, hacim kaynak için yatay (σ_{y0}) ve düşey (σ_{z0}) standart sapma değerlerini atar. σ_y ve σ_z hesaplamaları için, gerçek x çökme mesafesine yatay (x_y) ve düşey (x_z) virtüel mesafeleri eklenir. Bu virtüel mesafeler, nokta kaynakların bina alçalma hesaplarında kullanılan sigma denklemlerinin çözümlerinden hesaplanır.

Hacim kaynağı modeli, bina çatısının ucundaki kaynakların ve çizgi kaynakların emisyon etkilerinin simülasyonu için kullanılır.

ISC kısa süreli modeli, denklem 3.1 ile verilen Gauss nokta kaynak duman formülünün rüzgar ve yan (çapraz) rüzgar yönlerinde alan boyunca numerik integrasyonuna dayanır. Özel alan kaynakları, 10 ile 1 arasında değişen yön oranlarıyla birlikte dikdörtgen olarak tanımlanabilir. Şekli düzgün olmayan alanın etkileri, alan kaynağını çoklu alanlara bölerek simüle edebilir. Özel alan kaynaklarının büyüklükleri ve şekilleri değişkenlik gösterir; burada önemli olan tek şey her alan kaynağının

dikdörtgen olmasıdır. Sonuç olarak, düzensiz şekle sahip bir alan kaynağı çok sayıda kare şekilli küçük alan kaynağı gibi tanımlanır.

ISC açık kuyu modeli, taş ocağı veya kömür madeni gibi aşağı eğimli açık kuyudan yayılan partikül emisyonlarının etkilerini tahmin etmek için kullanılır. ISC modeli, açık kuyu kaynağını, yön oranı 10 ile 1 arasında değişen bir dikdörtgen şeklinde tanımlamaya olanak sağlar. Açık kuyu modeli kuyunun sınırında bulunan alıcılara uygulanamayacağı için bu alıcılardaki konsantrasyon değeri sıfır olarak alınır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

3.3. ISC uzun süreli dispersiyon modeli

ISCLT modeli, ISCST modelindeki benzer kaynak çeşitleri için modelleme seçenekleri sağlar. ISC uzun süreli modeli özel rüzgar hızı sınıfları, rüzgar doğrultu sektörleri ve kararlılık sınıflarından oluşan meteorolojik veri girdisi kullanır. Bunları hepsine STAR (Stability ARay) adı verilir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

3.3.1. Nokta kaynak emisyonları-Gauss sektör ortalama denklemi

ISC uzun süreli model, kısa süreli modelle benzer tanımlamalar içerir. Uzun süreli modelde kararlılık, rüzgar hızı ve rüzgar yönünün yıllık ve mevsimlik frekans dağılımlarının sektörlere uygun olarak sürekli kirletici kaynağının çevresindeki alan eşit açısal kalınlıklara bölünür.

Kaynaktan yayılan yıllık veya mevsimlik emisyonlar sektörler boyunca esen rüzgar frekanslarına bağlı olarak sektörlerin içine dağıtılır.

Tek bir kaynak için, ortalama mevsimlik konsantrasyon aşağıdaki formülle bulunur:

$$\chi_m = \frac{K}{\sqrt{2\pi R \Delta \theta'}} \sum_{i,j,k} \frac{QfSVD}{u_s \sigma_z} \quad (3.27)$$

Burada

χ_m = ortalama konsantrasyon,

K= skala katsayısı,

Q= l. sezon, k. kararlılık sınıfı ve i. rüzgar hızı kategorisi için kirletici emisyon hızı (kütle/birim zaman),

f= l. sezon, k. kararlılık sınıfı ve i. rüzgar hızı kategorisi ve j. rüzgar yönü kategorisi için frekans değeri,

$\Delta \theta'$ = sektör kalınlığı (radyan),

R= Alıcı ile yatay virtüel nokta kaynak arasındaki radyal mesafe= $\left[(x + x_y)^2 + y^2 \right]^{1/2}$ (metre),

x= duman ekseni boyunca ölçülen kaynak merkeziyle alıcı arasındaki çökme mesafesi (metre),

y= duman ekseniyle alıcı arasındaki yatay mesafe (metre),

x_y = yatay virtüel mesafe,

S= düzeltme fonksiyonu,

u_s = i. rüzgar hızı kategorisi ve k. kararlılık sınıfı için baca yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı(m/s),

σ_z = k. kararlılık sınıfı için düşey konsantrasyon dağılımının standart sapması (metre),

V= l. mevsim, k. kararlılık sınıfı ve i. rüzgar hızı kategorisi dikey terim,

D= k. kararlılık sınıfı ve i. rüzgar hızı kategorisi için bozunma terimidir.

(r, θ) noktasındaki yıllık ortalama konsantrasyon mevsimlik konsantrasyonlardan hesaplanır:

$$\chi_a = 0,25 \sum_{m=1}^4 \chi_m \quad (3.28)$$

ISC uzun süreli modeli, nokta kaynak emisyonlarına ilave olarak hacim ve alan kaynak emisyonlarıyla da ilgilenir. (Schnelle, 2000)

3.3.2. Dispersiyon parametreleri

Bunlar, nokta kaynakların düşey konsantrasyon dağılımlarına ait σ_z standart sapmasını hesaplamak için kullanılan işlemlerdir. Uzun süreli model, yatay dağılımı sektör boyunca sabit (üniform) sabit kabul ettiği için σ_y yatay dispersiyonun standart sapması bu model tarafından kullanılmaz. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000,)

3.3.3. Dispersiyon üzerine bina iz etkisinin hesabında kullanılan işlemler

Yatay virtüel mesafenin hesabında kullanılan denklemler dışında dispersiyon üzerine bina iz etkilerini hesaplamak için kullanılan işlemler kısa süreli modelle aynıdır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

3.3.4. Düzeltme faktörü

Denklem 3.27 ile gösterildiği gibi verilen bir açısal sektördeki dikdörtgensel konsantrasyon dağılımı, komşu sektörler arasındaki süreksizliği düzeltmek için $S(\theta)$ fonksiyonuyla düzenlenmiştir. Her sektörün merkez çizgisinin konsantrasyonu, komşu sektörlerin dağılımından bağımsızdır. Sektör merkez çizgisi dışındaki noktaların konsantrasyonu, en yakın sektörün merkez çizgisindeki konsantrasyonun ağırlık fonksiyonu şeklinde bulunur. Düzeltme fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} \left| \theta_j' - \theta' \right| \leq \Delta \theta' \text{ için } S &= \frac{\left(\Delta \theta' - \left| \theta_j' - \theta' \right| \right)}{\Delta \theta'} \\ \left| \theta_j' - \theta' \right| > \Delta \theta' \text{ için } S &= 0 \end{aligned} \quad (3.29)$$

Burada

θ_j' = rüzgar yönündeki j. sektörün kuzeyle yaptığı açı (radyan),

$\theta' = (R, \theta)$ alıcı noktasıyla kuzeyin yaptığı açıdır (radyan). (Schnelle, 2000)

3.3.5. Nokta olmayan kaynak emisyonları- uzun süreli hacim kaynak modeli

ISC uzun süreli modeli, hacim kaynaklarının etkilerini modellemek için bir virtüel nokta kaynak algoritması kullanılır. Bu yüzden, denklem 3.27 genellikle yer seviyesindeki mevsimlik konsantrasyonların hesaplanmasında kullanılır. Kullanıcı, h_e etkin emisyon yüksekliğiyle yatay (σ_{y_0}) ve düşey (σ_{z_0}) boyutlarını başlangıçta atamak zorundadır. (Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000)

3.3.6. Nokta olmayan kaynak emisyonları- uzun süreli alan kaynak modeli

ISC uzun süreli alan kaynağı modeli, alan kaynaklarını modellemek için ISC kısa süreli modeli kullanan nümerik integrasyonlu algoritma temeline dayanır. Bu model yamuk (trapezoidal) integral kullanır:

$$\bar{\chi}_i = \frac{\int f(\theta) \chi(\theta) d\theta}{S} = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=1}^{N-1} f_{ij} \chi(\theta_{ij}) + \frac{(f_{i1} \chi(\theta_{i1}) + f_{iN} \chi(\theta_{iN}))}{2} \right] \quad (3.30)$$

$$\varepsilon(\theta) = \frac{\overline{\chi_{YENI} \chi_{ESKI}}}{\overline{\chi_{ORTA}}}; \overline{\chi_{ORTA}} = \frac{\overline{\chi_{YENI}} + \overline{\chi_{ESKI}}}{2} \quad (3.31)$$

Burada,

χ_i = i. sektör için ortalama sektör konsantrasyon değeri,

S= sektör kalınlığı,

f_{ij} = i. sektördeki j. rüzgar yönü için frekans değeri,

$e(\theta)$ = hata terimi,

$\chi(\theta_{ij})$ = i. sektördeki j. rüzgar yönü için konsantrasyon değeri,

θ_{ij} = i. sektördeki j. rüzgar yönü için sektörün iki sınırındır. (Başara, 1996, Erbaş, 2001, Müezzinoğlu, 2000, Okutan ve diğerleri,19993,Öner, 2000, Schnelle, et al., 2000, Zannetti, 1990)

BÖLÜM 4

TEORİ

4.1. Atmosferik Türbülans

Türbülans edileri, atmosferdeki konveksiyon, coğrafik ve insan yapısı yapılar tarafından şekillendirilirler. Konveksiyon, havanın yeryüzü ve binalar tarafından ısıtılmasıyla oluşur. Yükseklikle birlikte hava sıcaklığı düşeceğinden konveksiyondan söz edilebilir ve açık günlerde yüzlerce metre içinde meydana gelir. Buradaki konvektif ediler, bu dikey hava hareketlerinin sonucu olarak oluşurlar.

Mekanik ediler, dünya yüzeyinden yukarı doğru esen rüzgarların oluşturduğu kesme kuvvetlerinin sonucudur. Yer seviyesindeki rüzgar hızı sıfırdır, maksimum değerine yüzeyden binlerce metre yukarıda ulaşır. Mekanik türbülans, rüzgar hızı arttıkça artar ve sert yüzey üzerindeki değeri pürüzsüz(düz) yüzey üzerindeki değerinden daha büyüktür. Arazi sertliği, sertlik elemanlarının içinde varolan edilerin büyüklükleriyle orantılı olan bir sertlik uzunluğuyla karakterize edilir. Eğer sertlik elemanları birbirlerine yakınlarsa, sertlik uzunluğu daha kısadır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

4.2. Adyabatik Düşme Oranı ve Potansiyel Sıcaklık

Düşme oranı, atmosferde yükseklikle sıcaklığın düşmesi olayıdır. Eğer bir hava kabarcığının kuru atmosfer içinde karışım olayı olmadan yükseldiğini kabul edersek, hava kabarcığı genişler ve adyabatik olarak soğur. Bu soğumaya kuru adyabatik düşme oranı denir. Böylece kuru adyabatik düşme oranı(DALR), sıcaklık gradyeninin negatifi olarak tanımlanır.

Kuru havanın tersinir adyabatik genişlemesinde sıcaklık gradyenini hesaplamak için hava özgül ağırlığı 29 olan ideal bir gaz olarak kabul edilir. İdeal gaz denklemini kullanarak, termodinamiğin 1. yasası ve hareketin hidrostatik denklemiyle birlikte integrali alınır. Aşağıdaki denklemin sonucu, kuru adyabatik düşme oranını verir:

$$-\left(\frac{dT}{dz}\right) = \frac{\left(\frac{g}{g_c}\right)}{R} \left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) = DALR \quad (4.1)$$

Buradaki g/g_c yerçekimine bağlı olan ivmelenme oranı dönüştürme sabitidir; $g=c_p/c_v$, özgül ısılar oranı; R, ideal gaz sabiti; T, mutlak sıcaklık ve z ise yüksekliktir. $\gamma =1,41$, $g/g_c=1$ g-f/g ve $R=84,78$ (g-f/cm²-l)/(m-mol °C) olduğuna göre:

$$DALR = \frac{0,995^\circ C}{100m} \quad (4.2)$$

Su buharıyla doymuş hava soğurken su buharı yoğunlaşır. Böylece adyabatik sıcaklık düşüşü denklem 4.1 ile verilenden daha büyük olur. Yaş adyabatik sıcaklık gradyeni, kutup bölgesindeki 100 metre için -0,9 °C değerinden tropical bölgelerdeki 100 metre için -0,4 °C değerine kadar değişir.

Potansiyel sıcaklık, 1000 mb standart basınçtaki başlangıç noktasından adyabatik olarak hareket etmiş kuru havanın sıcaklığı olarak tanımlanabilir. İdeal bir gazın adyabatik sıkıştırması için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$T_0 = T \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \quad (4.3)$$

burada T_0 , P_0 standart basıncındaki sıcaklıktır. Eğer $P_0=1000$ mb ise $T_0=\Theta$ yani potansiyel sıcaklık olur. T_0 yerine Θ koyulup, denkelemin her iki tarafının logaritmaları alınıp ve z değişkenine göre türevi alınırsa aşağıdaki denklem elde edilir :

$$\frac{1}{\Theta} \frac{d\Theta}{dz} = \frac{1}{T} \frac{dT}{dz} - \left(\frac{\gamma - 1}{\lambda} \right) \frac{1}{P} \frac{dP}{dz} \quad (4.4)$$

Son terim, kuru adyabatik düşme oranı olarak tanımlanabilir. 200 mb ve daha az basınç değerlerinde Θ yaklaşık %5 hata ile T değerine eşit olur. Böylece sıcaklık gradyeni aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Schnelle, 2000) :

$$\frac{\Delta\Theta}{\Delta z} = \left(\frac{dT}{dz} \right)_{gerçek} + DALR \quad (4.5)$$

Richardson Sayısı ve Kararlılık

Mekanik kesme olayından kaynaklanan türbülans ve konveksiyon Richardson sayısı ile açıklanır. İlk önce duman yayılımının modellenmesinde kullanılan kararlılık parametresi s tanımlanır:

$$s = \frac{g}{T} \left(\frac{\Delta\Theta}{\Delta z} \right) \quad (4.6)$$

Richardson sayısı ise aşağıdaki tanımlanmıştır (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan vd., 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000):

$$Ri = \frac{g \left(\frac{\Delta\Theta}{\Delta z} \right)}{T \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2} \quad (4.7)$$

Çizelge 4.1 ile Richardson sayısına göre kararlılık sınıfları, çizelge 4.2 ile Pasquill-Gifford kararlılık sınıfları verilmiştir.

Çizelge 4.1 Richardson Sayısı ve Kararlılık (Schnelle, 2000)

Kararlılık Sınıfı	Richardson Sayısı
Kararlı	Ri>0,25
Kararlı	0<Ri<0,25
Nötral	Ri=0
Kararsız	-0,03<Ri<0
Kararsız	Ri<-0,04

Çizelge 4.2. Pasquill-Gifford Kararlılık Sınıfları (A-çok kararsız; B-orta kararsız; C-az kararsız; D-nötral; E-az kararlı; F-orta kararlı) (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993).

Yüzey rüzgar hızı (10 metrede)	Gündüz			Gece	
	Güneş Radyasyonu			Kapalı veya ≥ 4/8 bulutlu (4)	≤ 3/8 bulutlu (5)
Kategori	Kuvvetli (1)	Orta (2)	Zayıf (3)		
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

4.4. Rüzgar Profili için Güç Kanunu

$$\frac{\bar{u}}{u_m} = \left(\frac{z}{z_m} \right)^p \quad (4.8)$$

Burada \bar{u} , z yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı; \bar{u}_m , \bar{u} , z_m yüksekliğinde ölçülen ortalama rüzgar hızı; p ise kararlılık şartları ve yüzey sertliğine bağlı olan güçtür ve çizelge 4.3 ile verilmiştir.(Schnelle, 2000)

Çizelge 4.3.Hız Profil Denklemindeki p Güç Değerleri (Schnelle, 2000)

Kararlılık Sınıfı						
	A	B	C	D	E	F
Kentsel	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30
Kırsal	0,07	0,07	1	0,15	0,35	0,55

4.5. L Monin-Obukhov Uzunluğunun Hesabı

Kararsız hava(atmosfer) için:

$$Ri = \frac{z}{L} \quad (4.9)$$

Kararlı hava(atmosfer) için:

$$\frac{z}{L} = \frac{Ri}{1 - 5Ri} \quad (4.10)$$

Sıcaklık düşme oranı kolay ve kesin bir şekilde ölçülse bile, Richardson sayısı hesabında kullanılan rüzgar kesmesi kolaylıkla ölçülemez. O yüzden aşağıdaki yığın Richardson sayısı kullanılır:

$$Rb = \frac{gz^2}{T} \left(\frac{\frac{dT}{dz} + DALR}{\overline{u^2}} \right) \quad (4.11)$$

Burada

$$Ri = \frac{Rb}{p^2} \quad (4.12)$$

olarak tanımlanabilir. (Schnelle, 2000)

4.6. Ortalama Maksimum Karışım Derinliği

Düzensiz (dengesiz,sabil olmayan) tabakanın üzerinde bir düzenli (stabil) tabaka oluşursa, tabakalar arasındaki ayırma çizgisi düşey hareketteki üst sınırı belirtir. Alt tabaka genellikle karışımdır. Düzensiz(stabil olmayan) alt tabakada meydana gelen kirlenici yayılımları yatay ve düşey olarak oluşur. Fakat düşey yayılım, karışım tabakasının üzerinde kesilir. Ortalama maksimum karışım derinliği, bu düşey limitin bir tahminidir. Verilen herhangi bir günde karışım derinliğini belirlemek için şekil 4.1 ile anlatılan aşağıdaki yöntem kullanılabilir.

1. Sabahın erken saatleri için gerçek sıcaklık gradyeni ölçülür.
2. Maksimum gündüz yerveviyesi sıcaklığı tahmin edilir veya ölçülür.
3. Bu maksimum sıcaklıktan kuru adyabatik düşme oranına paralel çizilir.
4. Bu çizginin sabah için ölçülen gerçek sıcaklık gradyenini kestiği noktanın yüksekliği maksimum karışım derinliğini verir. (Schnelle, 2000)

Bu değer pratikte aşağıdaki çizelge 4.4 yardımıyla seçilir.

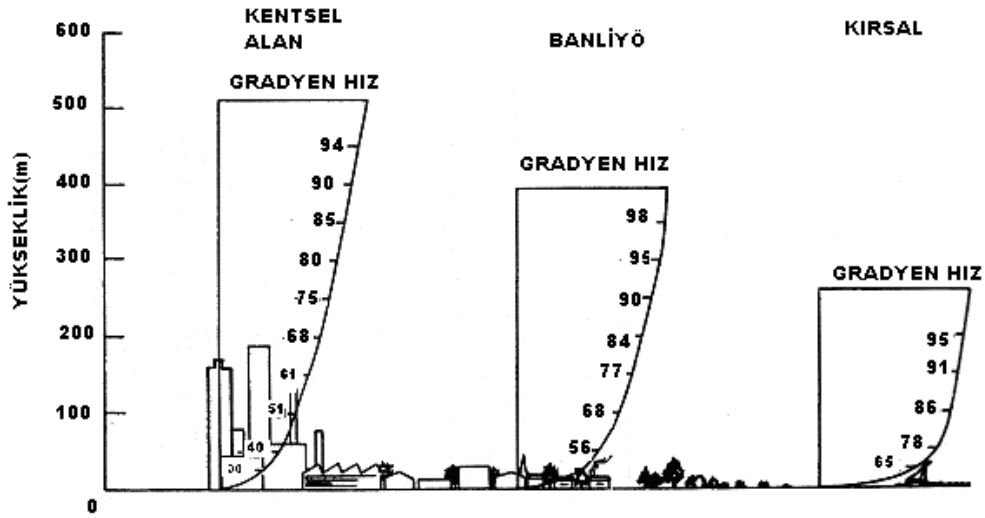
4.7. Rüzgar Hızı Profili

Hava hareketlerinin yeryüzeyinde sürtünme kuvvetleriyle etkilendiği belirlenmiştir.Yeryüzünün şekli ve örtüsü sürtünmeyi etkileyecek bu etki gezegenin sınır tabakası boyunca kendini gösterecektir. Tabakanın yüksekliği stabilite arttıkça azaldığından etkinin sürdüğü yükseklik stabiliteye de bağlıdır. Rüzgar hızının yüzeyden

itibaren değişimi çeşitli yüzey şekilleri için aşağıdaki şekilde verilmiştir. (Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

Çizelge 4.4. Maksimum Karışım Derinliği Değerleri (www.ajdesigner.com, www.csiro.au)

Kararlılık Sınıfı	Karışım Derinliği
A	2000-2500
B	1500-2000
C	1000
D	750
E	300
F	250



Şekil 4.1. Rüzgar hızı profili (Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

4.8. Nokta Kaynağı Disperiyon Parametreleri

Pasquill, Pasquill-Gifford sınıflama metodu olarak bilinen karışık bir çizelge geliştirmiştir. Pasquill'in notlarındaki q yanal yayılım ve H dikey yayılım yayınlanmıştır. q yanal yayılım, çizelgede A'dan F'ye kadar değişen altı adet kararlılık sınıfının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır, dikey yayılım ise bir grafik formuyla gösterilmiştir. q ve H değerleri, konsantrasyonun maksimum değerinin %10 olduğu nokta için tanımlanır. Uygun kararlılık kategorisi ölçülen rüzgar hızı, bulutluluk düzeyi ve güneşlenme durumuna göre bir çizelge yardımıyla seçilir. Maksimumun %10'u olan özel durumun ordinatı,

$$H=2,15 \sigma_z \quad (4.13)$$

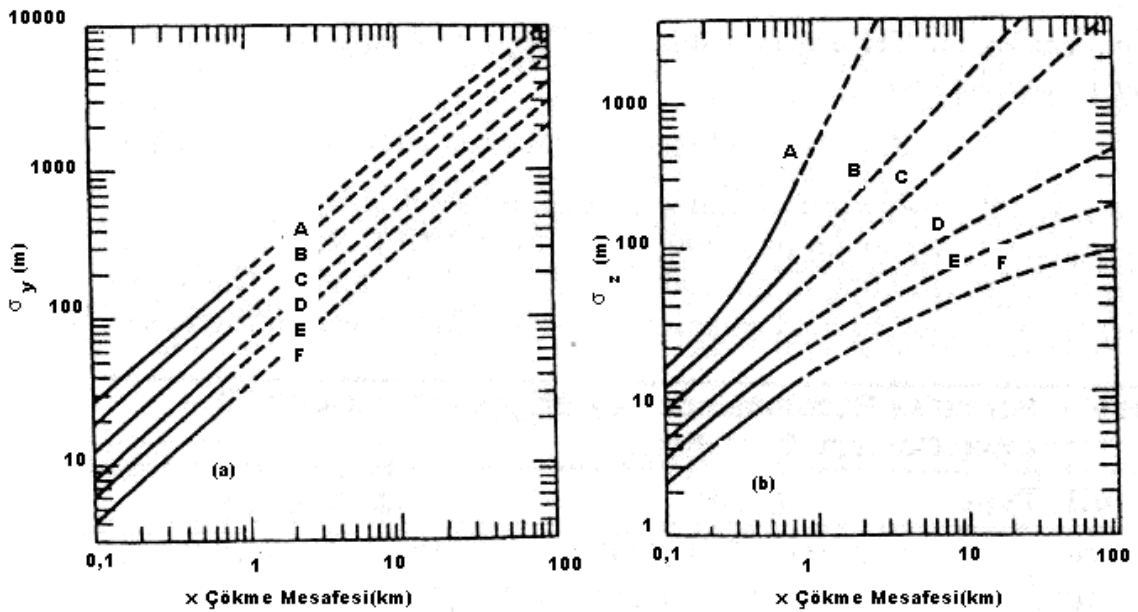
$$\tan \frac{\theta}{2} = 2,15 \frac{\sigma_y}{x} \quad (4.14)$$

olarak tanımlanır ; buradaki 2,15 katsayısı şekil 4.5 ile gösterilen %10 ordinatının apsisidir. Gifford, bu duman yayılımını σ_y ve σ_z eğri kümelerine çevirmiştir. Sınır tabaka türbülansının doğal konveksiyon limitinin teorik sonuçlarına göre σ_z eğrileri çok dengesiz atmosferik şartların olduğu ve B kararlılık sınıfları için düzeltilmelidir. Böylece A ve B kategorileri için yeni σ_z değerlerinde kullanılan H değerleri de düzeltilmiş olur. Bu yeni değerler, 200 metreden daha büyük değerler için orjinal değerlere göre daha eğimlidir. Şekil 4.2, bu yeni eğrileri göstermektedir. Bu program, yakın yüzeyden yayılan yüzmeyen bir izleme gazı kullanılarak maksimum 800 metre mesafe için hesap yapar. Bu yüzden bu eğriler 800 metreden sonra deneme amacıyla uzatılmışlardır.

Elektronik bilgisayarların kullanımı yaygın olduğu için analitik bir çözüm formülü daha çok istenir. Birçok araştırmacı sadece güç kanunlarını kullanır. Gifford ise rüzgar(çökme) yönü mesafeleri için sadece güç kanununun yeterli olmayacağını belirtmiştir. Şekil 4.2'deki eğrilere ilave olarak Gifford ve Briggs, (BNL)Brookhaven

Ulusal Laboratuvarı'ndaki ve (TVA)Tennessee Vadisi Merkezi'ndeki deneysel verileri incelemiştir. BNL verileri, 108 metre yükseltilmiş kaynaktan yayılan yuzemeyen bir izleme gazıyla elde edilmiştir. Yerseviyesi konsantrasyonları birkaç bin metre içinde oluşur, ancak 800 metre içinde az sayıda ölçüm yapılmıştır. 10 km mesafeden sonra BNL eğrilerinin Pasquill-Gifford eğrileriyle benzerlik göstermediği söylenebilir.

TVA deneyleri, Carpenter ve diğerleri tarafından yapılmıştır. Bacaların boyları 75 ve 250 metre arasında değişmektedir. Etkin emisyon yüksekliği, duman yüksekliğini içerir ve değeri 150 ile 600 metre arasında değişir. Buradaki dumanın yayılımındaki en önemli mekanizmalar iç türbülans, kaldırma kuvveti ve saçılmadır. Çevre atmosferindeki türbülansın etkisi küçüktür ve böyle bir dumanın dispersiyonu yerseviyesi kaynağından çıkan dumanın dispersiyonuna göre farklıdır.



Şekil 4.2. Pasquill-Gifford dispersiyon parametreleri (Schnelle, et al., 2000)

Briggs, daha sonraları aşağıdaki özelliklere dayanarak sigma eğrileri için bir takım formüller geliştirmiştir :

1. Pasquill-Gifford eğrileri $100 \text{ m} < x < 10\,000 \text{ m}$ aralığında olmalıdır.
2. $\sigma_z w > 100 \text{ m}$ için A ve B sınıflarına ait σ_z eğrileri çok dengesiz ve dengesiz olmalıdır.

Briggs interpolasyon formülleri çizelge 4.5 ve şekil 4.3 ile verilmiştir. Bu formüller 10 km mesafeye kadar kullanılırlar. Mesafenin uzatılması Briggs tarafından önerilmemiştir. Formül öncelikle açık alanda veya kırsal bölgede maksimum yer seviyesi konsantrasyonunu belirlemek için önerilir.

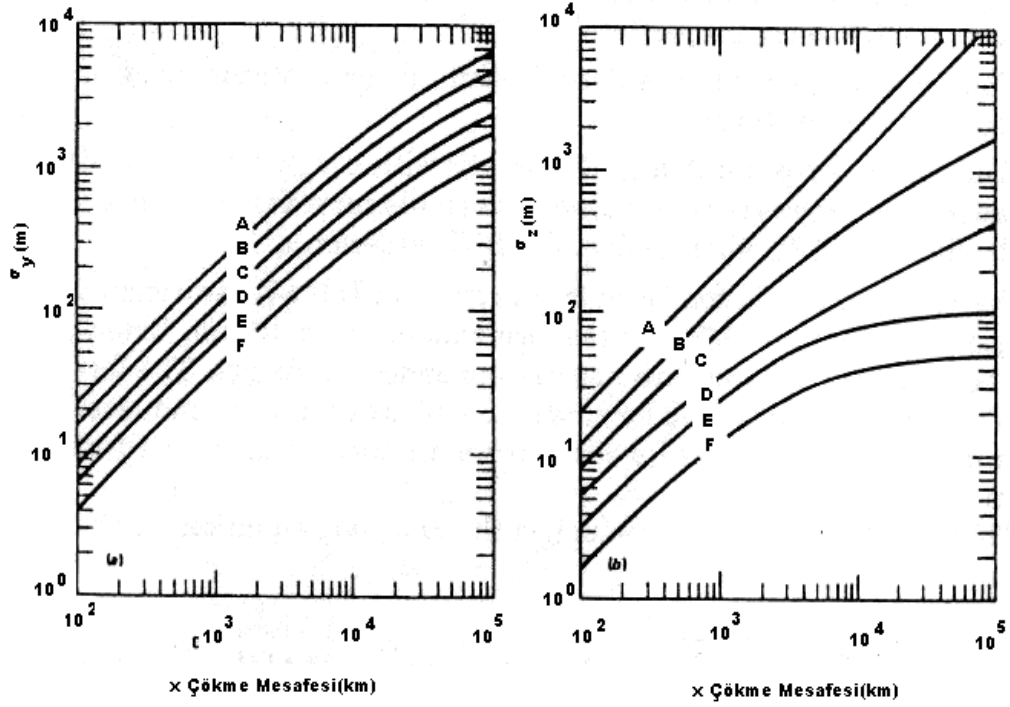
Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA) kırsal bölgeler için aşağıdaki σ_y denklemini yayınlamıştır :

$$\sigma_y = \frac{1000 \times \tan(TH)}{2,15} = 465,11628 \times \tan(TH) \quad (4.15)$$

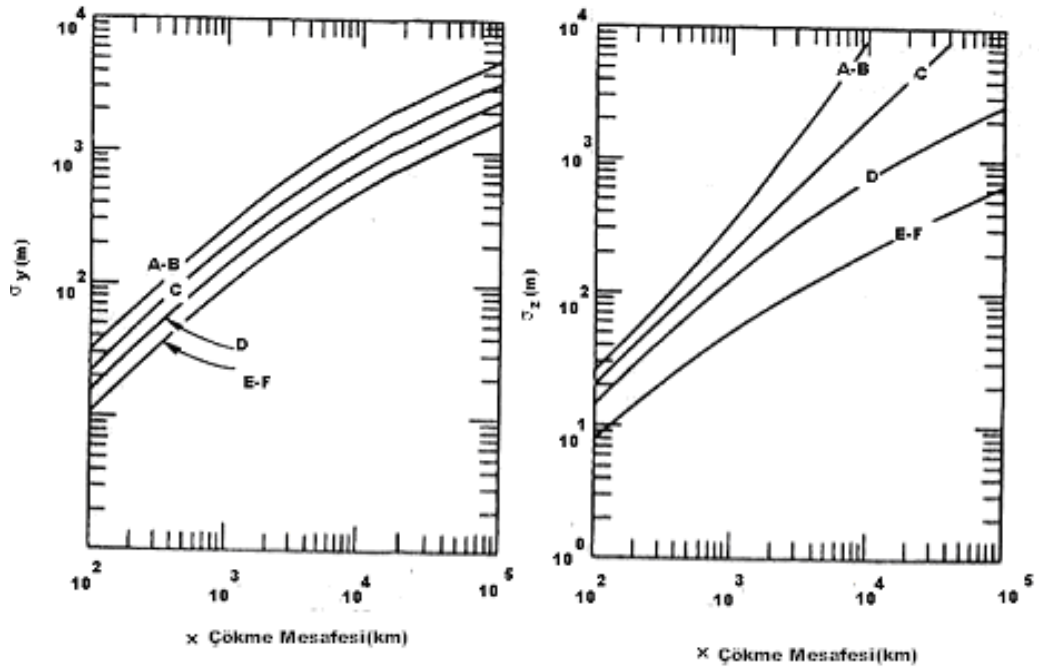
buradaki x kilometre biriminden rüzgar(çökme) yönü mesafesi, σ_y ise metre birimindedir. TH için denklemler çizelge 4.6 ile verilmiştir. σ_z için kullanılan güç kanunu aşağıdaki gibidir :

$$\sigma_z = ax^b \quad (4.16)$$

buradaki x kilometre biriminden rüzgar(çökme) yönü mesafesi, σ_z ise metre birimindedir. Katsayılar, çizelge 4.7 ile verilmiştir. A,B ve C kararlılık sınıfları için, σ_z değerinin 5000 olduktan sonra rüzgar(çökme) yönü mesafesiyle değişmediği söylenebilir.



Şekil 4.3. Açık Arazi için Briggs interpolasyon formülünden türetilmiş dispersiyon parametreleri (Schnelle, et al., 2000)



Şekil 4.4. Kentsel bölgeler için dispersiyon parametreleri (Schnelle, et al., 2000)

Çizelge 4.5. Açık Alan Şartları için Briggs Formülleri ($10^2 < x < 10^4$ m) (Schnelle, et al., 2000)

Kararlılık Sınıfı	$\sigma_y (m)$	$\sigma_z (m)$
A	$0,22x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,20x$
B	$0,16x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,12x$
C	$0,11x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,08x(1+0,0002x)^{-1/2}$
D	$0,08x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,06x(1+0,0015x)^{-1/2}$
E	$0,06x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,03x(1+0,0003x)^{-1}$
F	$0,04x(1+0,0001x)^{-1/2}$	$0,016x(1+0,0003x)^{-1}$

Çizelge 4.6. Kırsal şartlarda Pasquill-Gifford σ_y hesabında kullanılan TH denklemleri (Schnelle, et al., 2000)

Kararlılık Sınıfı	TH Denklemi
A	$TH=24,1670-2,5334\ln(x)$
B	$TH=18,333-1,8096\ln(x)$
C	$TH=12,5-1,0857\ln(x)$
D	$TH=8,333-0,72382\ln(x)$
E	$TH=6,25-0,54287\ln(x)$
F	$TH=4,1667-0,36191\ln(x)$

Çizelge 4.7. Kırsal şartları için Briggs Formülleri ($10^2 < x < 10^4$ m) (Schnelle, et al., 2000)

Kararlılık Sınıfı	$\sigma_y (m)$	$\sigma_z (m)$
A-B	$0,32x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,24x(1+0,001x)^{-1/2}$
C	$0,22x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,20x$
D	$0,16x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,0014x(1+0,0003x)^{-1/2}$
E-F	$0,11x(1+0,0004x)^{-1/2}$	$0,08x(1+0,00015x)^{-1/2}$

Çizelge 4.8. Kırsal şartlar için Pasquill-Gifford σ_z hesabında kullanılan parametreler (Schnelle, et al., 2000)

Pasquill Kararlılık Sınıfı	x (km)	$\sigma_z(m) = ax^b [x(\text{km})]$	
		a	b
A*	<0,10	122,8	0,9447
	0,10-0,15	158,08	1,0542
	0,16-0,20	170,22	1,0932
	0,21-0,25	179,52	1,1262
	0,26-0,30	217,41	1,2644
	0,31-0,40	258,89	1,4094
	0,41-0,50	346,75	1,7283
	0,51-3,11	453,85	2,1166
	>3,11	**	**
B*	<0,2	90,673	0,93198
	0,21-0,4	98,483	0,98332
	0,4	109,3	1,0971
C*	Hepsi	61,141	0,91465
D	<0,3	34,459	0,86974
	0,31-1	32,093	0,81066
	1,01-3	32,093	0,64403
	3,01-10	33,504	0,60486
	10,01-30	36,65	0,56589
	>30	44,053	0,51179
E	<0,2	24,260	0,8366
	0,10-0,3	23,331	0,81956
	0,31-1	21,628	0,7566
	1,01-2	21,628	0,63077
	2,01-4	22,534	0,57154
	4,01-10	24,703	0,50527
	10,01-20	26,97	0,46713
	20,01-40	35,42	0,37615
	>40	47,618	0,29592
F	<0,2	15,209	0,81558
	0,21-0,7	14,457	0,78407
	0,71-1	13,953	0,68465
	1,01-2	13,953	0,63227
	2,01-3	14,823	0,54503
	3,01-7	16,187	0,4649
	7,01-15	17,836	0,41507
	15,01-30	22,651	0,32681
	30,01-60	27,074	0,27436
	>60	34,219	0,21716

Şehirlerdeki difüzyon, binaların ve yolların sayısına bağlı olarak daha büyük ısı kapasite ve arttırılmış yüzey sertliğiyle genişletilmiştir. Böylece mekanik ve termal difüzyon artmıştır. Mc Elroy ve Pooler, St.Louis Bölgesi'nde dispersiyon deneylerinden oluşan bir rapor yayınlamışlardır. Johnson, ilave kentsel izleme deneylerini incelemiş ve σ_z için düzeltilmiş değerleri tanımlamıştır. Briggs, bu verilere dayanarak Çizelge 4.8 ve Şekil 4.4 ile gösterilen kentsel alan için bir eğriler ve denklemler serisini yayınlamıştır. Bu denklemler daha sonra Amerika Çevre Koruma Örgütü tarafından kentsel sigma değerleri olarak adapte edilmişlerdir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

4.9. Pasquill-Gifford Dispersiyon Parametrelerinin Ortalama Zamanı (Süresi)

Bu değer anlamı rüzgarın tek bir yönde düzenli esme süresidir. Pasquill, sigma değerleri için ortalama sürenin birkaç dakika olduğunu tanımlamıştır. Daha sonra Pasquill bu sürenin 3 dakika olduğunu ileri sürmüştür.

EPA ise kırsal alanlar için bu değer 1 saat olduğunu belirtmiştir. Çeşitli nedenlerden dolayı bu değer 1 saatten fazla olmadığı kabul edilir. (Schnelle, et al., 2000)

4.10. Dispersiyon Modelleri

4.10.1. Kutu ve hücre modeli

Konsantrasyon tahminiyle ilgili geliştirilmiş herhangi bir formül, kaynağın gücüyle doğru ve ortalama rüzgar hızıyla ters orantılıdır. Karışım hücre modeli için bunlar yeterlidir. Model, karışım derecesiyle orantılı bir fonksiyon içerir.

Hiçbir basit fiziksel model atmosfer içindeki türbülans difüzyon olayını açıklamak için yeterli değildir. Geliştirilen Gauss modelinde ise atmosferdeki türbülans difüzyon olayını tanımlamak için iki temel açıklama bulunmaktadır. Gradyen difüzyonu

ya da edi difüzyonu, diferansiyel bir hacim için kütle dengesinin türetilmesi için kullanılır. Türbülansın istatistiksel teorisinden yararlanarak, model edi difüzyon modeliyle benzer sonuçlar verir.

Türbülans difüzyon rastgele bir olay olduğu için, türbülansın istatistiksel teorisi türbülans difüzyonuna genellikle uygulanabilir. Bu durumda türbülans, tam istatistiksel karakteristiklere sahip bir dağılım fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir. Böylece konsantrasyon aşağıdaki fonksiyon ile tanımlanır :

$$\bar{C} = \frac{Q}{u}(DF) \quad (4.17)$$

Burada

\bar{C} =zamana göre ortalama konsantrasyon,

Q=kaynak gücü,

\bar{u} =ortalama rüzgar hızı,

(DF)=türbülansın istatistiksel teorisine dayanan bir dağılım fonksiyonudur.

Bu bölümde, türbülansın istatistiksel teorisinden söz edilmeyecektir. Sadece kullanıcının en uygun (DF) dağılım fonksiyonunu seçebilmesi için kısaca değinilecektir. Buradaki te kısıtlayıcı şey (DF) dağılım fonksiyonun sadece x-rüzgar yönünde gerçek(tam) bir fonksiyon olmasıdır. Böylece:

$$\bar{C} = \frac{Q}{u}[D(y)F(z)] \quad (4.18)$$

Burada kutu modelinde $D(y)=1/W$ ve $F(z)=1/H$ yazılabilir:

$$\bar{C} = \frac{Q}{uWH}$$

Sürekli nokta kaynağının ilavesiyle D(y) ve F(z) fonksiyonlarının birer Gauss fonksiyonu olduğu düşünülebilir. Şekil 4.5, Gauss dağılım fonksiyonlarını göstermektedir.

Denklem 4.18'deki D(y) ve F(z) yerine Gauss fonksiyonları konulursa sonuçta denklem 4.19 elde edilir:

$$\bar{C} = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{z - \bar{z}}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (4.19)$$

Şekil 4.6, alıcı-kaynak uyumunu göstermektedir. $y=0$ olduğunda duman merkez çizgisi üzerinde dağılır ve $z=\bar{z}$ dumanın etkin emisyon yüksekliği oluşur. σ_y ve σ_z , x çökme mesafesi ve kararlılığın 1. dereceden fonksiyonlarıdır. (Schnelle, et al., 2000)

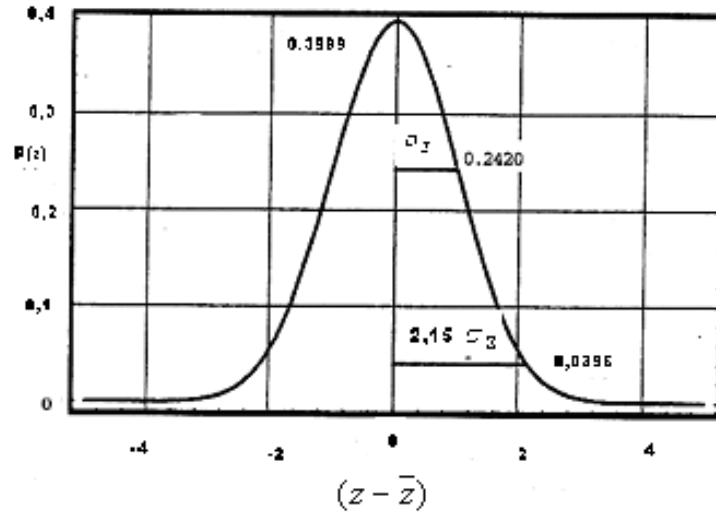
4.10.2. Dumanın fiziksel resmi

Bir dumanın fiziksel resmi, dumanın kaynaktan atılmasıyla başlar. Bacadan çıkan duman ve ya küçük partiküller, rüzgar hızıyla rüzgar yönünde hareket ederler. Küçük ediler, merkez çizgisi boyunca dumanın içine taze hava pompalayarak dumanın seyrelmesine ve genişlemesine neden olur. Büyük ediler, dumanı çökmeye zorlarlar. Sonsuz sayıdaki duman sürekli bir yayılıma neden olur. Sürekli dumanın anlık resmi, zikzak akışı ve sert dalgalanmaları gösterir. Şekil 4.7, zamana göre ortalaması alınmış anlık durumu gösterir. (Schnelle, et al., 2000)

4.10.3. Türbülans difüzyon işlemi için istatistiksel yaklaşım

Bilinen bütün yaklaşımlar, veriler için uygun olsa bile en uygun yöntem Gauss yöntemidir. Uzun zaman ortalamaları için tüm yaklaşımlar benzer değerler verirler.

Küçük zaman aralıklarında, duman rüzgar dalgalanmalarını takip edeceği için Gauss yöntemi kullanılmalıdır.



Şekil 4.5. Normalleştirilmiş bir Gauss fonksiyonunun karakteristikleri (Schnelle, et al., 2000)

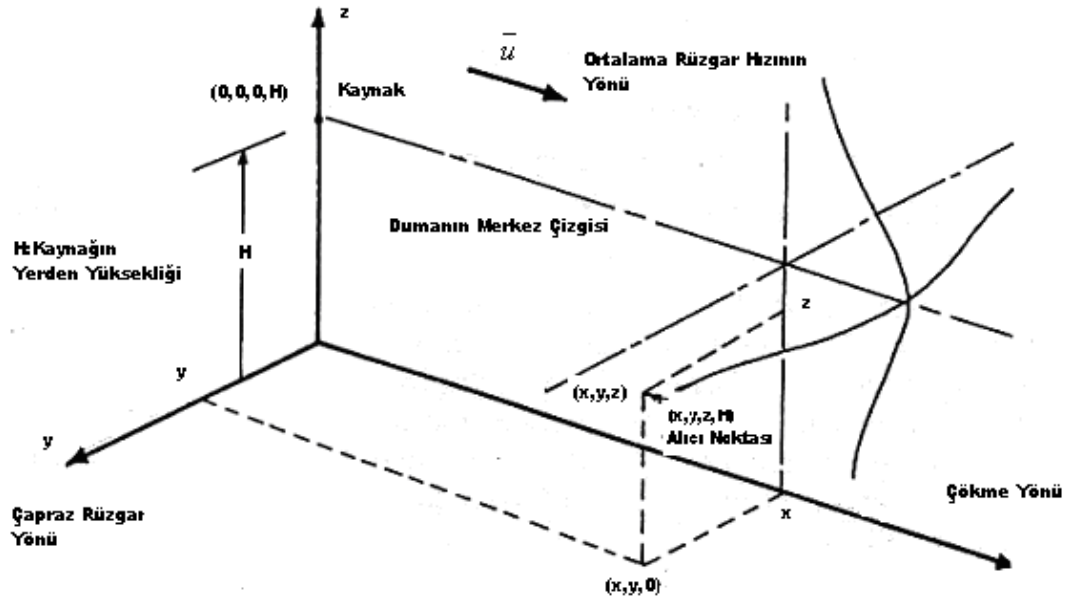
Uzaydaki küçük parçacıklardan veya moleküllerden oluşmuş bir kümenin dispersiyonunda, kümenin rastgele hareketlerinin yerine mutlaka dispersiyon almalıdır. Böylece, kümenin daha önce anlatılan dispersiyonundaki rastlantısal işlemin tanımlanmasında kullanılan türbülans difüzyonu istatistiksel olarak açıklanabilir. Bu rastgele veya rastlantısal işlemde, değişkenler genellikle zamanın fonksiyonudur ve değişkenlerin değerleri sadece olasılık dağılım terimiyle tanımlanabilir.

Türbülans dalgalanmaları, genel ortalama akışın süperpoze edilmesiyle bulunan dalgalanma bileşenlerine göre tanımlanır. Dik koordinat sisteminde, hızın anlık bileşenleri aşağıdaki gibi tanımlanır (Schnelle, et al., 2000) :

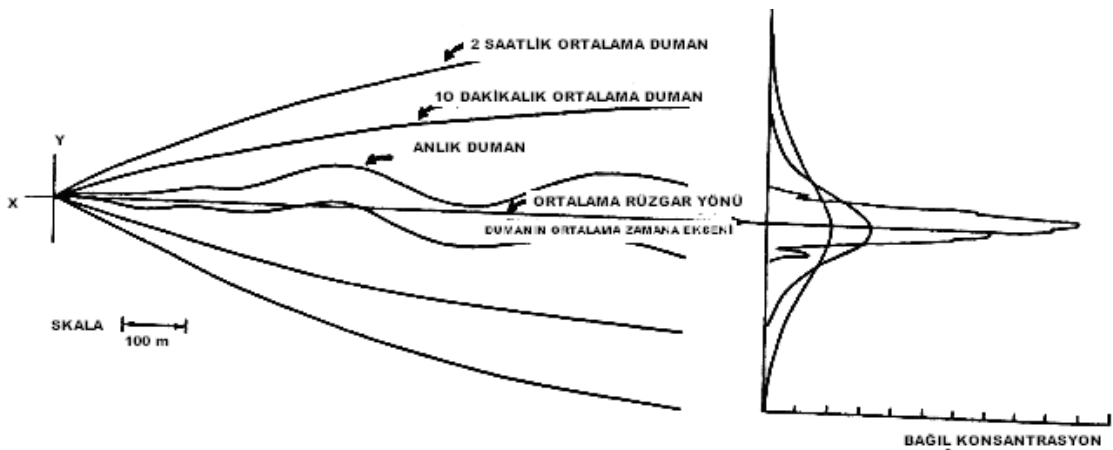
$$u(t) = \bar{u} + u'(t)$$

$$v(t) = \bar{v} + v'(t)$$

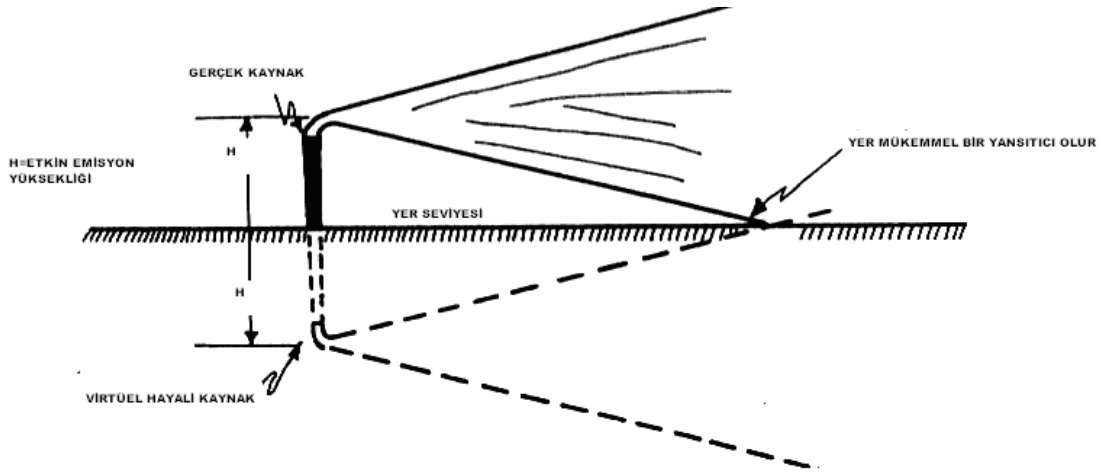
$$w(t) = \bar{w} + w'(t)$$



Şekil 4.6. Alıcı-kaynak uyumu (Schnelle, et al., 2000)



Şekil 4.7. Zamana göre ortalaması alınmış anlık durum (Okutan ve diğerleri, 1993)



Şekil 4.8. Dünya sınır problemi (Schnelle, et al., 2000)

4.10.4. Temel teorem

Zaman sıfır kabul edildiğinde partikül pozisyonu $x(1)$, t zaman sonra ise pozisyon $x(2)$ olsun. Partikülün yerdeğiştirmesi, zamanın rastgele bir fonksiyonu olan $\Delta x = x(2) - x(1)$ olur. Bu rastgele fonksiyonu, $P(\Delta x, t)$ ile gösterilen uzaysal olası yoğunluk fonksiyonu yardımıyla tanımlanabilir. $P(\Delta x, t)$, t zamanında $x(2)$ noktasının difüzyon elemanının içinde olması olasılığı biçiminde düşünülebilir. $X(1)$ noktasında partiküllerin toplam kütlesi q olarak tanımlansın. Kümenin ortalama konsantrasyonu C , $x(2)$ noktasının çevresindeki (dx, dy, dz) kontrol hacmine giren partiküllerin kütlesi şeklinde tanımlanır. Böylece,

$$c(x, y, z, t) = q P(\Delta x, t) \quad (4.20)$$

ifadesi partiküllerin yerdeğiştirme olasılığı için ortalama alanla ilgili temel teorem haline gelir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

4.10.5. Rastlantı işlemleriyle ilgili bazı tanımlamalar

Rastgele yada rastlantı işleminde olasılık dağılımı zamanın bir fonksiyonu değilse işlem sabit (sürekli) olarak adlandırılır. Diğer işlemler ise değişkendir. Türbülans alanı içinde sıcaklık, ortalama hız ve türbülans yoğunluğu homojen olduğunda, türbülans difüzyonu içindeki bir difüzyon partikülünün hızı sabit (dengeli) bir işleme dönüşür. Sabit(dengeli) işlemdeki aşağıdaki gibi birçok özellik zamandan bağımsızdır.

. Kütle(küme) ortalama değeri

.Ortalama değer karesi

.Ortalama değer seçilen herhangi bir bileşkesi

Burada, kümenin ortalama hızla hareket eden kümenin referans hareketine bağlı olarak ölçülmüş hızlara dayanarak hız vektörünün x bileşeni sıfır alınabilir. Böylece, $\overline{u(t)} = 0$ ve $\overline{u^2} = a$ yani zamandan bağımsız bir sabit olur. Kararlı bir rastlantı işlemi, hızın otokorelasyon fonksiyonu $R(t)$ ile tanımlanabilir; buradaki t gecikme süresidir. Otokorelasyon fonksiyonu, ele alınan rastgele bir değişkenin verilen bir değerinin sürekliliğini ölçer. X yönünde verilen bir hızla ilerleyen bir partikülün kısmi difüzyon hızları için $u(t)$ bileşeni, kısa bir t süre sonra $u(t+\tau)$ şeklini alır. Hızın otobileşkesi, bir partikül için iki hızın bileşkesinin ortlaması şeklinde tanımlanır.

$$\text{otobileşke} = \overline{u(t) \cdot u(t + \tau)} \quad (4.21)$$

Burada

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \overline{u(t) \cdot u(t + \tau)} = \overline{u(t)^2} \quad (4.22)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Eğer kararlı dalgalar şeklinde düzgün (dengeli) akış yapıları yoksa, uzun bir süre sonra iki hız birbirinden bağımsız bir hal alır ve ilk hız $u(t)$ ile benzerlikleri tamamen tesadüftür. Bu şartlar altında otobileşke, iki hızın ortlamasının bileşkesi halini alır:

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \overline{u(t)u(t+\tau)} = \overline{u(t)}\overline{u(t+\tau)} \quad (4.23)$$

Burada $\overline{u(t)} = 0$ ve $\overline{u(t+\tau)} = 0$ olur.

Otokorelasyon sabiti, otobileşkenin boyutsuz bir fonksiyonu biçiminde tanımlanır; yani:

$$R(\tau) = \frac{\overline{u(t)u(t+\tau)}}{\overline{u}^2} \quad (4.24)$$

ve $\tau = 0,0$ için;

$$R(0) = 1,0 \quad (4.25)$$

olduğundan;

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} R(\tau) = 0,0 \quad (4.26)$$

olur. Yani, tüm τ değerleri için;

$$-1,0 \leq R(\tau) \leq 1,0 \quad (4.27)$$

olacaktır. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

4.10.6. Taylor teoremi

Tek bir parçacağın $x(t)$ yerdeğiştirmesi, onun hızının partikülün yörüngedeki hareket süresi t ile integralinden bulunabilir.

$$x(t) = \int_{t=0}^t u(t') dt' \quad (4.28)$$

Burada $u(t')$ = yörüngedeki herhangi t' zamanı için partikül hızıdır.

Hiçbir $u(t')$ diğerklerine benzemediği için $x(t)$ yerdeğiştirmeleri rastgele bir yolla birbirinden ayrılırlar ve $x(t)$ rastlantısal bir işlemler olarak tanımlanır. Bu durumda, büyük yerdeğiştirmeleri zamanla daha mümkün hale gelir ve işlemler ise kararlı bir durum yerine gelişen bir durum halini alır.

Eğer

$$u(t) = \frac{dx}{dt}$$

ve

$$\frac{d}{dt} [x^2(t)] = 2x \frac{dx}{dt}$$

ise

$$\frac{d}{dt} [x^2(t)] = 2 \int_0^t u(t) u(t') dt' \quad (4.29)$$

Denklemin her iki tarafındaki bileşenlerin ortalamaları alınırsa Taylor teoremi elde edilir. Eğer ortalama özellikler, uzayda (boşlukta) düzgün ve zamanla değişmiyorsa,

$$\frac{d}{dt}[\overline{x^2(t)}] = 2 \int_0^t \overline{u(t)u(t')} dt' \quad (4.30)$$

olur, bu denklem otokorelasyon fonksiyon denklemiyle ilişkilidir. Böylece

$$\frac{d}{dt}[\overline{x^2(t)}] = \overline{2u^2} \int_0^t R(\tau) d\tau \quad (4.31)$$

veya Taylor teoremine eşittir. Benzer formül türetmeleri y ve z yönündeki hızlar ve yerdeğiştirmeler için yapılabilir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

4.10.7. Bir difüzyon bulutu yayılımının ölçülmesi

t=0 anında orjinden yayılan difüzyon partiküllerinin kümesi, y yönündeki hız ve yerdeğiştirme ele alınsın. Difüzyon bulutunun difüzyonunun ölçülmesi, aşağıdaki verilen ortalama konsantrasyon dağılımının atalet yarıçapında yapılır:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{q} \iiint y^2 c(x, y, z, t) dx dy dz \quad (4.32)$$

Temel teorem olan denklem 4.20 aşağıdaki denklemi yazmaya olanak sağlar:

$$\sigma_y^2 = \iiint y^2 P(x, y, z, t) dx dy dz \quad (4.33)$$

Tanımdan aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\overline{y^2} = \iiint y^2 P(x, y, z, t) dx dy dz \quad (4.34)$$

Böylece

$$\sigma_y^2 = \overline{y^2} \quad (4.35)$$

olur. (Schnelle, et al., 2000)

4.10.8. Taylor teoreminin sonuçları

Taylor teoremini kullanarak otokorelasyon fonksiyonu ile difüzyon bulutu yayılımı arasında bir bağlantı kurabiliriz:

$$\frac{d\sigma_y^2(t)}{dt} = d \left[\overline{y^2(t)} \right] = 2v^2 \int_0^t R(\tau) d\tau \quad (4.36)$$

Şimdi t' ile integral alalım, burada $t' = t - \tau$ olarak tanımlanmaktadır:

$$\sigma_y^2 = 2v^2 \int_0^t \int_0^{t'} R(\tau) d\tau dt' \quad (4.37)$$

$$\sigma_y^2 = 2v^2 \int_0^t (t - \tau) R(\tau) d\tau \quad (4.38)$$

Kısa difüzyon süreleri için $\tau \rightarrow 0$ ve $R(\tau) \rightarrow 1,0$ olur.

$$\int_0^t (t - \tau) R(\tau) d\tau \rightarrow \int_0^t (t - \tau) d\tau = t\tau - \frac{\tau^2}{2} \Big|_0^t = \frac{t^2}{2} \quad (4.39)$$

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} [\sigma_y^2(t)] = \overline{v^2} t^2 \quad (4.40)$$

Böylece, σ_ψ terimi t ile orantılıdır ve difüzyon süresiyle lineer olarak artar. Moleküler difüzyon durumunda, σ_ψ terimi difüzyon süresinin kare köküyle artmaktadır.

Uzun difüzyon süreleri için $\tau \rightarrow \infty$ ve $R(\tau) \rightarrow 0$ olur.

$$\tau_0 = \int_0^{\infty} R(\tau) d\tau \quad (4.41)$$

$$\tau_1 = \int_0^{\infty} \tau R(\tau) d\tau \quad (4.42)$$

Böylece

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} [\sigma_y^2(t)] = 2\overline{v^2}(t\tau_0 - \tau_1) \quad (4.43)$$

olur. Burada τ_0 , $R(\tau)-t$ koordinat sisteminde eğrinin altında kalan alandır; τ_1 ise eğrinin ağırlık merkezinin ilk momentidir.

$$\overline{v^2} \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t R(\tau) d\tau = K \quad (4.44)$$

buradaki K, birimi difüzyon katsayı birimi veya (uzunluk)²/birim zaman olan bir sabittir. Böylece, $\tau_0 \gg \tau_1$ olduğu büyük zamanları için,

$$\frac{d\sigma_y^2}{dt} \rightarrow \text{sabit} = 2K \quad (4.45)$$

veya

$$\sigma_y^2 = 2K_t \quad (4.46)$$

olur. Kısa difüzyon zamanları için Denklem 4.40'dan

$$\sigma_y(t) = \sqrt{v^2 t} \quad (4.47)$$

ve

$$\sigma_z(t) = \sqrt{w^2 t} \quad (4.48)$$

elde edilir. Sınırsız veya katı duvarlarla sınırlanmış türbülansın homojen bir sabit alanı için v yerine v' ve w yerine ise w' yazılabilir:

$$\sigma_y(t) = \sqrt{v'^2 t} \quad (4.49)$$

ve

$$\sigma_z(t) = \sqrt{w'^2 t} \quad (4.50)$$

Eğer difüzyon zamanını hareket(seyehat) zamanı olarak alırsak, $t=T=x/\bar{u}$ ve

$$\sigma_y(x) = \frac{\sqrt{v'^2}}{\bar{u}} x \quad (4.51)$$

ve

$$\sigma_z = \frac{\sqrt{w'^2}}{u} x \quad (4.52)$$

olur. i_y ve i_z terimlerini türbülans yoğunluğu olarak tanımlanır (Schnelle, et al., 2000):

$$i_y = \frac{\sqrt{v'^2}}{u}$$

ve

$$i_z = \frac{\sqrt{w'^2}}{u}$$

Böylece

$$\sigma_y(x) = i_y x \quad (4.53)$$

ve

$$\sigma_z(x) = i_z x \quad (4.54)$$

4.10.9. Lagrange otokorelasyon fonksiyonun şekli

Eğer $R(t)$ ile t arasındaki gerçek fonksiyonel ilişki bilirse, türbülans difüzyonunu tanımlamak için kullanılan birçok parametrenin değerleri bulunabilir. Fakat homojen sabit türbülans olayı için bile teorik olarak bu eğri formu tam olarak çizilemiştir. Çizilebilen tek teorik belge, türbülansın Markov işlemi olduğu kabul edilerek üretilmiştir. Markov işleminde, sorudaki rastgele değişkenin zamana göre değerleri, sadece gerçekleşmiş t değerine bağlı olan ve geçmişteki değerlere bağlı olmayan t değerinden büyüktür. Akışkan elemanlarının ataletlerinden dolayı, bir akışkan

elemanının hız geçmişi bir Markov işleminin takibine tam olarak izin vermez. Bununla birlikte akışkan elemanının geçmişi bir Marov işlemi olarak kabul edilir:

$$R(\tau) = e^{\left(\frac{-\tau}{t_L}\right)} \quad (4.55)$$

Buradaki t_L Lagrange zaman skalasıdır. Türbülanslı akışta Lagrange zaman skalası, enerji yüklü edilerin bir karakteristiğidir ve bu edilerin u_m hız skalası ve L uzunluk skalası yardımıyla tanımlanabilir; yani:

$$t_L \approx \frac{L}{u_m} \quad (4.56)$$

Burada, laboratuvar şartlarında $t_L \approx 10^{-1}$ saniye ve atmosferik şartlar için $t_L \approx 100$ saniyedir. (Schnelle, et al., 2000)

4.10.10. Partikül yerdeğişimi olasılık dağılımının şekli

Akışkan eleman kümesinin hareketi bir rastgele yürüyüştür, bu yüzden partikül yerdeğişimi olasılık dağılımı $P(\Delta x, t)$, Gauss formunda olmalıdır. Bununla birlikte akışkan elemanlarının hızı, periyotlarla ilişkili en azından t_L Lagrange zaman skalasıyla eşdeğer olmalıdır. Rastgele yürüyüşteki tek bir adım, t_L zamana skalasından daha uzun bir periyot içinde kendi yerdeğişimini gerçekleştirir; bu yüzden bu başarılı adımlar birbirlerinden bağımsız ele alınmalıdır. Gauss formu, daha uzun difüzyon süreleri gerektirir. t_L zaman skalasından çok daha kısa sürelerde, $P(\Delta x, t)$, Gauss ifadesi olarak bilinen bir noktadaki türbülans hız bileşenlerinin dağılımıyla orantılıdır.

Gauss ifadesinin t_L difüzyon zaman aralığındaki doğruluğunu gösteren bir tanımlama yoktur. Bununla birlikte, Gauss ifadesindeki temel (büyük) sapmalar t_L zaman aralığı içinde olmalıdır. Deneysel veriler, teorik ispatlamalara gerek kalmadan Gauss

ifadesini doğrulamaktadır. Diğer dağılım ifadeleri temelde aynıdır ve hiçbiri Gauss ifadesinden daha doğru sonuç vermezler. (Schnelle, et al., 2000)

4.11. Gauss Dispersiyon Modeli

4.11.1. Sürekli bir kaynağın ortalama konsantrasyon alanı

Gauss olasılık dağılımı, herhangi bir nokta kaynağının ortalama konsantrasyon alanı olarak yazılabilir. x, y, z koordinatlarında, ortalama rüzgar yönü olarak seçilen x yönündeki ortalama rüzgar hızı u olsun. Çapraz(yan) rüzgar ya da azimut y eksenine ve dikey eksen ise z yönüyle tanımlansın. $\sigma_x^2 = \overline{x^2}$, $\sigma_y^2 = \overline{y^2}$, $\sigma_z^2 = \overline{z^2}$ şeklinde tanımlanan üç ortalama sigma kare değerleri dağılımı belirler. Sabit koordinat sistemine bağlı olarak, anlık bir dumanın ortalama konsantrasyon dağılımı aşağıda verilmiştir:

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - \bar{u}t}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (4.57)$$

buradaki Q atılan anlık toplam duman miktarıdır.

Sürekli bir dumanın ard arda gelen t' anlarında atılan anlık dumanlardan oluşan bir serinin oluşturduğu kabul edilir. Bileşik alan, birçok anlık kaynağın lineer süperpozisyonuyla tanımlanır. Böylece zamana göre ortalama konsantrasyon aşağıdaki gibi bulunur:

$$\bar{c}(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}} \int_0^\infty \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - \bar{u}t'}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{z - \bar{z}}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \frac{dt'}{\sigma_x \sigma_y \sigma_z} \quad (4.58)$$

Buradaki Q , birim zamandaki kütle miktarı şeklinde tanımlanan sürekli kaynak gücüdür. İntegral alabilmek için σ_x , σ_y ve σ_z sigmalarının göre fonksiyonel

değişimlerinin tanımlanması gerekir. Küçük zamanlar için bu sigmalar zamanın lineer fonksiyonlarına dönüşür; yani:

$$\sigma_x = (\overline{u^2})^{1/2} t, \sigma_y = (\overline{v^2})^{1/2} t, \sigma_z = (\overline{w^2})^{1/2} t$$

Kompleks bir bağıntı bu integral işleminin sonucunda $r^2=x^2+y^2+z^2$ ifadesinin yardımıyla elde edilir. R=x yaklaşımıyla, oldukça basit bir çözüm olan uzun silindir şeklindeki duman elde edilir. Böylece (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000):

$$\bar{c}(x, y, z, t) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (4.59)$$

Denklem 4.59'daki H terimi ile denklem 3.2'deki h_e terimi aynıdır.

4.11.2. Dünya sınır problemleri

Birçok sürekli kaynak, dünya yüzeyine yakın yerlerde bulunmaktadır. Böylece, meteorolojik şartlar altında duman dünya ile kesişir ve akıya(akışa) karşı olan bu fiziksel engel hesaba katılması gereken bir olay halini alır. Bu problem, ısı konduksiyon çalışmalarındaki virtüel hayali kaynak tekniği kullanılarak çözülür. Bu yöntemde, gerçek kaynağın simetrik ve özdeş bir virtüel kaynak şekil 4.8'deki gibi yerin altın yerleştirilir. Sonuçta oluşan denklem aşağıdadır:

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (4.60)$$

$$\frac{\bar{C}(x, y, z) \bar{u}}{Q} = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (4.61)$$

Bu denklemlerin grafiksel sunumları, modelin karakterisiklerini gösterir. Bununla birlikte, denklem 4.60 kullanılarak çizilen konsantrasyon-çökme mesafesi grafiği maksimum konsantrasyonun yeri ve değerinin belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. (Schnelle, et al., 2000)

4.11.3. Temel Denklem 4.59 için özel durumlar

1. Yükseltilmiş kaynak, yerveviyesindeki alıcı(z=0):

$$\bar{C}(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (4.62)$$

2. Yükseltilmiş kaynak, yerveviyesindeki alıcı(z=0), merkez hat(çizgi) konsantrasyonu(y=0)(maksimum değer):

$$\bar{C}(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (4.63)$$

3. Yerveviyesindeki kaynak(H=0), yerveviyesindeki alıcı(z=0), merkez hat(çizgi) konsantrasyonları (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000):

$$\bar{C}(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (4.64)$$

4.12. Duman Yükselmesi

Birçok baca dumanı, yanma işlemlerinin bir ürünüdür ve bileşimleri havaya çok benzerdir. Buradaki yoğunluk farkı, havaya göre çok daha sıcak olmalarındandır. Bu

yüksek sıcaklık, dumanın ortam havası içinde yükselmesine neden olur. Bacanın gerçek yüksekliği h_s ile Δh duman yüksekliği toplamına etkin emisyon yüksekliği denir (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000):

$$H=h_s+\Delta h \quad (4.65)$$

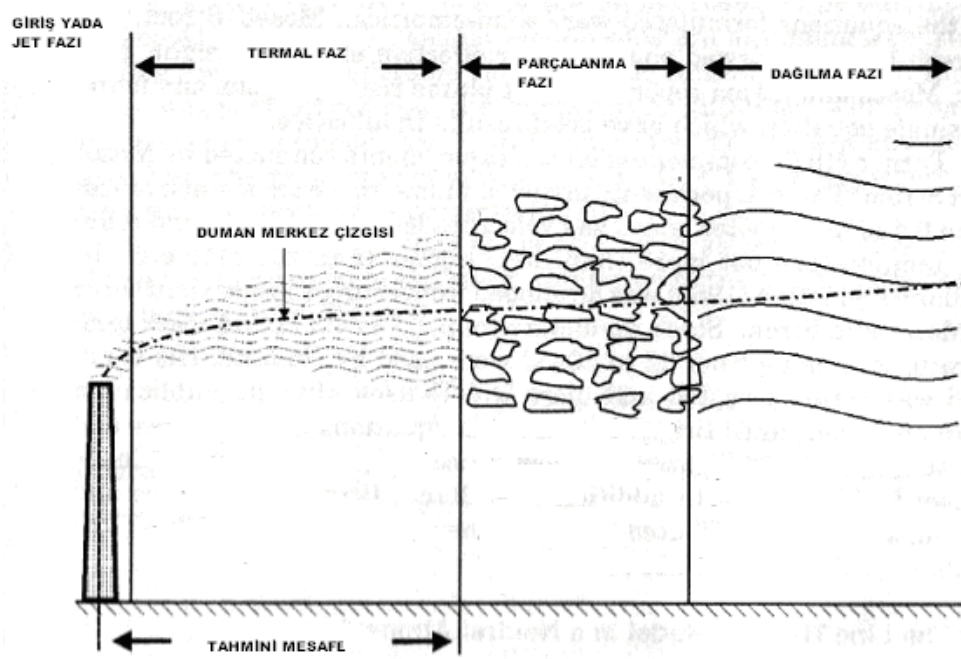
4.12.1. Yoğunluk farkının atmosferik difüzyona etkisi

Çoğu dumanı oluşturan gazların içerikleri ve yoğunlukları ortam havasına göre farklıdır. Bu gazlar, havadan daha hafifse yükselmeye, daha ağır ise çökmeye zorlanırlar. Her iki durumdaki duman emisyonunu hızına bağlı olarak bir momentuma sahiptir. Bu momentum, bacaya yakın bölgelerde duman yükselmesine katkıda bulunur.

Duman gazlarının yükselme ve çökmesinin difüzyon üzerine etkileri aşağıda verilmiştir:

1. Türbülans rastgeleliğini etkileyen sistematik bir dikey hareket sağlar.
2. Türbülans hareketinin enerji zincirini etkiler.
3. Tüm dumanın birlikte hareketini etkileyerek difüzyon modellerinde kullanılan etkin emisyon yüksekliğini değiştirir.

Dumanın çökmesi genellikle kaza olaylarında meydana gelir. Yanma işlemlerinde ise genellikle sıcak gaz halindeki duman yükselir. (Schnelle, 2000)



Şekil 4.10. Duman yükselmesinin grafik gösterimi (Schnelle, 2000)

4.12.4. Parçalanma fazı

Termal fazdan sonra, atmosferik türbülans karışım işlemi etkili olmaya başlar. Bu noktada, duman ayrı ayrı parçalara ayrılmaya başlar. (Schnelle, 2000)

4.12.5. Dağılma fazı

Sonuçta, yeteri kadar bir mesafe içinde duman birbirinden ayrılmaya başlar; daha geniş ve dağınık olur. (Schnelle, 2000)

4.12.6. Duman yükselmesine etkileyen değişkenler

Duman, bacadan çökme ile bina ve arazi etkilerinin oluşturduğu türbülans bölgelerinin bulunmadığı yerlerde başladığından, emisyon ve meteorolojik faktörler

dumanın yükselmesine etki eder. Emisyon faktörleri baca çıkışındaki emisyonun hızını, sıcaklığını ve baca çıkış çapını içerir. Meteorolojik faktörler ise rüzgar hızı, atmosfer sıcaklığı ve atmosferik kararlılıkla ters bir bağıntı içerir. (de Nevers, 2000, Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000, Erbas, 2001, Başara, 1996, Öner, 2000)

4.12.7. Nötral bir atmosferde çizgisel ısı modeli

Giriş fazını geçen bir dumanın yükselmesini tanımlamak için kullanılan bu yöntemde sıcak yükselme(hüzme) çizgisinin yükselebilirliğe(yüzebilirlik) bağlı olarak yukarı doğru hareket ettiği kabul edilir.

Q_H , x yönündeki düzgün olarak salınan birim zamandaki ısı olarak tanımlansın.

$$Q_H \frac{dt}{dx} = \frac{Q_H}{u} \quad (4.66)$$

burada

t= birimi saniye olan geçen süre(zaman),

u= birimi m/sn olan ortalama rüzgar hızıdır.

Enerji denkleminin integralinden , nötral atmosfere atılan toplam ısı miktarı bulunabilir,yani:

$$\frac{Q}{u} = \int_{-\infty}^{\infty} \int \rho c_p \theta dy dz = \text{sabit} \quad (4.67)$$

ρ =dumanın yoğunluğu(g/cm^3)

c_p =havanın özgül ısısı($cal / g-^{\circ}C$)

θ = $T-T_a$ (K)

T =Dumanın mutlak sıcaklığı(K)

T_a =Ortam havasının sıcaklığı(K)

Çizgisel ısıyı etkileyen hareketin esas denklemleri, yükselme ivmesi terimini ($\beta g \theta$) içerir;buradaki β duman gazlarının termel genişleme katsayısı, g ise yerçekimi ivmesidir. Eğer dumanı ideal gaz kabul edersek;

$$\beta = \frac{1}{T}$$

olur. Yükselme ivmesinin uzaysal integrali alınabilir;yani:

$$\int \int_{-\infty}^{\infty} \beta g \theta dy dz = \text{sabit} \quad (4.68)$$

Ayrıca aşağıda ifade yazılabilir:

$$\frac{\beta g Q_H}{\rho c_p u} = \int \int \beta g \theta dy dz = \text{sabit} \quad (4.69)$$

Burada F_b yükselme(yüzme) akı parametresi olarak tanımlanmıştır. Yani:

$$F_b = \frac{\beta g Q_H}{\pi \rho c_p u} \quad (4.70)$$

Burada F_b 'nin m^4/s^3 'tür. b, r ve c_p sıcaklığın birer fonksiyonları olduğu için, F_b dumanın soğuma süresiyle değişmelidir; eğer \bar{u} sabit ise Q_H ve böylece F_b sabit kabul edilir.

Pratikte, Q_H ısı akışı, bacadan çıkan emisyon dumanının entalpisiyle ortam havasının mutlak sıcaklığı kullanılarak hesaplanır; yani:

$$Q_H = \left(\frac{\pi d_s^2}{4} \right) V_s \rho_s c_{p_s} (T_s - T_a) \quad (4.71)$$

Burada,

d_s = baca çapı(m),

V_s = baca gazı hızı(m/s),

ρ_s = baca gazı yoğunluğu(g/m^3),

c_{p_s} = baca gazı özgül ısısı($cal / g - ^\circ C$),

T_s = baca gazı sıcaklığıdır(K).

Buradaki Q_H değeri F_b içinde yerine koyarsak aşağıdaki ifade elde edilir (Schnelle, 2000):

$$F_b = \left(\frac{\beta g}{\pi \rho_c p u} \right) Q_H = \left(\frac{g}{\pi T_a \rho_c p u} \right) \left(\frac{\pi d_s^2}{4} \right) V_s \rho_s c_{p_s} (T_s - T_a) \quad (4.72)$$

4.12.8. Yükselme (yüzme) akısı parametresi

Yükselme akısı parametresi, Briggs tarafından kendisine ait tüm duman yükselme denklemlerinde kullanılmıştır. Slade tarafından F_b yükselme akısı parametresi aşağıdaki gibi bir denklemlle tanımlanmıştır:

$$F_b = \frac{\rho_s}{\rho_a} g V_s \frac{d_s^2}{4} \left[\left(1 - \frac{M_s}{M_a} \right) + \left(\frac{\rho_a}{\rho_s} - 1 \right) \left(\frac{c_{p_s}}{c_{p_a}} \right) \right] \quad (4.73)$$

Burada;

M_s = baca gazlarının moleküler ağırlığı,

M_a = havanın moleküler ağırlığı,

c_{p_s} = baca gazlarının özgül ısısı,

c_{p_a} = havanın özgül özgül ısısı,

ρ_a = atmosferin yoğunluğu,

ρ_s = baca gazlarının yoğunluğu,

g = yerçekimi ivmesi,

V_s = Dumanın baca ucundaki hızı(m/s),

D_s = baca çıkış çapıdır(m).

$M_s \approx M_a$ ve $c_{p_s} \approx c_{p_a}$ olduğundan aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$F_b = gV_s \frac{d_s^2}{4} \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_a} \right) \quad (4.74)$$

$\frac{\rho_s}{\rho_a} = \frac{T_a}{T_s}$ eşitliğinin olduğu ideal gaz için,

$$F_b = gV_s \frac{d_s^2}{4} \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \quad (4.75)$$

yazılabilir; burada,

T_a = atmosferin mutlak sıcaklığı(K),

T_s = baca gazının mutlak sıcaklığıdır(K).

Q_H değeri, F yükselme(yüzme) parametresine bağlı olarak duman gazı emisyonunun entalpiyle atmosfer sıcaklığı kullanılarak tanımlanır; yani:

$$Q_H = W_s c_{p_s} (T_s - T_a) \quad (4.76)$$

Buradaki W_s baca gazlarının kütle akış oranıdır(g/s).

$W_s=Q_s \rho_s$ ve $Q_s=(\pi d^2 / 4)V_s$ olduğuna göre:

$$Q_H = \left(\frac{\pi d_s^2}{4} \right) V_s \rho_s c_{p_s} (T_s - T_a) \quad (4.77)$$

İdeal gaz için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\rho_s = \frac{M_s P_s}{RT_s}$$

ve

$$Q_H = \left(\frac{\pi d_s^2}{4} \right) V_s \left(\frac{M_s P_s}{RT_s} \right) c_{p_s} (T_s - T_a).$$

P birimi atm, $R=82,06 \text{ cm}^3\text{-atm/mol-K}$ ve $1 \text{ atm} = 1013,25 \text{ mb}$ ise

$$\frac{F_b}{Q_H} = \frac{g \left(\frac{V_s d_s^2}{4} \right) \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right)}{\pi \left(\frac{V_s d_s^2}{4} \right) P_s c_{p_s} (T_s - T_a)}$$

olur; P birimi mb ise $R= 83,147 \text{ l-mb/mol-K}$ ve

$$F_b = \left(\frac{g}{\pi c_{p_s} T_a \rho_a} \right) Q_H \quad (4.78)$$

olur. Tipik bir kömür yanan kazan için baca gazı analizi çizelge 4.9 ile verilmiştir. $c_{p_s} = 7,3 \text{ cal/mol-}^\circ\text{C}$ olarak alınırsa F_b/Q_H oranı aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$F_b = \left[\frac{9,80 \text{ m/s}^2}{\left(\pi \times 7,3 \frac{\text{cal}}{\text{molK}} \right) \times 298 \text{ K} \times 1,18 \frac{\text{g}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ mol}}{24 \text{ g}} \times \frac{10^6 \text{ cm}^3}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ l}}{10^3 \text{ cm}^3}} \right] Q_H$$

ve

$$F_b = 3,524 \times 10^{-5} Q_H \text{ (F birimi } \text{m}^4/\text{s}^3; Q_H \text{ birimi ise cal/sn' dir.)} \quad (4.79)$$

Çizelge 4.9. Bir baca gazının ortalama molar özgül ısısı (Schnelle, 2000)

Bileşik	%Hacmi	c_{p_s} (25-100 °C)	c_{p_s} (25-250 °C)
CO ₂	11,66	9,25	9,92
O ₂	6,52	7,08	7,24
CO	0,04	6,98	7,04
N ₂	81,78	6,97	7,02
Ortalama Molar Özgül Isı		7,225 cal/mol-°C	7,36 cal/mol-°C

Duman yükselmesi için Briggs aşağıdaki ifadeyi bulmuştur:

$$F_b = 3,7 \times 10^{-5} Q_H \quad (4.80)$$

Slade ise,

$$F_b = 3,8 \times 10^{-5} Q_H \quad (4.81)$$

ifadesini kullanmıştır. Havanın özgül ısısı için $c_p=6,95 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$ alırsak bir önceki denklem bulunmuş olur:

$$F_b = 3,7 \times 10^{-5} Q_H \quad (4.82)$$

F_b birimi olarak ft^4/s^3 kullanılırsa

$$F_b = 3,70 \times 10^{-5} \left(\frac{1 \text{ft}}{0,3048 \text{m}} \right)^4 Q_H = 4,29 \times 10^{-3} Q_H \quad (4.83)$$

elde edilir. (Schnelle, 2000)

4.12.9. Nötral atmosferde benzer bir teori ve yükselen (yüzen) dumanın yükselmesi

Enerji denklemi ve hareket denklemleri, hız(V) ve uzunluk(L) skalaları kullanılarak boyutsuz hale getirilebilir. Boyutsuz katsayılar kümesi, çizgisel hızın gelişimi sırasında sabit kalmalıdır. Aşağıda üç temel denklem verilmiştir:

$$\beta g \theta L^2 = \frac{\pi F_b}{u} = \text{sabit} \quad (4.84)$$

$$\frac{dL}{dT} = \alpha V \quad (\alpha = \text{asabiti}) \quad (4.85)$$

$$\lambda \frac{d(VL^2)}{dt} = \frac{\pi F_b}{u} \quad (\lambda = \text{asabiti}) \quad (4.85)$$

Bu denklemlerin sonuçları aşağıda verilmiştir:

$$\theta = \left(\frac{1}{\beta g} \right)^{1/3} \left(\frac{4\pi\lambda^2 F_b}{9\alpha^2 u t^4} \right)^{1/3} \quad (4.86)$$

$$V = \left(\frac{4\pi F_b}{9\alpha^2 u \lambda t} \right)^{1/3} \quad (4.87)$$

$$L = \left(\frac{3\alpha\pi F_b}{2\lambda u} t^2 \right)^{1/3} \quad (4.88)$$

Çizgisel ısıdan, W dumanın yukarı doğru olan hızı V ile aynı olur ve t ise rüzgar yönünde hareket zamanı haline gelir:

$$t = \frac{x}{u} \quad (4.89)$$

$$W = V = \frac{d(\Delta h)}{dt} \quad (4.90)$$

Denklem 4.90 integre edilirse:

$$\Delta h = \int_0^t W dt = \frac{4\pi F_b}{9\alpha^2 u \lambda} \int_0^t \frac{dt}{t^{1/3}} \quad (4.91)$$

$$\Delta h = \left(\frac{3\pi F_b}{2\alpha^2 u \lambda} t^2 \right)^{1/3} = \frac{L}{\alpha} \quad (4.92)$$

t ifadesi yerine yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\Delta h = \left(\frac{3\pi}{2\alpha^2 \lambda} \right)^{1/3} \left(\frac{F_b}{u^3} \right)^{1/3} x^{2/3} \quad (4.93)$$

Tsang, daha kontrollü yayılma şartları için aşağıda denklemini bulmuştur:

$$\Delta h = 1,51 \left(\frac{F_b}{u^3} \right)^{1/3} x^{2/3} \quad (4.94)$$

Briggs, nötral atmosferde (yüzen) yükselen dumanlar için aşağıdaki denklemini önermiştir:

$$\Delta h = 1,60 \left(\frac{F_b}{u^3} \right)^{1/3} x^{1/3} \quad (4.95)$$

Bu denklem, duman yükselmesinin termal faz ile bittiğini kabul eder ve aşağıdaki ampirik bağıntıları sağlar:

1. Duman yükselmesi, rüzgar yönünde $3,5x^*$ mesafesinde oluşur; burada:

$$\begin{aligned} x^* &= 14F_b^{5/8} & F_b < 55 \\ x^* &= 34F_b^{2/5} & F_b \geq 55 \end{aligned} \quad (4.96)$$

2. Final duman yükselmesi(Schnelle, 2000):

$$\Delta h = 1,60 \left(\frac{F_b}{u^3} \right)^{1/3} (3,5x^*)^{2/3} \quad (4.97)$$

4.12.10. Alan verileriyle Birggs duman yükselmesinin doğrulanması

4.12.10.1. Nötral atmosfer

Duman yükselmesi, rüzgar hızıyla ters orantılıdır. Bu durum verilerle ispatlanmıştır:

$$\Delta h \propto u^{-1} \quad (4.98)$$

Duman yükselmesi, rüzgar yönü mesafesinin 2/3 kuvvetiyle ise doğru orantılıdır; yani:

$$\Delta h \cdot \bar{u} \propto x^{2/3} \quad (4.99)$$

Duman yükselmesi ayrıca ($L=F_b/\bar{u}^3$) sınır akı parametresinin 1/3 kuvvetiyle orantılıdır. Elde edilen tüm veriler (F_b/\bar{u}^3)^{1/3}x^{2/3} değerinin 1,0-3,0 katıdır. Burada katsayı olarak 1,60 tavsiye edilir. (Schnelle, 2000)

4.12.10.2. Atmosferin katman etkisi

Sıcaklık düşme oranı, atmosferdeki dikey hidrodinamik kararlılık indeksi olarak kullanılmıştır. Potansiyel sıcaklık düşme oranı, yaklaşık olarak gerçek sıcaklık gradyeni ile kuru adyabatik düşme oranının toplamına eşittir; yani:

$$\frac{\Delta \Theta}{\Delta Z} = \left(\frac{dT}{dZ} \right)_{gerçek} + DALR \quad (4.100)$$

buradaki DALR kuru adyabatik düşme oranıdır(0,995°C/100m). Bir nötral atmosfer için gerçek düşme oranı (-0,995°C/100m) olur; böylece potansiyel düşme oranı sıfır olur.

Lineer katmanlı bir atmosferdeki bir çizgisel ısıyı ele alalım; burada sabit potansiyel sıcaklık farkı G ile tanımlansın.

Yerel fazla (aşırı) sıcaklık

$$\Theta_e = \Theta - \Theta_a \quad (4.101)$$

ile tanımlansın, burada $\Theta_a = G_z$ olarak verilmektedir. Enerji denklemi aşağıdaki gibi integre edilebilir:

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{\infty} \int \Theta_e dydz = -G \int_{-\infty}^{\infty} \int W dydz \quad (4.102)$$

M toplam momentum akısı,

$$M = \int_{-\infty}^{\infty} \int W dydz \quad (4.103)$$

ile tanımlanır; toplam yükselme (yüzebilirlik) akısı ise

$$\frac{\pi F_b}{u} = \int_{-\infty}^{\infty} \int \beta g \Theta_e dydz \quad (4.104)$$

ile tanımlanır. Denklem 4.102 aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\frac{d \left(\frac{\pi F_b}{u} \right)}{dt} = -\beta g GM \quad (4.105)$$

Csandy, dikey momentum denklemini integre etmiştir:

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{\infty} \int W dydz = \beta g \int_{-\infty}^{\infty} \int \Theta_e dydz \quad (4.106)$$

Bu denklem aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\pi F_b}{u} \quad (4.107)$$

Aşağıda, birinci dereceden iki diferansiyel denklemin çözümü bulunmaktadır:

$$\frac{\pi}{\beta g \bar{u}} \frac{dF_b}{dt} = -GM, \quad t=0 \text{ için } F_b=F_0 \quad (4.108)$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\pi F_b}{u}, \quad t=0 \text{ için } M=M_0 \quad (4.109)$$

Denklem 4.108'in zamana göre türevi aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\pi}{\beta g \bar{u}} \frac{d^2 F_b}{dt^2} = -G \frac{dM}{dt} = -\frac{\pi G F_b}{\bar{u}} \quad (4.110)$$

Burada

$$s = g\beta G \quad (4.111)$$

ile tanımlanır. Briggs ise

$$s = \frac{g}{T_a} \frac{\Delta \Theta_a}{\Delta z} \quad (4.112)$$

ile tanımlamıştır. Böylece denklem 4.110 aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\frac{d^2 F_b}{dt^2} + s F_b = 0 \quad (4.113)$$

Burada iki olası çözüm vardır. $G > 0$ durumu kararlı (stabil) bir atmosfer ve $s > 0$ olduğu; $G < 0$ ise kararsız bir atmosfer ve $s < 0$ olduğu anlamına gelir. $s > 0$ kararlı durum için çözüm aşağıdaki gibidir:

$$F_b = F_0 \left[1 + s \left(\frac{\bar{u} M_0}{F_0} \right)^2 \right]^{1/2} \cos(\sqrt{s} t + \phi) \quad (4.114)$$

$$M = \frac{F_0}{\sqrt{su}} \left[1 + s \left(\frac{\bar{u}M_0}{F_0} \right)^2 \right]^{1/2} \sin(\sqrt{st} + \phi) \quad (4.115)$$

$$\phi = \arctan \left[\sqrt{s} \left(\frac{\bar{u}M_0}{F_0} \right) \right] \quad (4.116)$$

Yükselmeye (yüzmeye) devam eden duman için, $F_0 > \sqrt{s\bar{u}M_0}$ olur; bu denklemler aşağıdaki şekli alırlar:

$$F_b = F_0 \cos(\sqrt{st}) \quad (4.117)$$

$$M = \frac{F_0}{\sqrt{su}} \sin(\sqrt{st}) \quad (4.118)$$

Benzetim terosinden aşağıdaki ifadeler yazılabilir:

$$\frac{dL}{dt} = \alpha W \quad (4.119)$$

$$L = \alpha \Delta h \quad (4.120)$$

$$W = \frac{M}{\lambda L^2} \quad (4.121)$$

Burada λ terimi nötral olmayan bir atmosfer durumundaki bir değişkendir. Termal faz için bu denklem çözülmüşse

$$\Delta h = \left\{ \left(\frac{3\pi F_0}{\lambda \alpha^2 \bar{u} s} [1 - \cos(\sqrt{st})] \right) \right\}^{1/3} \quad (4.122)$$

elde edilir. Kararlı durumda, tahmin edilen maksimum yükselme, parçalanma fazından önce karışıma neden olan atmosferik türbülans öncesi meydana gelir. Maksimum değer, $\cos(\sqrt{st}) = 0$ veya $(\sqrt{st}) = \pi$ olduğu zaman meydana gelir; yani:

$$\Delta h = \left(\frac{3\pi}{\lambda\alpha^3} \right)^{1/3} \left(\frac{F_0}{us} \right)^{1/3} \quad (4.123)$$

$\lambda = 22,0$ ve $\alpha = 0,25$ için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\Delta h = 1,90 \left(\frac{F_0}{us} \right)^{1/2} \quad (4.124)$$

Bu ifade aşağıdaki Briggs denklemine uymaktadır:

$$\Delta h = 2,40 \left(\frac{F_0}{us} \right)^{1/3} \quad (4.125)$$

Maksimum değer, hareket(seyehat) zamanı olarak tanımlanan $t = \frac{x}{u}$ için meydana gelir:

$$\sqrt{st} = \sqrt{s} \frac{x}{u} = \pi \quad (4.126)$$

veya

$$x_{maks} = \frac{\pi u}{\sqrt{s}} \quad (4.127)$$

Kararsız durumlar için aynı teknik uygulanır (Schnelle, 2000):

$$\Delta h = \left\{ \left(\frac{3\pi F_0}{\lambda \alpha^2 u s} \right) \left[1 - \cosh(\sqrt{st}) \right] \right\}^{1/3} \quad (4.128)$$

4.12.11. Holland duman yükselme formülü

Bu formül, daha önce elde edilmiş daha büyük kaynak verilerinden türetilmiştir. Bu yüzden güç tesisleri için uygundur.

Nötral şartlar için:

$$\Delta h = \frac{d_s V_s}{u} \left[1,5 + 2,68 \times 10^{-3} P \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) d_s \right] \quad (4.129)$$

Rüzgar hızı \bar{u} , baca yüksekliğinde ölçülmüş olmalıdır. P basıncının birimi ise milibar olmalıdır. Bu durumda duman yüksekliği metre biriminden bulunur. (Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

Nötral olmayan şartlar için Δh değeri aşağıdaki düzeltme faktörüyle çarpılmalıdır:

$$CF = \left(\frac{St}{10} \right) + 0,70 \quad (4.130)$$

Buradaki St ve CF değerleri çizelge 4.10 ile verilmiştir.

Nötral şartlar için denklem 4.129, F_b yükselme(yüzme) akı parametresi ve Q_H duman entalpisi için tekrar yazılabilir (Schnelle, et al., 2000):

$$\Delta h = 1,5 d_s \frac{V_s}{u} + 4,0 \times 10^{-5} \frac{Q_H}{u} \quad (4.131)$$

$$\Delta h = 1,5d_s \frac{V_s}{u} + 1,08 \frac{F_b}{u} \quad (4.132)$$

Çizelge 4.10. Holland duman yüksekliği için düzeltme faktörleri (Schnelle, et al., 2000)

Kararlılık Sınıfı	St	CF
A	5	1,2
B	4	1,1
C	3,5	1,05
D	3	1
E	2	0,9
F	1	0,8

4.12.12. Düzeltilmiş Briggs duman yükselme denklemleri

Briggs, değeri 1,5'ten küçük olan baca gazı hızları için baca gazı hızının baca üstündeki ortalama rüzgar hızına oranıyla orantılı olan fiziksel yükseklikten bir miktar azaltma yapmıştır. Yeni düzeltilmiş yükseklik aşağıdaki gibidir:

$$h'_s = h_s + 2d_s \left(\frac{V_s}{u} - 1,5 \right) \quad (4.133)$$

Bu oranın 1,5 ve üzeri olduğu durumlar için düzeltmeye gerek yoktur.

Yükselme(yüzme) etkisindeki duman, aşağıdaki a ve b alt başlıklarıyla incelenebilir:

a-) A, B, C ve D karasız veya nötral şartlar:

$$F_b \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \text{ için } x^* = 34F_b^{2/5} \quad (4.134)$$

$$F_b < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3 \text{ için } x^* = 14F_b^{5/8} \quad (4.135)$$

Metre biriminden final yükselme mesafesi $= 3.5x^*$ olur. Final yükselmesi ise aşağıda verilmiştir:

$$\Delta h = \frac{1,6F_b^{1/3} (3,5x^*)^{2/3}}{u} \quad (4.136)$$

Final duman yükselmesine kadar, yani $3.5x^*$ değerinden küçük mesafeler için;

$$\Delta h = \frac{1,6F_b^{1/3} (x)^{2/3}}{u} \quad (4.137)$$

b-) E ve F kararlı durumlar:

$$s = \frac{g}{T_a} \left(\frac{\Delta \Theta}{\Delta T} \right) \quad (4.138)$$

ifadesi daha önce tanımlanmıştı. Eğer $(\Delta \Theta / \Delta z)$ değeri verilmemişse;

E kararlılık sınıfı için 0,02 K/m,

F kararlılık sınıfı için 0,03 K/m

kullanılır. Duman yükselmesi;

$$\Delta h = 2,6 \left(\frac{F_b}{us} \right)^{1/3} \quad (4.139)$$

ile tanımlanır. Final yükselme mesafesi ise aşağıdaki ifade ile tanımlanır:

$$x_f = 2,0715 \frac{\bar{u}}{s^{1/2}} \quad (4.140)$$

Momentum etkisindeki duman ise c ve d alt başlıklarıyla incelenir:

c-) A,B,C ve D kararsız veya nötral şartlar:

F_b değerinin 55'ten küçük olduğu durumlar için;

$$(\Delta T)_c = \frac{0,0297 T_s V_s^{1/3}}{d_s^{2/3}} \quad (4.141)$$

F_b değerinin 55'e eşit ve büyük olduğu durumlar için;

$$(\Delta T)_c = \frac{0,00575 T_s V_s^{2/3}}{d_s^{1/3}} \quad (4.142)$$

kullanılır. Bu durumda duman yükselmesi için aşağıdaki formül kullanılır:

$$\Delta h = \frac{3d_s V_s}{u} \quad (4.143)$$

Briggs, $\frac{V_s}{u}$ değerinin 4'ten büyük olduğu durumlar için yukarıdaki denklemin çok kullanışlı olduğunu ileri sürmüştür.

d-) E ve F kararlı şartlar:

Çapraz sıcaklık aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$(\Delta T)_c = 0,01958T_s V_s s^{1/2} \quad (4.144)$$

Eğer burada ΔT değeri ΔT_c değerinden küçükse duman momentum etkisindedir. Bu durumda, duman yükselmesi momentum akı parametrelerine bağlıdır:

$$F_m = \frac{V_s^2 d_s^2}{4} \left(\frac{T_a}{T_s} \right) \quad (4.145)$$

Değeri ise

$$\Delta h = 1,5 \left(\frac{F_m}{u \sqrt{s}} \right)^{1/3} \quad (4.146)$$

ile hesaplanır. (Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000, Okutan ve diğerleri, 1993, Müezzinoğlu, 2000)

4.12.13. Final yükselmesine kadar olan mesafeler

Kararsız, nötral ve kararlı şartlardaki yükselme(yüzme) etkisindeki dumanların kademeli yükselmesinin belirlendiği durumlarda, alıcı ile kaynak arasındaki x mesafesi final yükselmesine kadar olan mesafeden küçükse duman yüksekliğini belirlemek için aşağıdaki denklem kullanılır:

$$\Delta h = 1,60 \left(\frac{F_b^{1/3} x^{2/3}}{u} \right) \quad (4.147)$$

Momentum etkisindeki durumlarda, jet saçılma katsayısı aşağıda tanımlanmıştır:

$$\beta_j = \frac{1}{3} + \frac{\bar{u}}{V_s} \quad (4.148)$$

Aşağıdaki denklemler, mesafeye bağlı olarak momentum duman yükselmesini hesaplamak için kullanılır:

a-) kararsız şartlar:

$$\Delta h = \left(\frac{3F_m x}{\beta_j^2 \bar{u}^2} \right)^{1/3} \quad (4.149)$$

Burada rüzgar yönündeki mesafe x ile gösterilmiştir; maksimum değer ise aşağıda aşağıda gösterilmiştir:

$$x_{maks} = \frac{4d_s (V_s + 3\bar{u})^2}{V_s \bar{u}}$$

$$0 < F_b \leq 55m^4 / s^3 \text{ için } x_{maks} = 49F_b^{5/8}$$

$$F_b > 55m^4 / s^3 \text{ için } x_{maks} = 119F_b^{2/5} \quad (4.150)$$

b-) kararlı şartlar:

$$\Delta h = \left[3F_m \frac{\sin(x\sqrt{s}/\bar{u})}{\beta_j^2 \bar{u} \sqrt{s}} \right]^{1/3} \quad (4.151)$$

burada rüzgar yönündeki mesafe x ile gösterilmiştir; maksimum değer ise aşağıda aşağıda gösterilmiştir.(Schnelle, et al., 2000):

$$x_{maks} = 0,5 \frac{\pi u}{\sqrt{s}} \quad (4.152)$$

4.12.14. Yükselme (yüzme) içeren dispersiyon

Turner, hem momentum etkisindeki hem de yükselme(yüzme) etkisindeki dumanı tanımlamıştır. Momentum etkili durumda, dikey yükselme hareketiyle dış hava arasındaki kesme hareketi saçılmaya neden olur. Dışarıdaki havayı açan kaynama benzeri harekete sahip dairesel ediler, yükselme etkisindeki dumanların içinde bulunur. Duman yükselirken yatay ve düşey doğrultuda simetrik hale gelir ve rüzgar tarafından eğilir. Böylece yatay ve düşey duman büyüklüğü eşit hale gelir. Bu giriş büyüklüklerinin denklemi aşağıda verilmiştir:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = \frac{\Delta H}{3,5} \quad (4.153)$$

ΔH , duman final yüksekliğine ulaşana kadar dumanın kademeli yükselmesi için kullanılır. DH ise, final yükseklik noktasından sonraki mesafeler için kullanılır. Etkin dispersiyon parametreleri aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir. (Schnelle, et al., 2000):

$$\sigma_{ye} = (\sigma_y^2 + \sigma_{y0}^2)^{0,5} \quad (4.154)$$

$$\sigma_{ze} = (\sigma_z^2 + \sigma_{z0}^2)^{0,5} \quad (4.155)$$

4.13. Ortalama Zaman ve Alıcı Etkisi

4.13.1. Kısa süre zaman ortalamalı düzeltmeler

Konsantrasyonu belirlemek için kullanılan Gauss tahmini, zamana göre ortalama denklemleridir. Konsantrasyon, örnekleme yada ortalama zamana göre hesaplanır. 24 saat ve daha kısa süreler için tek kaynak konsantrasyonu aşağıda verilmiştir:

$$\overline{C_s} = \overline{C_k} \left(\frac{t_k}{t_s} \right)^p \quad (4.156)$$

$\overline{C_s}$ = t_s zamandaki konsantrasyon

$\overline{C_k}$ = t_k zamandaki konsantrasyon

t_s = uzun süreli ortalama zaman

t_k = kısa süreli ortalama zaman

p = güç (değeri 0,17 ile 0,75 arasındadır; 0,27 değeri kullanılır.). (Schnelle, et al., 2000)

4.13.2. Uzun süre ortalamalı düzeltmeler

Yer seviyesindeki ($z=0$) uzun süre zaman ortlamalı konsantrasyonu bulmak için denklem 4.60 çapraz(yan) rüzgar doğrultusunda integre edilir:

$$\overline{C_{cw}} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{y}{\sigma_z} \right)^2 + \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} dy \quad (4.157)$$

$$\overline{C_{cw}} = \frac{2^{1/2} Q}{\pi^{1/2} \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (4.158)$$

Çizelge 4.11. Zamana göre konsantrasyon oranı (Schnelle, et al., 2000)

Ortalama Zaman	10 dakika konsantrasyonun hesaplanan konsantrasyon oranı
3 dakika	1,227
10 dakika	1
1 saat	0,737
3 saat	0,612
8 saat	0,518
24 saat	0,430

Uzun bir zaman periyodunun herhangi bir sektöründe esen rüzgardan meydana gelen konsantrasyonu belirlemek için, denklem 4.158, x mesafesindeki sektör genişliği boyunca radyanlara ayrılır. Sektör içinde, rüzgar yönlerinin rastgele dağıldığı ve atık gazın yatay düzlemde üniform (düzenli) bir dağılım gösterdiği kabul edilir. 16 noktalı bir rüzgar gülü için, sektör açısı $(360/16)=22,5^\circ$ ve sektör genişliği ise $(2\pi/16)x$ olur. Böylece herhangi bir sektör için uzun süre ortalaması aşağıdaki hale dönüşür:

$$\overline{C_{cw}} = \frac{2^{1/2} Q}{\pi^{1/2} \sigma_z \bar{u} \left(\frac{2\pi x}{16} \right)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (4.159)$$

Uzun süreler boyunca sürekli bir emisyon yapan kaynaklar için aylık, mevsimlik ve ya yıllık konsantrasyonlar eşçizgiler şeklinde hesaplanabilir. Dispersiyon katsayısı verilerine ilave olarak rüzgar gülü verilerine ihtiyaç vardır. Çıktı, maksimum konsantrasyon alanlarının bulunması için kullanılabilir. Verilen S kararlılık sınıfı, u rüzgar hızı sınıfı ve Q sektörü için, rüzgar gülü çizelgesinde bulunan f_n frekansı yardımıyla toplam $\overline{C_{LT}}(\Theta)$ ifadesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\overline{C_{cw}} = f_n(\Theta, u, S) \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{Q}{\sigma_z \bar{u} \left(\frac{2\pi x}{16} \right)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (4.160)$$

Bu denlem herhangi bir sektör için yazılabilir. $\Delta\theta$ radyan biriminden sektör genişliği olarak tanımlanır. Bu durumda denklem 4.160 aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\overline{C_{cw}} = f_n(\Theta, u, S) \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{Q}{\sigma_z \overline{u}(\Delta\theta)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

Merkez hat boyunca esen rüzgarla birlikte, her sektörün merkez hat konsantrasyonunun komşu sektörlerden bağımsız olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, merkez hat dışındaki alıcı için bir düzeltme yapılmalıdır. Bu düzeltme veya pürüzsüzlük fonksiyonu, konsantrasyonun ağırlık fonksiyonu olarak tanımlanır. Düzeltme ağırlık fonksiyonu WS aşağıda verilmiştir:

$$|\theta_{ad} - \theta| \leq \Delta\theta \text{ için } WS = \frac{(\Delta\theta - |\theta_{ad} - \theta|)}{\Delta\theta}$$

$$|\theta_{ad} - \theta| > \Delta\theta \text{ için } WS=0 \quad (4.161)$$

Burada;

θ_{ad} = komşu sektörün merkez hattıyla kuzey arasındaki radyan biriminden açı,

θ = alıcı noktasıyla kuzey arasındaki radyan biriminden açıdır.

Denklem 4.160 aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\overline{C_{cw}} = f_n(\Theta, u, S) \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{Q(WS)}{\sigma_z \overline{u}(\Delta\theta)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (4.162)$$

Net ortalama konsantrasyon, her karalılık sınıfı ve rüzgar hızı için her sektörün uzun süreli ortalamalarının toplamı şeklinde bulunur. (Schnelle, et al., 2000):

$$\overline{C_{NET}} = \sum_{\theta} \sum_u \sum_s \overline{C_{LT}}(\delta, u, S) \quad (4.163)$$

4.13.3. Rüzgar yönü ve çapraz (yan) rüzgar yönü mesafeleri

Birçok bilgisayar algoritması, polar ya da kartezyen ağı kullanır. Polar koordinat sisteminde, orijin olarak $X=X_0$ ve $Y=Y_0$ ve (r, θ) noktasındaki bir alıcının koordinatları ise X ve Y olarak kabul edilsin; böylece aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$X(R) = r \sin \theta \quad (4.164)$$

$$Y(R) = r \cos \theta \quad (4.165)$$

Kartezyen koordinatlarda, kaynağın X ve Y koordinatları $X(S)$ ve $Y(S)$ olarak tekrar tanımlanır. Kaynak-alıcı kombinasyonları ve mesafe bağıntıları Şekil 4.11 ile verimiştir. Dumanın hareket yönü boyunca, alıcıya doğru olan x rüzgar yönü mesafesi aşağıda verilmiştir:

$$X = -(X(R) - X(S)) \sin(WD) - (Y(R) - Y(S)) \cos(WD) \quad (4.166)$$

Buradaki WD esen rüzgarın yönüdür. Bu rüzgar yönü mesafesi, dispersiyon parametreleri ve mesafeye bağlı olan duman yükselmesi hesaplamalarında kullanılır. Alıcı, kaynağa 1 metre uzaklıktaysa konsantrasyon sıfır kabul edilir ve hesaplama yapılmaz.

Duman merkez hattından alıcıya kadar olan çapraz(yan) rüzgar yönü mesafesi aşağıda verilmiştir. (Zannetti, 1990, Schnelle, et al., 2000):

$$Y = (X(R) - X(S)) \cos(WD) - (Y(R) - Y(S)) \sin(WD) \quad (4.167)$$

4.14.1.4. (Print) Yazdır

Çıktı almayı sağlar.

4.14.1.5. (Exit) Çıkış

Programdan çıkmayı sağlar.

4.14.2. Programın mantığı

Yer seviyesindeki konsantrasyonların hesabında kullanılan programın mantıksal tanımını aşağıdaki gibidir:

- Kararlılık sınıfına bağlı olarak rüzgar üs değerini giriniz.
- Moda göre giriş kararlılığını eşleştirin.
- Holland ve Briggs duman yükselme denklemlerini seçiniz.

4.14.2.1. Holland

- Baca yüksekliğinde rüzgar hızını hesapla
- Holland duman yükselme denklemini kullanarak duman yükselmesini hesapla
- Ortak koda git

4.14.2.2. Briggs

- Baca yüksekliğinde rüzgar hızını hesapla
- Baca ucu alçalması/baca yüksekliği düzeltme hesabını yap
- Sınır akısını hesapla
- Kararsız veya nötral kararlılık(A-D) için, momentum ve kaldırma (yüzme) kontrollü duman yükselmesi arasındaki geçişi belirle ve uygun duman yüksekliğini hesapla

Kaldırma(yüzme) kontrollü duman yükselmesi için:

- Sonuç (final) duman yükselmesi için mesafeyi hesapla
- Duman yüksekliğini belirle

Momentum kontrollü duman yükselmesi için:

- Duman yüksekliğini hesapla
- (E-F) sınıfları için kararlılık parametrelerini hesapla; momentum ve kaldırma (yüzme) kontrollü duman yükselmesi arasındaki geçişi belirle

Kaldırma (yüzme) kontrollü duman yükselmesi için:

- Final duman yükselmesi için mesafeyi hesapla
- Duman yüksekliğini belirle

Momentum kontrollü duman yükselmesi için:

- Duman yüksekliğini hesapla
- Ortak koda git

4.14.2.3. Ortak Kod

- Yatay ve dikey dispersiyon katsayılarını hesapla
 - Kentsel mod 3 seçildiğinde McElroy birleştirme sigma hesaplarını eşleştir; diğer durumlarda ise kararlılığı ve sigma değerlerinin hesabında kullanılan mesafe orijinli **a** ve **b** katsayılarını hesapla
 - Bozunma terimini hesapla
 - Dikey terimi hesapla
 - Gauss modeliyle yer seviyesindeki saatlik merkez hat konsantrasyonunu hesapla
- İstenen zaman aralığına göre ortalama konsantrasyonu bulmak için konsantrasyon değerini ayarla (Schnelle, et al., 2000)

Çizelge 4.12. Aylara göre rüzgar hızı değerleri (Meteoroloji Müdürlüğü Eskişehir İli Yıllık İstatistikleri)

Aylar	Ortalama Sıcaklık(°C)	Ort. Rüzgar hızı (m/s)	Aylar	Ortalama Sıcaklık(°C)	Ort. Rüzgar hızı (m/s)
Ocak	2,1	2,5	Temmuz	22,4	2,7
Şubat	1,5	3,1	Ağustos	22,8	3,1
Mart	4,9	2,8	Eylül	16,8	2,1
Nisan	10	2,6	Ekim	9,6	2,4
Mayıs	14,7	2,3	Kasım	5,2	2,9
Haziran	18,2	1,9	Aralık	2,5	2,7

Çizelge 4.13. Aylara göre rüzgarın esme yönleri(Meteoroloji Müdürlüğü Eskişehir İli Yıllık İstatistikleri)

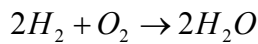
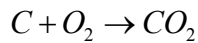
Aylar	Ortalama Rüzgar Yönü	Aylar	Ortalama Rüzgar Yönü
Ocak	Doğudan	Temmuz	Batıdan
Şubat	Doğudan	Ağustos	Batıdan
Mart	Batıdan	Eylül	Batıdan
Nisan	Batıdan	Ekim	Batıdan
Mayıs	Batıdan	Kasım	Doğudan
Haziran	Batıdan	Aralık	Doğudan

BÖLÜM 5

SONUÇ

5.1. Yanma Reaksiyonları

Yakıldığı zaman enerji veren herhangi bir maddeye yakıt denir. Yakıtlar genel olarak hidrojen ve karbondan oluşur. Katı, sıvı ve gaz fazında yakıtlar vardır.



reaksiyonu ile oksitlenirler.

Yukarıda verilen denklem tam (teorik) yanma reaksiyonudur. Yeterli oksijen olmaması, hava ve yakıtın yeteri kadar karışmaması, yüksek sıcaklıklarda oluşan ayrışma olayları yüzünden yanma tam olarak gerçekleşmez. Bu durumda yanma ürünleri içinde CO_2 ile birlikte CO da bulunmaktadır. Katı ve sıvı yakacaklar içinde kükürt bulunmaktadır. Bu yakıtların yanma ürünlerinde SO_2 bulunur. Çizelge 5.1. ile yakıtların bileşimleri verilmiştir. (www.ekimya.com, Müezzinoğlu, 2000)

Bütün fosil yakıtların yakılması sonucunda azot oksitler (NO_x) oluşmaktadır. Yanma ürünü olarak azot oksitlerin derişimi en yüksek bileşeni azotmonoksit (NO) ve azot dioksittir (NO_2). Azotmonoksit (NO), atmosferdeki oksijenle tepkimeye girerek azot dioksit (NO_2) okside olmaktadır. Fosil yakıtların yanmasında NO_x oluşum mekanizması 3 grupta toplanabilir:

1. Termal NO_x Oluşumu:

Yüksek sıcaklıklarda, yanma havasında bulunan oksijen atomlarıyla moleküler azotun tepkimeye girmesiyle azot oksitlere dönüşümüdür. Termal azotmonoksit oluşumunda aktivasyon enerjisi çok önemli bir etkiye sahip olduğundan bu oluşum, sıcaklığa çok bağımlıdır ve yüksek alev sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Alev içerisinde O₂'nin ayrışması ile serbest kalan oksijen atomları azot molekülleri ile zincirleme reaksiyona girer. Yakma sistemindeki yüksek sıcaklık ve yüksek oksijen derişimi, azotmonoksit oluşumunu teşvik ettiğinden dolayı; azot monoksit oluşumunu engellemek için bu iki değişkenden birinin veya her ikisinin aynı anda kontrol edilmesi gerekmektedir.

Sıcak alev bölgesinde maksimum termal NO_x oluşumu; ortamda yakıtın az, oksijenin ise çok fazla miktarda olduğu koşullarda sağlanmaktadır. Termal NO_x oluşumu 1200°C'nin altında daha az olmakla beraber, 1400 °C ve üzeri sıcaklıklarda artmaktadır. (www.igdas.com.tr, ilbaş ve diğerleri, 2002, www.iletisim.net)

2. Yakıt Kaynaklı NO_x Oluşumu:

Yakıt kimyasal olarak bağlı azot bileşiklerinin oksidasyonu sonucu, yakıt kaynaklı azot monoksit oluşmaktadır. Yakıttaki azotlu organik bileşiklerin miktarının artmasıyla yakıt kaynaklı azotmonoksit oluşumu da artmaktadır. Kömürün yanması sonucu oluşan azotmonoksitin yaklaşık %50-90'ı yakıt kaynaklıdır. Yakma havasında bulunan moleküler azot çok kararlıdır ve bu molekölün bağ parçalama enerjisi 940 kJ/mol'dür. Yakıt içerisindeki azot için ise bağ parçalama enerjisi 250-627 kJ/mol arasında değişmektedir. Yakıtla bağlı azotun aktivasyon enerjisi moleküler azota göre oldukça düşük olduğu için oksijenle, sıcaklığa bağlı olmaksızın hızla birleşebilmektedir. Yakıt kaynaklı azot oksit oluşumunda yakıt/hava oranı çok önemli bir parametredir. Oranın düşük olduğu stokiyometrik şartlarda yüksek miktarda; zengin alev şartlarında ise düşük miktarda azotmonoksit oluşmaktadır. (ilbaş ve diğerleri, 2002, www.iletisim.net)

3. Ani NO_x Oluşumu

Yakma havasındaki moleküler azotun, serbest hidrokarbon radikalleriyle tepkimeye girmesi sonucu azotmonoksit oluşmaktadır. $N_2 + HC \rightarrow HCN + N$ reaksiyonuyla oluşan HCN, serbest OH radikaliyle birleşerek CN'ye; CN ise daha sonraki kademelerde azotmonoksite oksitlenmektedir. Ani NO_x oluşumuna sıcaklığın etkisi zayıftır ancak oksijen fazlasının bulunduğu zengin yanma koşulları azotoksit oluşumunu teşvik etmektedir. (İlbaş ve diğerleri, 2002, www.iletisim.net)

Çizelge 5.1. Yakıtların bileşimleri (www.igdas.com.tr)

Özellikler	Kömür	Fule-Oil	Doğalgaz
Karbon %	77,4	85,98	73,57
Hidrojen %	3,4	11,08	23,94
Azot %	1,2	0,07	2,49
Kükürt %	1,0	2,17	-
Kül %	8,0	0,02	-
Nem %	7,0	0,01	-
Üst IsılDeğer (Kcal/kg)	7500	10500	12819

5.2.Kirletici Emisyonlarının Azaltılması ile İlgili Yöntemler

5.2.1.Yanmanın iyileştirilmesi

Oksijenin düşük olduğu durumlarda CO, yüksek olduğu durumlarda ise NO_x oluşmaktadır. Bu durumda uygun hava/yakıt oranının seçilmesi gerekir (Çizelge 5.2.). Ayrıca az kirletici emisyon yaratan işlemler seçilmeli, az enerji tüketen sistemler kullanılmalıdır. (İlbaş vd., 2002, Müezzinoğlu, 2000, www.eie.gov.tr)

Çizelge 5.2. Hava fazlalık katsayısı (www.eie.gov.tr)

Yakıt türü	Yakıcı Şekli	Fazla Hava(%)
Pülverize kömür	Cüruf atma sistemli büyük fırınlar	15 -20
Kömür	Dağıtımali yakma sistemi	30 -60
	Mekanik ızgaralı	15 -50
	Altan beslemeli	20 -50
Fuel oil	Yüksek kapasiteli ünitelerde	5 -10
	Endüstriyel kazanlarda	10 -20
Doğal gaz	Gaz brülörleri	5 -10
	Çok yakıtlı brülörler	7 -12
Yüksek fırın gazı	Çeşitli	15 -18
Odun	Çeşitli	20+

5.2.2.Uygun yakıt seçimi

Yanma yönünden en uygun yakıtlar gaz ve sıvı yakıtlardır. Hava kirliliğinin kontrolünde küçük kapasiteli yakma sistemlerinde kükürt oranı düşük gaz ve sıvı yakıt kullanımı en uygun çözümdür. Ekonomik nedenlerle katı yakıt uygulaması durumunda kükürt oranı düşük kömür(taş kömürü ve kok) kullanılmalıdır. (Durmaz ve diğerleri, 1987)

5.2.3.Baca gazı arıtması

Günümüzde kullanılan arıtma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır:

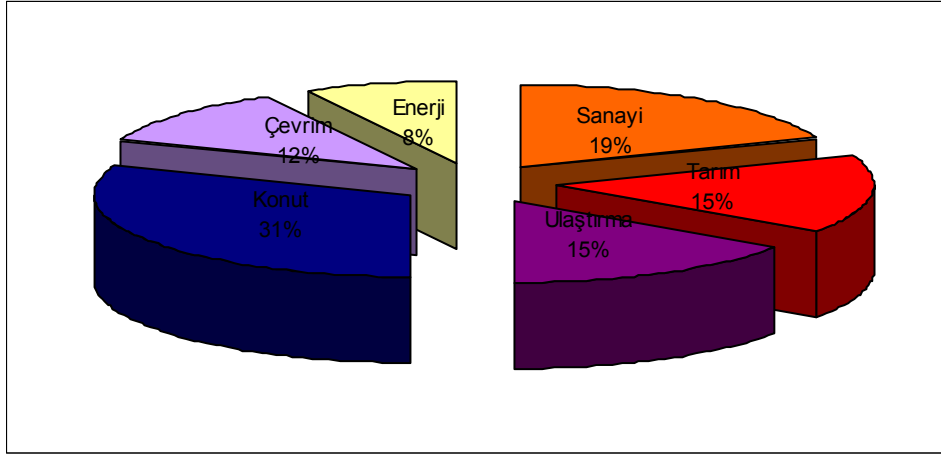
1. Absorbsiyon: Baca gazındaki istenilmeyen bileşeni uygun bir sıvı içinde seçimli olarak çözmek suretiyle sıvı faza aktarmak şeklinde açıklanabilir.
2. Adsorbsiyon: Akışkan karışımında bulunan herhangi bir gaz bileşenin bir katı yüzeyde seçimli olarak tutulması olayıdır.

3. İnsinerasyon(Yakma): Yanabilir nitelikteki hava kirleticilerinin veya yakılarak yok edilmesi uygun olan tehlikeli ve zararlı maddeler içeren gaz ve partikül halindeki organik bileşiklerin gideriminde kullanılan pahalı bir yöntemdir.
4. Kondensasyon(Yoğuşturma): Bu işlemde bir gaz veya buhar sıvı fazına dönüştürülerek aca gazından uzaklaştırılır.
5. Membran İşlemleri: Gaz karışımındaki ayrılacak bileşen, seçimli olarak geçiren membrandan geçirilerek tutulur. (Müezzinoğlu, 2000, Karpuzcu, 1994, Okutan ve diğerleri, 1993)

5.2.4.Enerji tasarruf

En ucuz enerji tasarruf edilen enerjidir. Enerji Tasarrufu, belli davranışları yerleştirerek, iyileştirme yöntemlerini uygulayarak veya yeni teknolojiler kullanarak, üretimi ve kaliteyi düşünmeden, sosyal yaşamın standardını korumak suretiyle, enerjiyi daha etkin kullanmak demektir. (Gürbüz, 2001, Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası, 2006, Tübitak, 2003, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2005, Atılın, 2000)

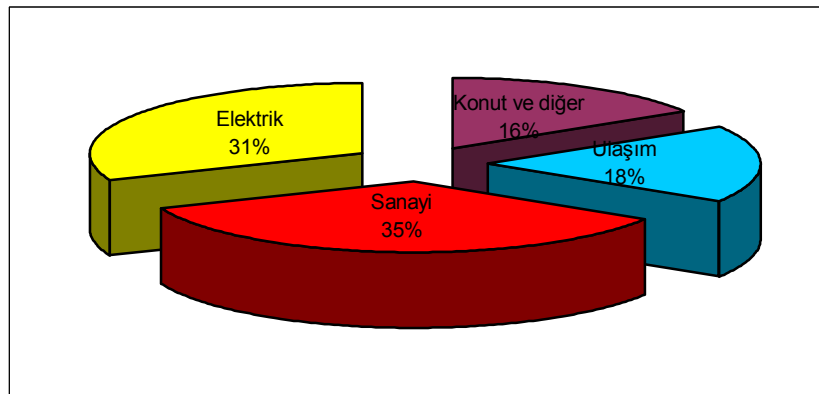
Yapılan enerji tasarrufuyla daha az fosil yakıt tüketilecek ve dolasıyla yanmadan kaynaklanan emisyonlar azalacaktır. Türkiye'deki enerji tasarruf imkanları Şekil 5.1. ile verilmektedir.



Şekil 5.1. Enerji Tasarruf İmkanları (Gürbüz, 2001)

5.2.5. Alternatif enerji kaynakları

Alternatif enerji kaynaklardan sağlanan enerjinin artış fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltacaktır. (Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Atlası, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2005, Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası, 2006 Tübitak, 2003, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2005). Çizelge 5.3. ile Türkiye'nin alternatif kaynakları gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Türkiye'deki Emisyonların Sektörel Dağılımı (Gürbüz, 2001)

Çizelge 5.3. Türkiye’deki alternatif enerji miktarları (Atılğan, 2000)

Kaynaklar	Kullanılabilir Enerji Miktarı
Hidrolik (MW) (Milyar kWh/yıl)	34862 124,5
Jeotermal Isı(MW) (Mtep/yıl) Elektrik(MW) (Milyar kWh/yıl)	2843 1,8 350 1,4
Güneş Isı+Elektrik(MW) (Milyar kWh/yıl) (Mtep/yıl)	116000 305 25
Rüzgar Elektrik(MW) (Milyar kWh/yıl)	20000 50
Biyomas Yakıt(Mtep/yıl)	25

5.3.Eskişehir’deki Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği

Çizelge 5.4. Eskişehir O.S.B.’deki Kuruluşların Yıllara Göre Dağılımı
(www.eosb.gov.tr)

Yıllar	Üretimdeki Kuruluş Sayısı	Yıllık Artış	Yıllar	Üretimdeki Kuruluş Sayısı	Yıllık Artış
1997	168	22	2002	203	3
1998	181	13	2003	203	0
1999	185	4	2004	207	4
2000	193	8	2005	228	21
2001	200	7	2006	259	30

Çizelge 5.5. Eskişehir O.S.B.’deki Kuruluşların Yıllara Göre Enerji Dağılımları
(1KVA=1kW) (www.eosb.gov.tr)

Yıllar	Kurulu Güç (KVA)	Firma Sayısı	Firma Başına Kurulu Güç	Yıllar	Kurulu Güç (KVA)	Firma Sayısı	Firma Başına Kurulu Güç
1992	50985	107	476,5	2000	146520	194	755,3
1993	57025	112	509,2	2001	146670	201	729,7
1994	66485	128	519,4	2002	148930	204	730
1995	73940	136	543,7	2003	149300	204	731,9
1996	97740	146	669,5	2004	190990	208	918,2
1997	123620	168	735,8	2005	201325	229	879,1
1998	124760	182	685,5	2006	216970	259	837,7

Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi’ndeki firma sayısı ve enerji tüketimi yılda yaklaşık %8 büyümektedir (Çizelge 5.4.). Buna bağlı olarak enerji ihtiyaçları artmaktadır (Çizelge 5.5.). Şekil 5.2.’de gösterildiği gibi emisyon üretiminin en büyük kısmını oluşturan sanayi kuruluşların bunlarla ilgili tedbirler almalıdır.

5.4. Sonuçlar ve Yorum

Bu çalışmada Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi’nden yayılan CO ve NO₂ emisyonlarının şehrin bu bölgeye yakın mahallelere olan etkisi araştırılmıştır. Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi’nde elektrik sanayi kuruluşlarından saatte 6,67 kg, metal-makina sanayi kuruluşlarından saatte 10,63 kg, tekstil ve hazır giyim sanayi kuruluşlarından saatte 0,08 kg, gıda sanayi kuruluşlarından saatte 2,93 kg, toprak ürünleri sanayi kuruluşlarından saatte 52,41 kg, kimya sanayi kuruluşlarından saatte 1,89 kg, orman ürünleri sanayi kuruluşlarından saatte 1,65 kg ve diğer sanayi kuruluşlarından saatte 0,26 kg CO, elektrik sanayi kuruluşlarından saatte 192,59 kg, metal-makina sanayi kuruluşlarından saatte 19,24 kg, tekstil ve hazır giyim sanayi kuruluşlarından saatte 0,74 kg, gıda sanayi kuruluşlarından saatte 12,32 kg, toprak

ürünleri sanayi kuruluşlarından saatte 53,27 kg, kimya sanayi kuruluşlarından saatte 3,917kg, orman ürünleri sanayi kuruluşlarından saatte 14,5 kg ve diğer sanayi kuruluşlarından saatte 1,36 kg NO₂ havaya salınmaktadır.

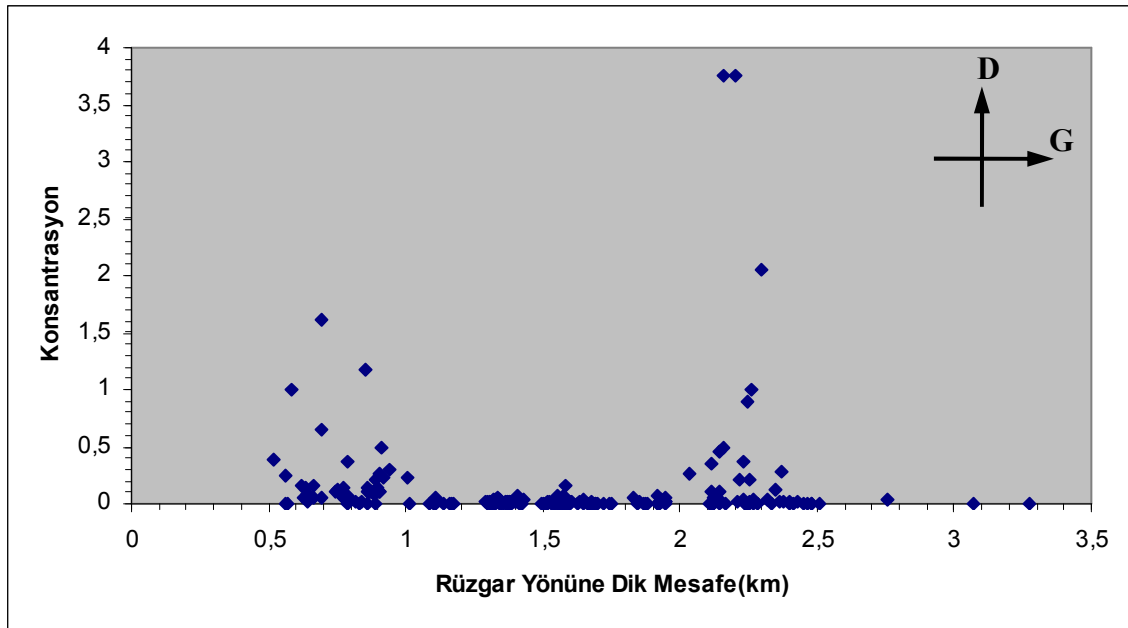
Bu çalışmada, kirleticilerin atmosfer içindeki yayılımlarını modelleyen 3 temel yaklaşım olan Euler, Lagrange ve Gauss yaklaşımlarını içeren çeşitli modelleme yöntemleri incelenmiştir. Burada sabit meteorolojik ve sürekli emisyon şartları için çözüm yapan ISC3-ST yöntemi seçilmiştir. Bu model A.B.D. Çevre Koruma Örgütü tarafından sanayi kuruluşlarından yayılan emisyonların yayılımını modellemek için geliştirilmiştir. Bu model nokta kaynağından çıkan dumanı, etkin rüzgar yönü doğrultusunda yayıldığını kabul eder. Bu yayılımda rüzgar hızıyla birlikte yatay ve dikey dispersiyon katsayıları etkilidir.

Modelde bulunan çökme ve bozunma olayları bu çalışma için ihmal edilmiştir. Dispersiyon katsayılarının bulunması için atmosfer Pasquill-Gifford kararlılık sınıflarına ayrılmış ve Eskişehir için bu B sınıfı olarak seçilmiştir. Karışım yüksekliği için ise kararlılık sınıfına bağlı 2000 metre olarak bulunmuştur. Duman yüksekliği için Briggs duman yükselme formülü kullanılmış, modelin kırsal bölgeler için olan seçeneği kullanılmıştır. Model 10 km için kullanılmıştır. Rüzgar hızı yüksekliği 10 metredir.

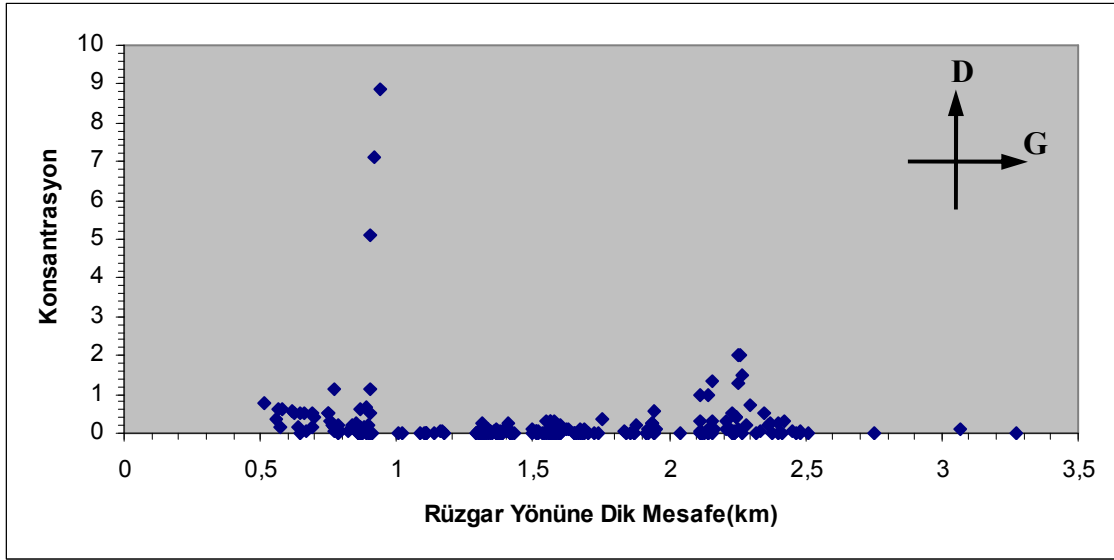
Model için gerekli emisyon verileri (emisyon debisi, hızı, sıcaklığı), baca verileri (çap, yükseklik) Çevre-Orman Müdürlüğü'ndeki emisyon raporlarından, meteorolojik veriler (ortalama rüzgar hızı, rüzgar hızı yüksekliği, atmosfer sıcaklığı) ise Meteoroloji Müdürlüğü'nün 2005 yılı verilerinden aylık ortalamalar şeklinde sağlanmıştır. Bu veriler Çizelge 4.12 ve 4.13 ile verilmiş; ortam basıncı ise 997 milibar olarak kullanılmıştır. Her sanayi kuruluşunun emisyon ölçüm tarihleri ek olarak verilmiştir. Emisyon değerleri Temmuz 1999-Mayıs 2007 tarihleri arasında sabit kabul edilmiştir.

Modellemeler, sadece en yüksek emisyon değerlerinin olduğu kasım ayı için yapılmıştır. Bacalardan radyal olarak kaybolan ısı ihmal edilmiştir. Tüm sanayi kuruluşlarına ait her bir baca için modelleme yapılarak sonuçları grafikler halinde ek olarak verilmiştir. Her bir bacanın rüzgar yönüne dik bir doğrultuda şehir girişinde

oluşturduğu konsantrasyonlar bulunarak birer grafik şeklinde verilmiştir. (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) Bu grafiklerdeki mesafe, Organize Sanayi Bölgesi'nin rüzgar doğrultusuna dik doğrultudaki genişliğidir. Bu grafiklerde en yüksek CO konsantrasyon değeri olan değeri Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası, NO₂ konsantrasyon değerini ise Toprak Karo Fabrikası tarafından üretilmektedir. Bunlara ilave olarak CO konsantrasyonu için diğer yüksek değerleri Toprak Karo Fabrikası, NO₂ konsantrasyonu için diğer yüksek değerleri ise Endüstriyel Enerji A.Ş. ürettiği görülmektedir. Sınır değerler CO için 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve NO₂ için 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak verilmiştir. Ölçüm değerleri sınır değerlerin oldukça altında olduğu görülmektedir. (Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği)



Şekil 5.3. Eskişehir OSB'deki Kuruluşlarının Şehir Girişindeki CO Konsantraasyonları($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Şekil 5.4. Eskişehir OSB'deki Kuruluşlarının Şehir Girişindeki NO₂ Konsantrasyonları ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)

Bu çalışma ile bulunan sonuçlar ve çözüm önerileri aşağıda verilmiştir:

1. Ortalama rüzgar hızı düşüktür. Bu yüzden duman yayılma oluşmadan çökmeye zorlanmaktadır. Baca çıkış hızları buna göre ayarlanmalıdır.
2. Fabrikalarda yakma verimi artırılmalıdır. Bazı fabrikaların baca gazı çıkış hızları oldukça düşüktür. Bu durum dumanın yükselmeden çökmesine neden olur.
3. Fabrikalarda ısı yalıtımı ve enerji tasarrufu sağlanmalıdır. Bu durum yakıt tüketimini ve emisyonları azaltır.
4. Büyük baca debilerine sahip bacalardan ısı geri kazanılmalıdır.
5. Çok sayıda küçük bacaya sahip fabrikalarda, bu bacalar birleştirilip toplam emisyon tek bir baca ve yüksek baca gazı çıkış hızları ile atmosfere salınmalıdır.
6. Filtre kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.
7. Alternatif enerji kaynaklarında yararlanılmamaktadır.
8. Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi yılda %8 büyümektedir. Bu büyümenin şehir yönünde olmaması sağlanmalıdır.

9. Şehrin büyümesinin sanayi bölgesine doğru olması engellenmelidir.
10. Daha az yakıt tüketen sistemler tercih edilmelidir.
11. Fabrikalarda çalışanların çalışma şartları iyileştirilmeli ve işçi sağlığına dikkat edilmelidir. Bu olaylar insana dayalı hataları azaltarak verimliliği arttıracaktır. Artan verim ise yakıt tasarrufu sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdul-Wahab, S.A., Al-Alawi, S.M., El-Zawahry, A., 2002, Patterns of SO₂ Emissions: A Refinery Case Study, Environmental Modelling & Software, V 17, 563-570.
- Alameddine, I., El-Fadel, M., 2005, Stack Emission From Desalination Plants: A Parametric Sensitivity Analysis for Exposure Assessment, Desalination, V 177, 15-29.
- Arar, S., 2001, Baca Analizi, Ölçüm Yapılan Cihazlar, Ölçülen Gazlar,İlgili Yönetmelik, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,1.
- Atılgan, İ., 2000, Türkiye’de Enerji Potansiyeline Bakış, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, C 15,N 1, 31-47.
- Bhanarkar, A.D., Goyal, S.K., Sivacoumar, R., Rao, C.V.C., 2005, Assessment of Contribution of SO₂ and NO₂ from Different Sources in Jamshedpur Region,India, Atmospheric Environmental, V 39, 7745-7760.
- Başara, R., 1996, Sivas İline ait Hava Kirliliği Verileri ile Meteorolojik Veriler için Çoklu Lineer Regresyon Uygulaması, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 38-55.
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B., Stern, A.C., 1994, Fundamentals of Air Pollution, Academic Pres Editions, 72-96.
- Caputo, M., Gimenez, M., Schlamp, M., 2003, Intercomparison of Atmospheric Dispersion Models, Atmospheric Environmental, V 37, 2435-2449.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Cimorelli, A.J., Perry, S.G., Venkatram, A., Weil, J.C., Paine, R.J., Wilson, R.B., Lee, R.F., Peters, W.D., Brode, R.W., 2004, AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications, PartI:General Model Formulation and Boundary Layer Characterization, Journal of Applied Meteorolgy, V 40, 682-693.

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Atlası,1-6.

de Nevers, N., Air Pollution Control Engineering, 2000, McGraw-Hill International Editions, 83-152.

Durmaz, A., Ercan, Y., 1987, Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü, Uluslar arası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu, 23.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2005, Enerji Sektöründe Sera Gazı Azatlımı Çalışma Grubu Raporu,62-66.

Erbaş, O., 2001, Kütahya'da Hava Kirliliğinin Azalmasına Yönelik Çözüm Önerileri ve Matematiksel Modelleme, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 125-130.

Ertaş, S.K., 2004, DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, Hava Trafik Müdürlüğü, Meteoroloji Ders Kitabı,2-3.

Eskişehir İl Çevre-Orman Müdürlüğü'nden Alınmış Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'ndeki Fabrikaların emisyon raporları.

Gürbüz, A., 2001, İklim Değişikliği Çerçevesinde Enerji Sektörü Raporu.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Haktanır, Doğan, 2002, Dünyayı Saran Tehlike ve Korunma Metodları,
www.neu.edu.tr/dhaktanir/Publications/periodicals/dh-ozon_s5.doc.

Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği (H.K.K.Y.), 2 Kasım 1986.

Holmes, N.S., Morawska, L., 2006, A Review of Dispersion Modelling and Its Application to the Dispersion of Particles: An Overview of Different Dispersion Models Available Atmospheric Environmental, V 40, 5902-5928.

Hurley, P.J., Physick, W.L., Luhar, A.K., 2005, TAPM: a Practical Approach to Prognostic Meteorological and Air Pollution Modelling, Environmental Modelling & Software, V 20, 737-752.

İlbaş, M., Yılmaz, İ., 2002, Farklı Isıl Güçlerdeki Kazanlarda Yanma ve Emisyon Davranışının Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, C 18, N 1-2, 18-27.

Karpuzcu, M., 1994, Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Kubbealtı Akademisi Kültür ve Sanat Vakfı Yayınları, 134-176.

Koçak, K., 1997, İklim Değişiminde İnsan Faktörü,
<http://www3.itu.edu.tr/~kkocak/iklim.html>.

Krishna, T.V.B.P.S.R., Reddy, M.K., Reddy, R.C., Singh, R.N., 2005, Assimilative Capacity and Dispersion of Pollutants Due to Industrial Sources in Visakhapatnam Bowl Area, Atmospheric Environmental, V 38, 6775-6787.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Krishna, T.V.B.P.S.R., Reddy, M.K., Reddy, R.C., Singh, R.N., 2005, Impact of Industrial Complex on the Ambient Air Quality: Case Study Using a Dispersion Model, Atmospheric Environmental, V 39, 5395-5407.
- Lorber, M., Eschenroeder, A., Robinson, R., 2000, Tesrind the USA's ISCST-Version 3 Model on Dioxins: A Comparison of Predicted and Observed Air and Soil Concentrations, Atmospheric Environmental, V 34, 3995-4010.
- Mehdizadeh, F., Rifai, H.S., 2004, Modeling Point Source Plume at High Altitudes Using a Modified Gaussian Model, Atmospheric Environmental, V 38, 821-831.
- Meteoroloji Müdürlüğü Eskişehir İli Yıllık İstatistik Verileri.
- Mussio, P., Gnyp, A.W., Henshaw, P.F., 2001, A Fluctuating Plume Dispersion Model for the Prdiction of Odour-İmpact Frequencies from Continuous Stationary Sources, Atmospheric Environmental, V 35, 2955-2962.
- Müezzinoğlu, A., 2000, Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları, 86-120.
- Nguyen, K.C., Noonan, J.A., Galbally, I.E., Physick, W.L., 1997, Predictions of Plume Dispersion in Complex Terrain: Eulerian Versus Lagrangian Models, Atmospheric Enviroment, V 31, N 7, 947-958.
- Okutan, H., Tırıs, M., Ertürk, F., Kalafatoğlu, E., 1993, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, TÜBİTAK Yayınları, 243-264.
- Olcese, L.E., Toselli, B.M., 2005, Development of a Model for Ractive Emissions from Industrial Stacks, Enviromental Modelling & Software, V 20, 1239-1250.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Öner, B., 2000, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy Termik Santrallerinin bacalarından çıkan gaz ve partiküllerin dağılımının modellenmesi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 1-40.
- Rao, H.V.N., Rao, M.N., 1989, Air Pollution, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited Editions, 11-12.
- Schnelle, B. K. Jr., Partha,R.D., 2000, Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide, McGraw-Hill International Editions, chapt. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14.
- Scott, H.M., Soskolne, C.L., Martin, S.W., Ellehoj, E.A., Coppock, R.W., Guidotti, T.L., Lissemore, K.D., 2003, Preventive Veterinary Medicine, V 57, 15-34.
- Sharan, M., Yadav, K.Y., 1998, Simulation of Diffusion Experiments Under Light Wind, Stabil Conditions by a Variable K-Theory Model, Atmospheric Enviroment, V 32, N 20, 3481-3492.
- Sivacoumar, R., Bhanarkar, A.D., Goyal, S.K., Gadkari, S.K., Aggarwal, A.L., 2001, Air Pollution Modeling for an Industrial Complex and Model Performance Evaluation, Atmospheric Enviromental, V 111, 471-477.
- Tübitak, 2003, Enerji ve Doğalgaz Kaynaklar Raporu,3-8.
- Tünay, O., Alp, K., 1996, Hava Kirlenmesi Kontrolü, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, 84-123.
- Türk Mühendisler ve Mimarlar Odası 2006 yılı enerji raporu,18-24.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Wang, L., Parker, D.B., Parnell, C.B., Lacey, R.E., Shaw, B.W., 2006, Comparison of CALPUFF and ISCST3 Models for Predicting Downwind Odor and Source Emission Rates, Atmospheric Environment, V 40, 4663-4669.

Wark, K., Warner, C.F., Davis, W.T., 1998, Air Pollution, An Imprint of Addison Wesley Longman, Inc. Editions, 109-177.

www.ajdesigner.com

www.csiro.au

www.dpt.gov.tr

www.eie.gov.tr

www.ekimya.com

www.eosb.gov.tr

www.epa.gov

www.igdas.com.tr

www.iletisim.net

www.tusiad.org

www.odew.net

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

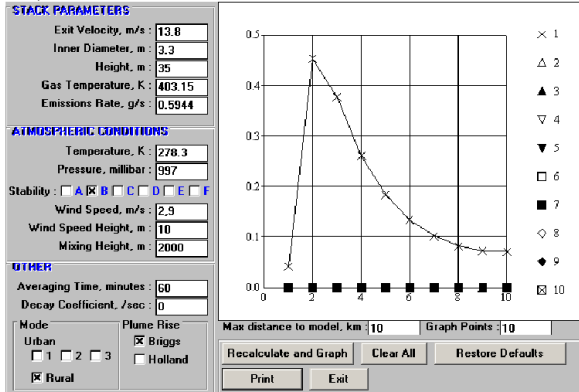
Yegnan, A., Williamson, D.G., Graettinger, A.J., 2002, Uncertainly Analysis in Air Dispersion Modeling, Enviromental Modelling & Software, V 17, 639-649.

Zannetti, P., 1990, Air Pollution Modeling, Computational Mechanics Publications, chapt. 4, 6, 7, 8, 9, 10.

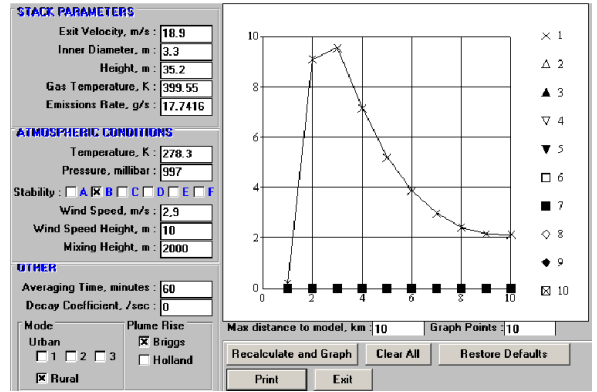
ÖZGEÇMİŞ

Serdar Arar, 25.02.1976'da Eskişehir'de doğdu. 1993 yılında Eskişehir Atatürk Lisesi'nde orta öğrenimini tamamladı. Aynı yıl Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne girdi. 1998 yılında mezun olduktan sonra Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2001 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamlayan Serdar Arar, 2002 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora öğrenimine başladı. Halen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmakta olup, bekardır.

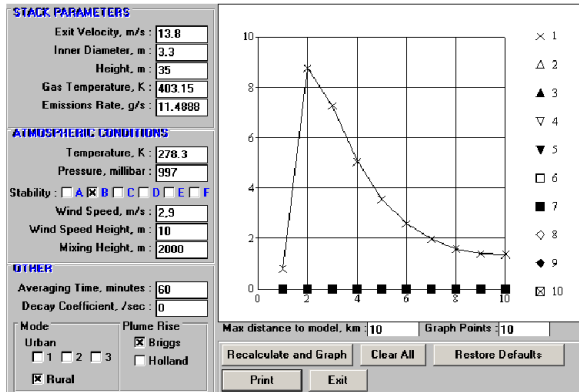
A-)ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ



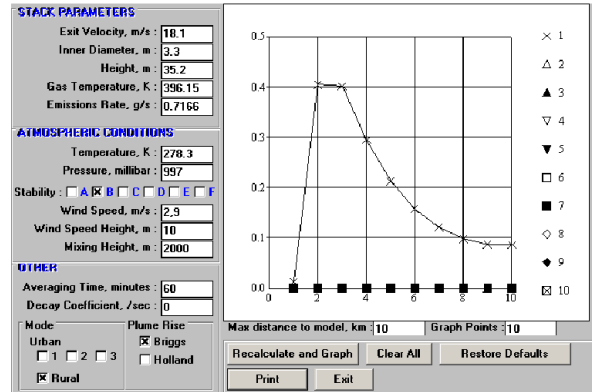
Endüstriyel Enerji A.Ş. 1 Nolu Çıkış
Bacası CO dispersiyon grafiği



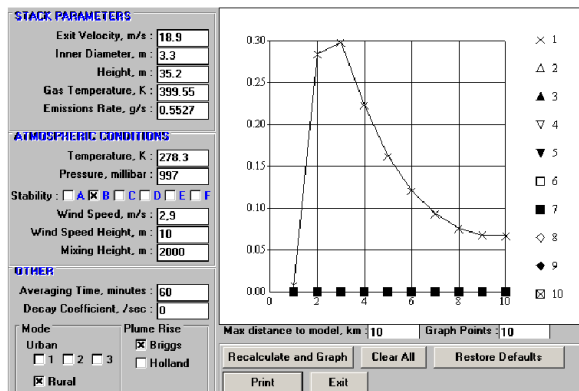
Endüstriyel Enerji A.Ş. 2 Nolu Çıkış
Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



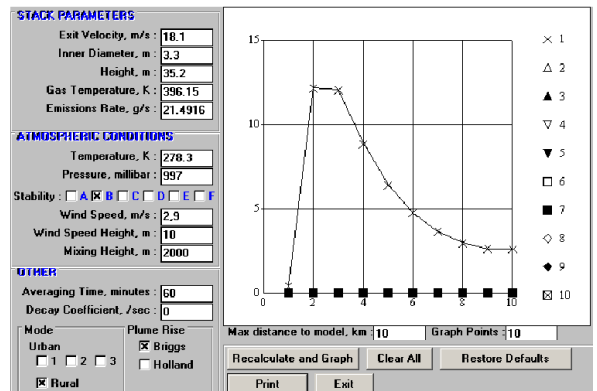
Endüstriyel Enerji A.Ş. 1 Nolu Çıkış
Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



Endüstriyel Enerji A.Ş. 3 Nolu Çıkış
Bacası CO dispersiyon grafiği

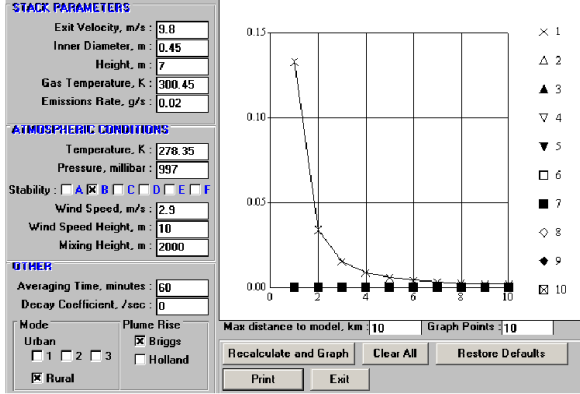


Endüstriyel Enerji A.Ş. 2 Nolu Çıkış
Bacası CO dispersiyon grafiği

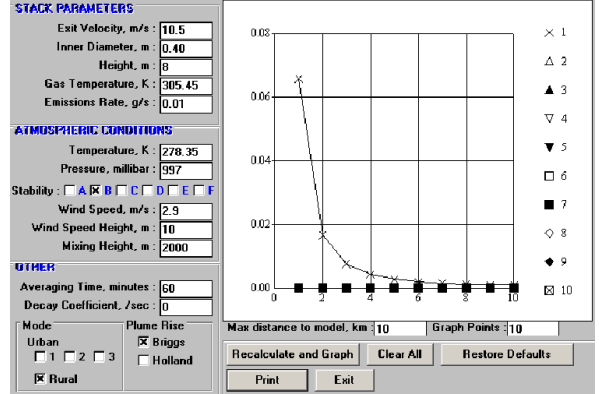


Endüstriyel Enerji A.Ş. 3 Nolu Çıkış
Bacası NO₂ dispersiyon grafiği

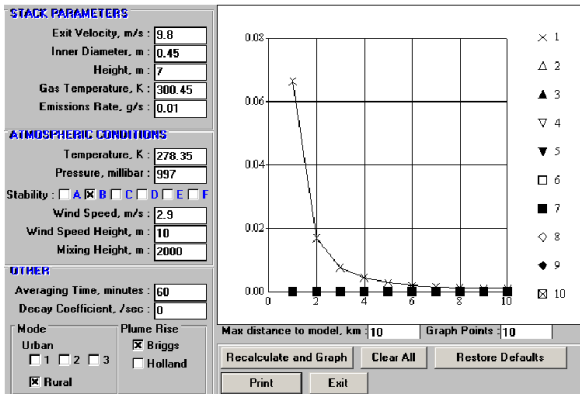
B-) METAL-MAKİNA SANAYİ



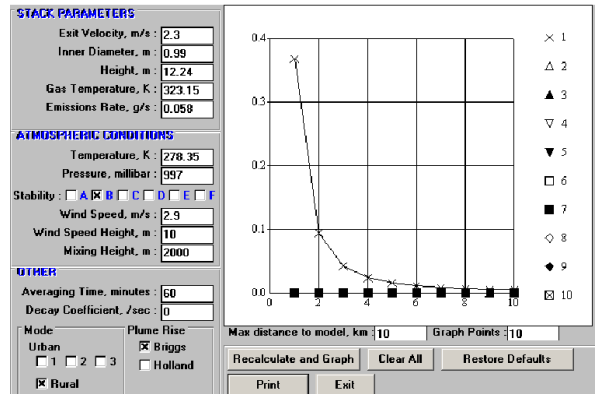
Ergünler Pres Döküm Kalıp Mak.San.A.Ş.'ye ait CO disp. grafiği



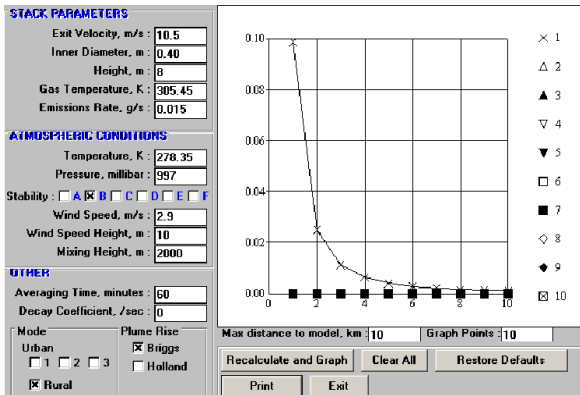
Deniz Döküm San.ve Tic. A.Ş.'ye ait NO₂ dispersiyon grafiği



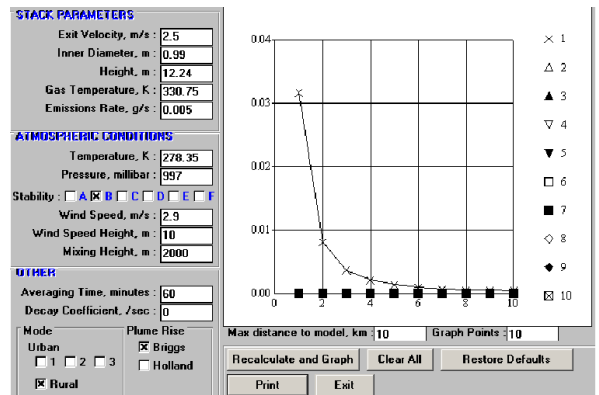
Ergünler Pres Döküm Kalıp Mak.San.A.Ş.'ye ait NO₂ disp. grafiği



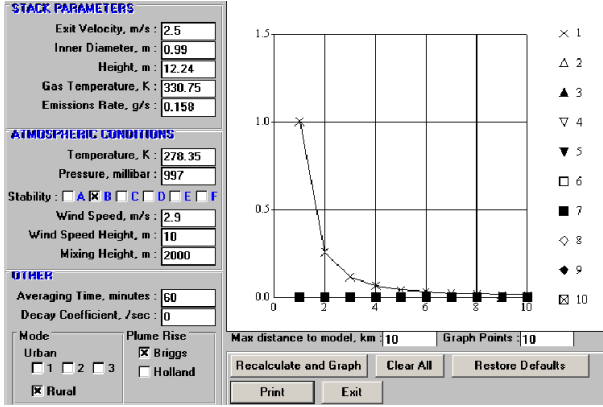
ICF-1 Nolu kazanın NO₂ dispersiyon grafiği



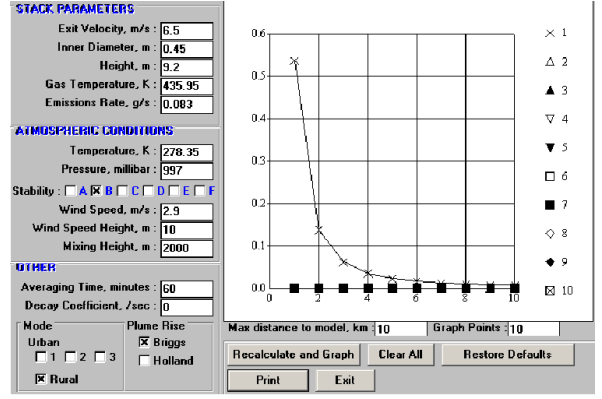
Deniz Döküm San.ve Tic. A.Ş.'ye ait CO dispersiyon grafiği



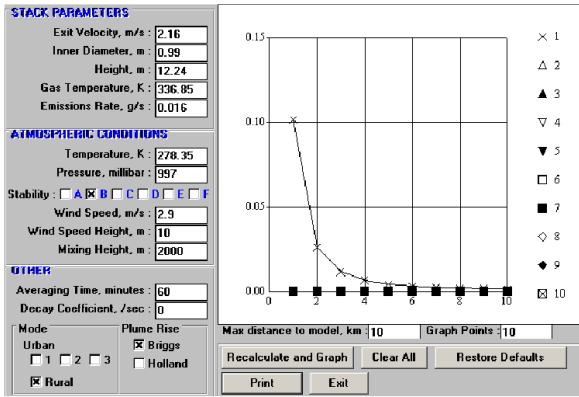
ICF-2 Nolu kazanın CO dispersiyon grafiği



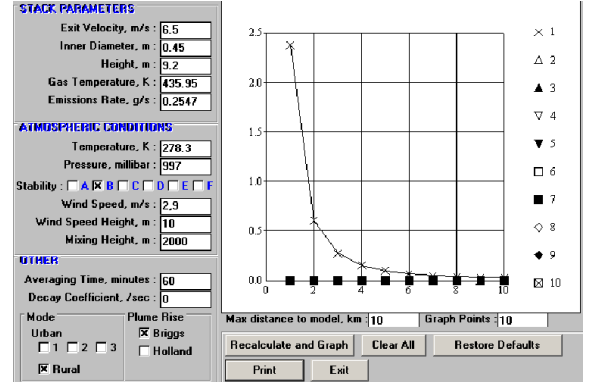
ICF-2 Nolu kazanın NO₂ dispersiyon grafiği



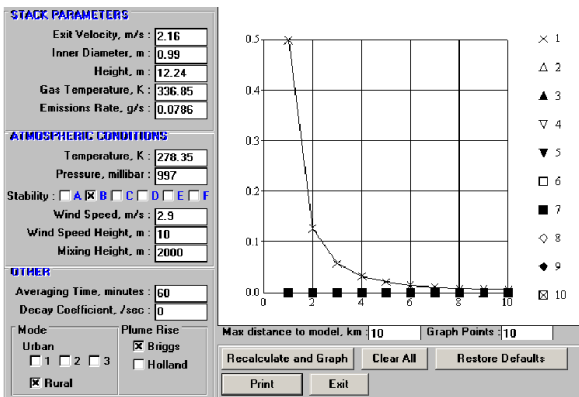
JAMAK Boya Kurutma ve Pişirme Fırını CO dispersiyon grafiği



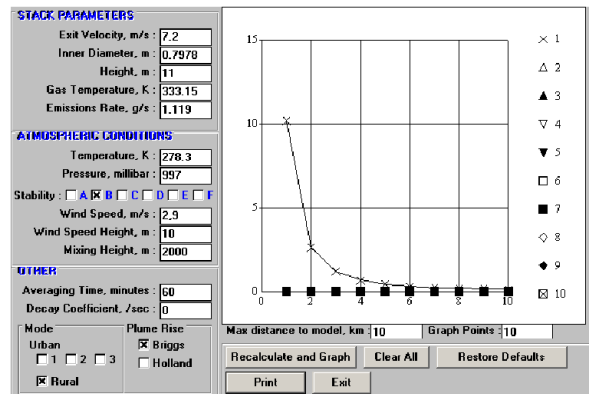
ICF-3 Nolu kazanın CO dispersiyon grafiği



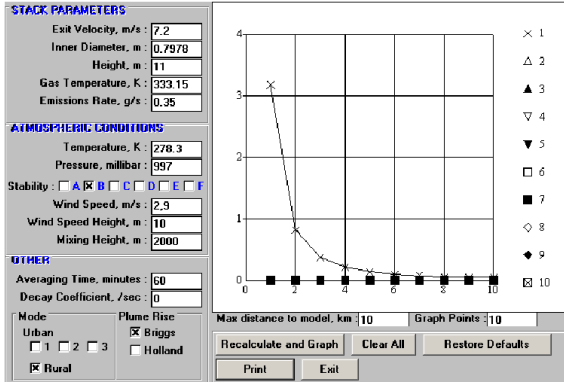
JAMAK Boya Kurutma ve Pişirme Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



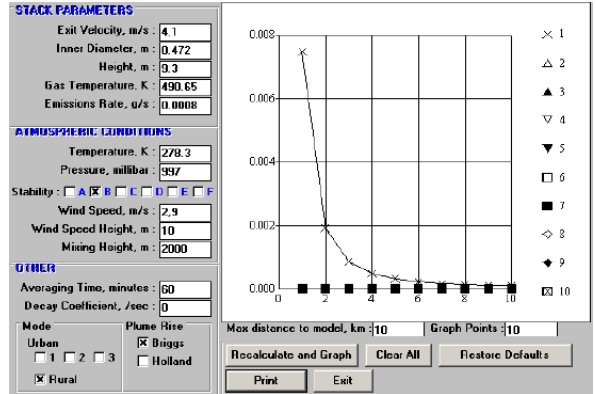
ICF-3 Nolu kazanın NO₂ dispersiyon grafiği



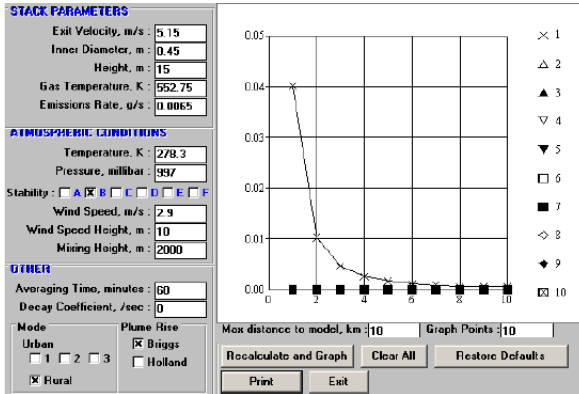
JAMAK Kalorifer kazanı CO dispersiyon grafiği



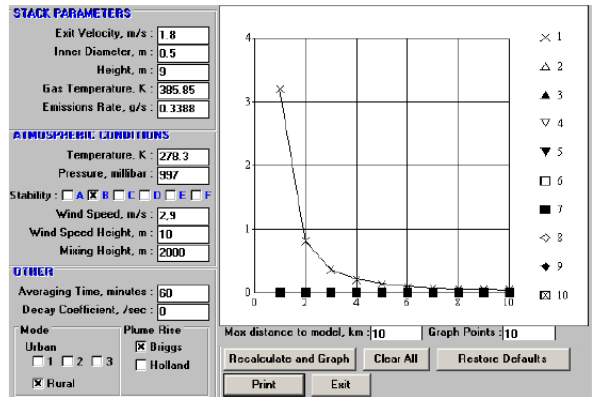
JAMAK Kalorifer kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



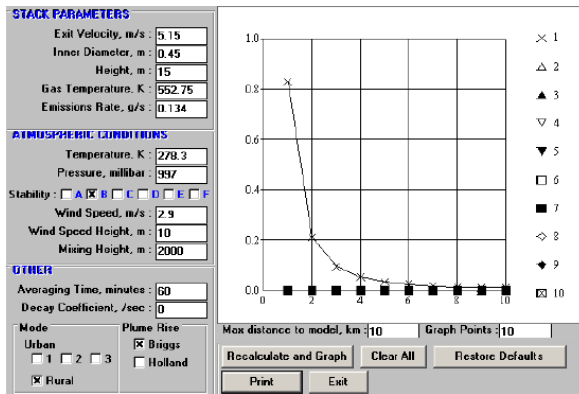
Esco Emaye Döküm İmalat Sanayi NO₂ dispersiyon grafiği



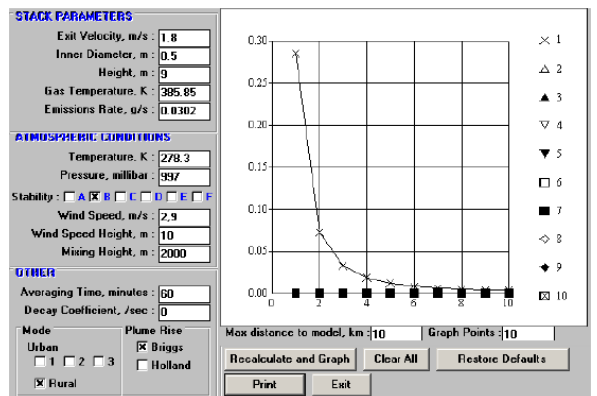
Ecem Isı gereçleri CO dispersiyon grafiği



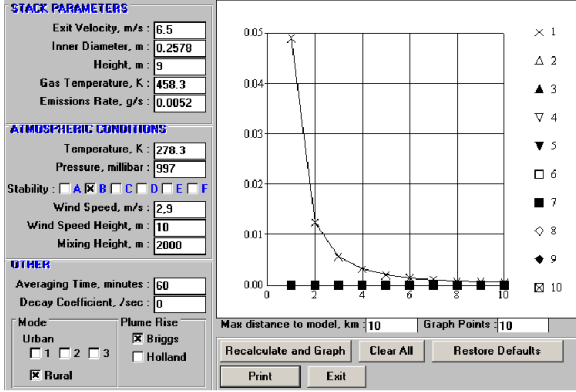
Durali Emaye Soba Sanayi CO dispersiyon grafiği



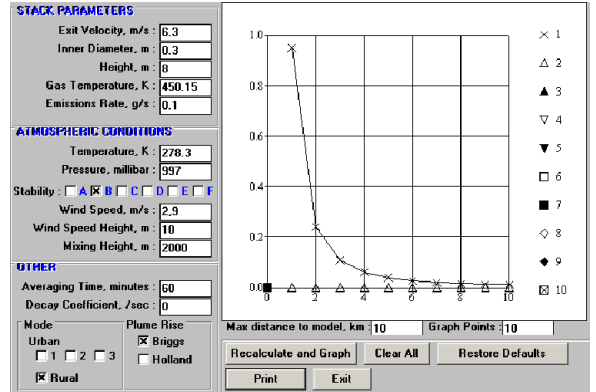
Ecem Isı gereçleri NO₂ dispersiyon grafiği



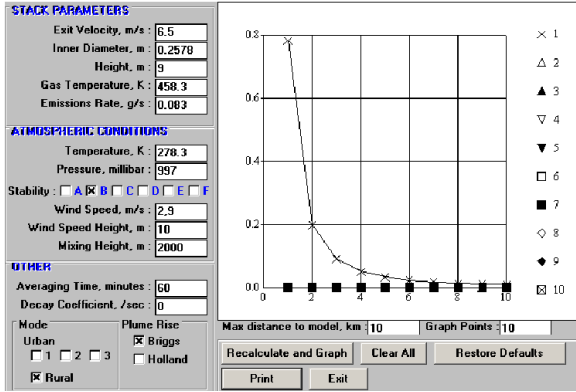
Durali Emaye Soba Sanayi NO₂ dispersiyon grafiği



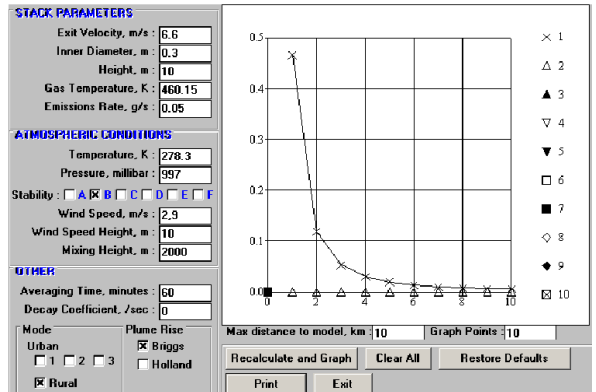
Özçancı Emaye Isı Mamulleri
San.Tic.A.Ş. CO dispersiyon grafiği



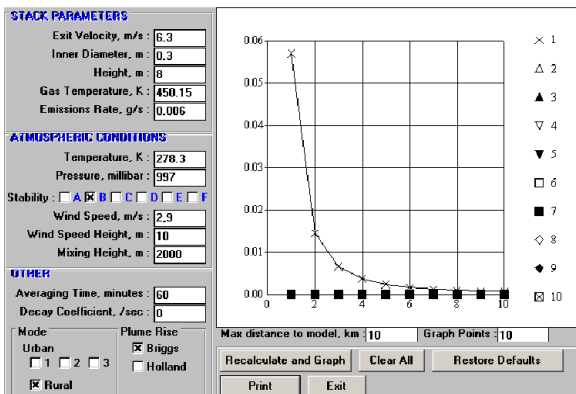
Pim Makina San.Tic.A.Ş. NO₂
dispersiyon grafiği



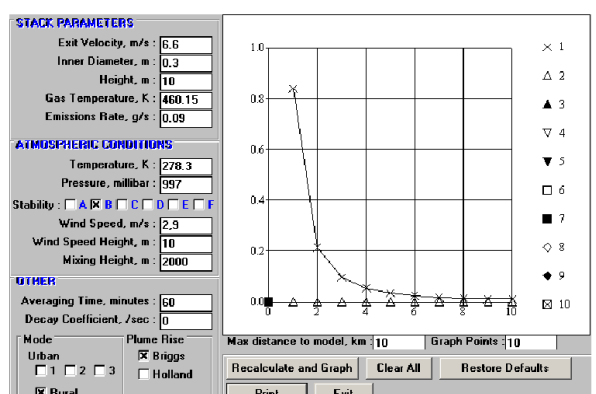
Özçancı Emaye Isı Mamulleri
San.Tic.A.Ş. NO₂ dispersiyon grafiği



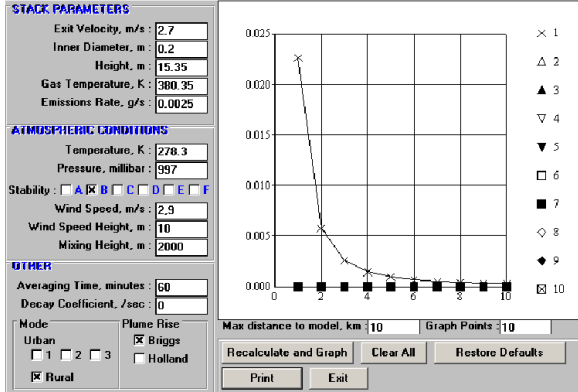
Alpes Elektrik Teks.San.Tic.A.Ş. CO
dispersiyon grafiği



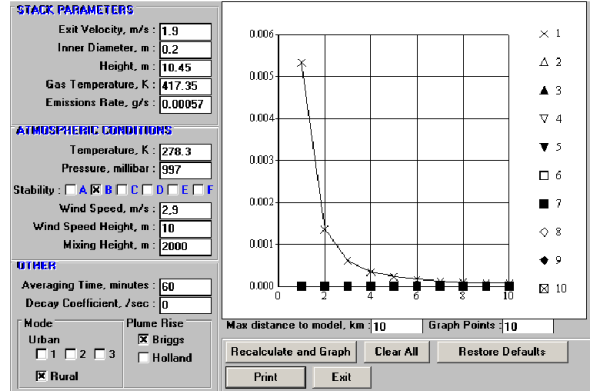
Pim Makina San.Tic.A.Ş. CO dispersiyon
grafiği



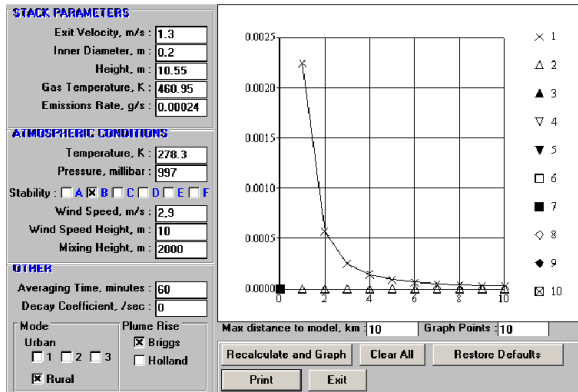
Alpes Elektrik Teks.San.Tic.A.Ş. NO₂
dispersiyon grafiği



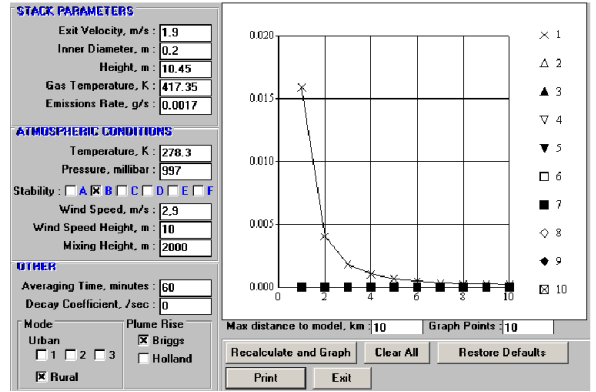
Yükseliş Makina San.Tic.A.Ş. 1 Nolu Sıcak Su kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



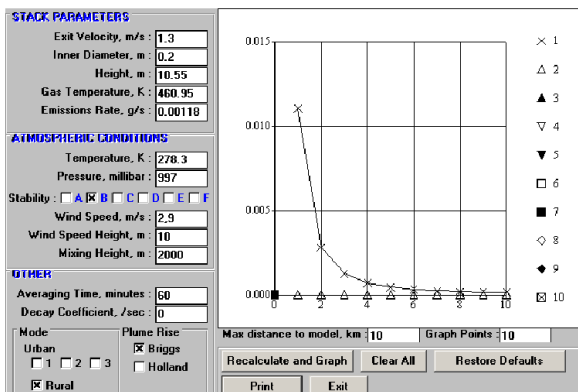
Yükseliş Makina San.Tic.A.Ş. Toz Boya Pişirme Fırını CO dispersiyon grafiği



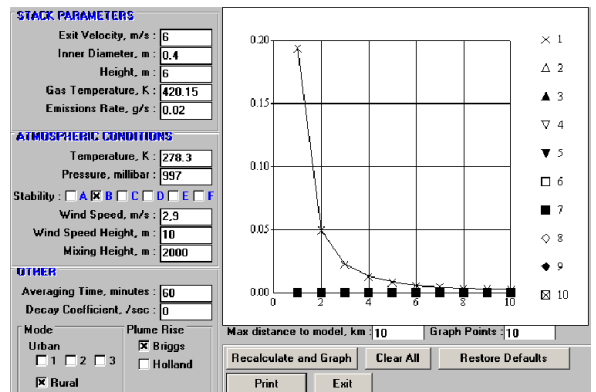
Yükseliş Makina San.Tic.A.Ş. 1 Nolu Sıcak Su kazanı CO dispersiyon grafiği



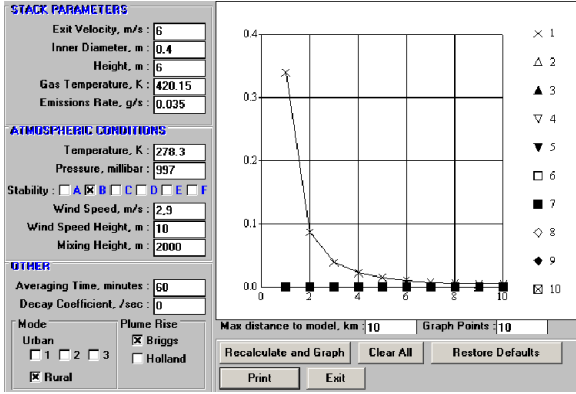
Yükseliş Makina San.Tic.A.Ş. Toz Boya Pişirme Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



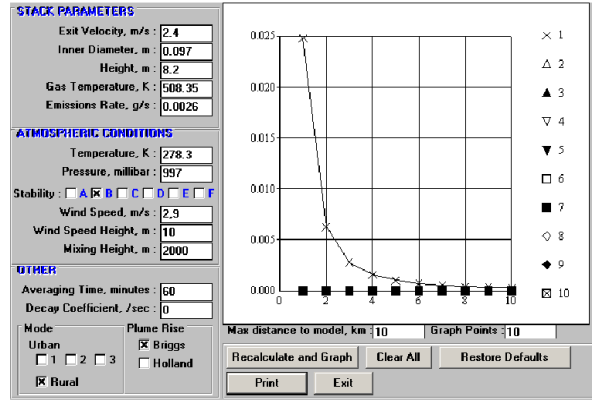
Yükseliş Makina San.Tic.A.Ş. 1 Nolu Sıcak Su kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



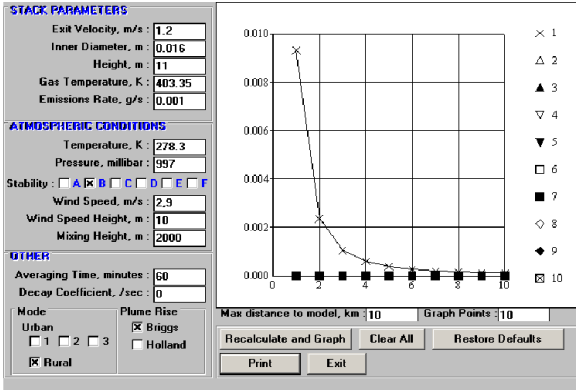
Şahlan Kabin Makine San.Tic.A.Ş. CO dispersiyon grafiği



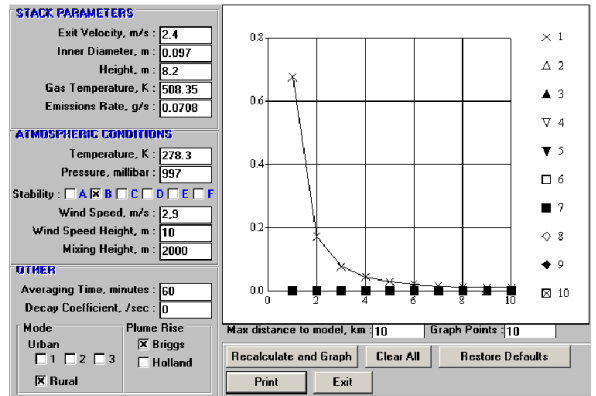
Şahlan Kabin Makine San. Tic. A.Ş. NO₂ dispersiyon grafiği



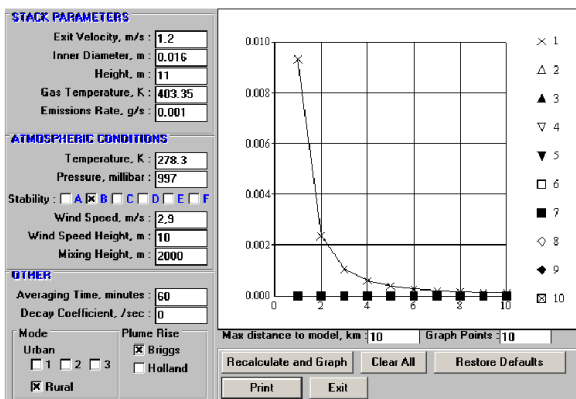
Arıkan Kriko ve Makine San. Tic. A.Ş. Boya Fırını CO dispersiyon grafiği



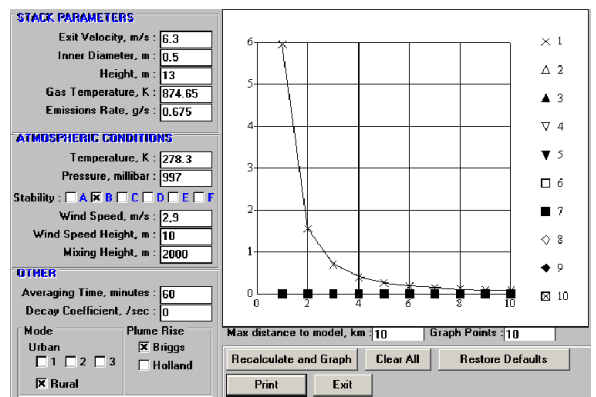
Arıkan Kriko ve Makine San. Tic. A.Ş. Sıcak Su Kazanı CO dispersiyon grafiği



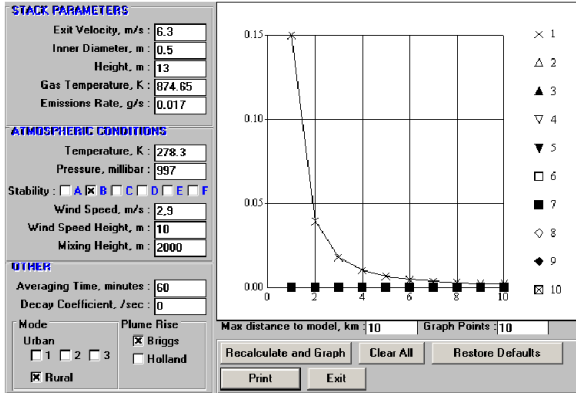
Arıkan Kriko ve Makine San. Tic. A.Ş. Boya Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



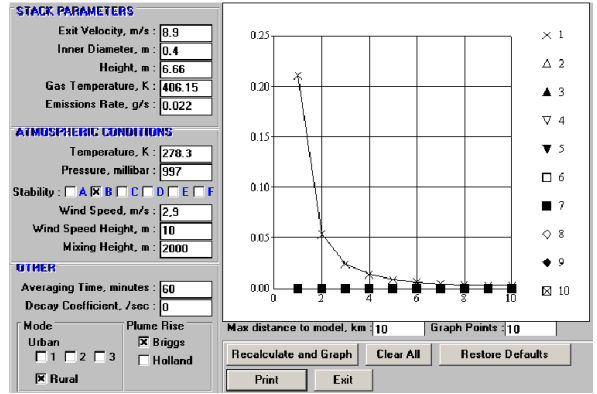
Arıkan Kriko ve Makine San. Tic. A.Ş. Sıcak Su Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



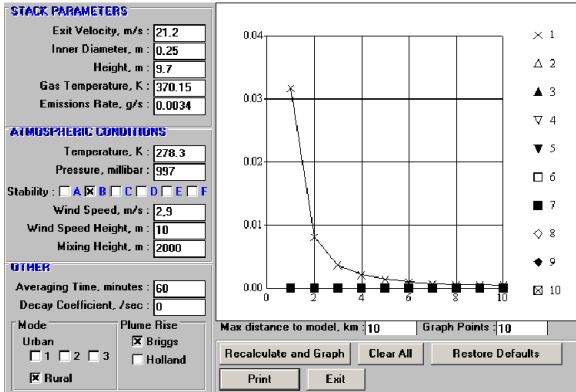
Tezsan Makina San. Tic. Ltd. Şti. CO dispersiyon grafiği



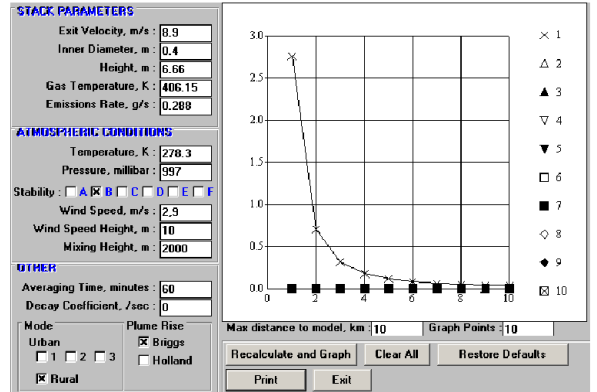
Tezsan Makina San.Tic.Ltd.Şti. NO₂ dispersiyon grafiği



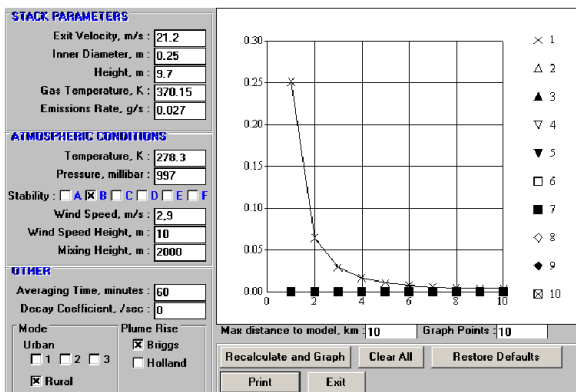
Konveyor A.Ş. V1 Bacası CO dispersiyon grafiği



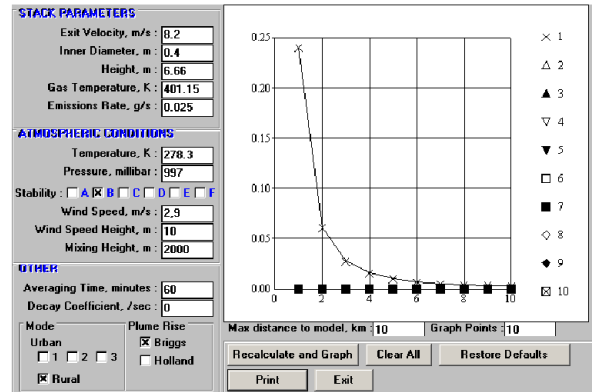
Botel Bobin Teli Kablo San.ve Tic.A.Ş. CO dispersiyon grafiği



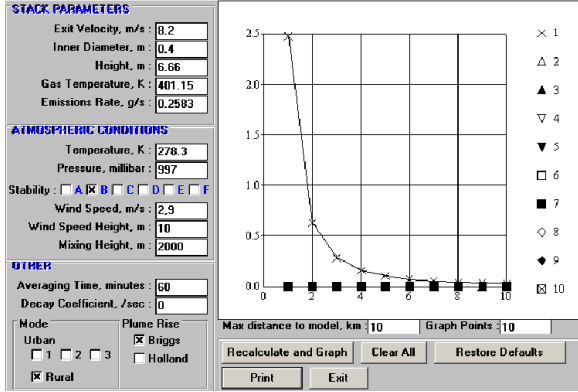
Konveyor A.Ş. V1 Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



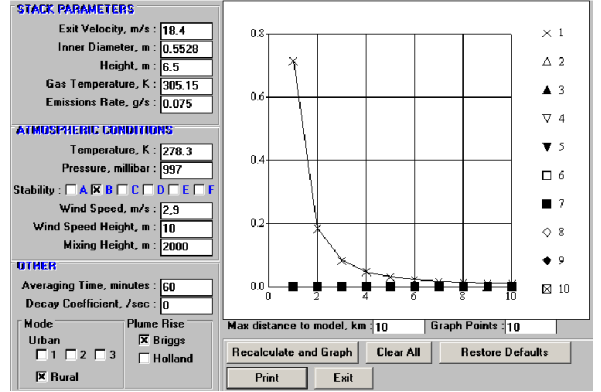
Botel Bobin Teli Kablo San.ve Tic.A.Ş. NO₂ dispersiyon grafiği



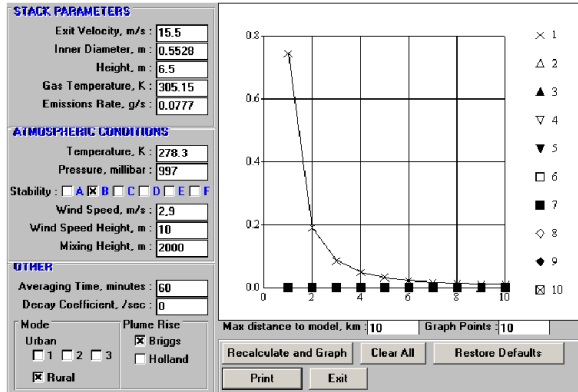
Konveyor A.Ş. V2 Bacası CO dispersiyon grafiği



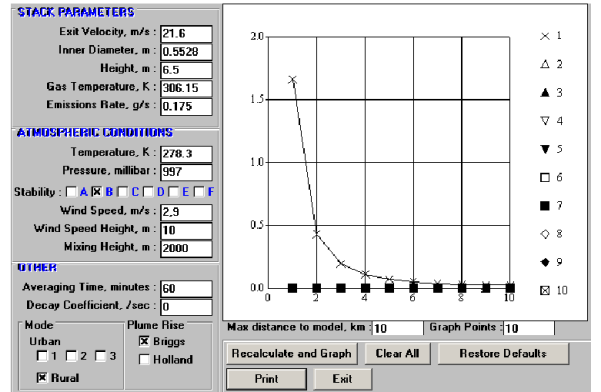
Konveyor A.Ş. V2 Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



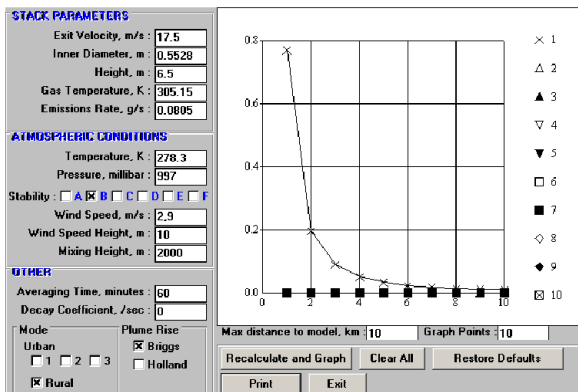
Konveyor A.Ş. B3 Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



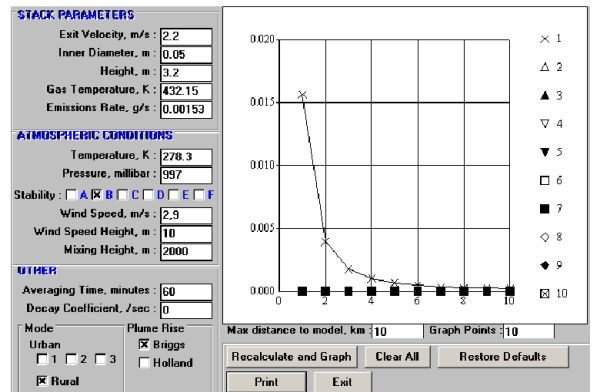
Konveyor A.Ş. B1 Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



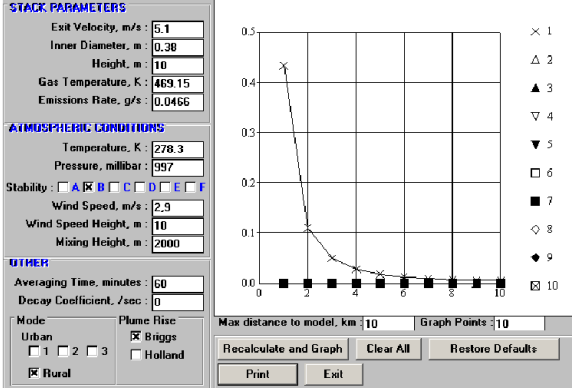
Konveyor A.Ş. B4 Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



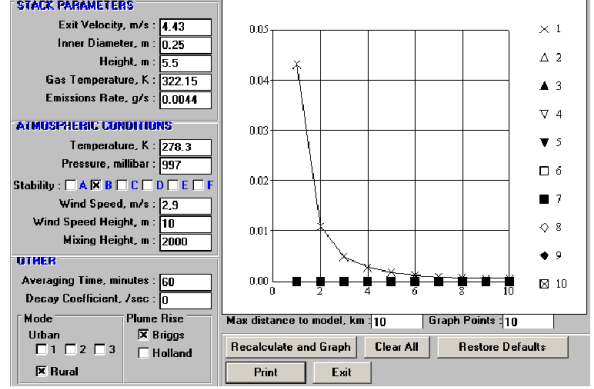
Konveyor A.Ş. B2 Bacası NO₂ dispersiyon grafiği



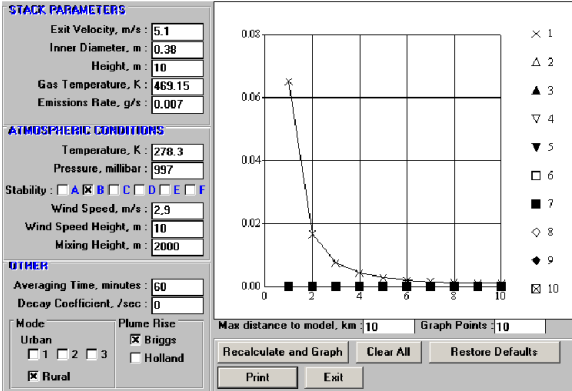
Yakaboyu Kabin A.Ş. NO₂ dispersiyon grafiği



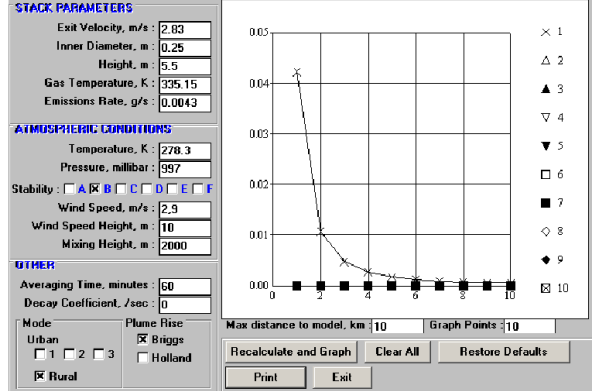
Yıldız Metal Makina San.Tic.Ltd.Şti. 1 Nolu Ergitme Ocağı CO disp. grafiği



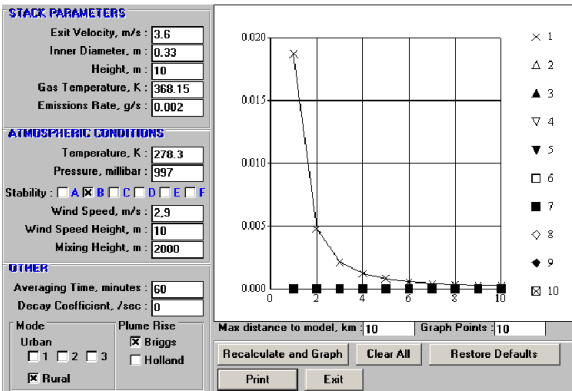
Eti Makina San.veTic.A.Ş. 1 Nolu Sıcak Su Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



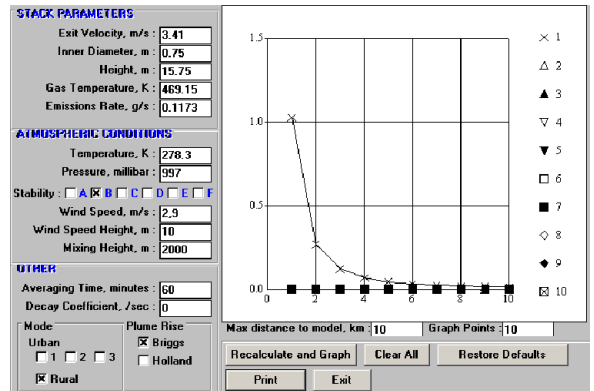
Yıldız Metal Makina San.Tic.Ltd.Şti. 1 Nolu Ergitme Ocağı NO₂ disp. Grafiği



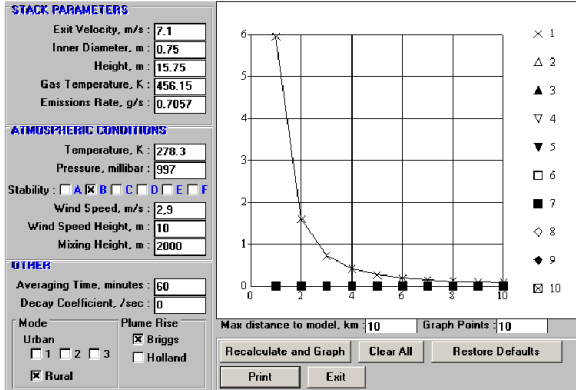
Eti Makina San.veTic.A.Ş. 2 Nolu Sıcak Su Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



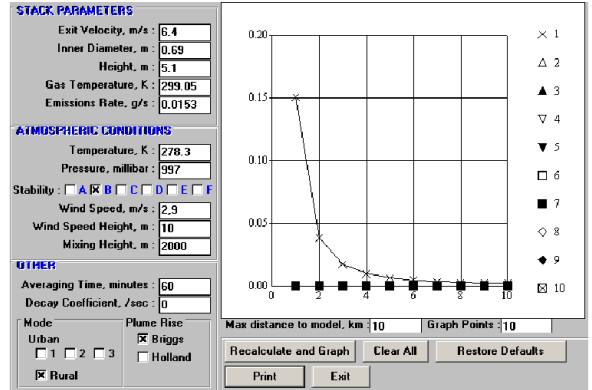
Yıldız Metal Makina San.Tic.Ltd.Şti. 2 Nolu Ergitme Ocağı NO₂ dispersiyon grafiği



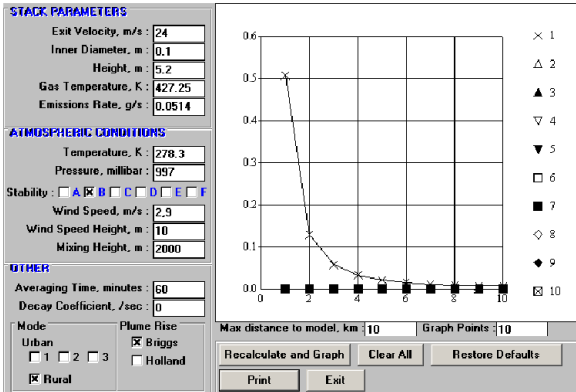
OMK San.A.Ş. 1 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



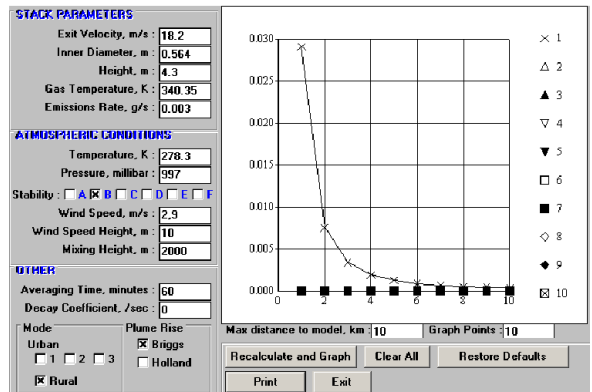
OMK San.A.Ş. 2 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



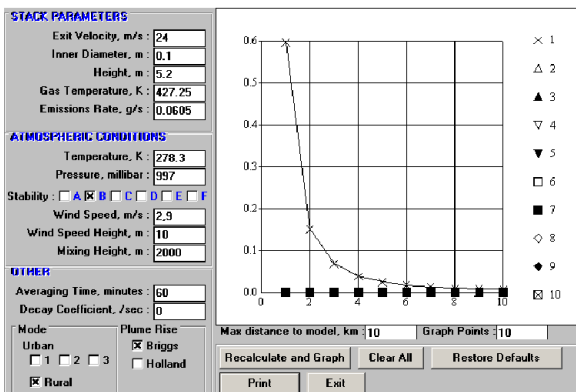
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi Rotor Döküm CO dispersiyon grafiği



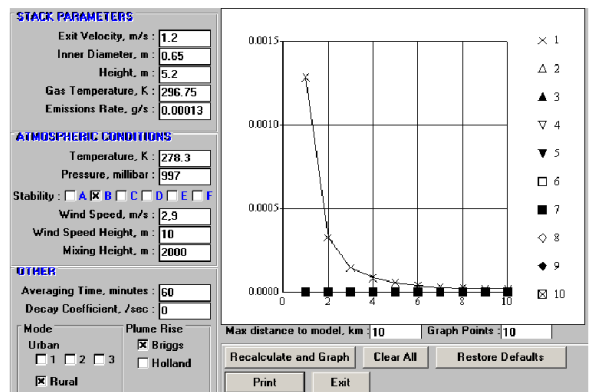
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi Dizel Jeneratör CO dispersiyon grafiği



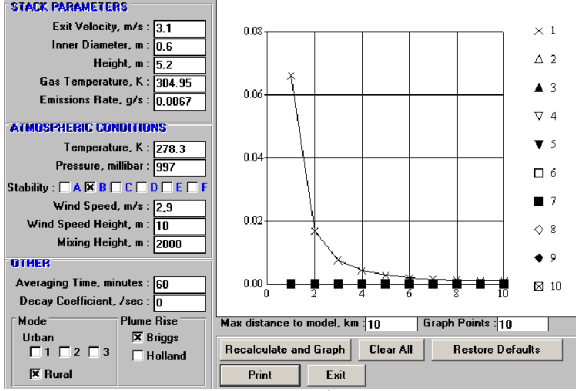
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi TCS Pota CO dispersiyon grafiği



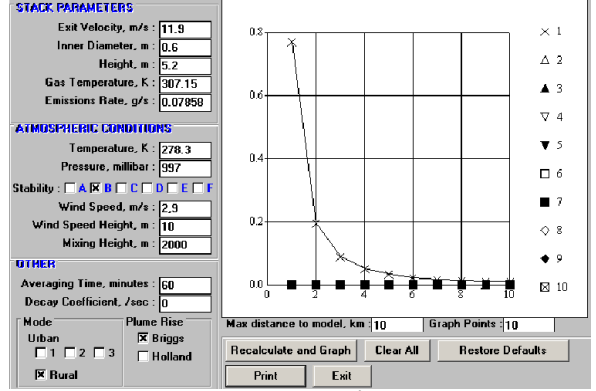
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi Dizel Jeneratör NO₂ dispersiyon grafiği



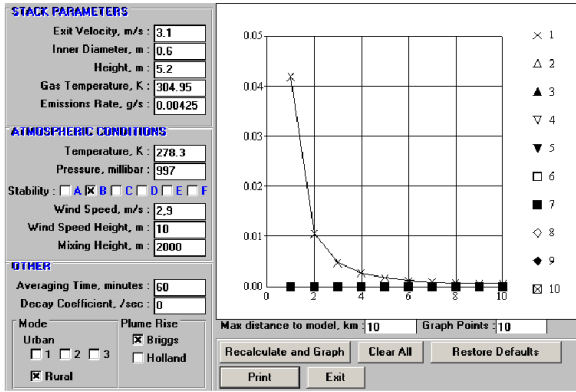
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Alt Muhafaza Kaynak Hattı CO dispersiyon grafiği



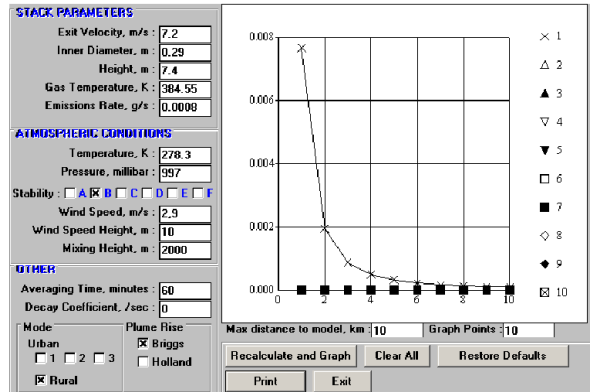
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Alt Muhafaza Kaynak Hattı CO dispersiyon grafiği



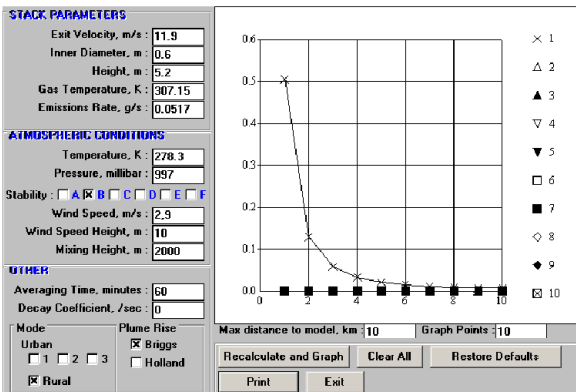
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 3 Nolu Alt Muhafaza Kaynak Hattı NO₂ dispersiyon grafiği



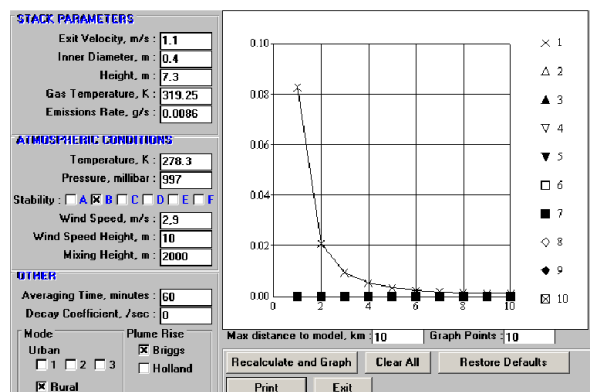
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Alt Muhafaza Kaynak Hattı NO₂ dispersiyon grafiği



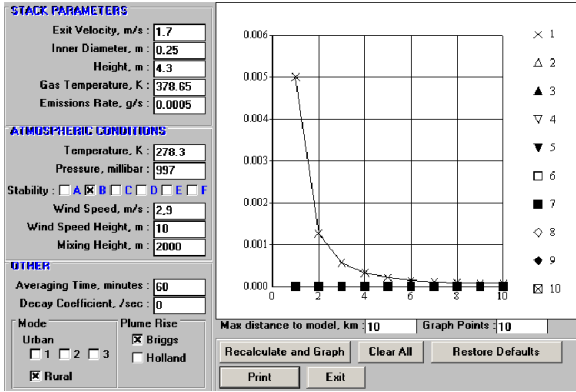
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Manyetik Tavlama Fırını CO dispersiyon grafiği



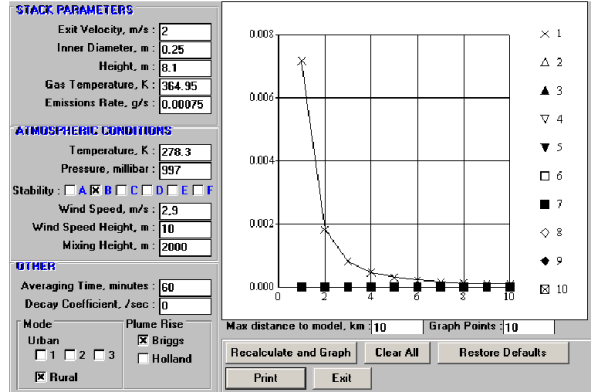
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 3 Nolu Alt Muhafaza Kaynak Hattı CO dispersiyon grafiği



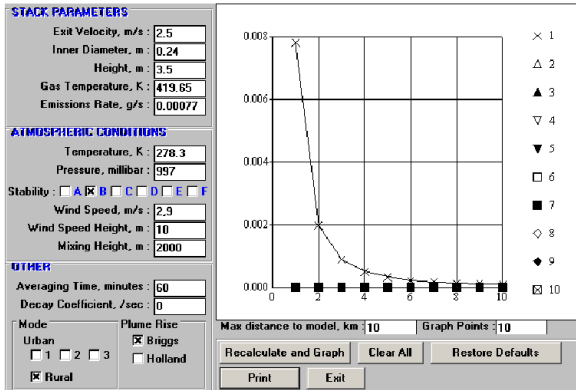
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Manyetik Tavlama Fırını CO dispersiyon grafiği



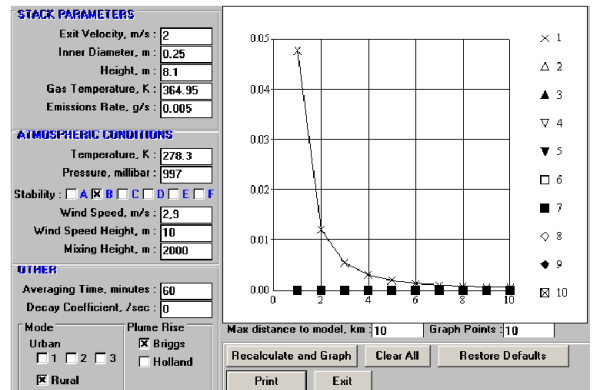
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Çinko Kurutma Fırını CO disp. Grafiği



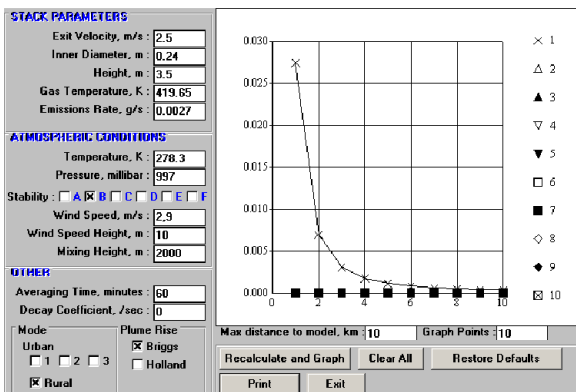
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Nem Alma Fırını CO disp. Grafiği



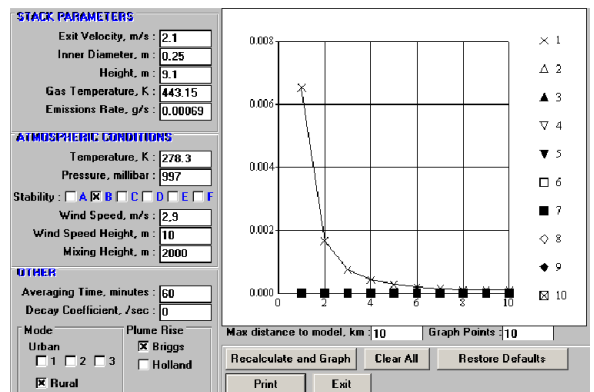
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Çinko Kurutma Fırını CO disp. grafiği



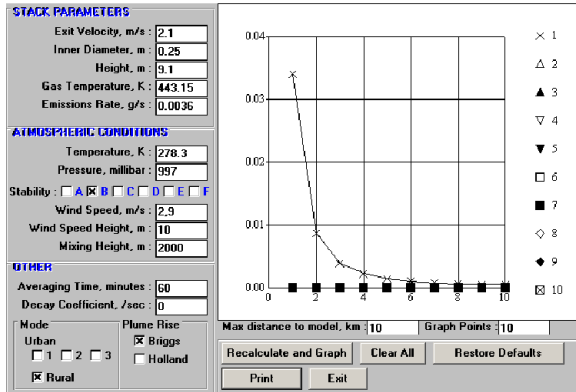
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Nem Alma Fırını NO₂ disp. grafiği



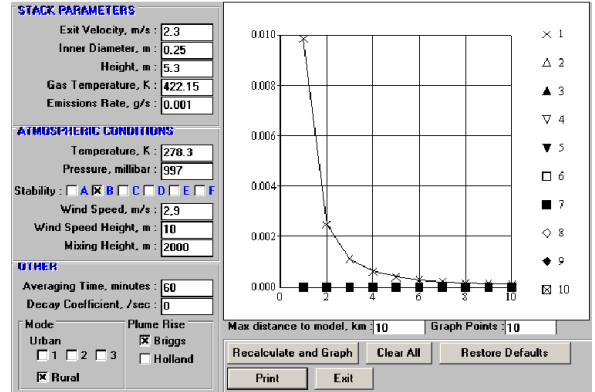
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Çinko Kurutma Fırını NO₂ disp. grafiği



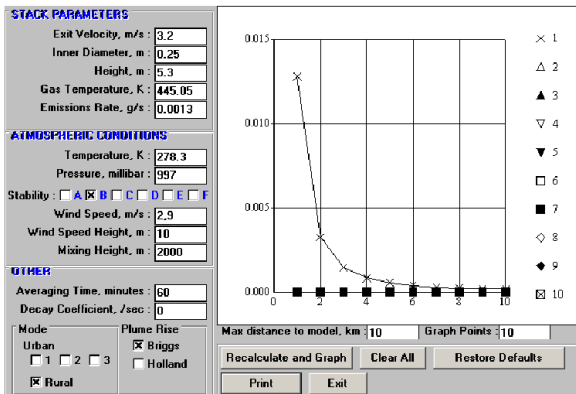
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Nem Alma Fırını CO disp. grafiği



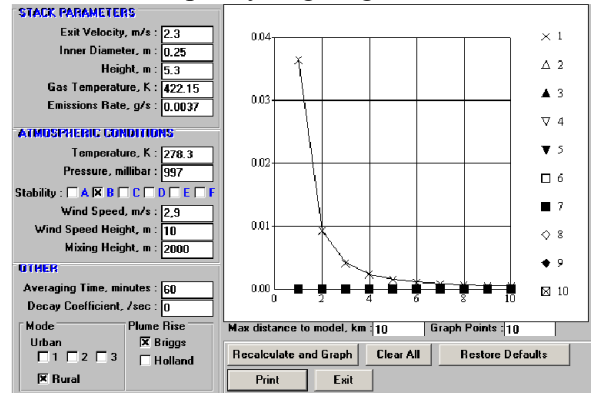
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Nem Alma Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



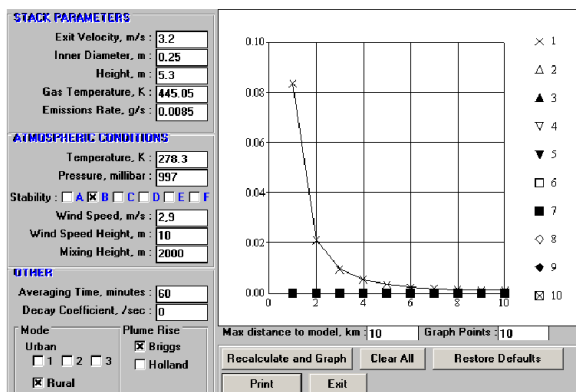
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Boya Kurutma Fırını CO dispersiyon grafiği



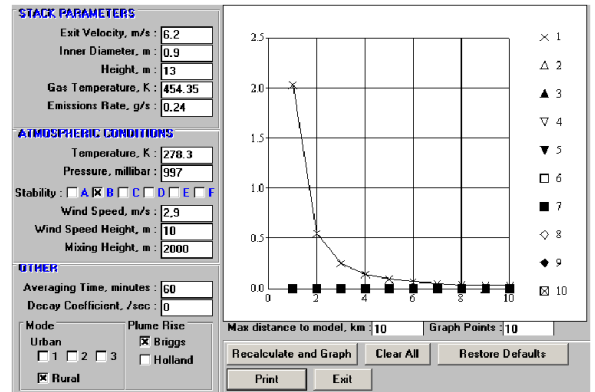
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Boya Kurutma Fırını CO dispersiyon grafiği



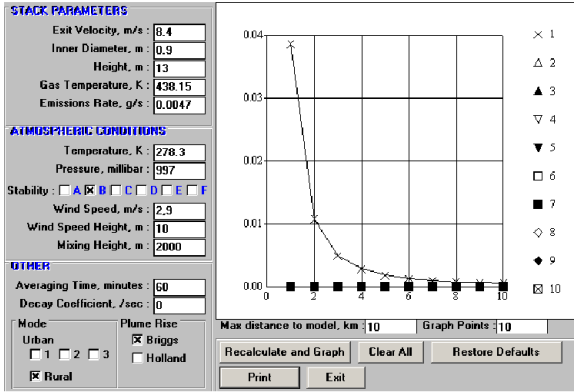
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 2 Nolu Boya Kurutma Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



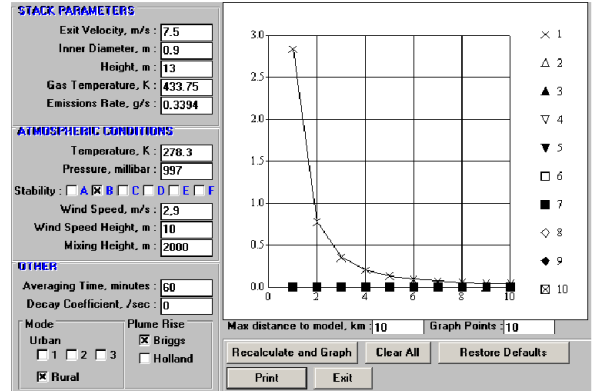
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi 1 Nolu Boya Kurutma Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



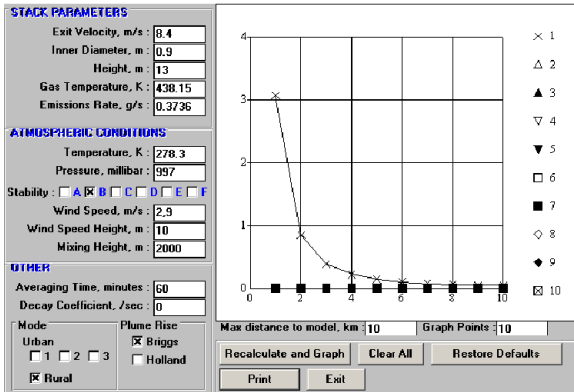
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 1 Nolu Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



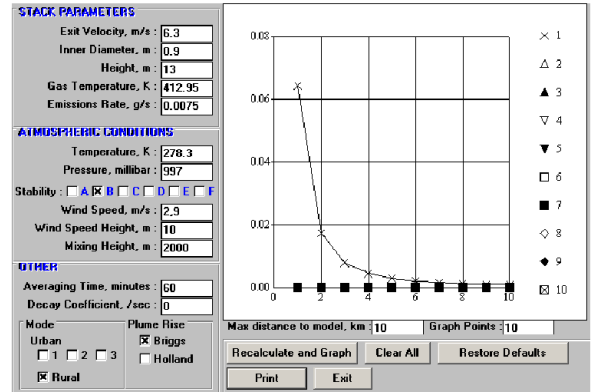
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 2 Nolu
Kazan CO dispersiyon grafiği



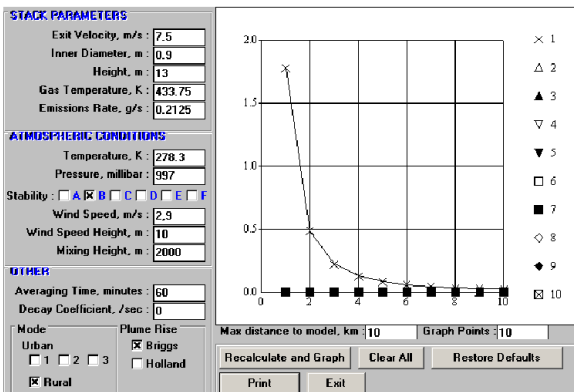
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 3 Nolu
Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



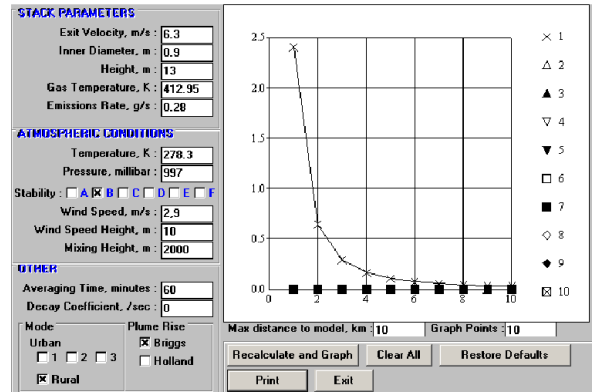
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 2 Nolu
Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



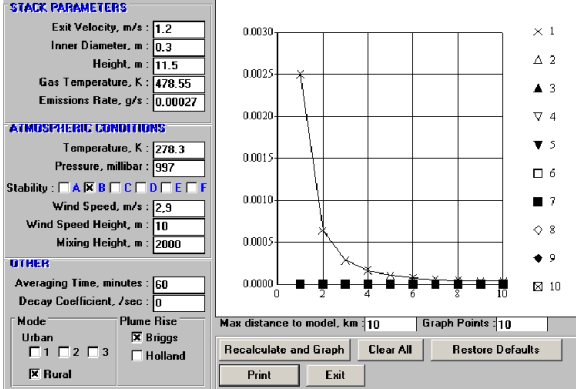
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 4 Nolu
Kazan CO dispersiyon grafiği



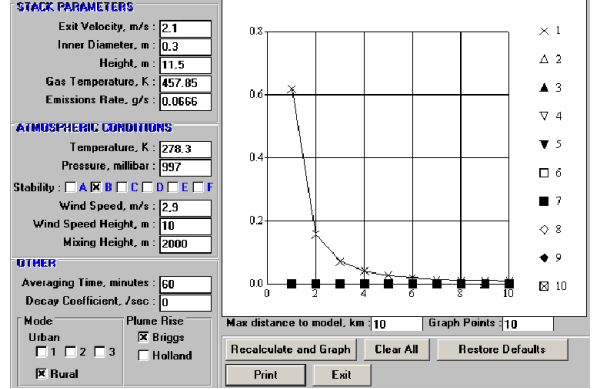
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 3 Nolu
Kazan CO dispersiyon grafiği



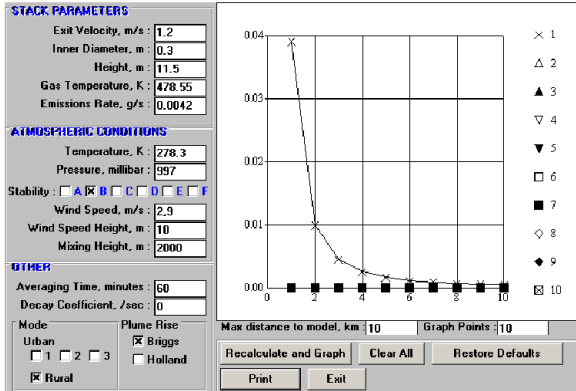
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 4 Nolu
Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



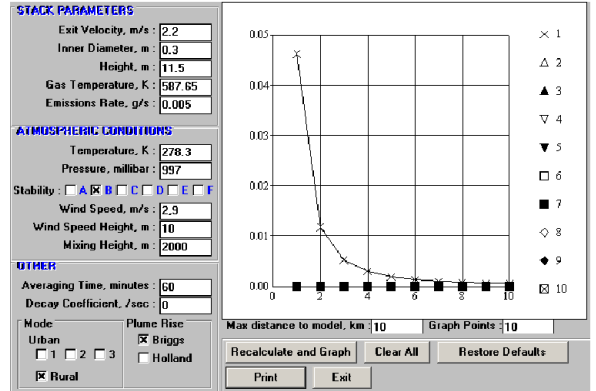
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 1 Nolu Boyahane Pişirme Fırını CO disp. grafiği



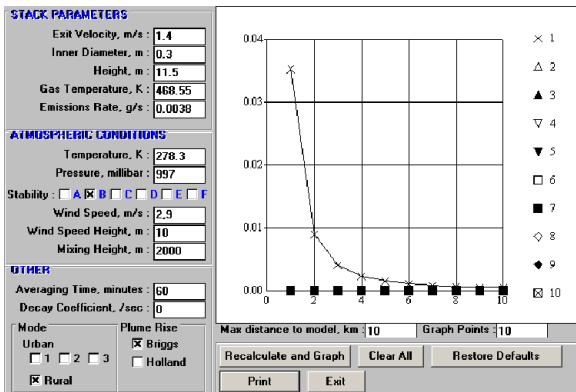
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi Boyahane Kurutma Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



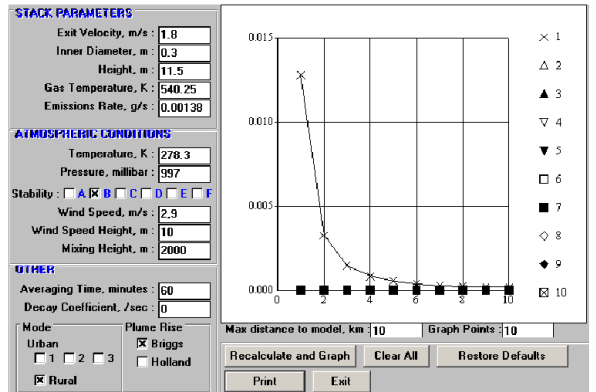
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 1 Nolu Boyahane Pişirme Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



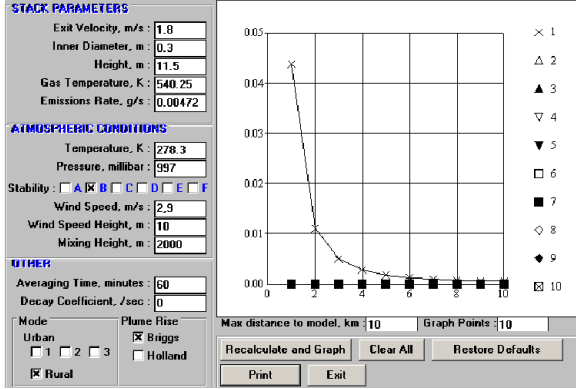
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 1 Nolu Kapı Boyahane Kurutma Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



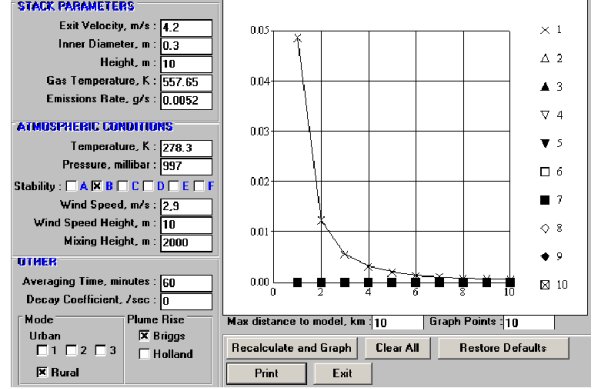
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 2 Nolu Boyahane Pişirme Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



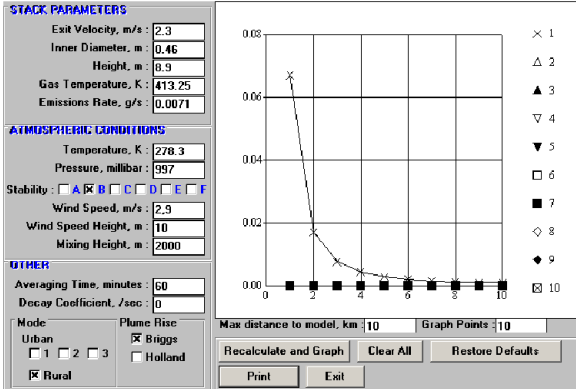
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 2 Nolu Kapı Boyahane Kurutma Fırını CO dispersiyon grafiği



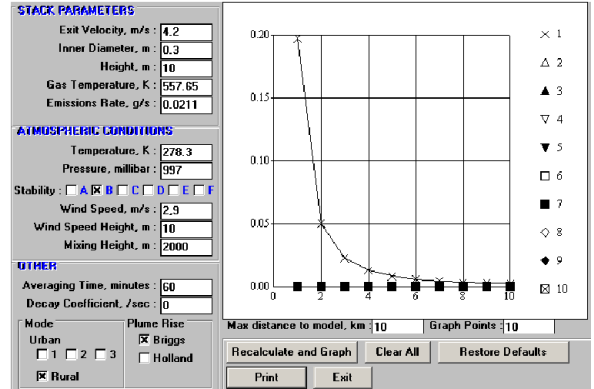
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi 2 Nolu Kapı Boyahane Kurutma Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



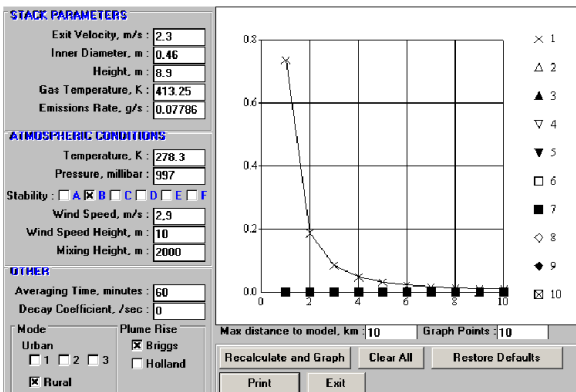
Turan Tarım Makinaları A.Ş. 1 Nolu Tav Fırını CO dispersiyon grafiği



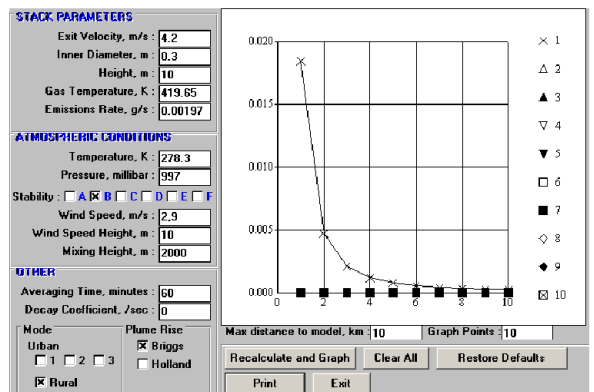
Turan Tarım Makinaları A.Ş. Kalorifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



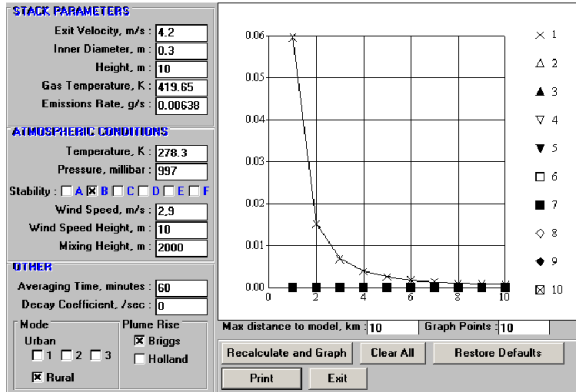
Turan Tarım Makinaları A.Ş. 1 Nolu Tav Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



Turan Tarım Makinaları A.Ş. Kalorifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği

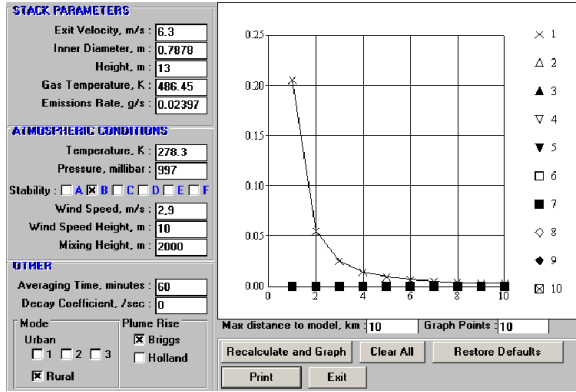


Turan Tarım Makinaları A.Ş. 2 Nolu Tav Fırını CO dispersiyon grafiği

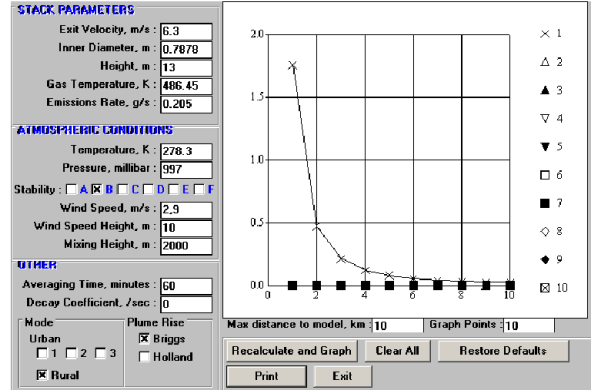


Turan Tarım Makinaları A.Ş. 2 Nolu Tav
Fırını NO₂ dispersiyon grafiği

C-) TEKSİL VE HAZIR GIYİM SANAYİ

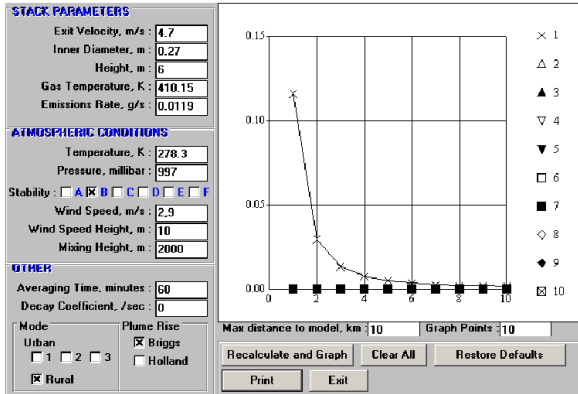


Orkun Giyim Buhar Kazanı CO
dispersiyon grafiği

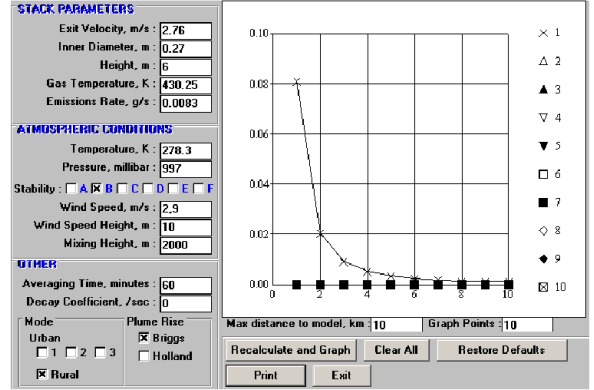


Orkun Giyim Buhar Kazanı NO₂
dispersiyon grafiği

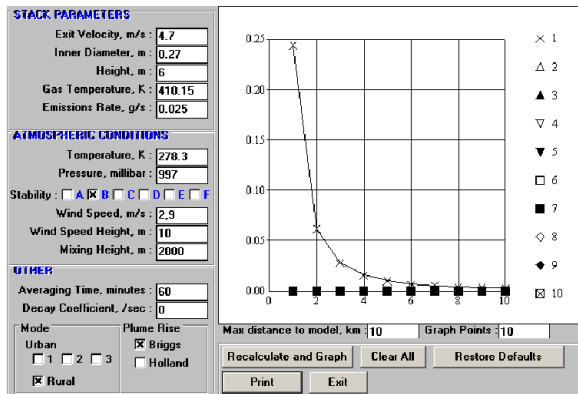
D-) GIDA SANAYİ



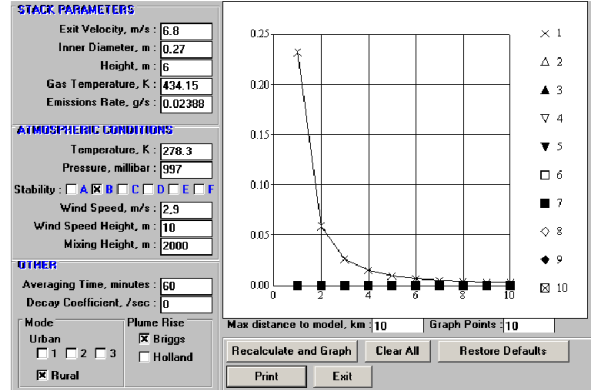
Eti Büsküü 1 Nolu Fırın 1Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



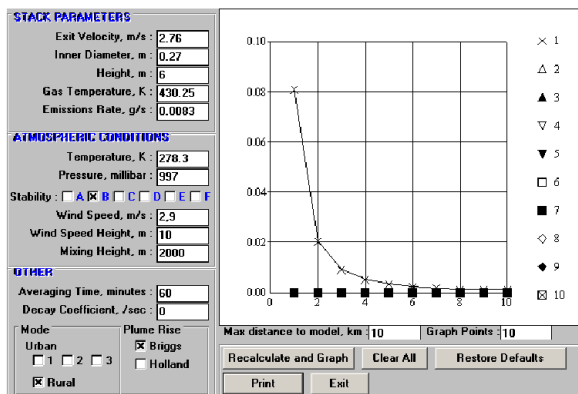
Eti Büsküü 1 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



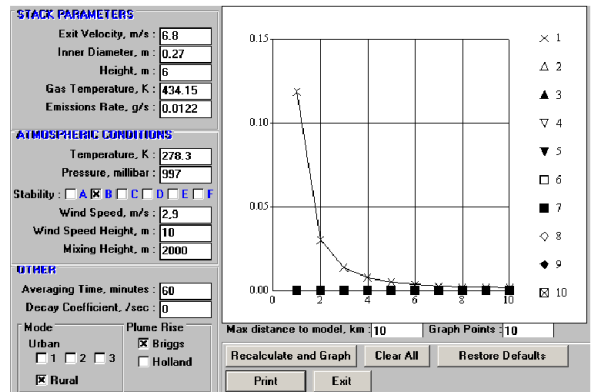
Eti Büsküü 1 Nolu Fırın 1Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



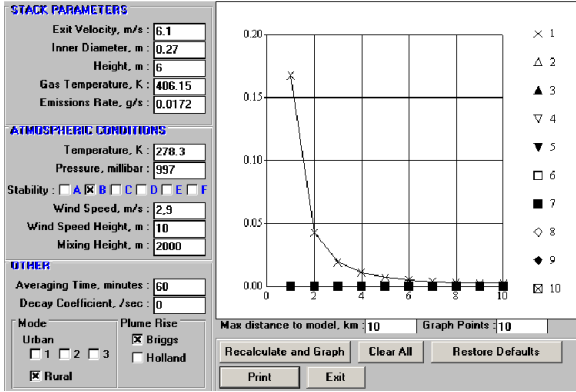
Eti Büsküü 1 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



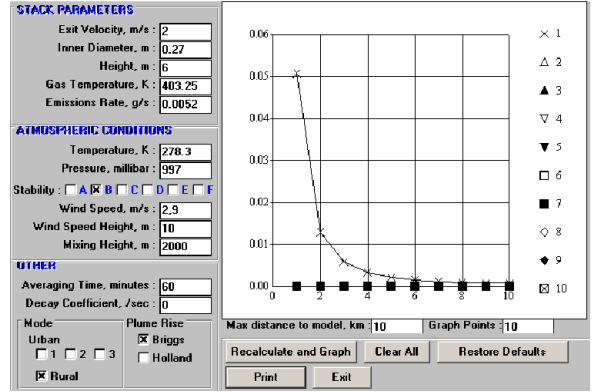
Eti Büsküü 1 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



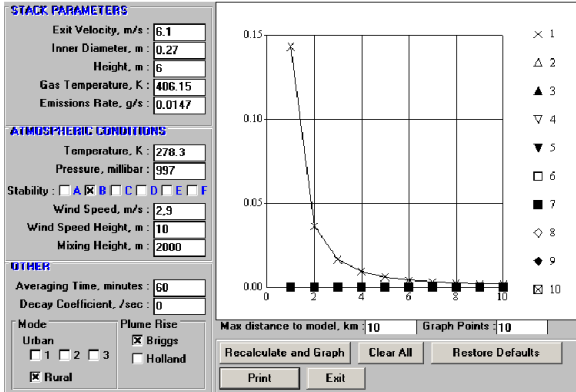
Eti Büsküü 1 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



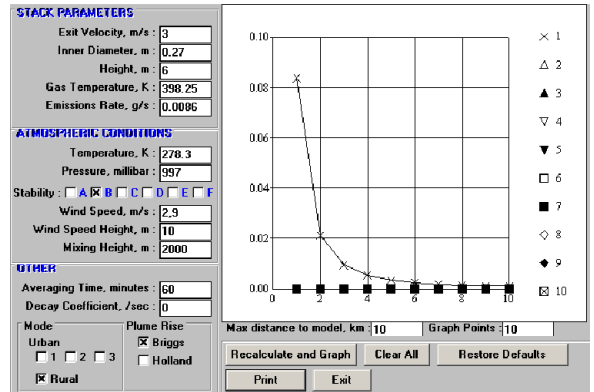
Eti Bsk 1 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



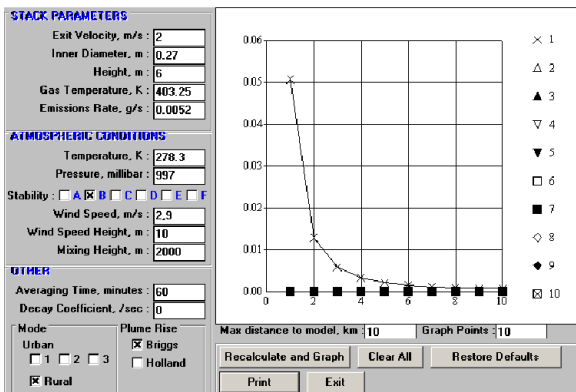
Eti Bsk 1 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO2 dispersiyon grafiği



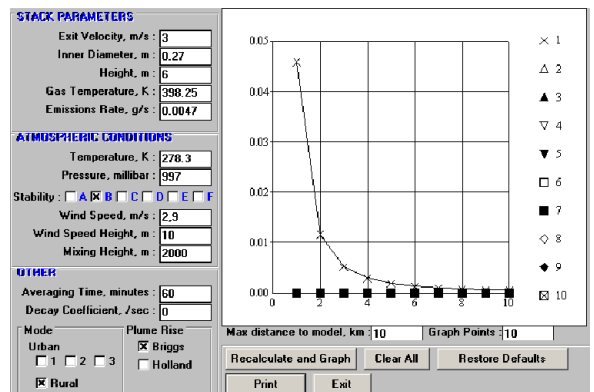
Eti Bsk 1 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO2 dispersiyon grafiği



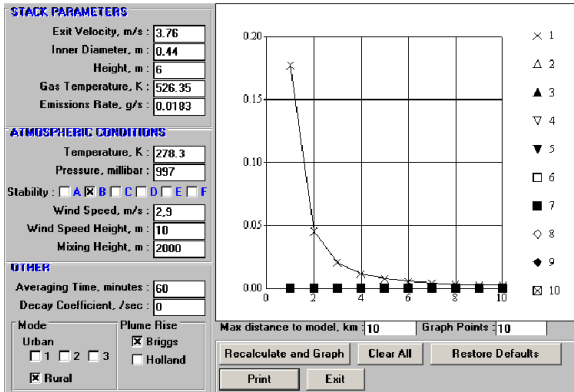
Eti Bsk 1 Nolu Fırın 6 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



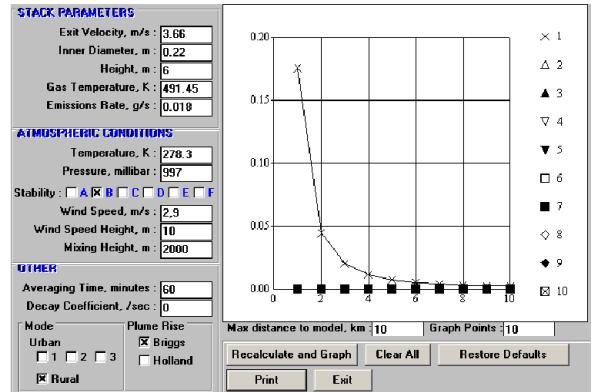
Eti Bsk 1 Nolu Fırın 5 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



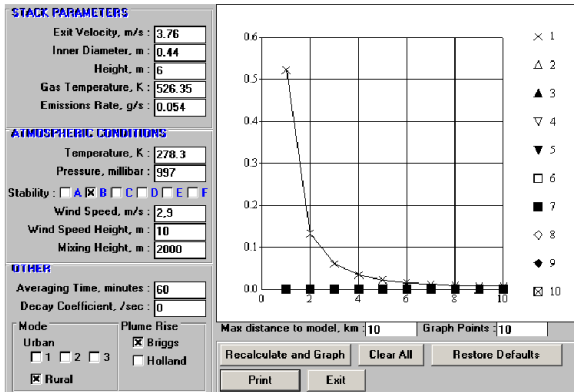
Eti Bsk 1 Nolu Fırın 6 Nolu Baca NO2 dispersiyon grafiği



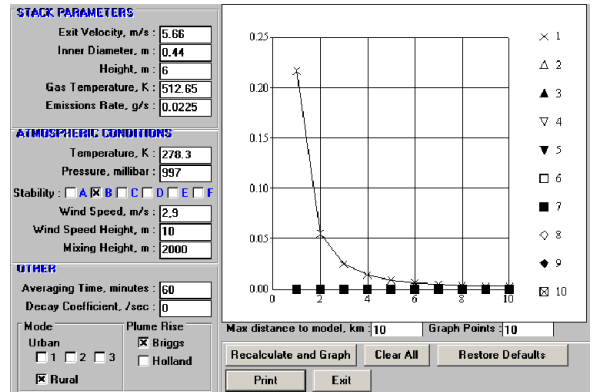
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



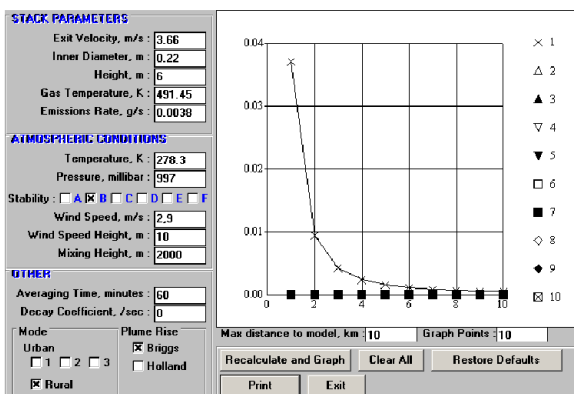
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



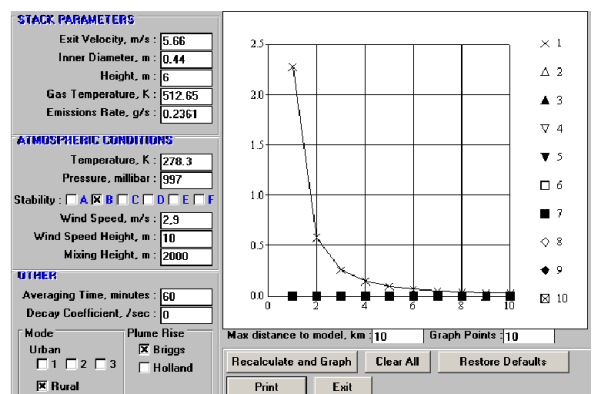
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



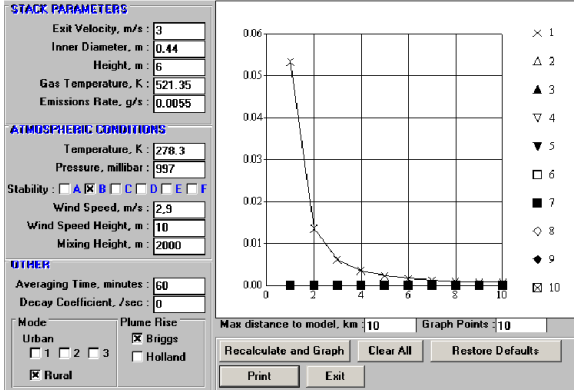
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 5 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



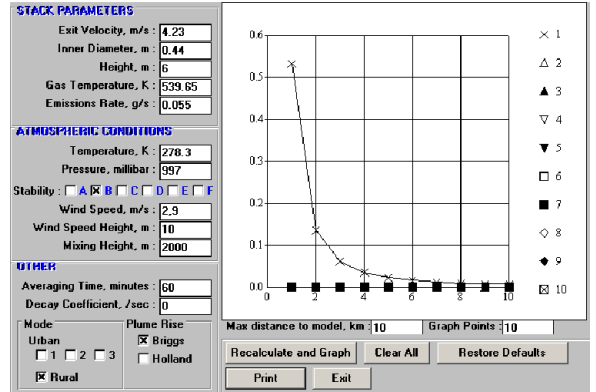
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



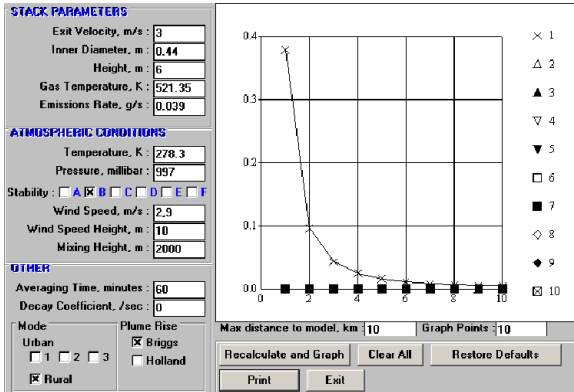
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



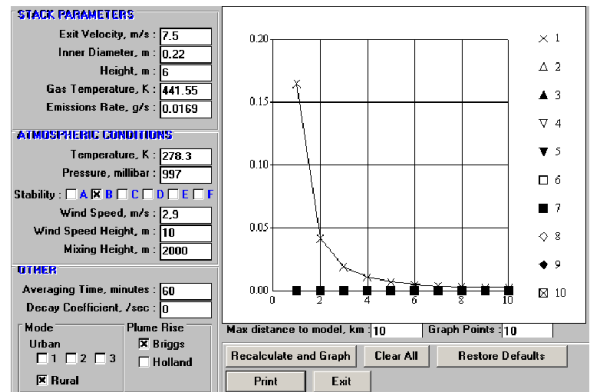
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 6 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



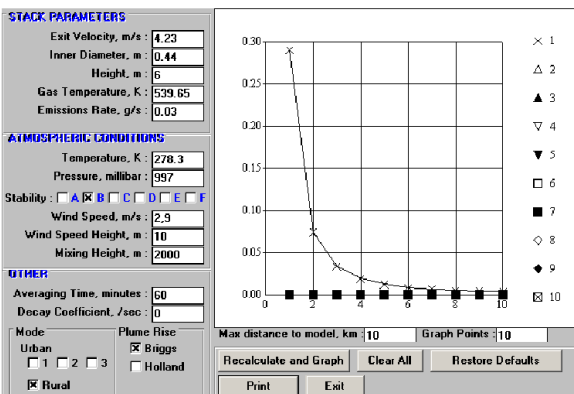
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 8 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



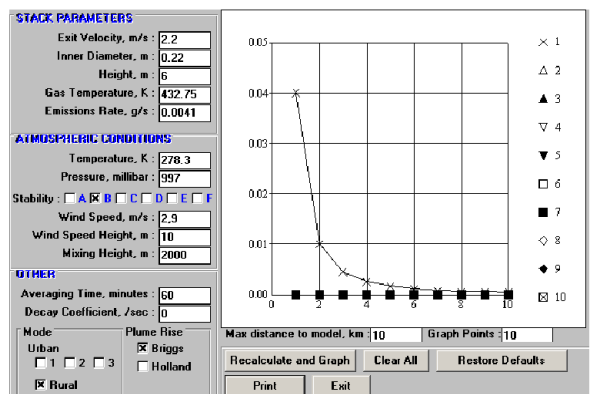
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 6 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



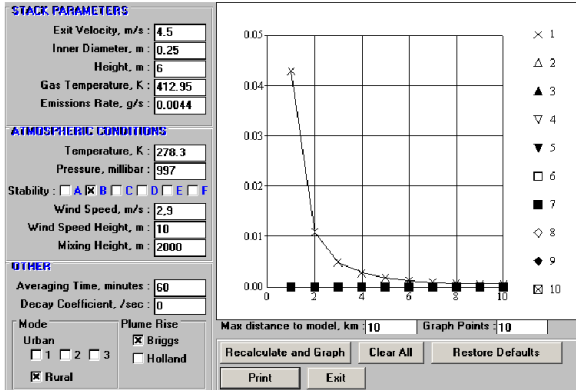
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 9 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



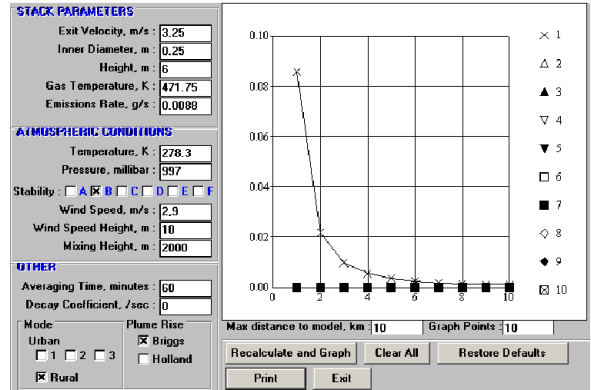
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 8 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



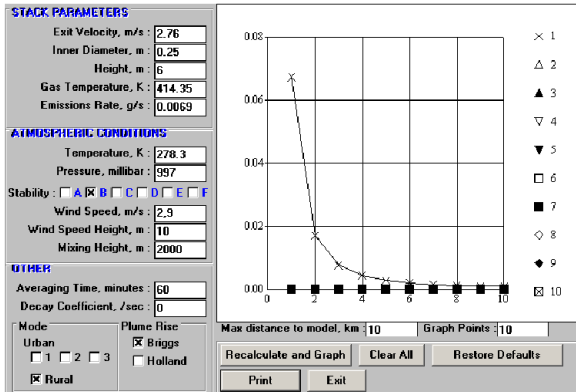
Eti Bsk 2 Nolu Fırın 10 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



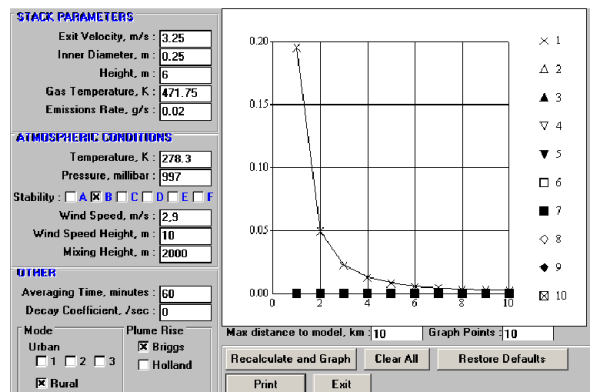
Eti Bsk 3 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



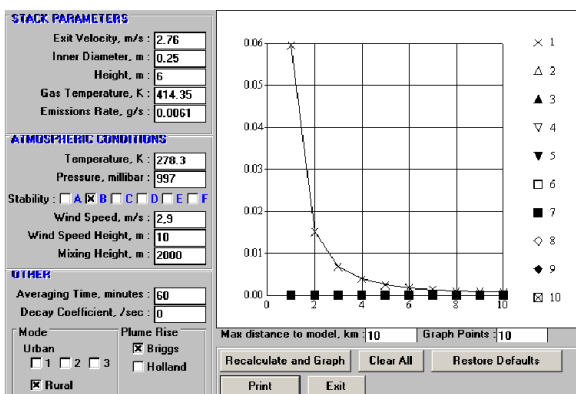
Eti Bsk 3 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



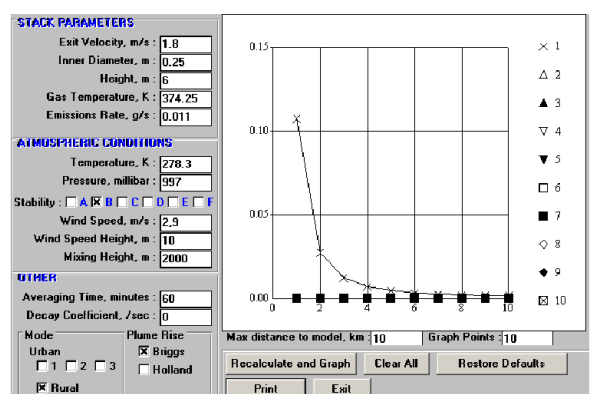
Eti Bsk 3 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



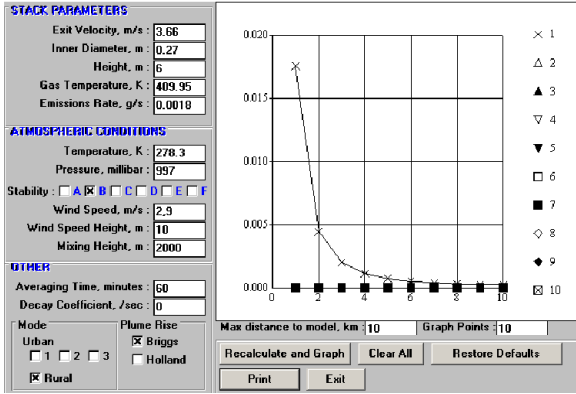
Eti Bsk 3 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



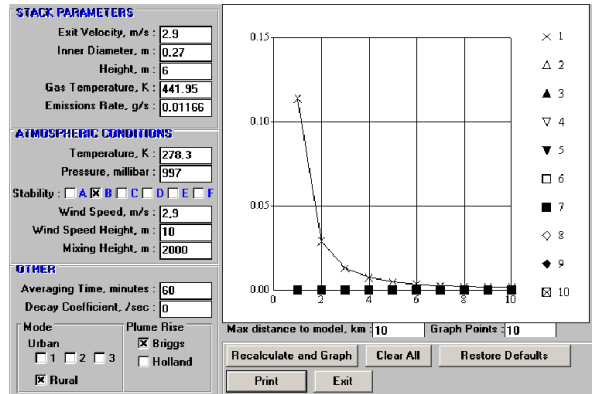
Eti Bsk 3 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



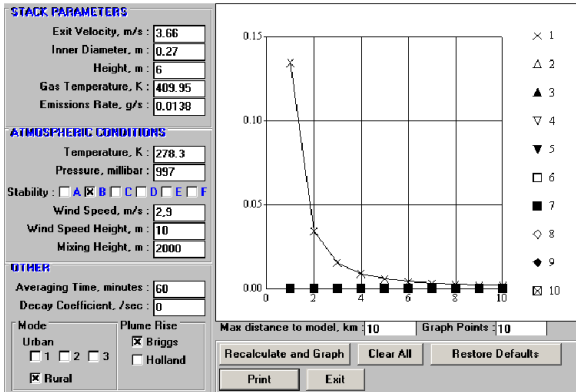
Eti Bsk 3 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



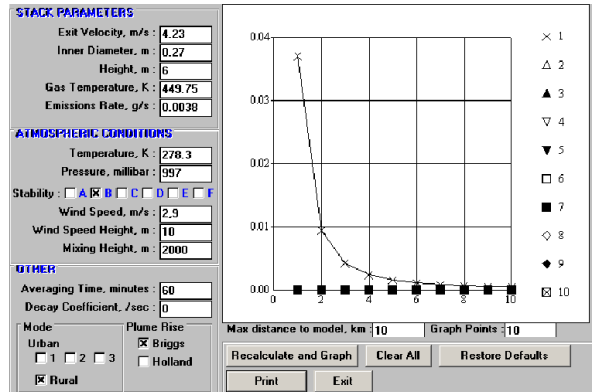
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 1 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



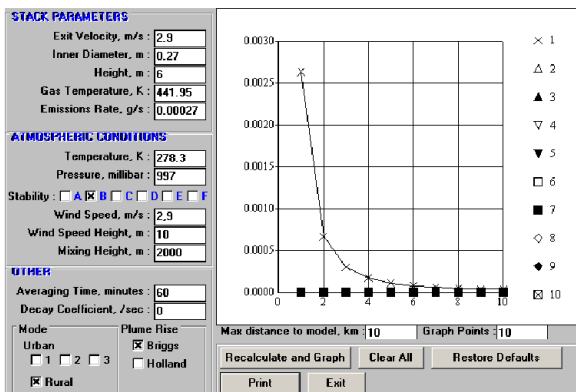
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



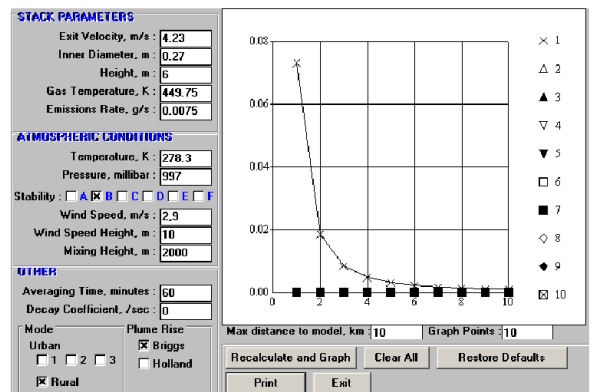
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



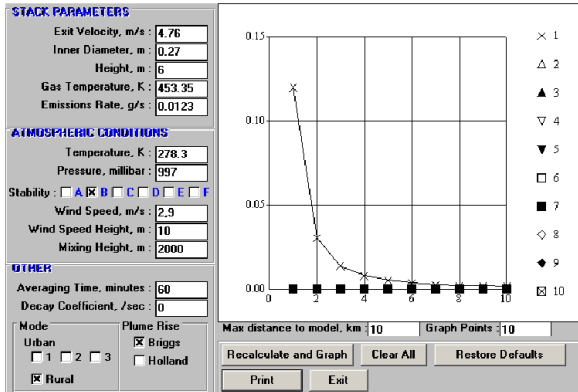
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



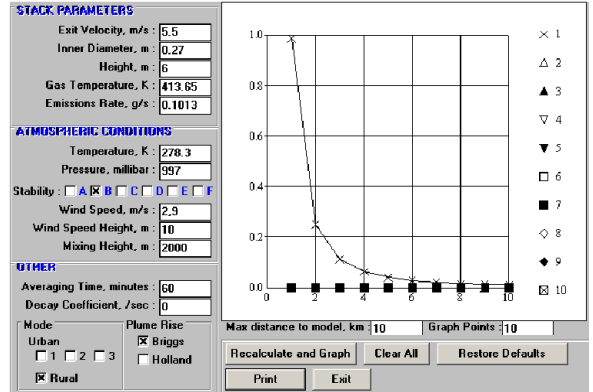
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



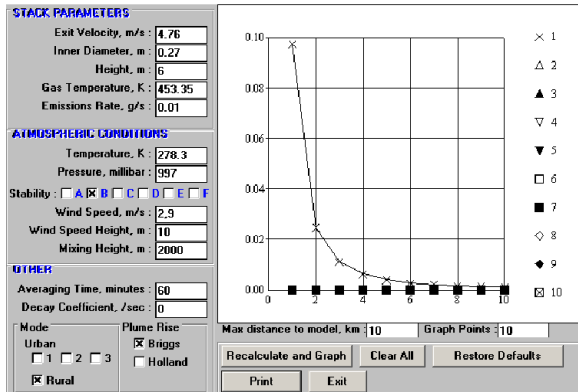
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



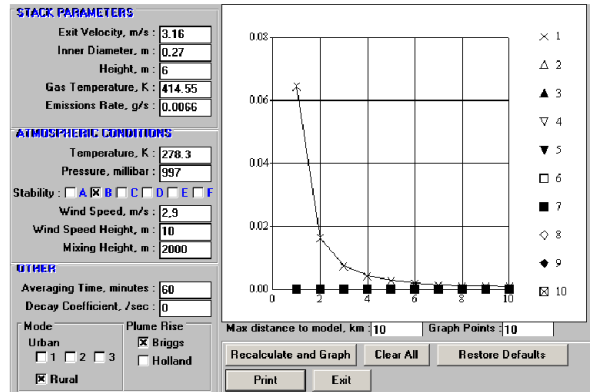
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



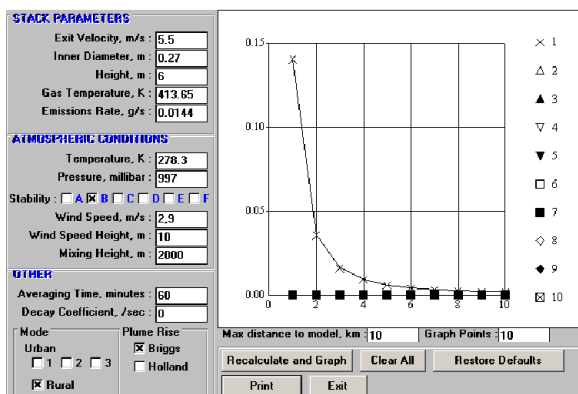
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



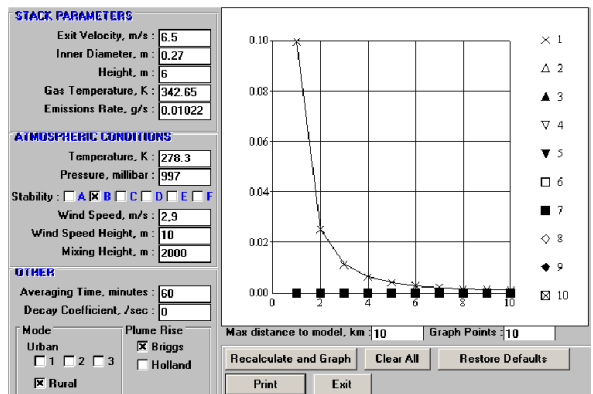
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



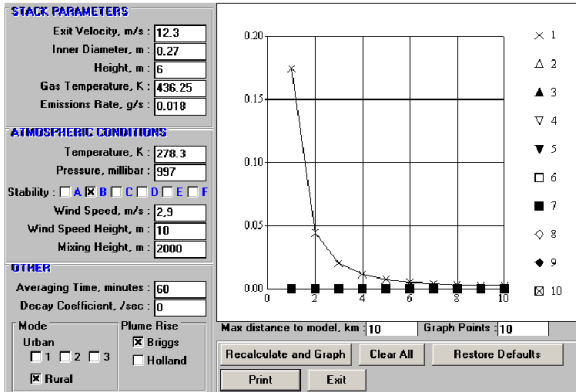
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 6 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



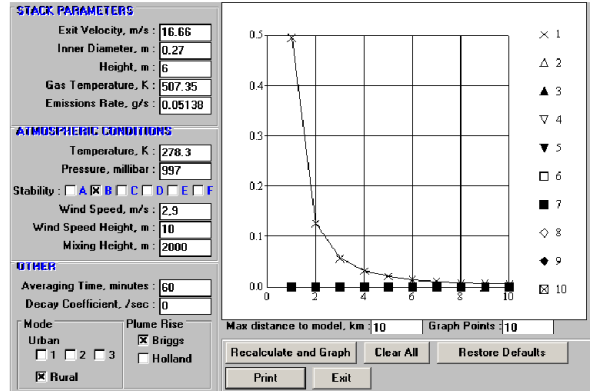
Eti Bsk 4 Nolu Fırın 5 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



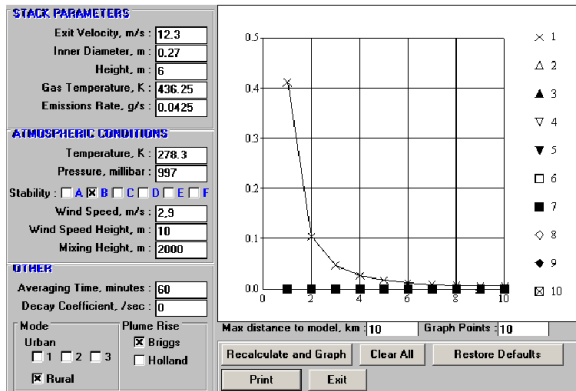
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



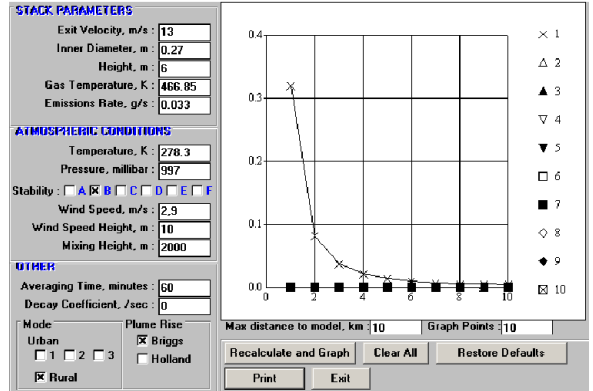
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO
dispersiyon grafiği



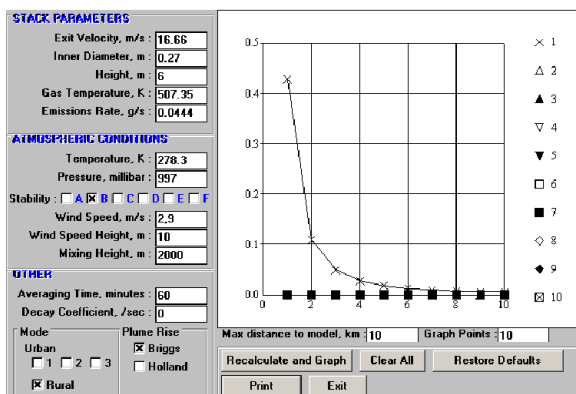
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 3 Nolu Baca
NO₂ dispersiyon grafiği



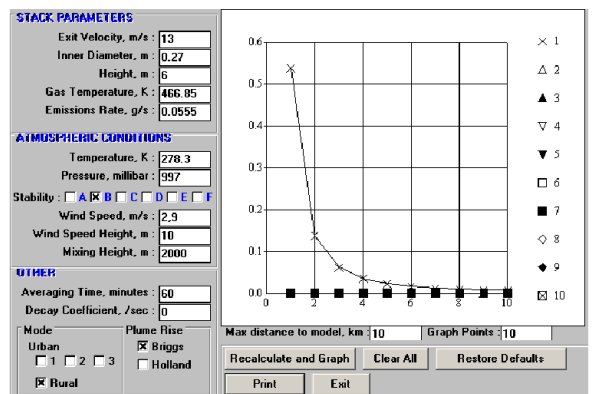
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂
dispersiyon grafiği



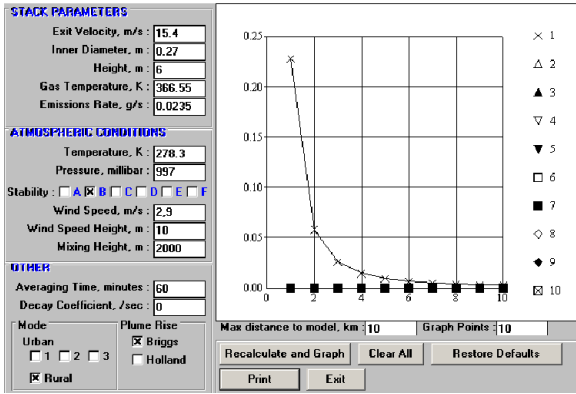
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO
dispersiyon grafiği



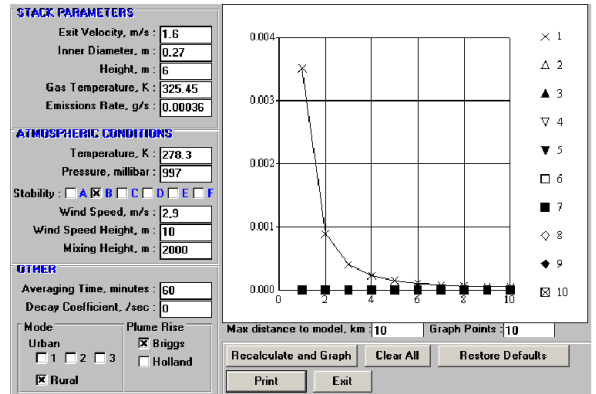
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO
dispersiyon grafiği



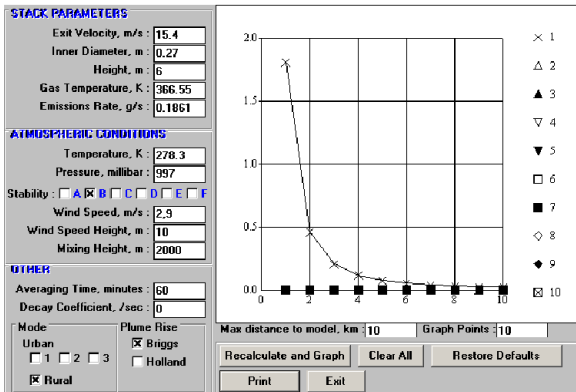
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 4 Nolu Baca
NO₂ dispersiyon grafiği



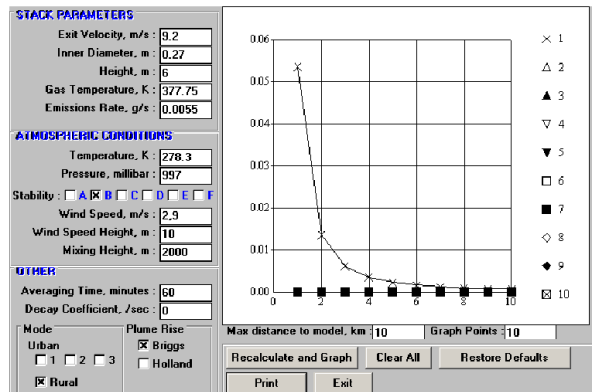
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 5 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



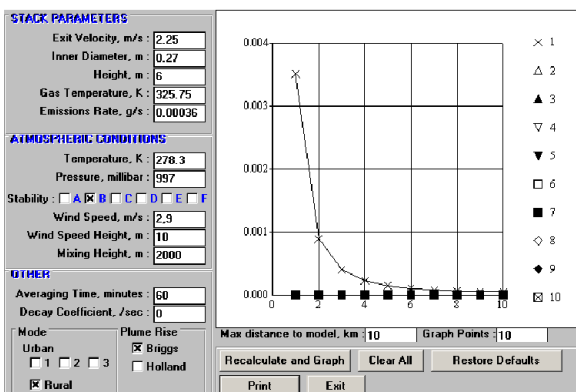
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 7 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



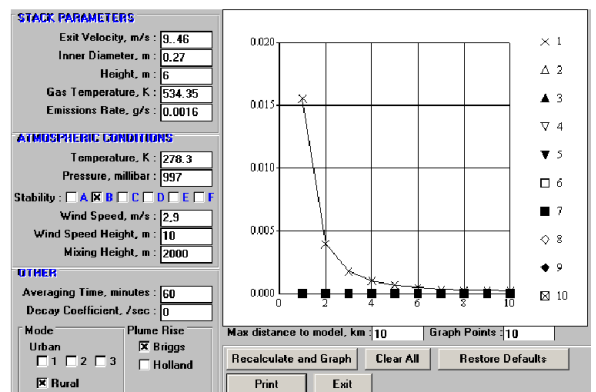
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



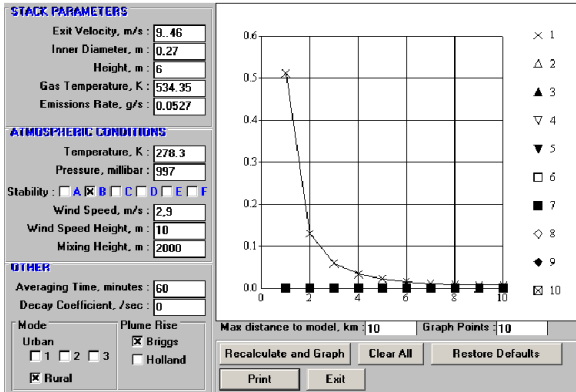
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



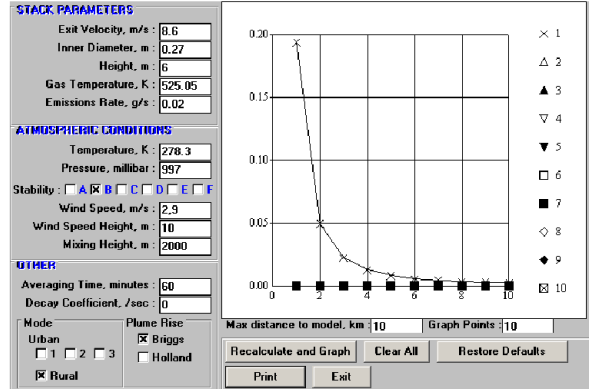
Eti Bsk 5 Nolu Fırın 6 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



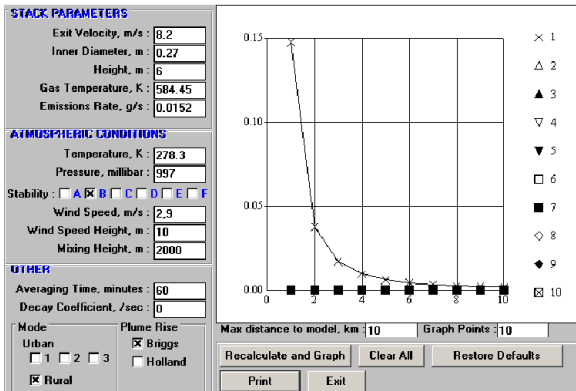
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



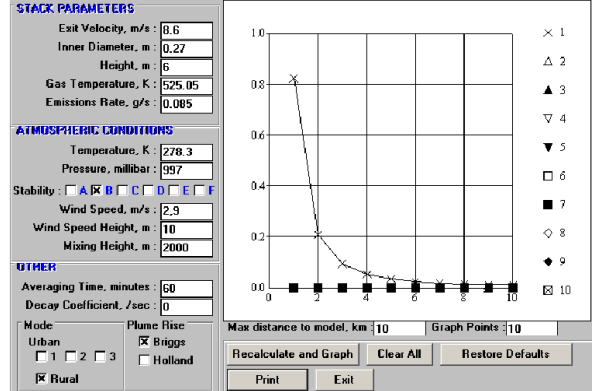
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



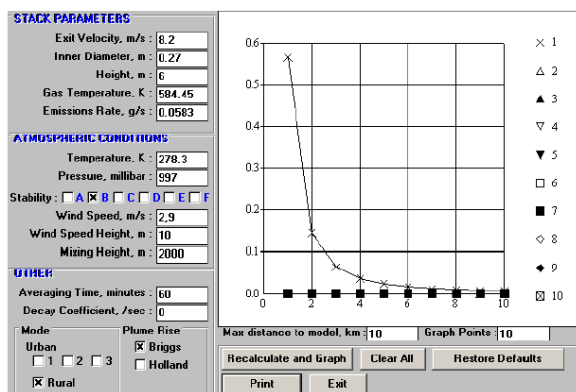
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



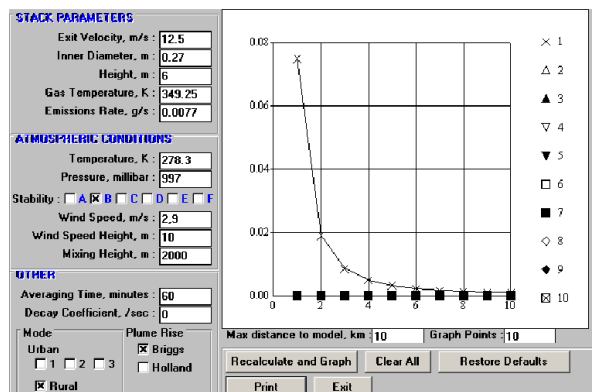
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



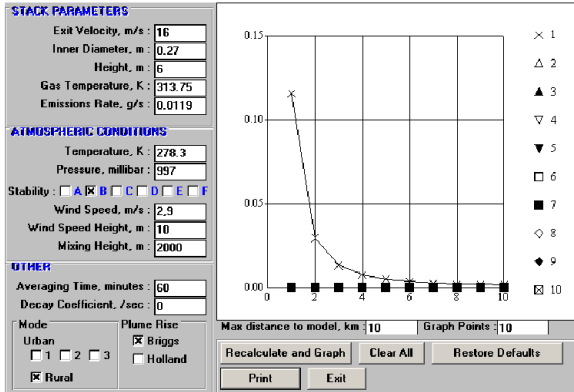
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



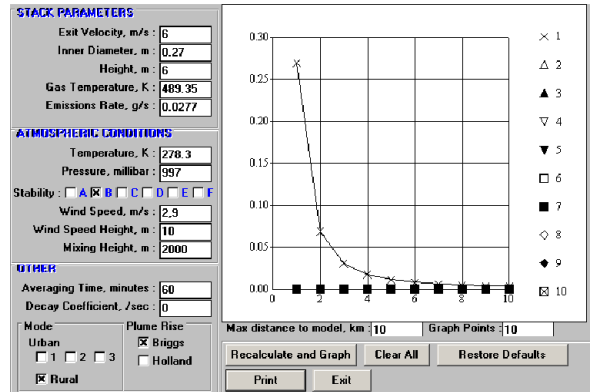
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



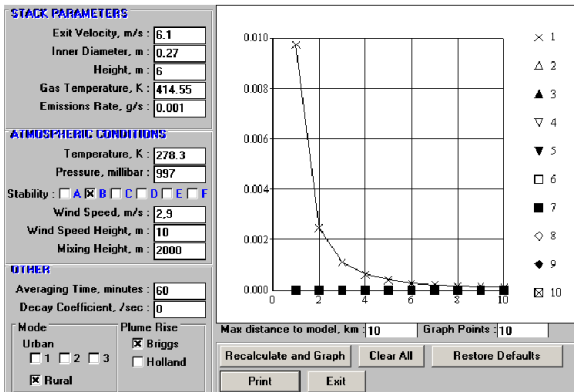
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



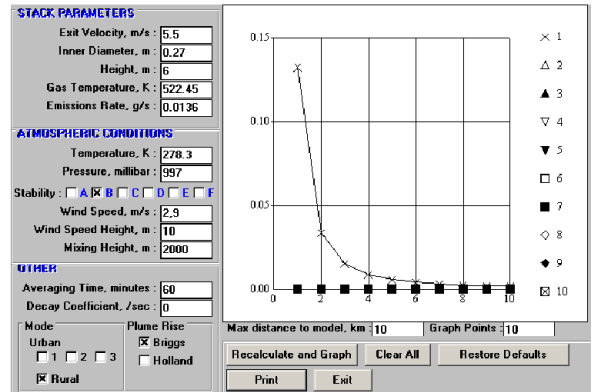
Eti Bsk 7 Nolu Fırın 6 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



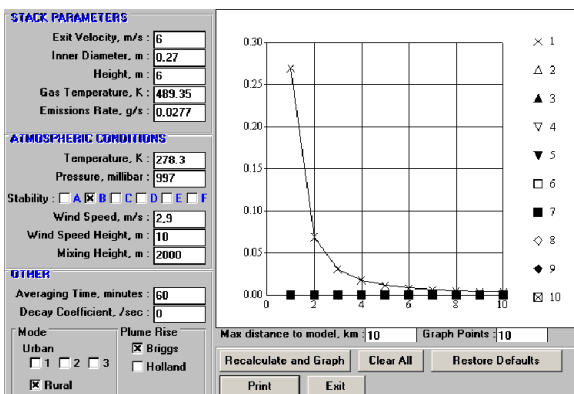
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



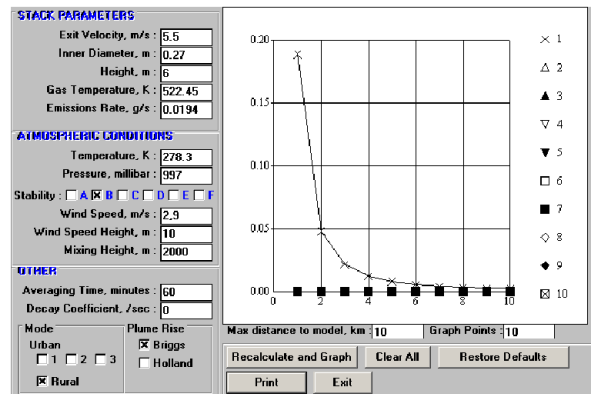
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



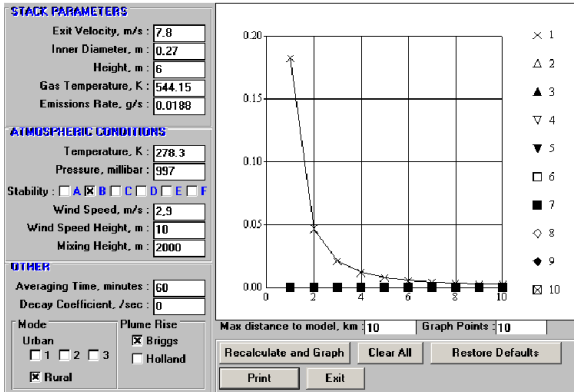
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



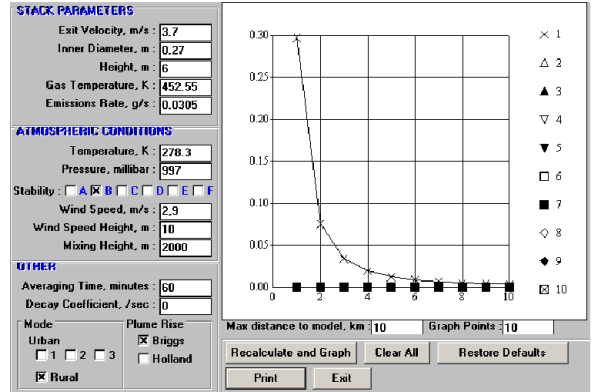
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



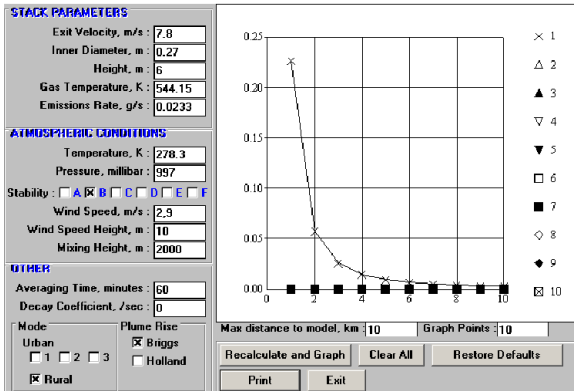
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



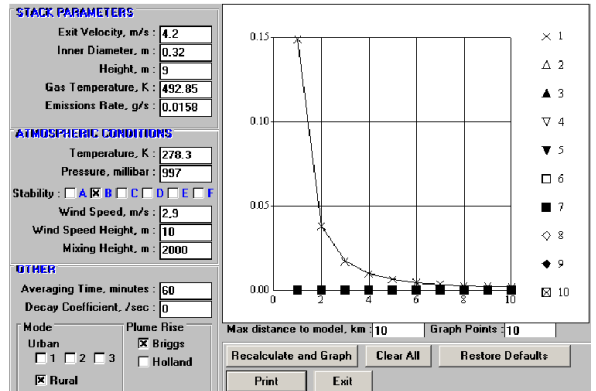
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



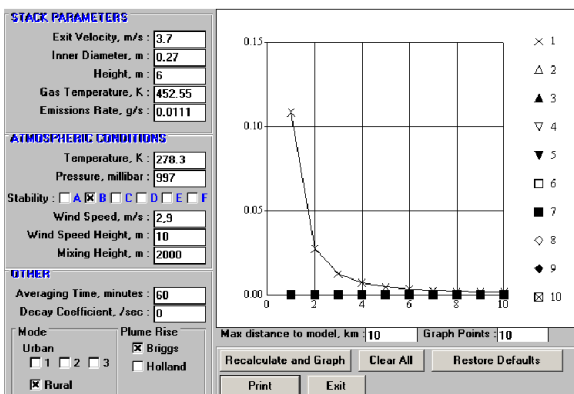
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



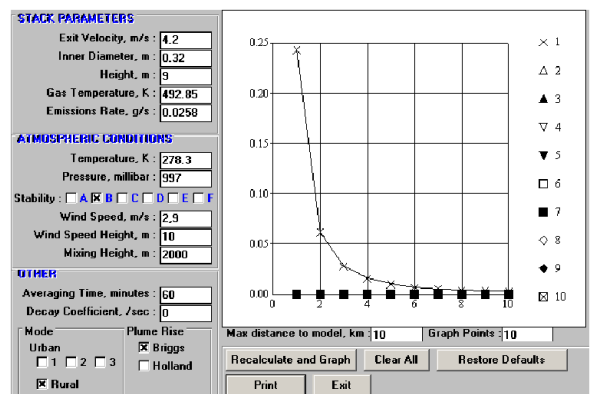
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



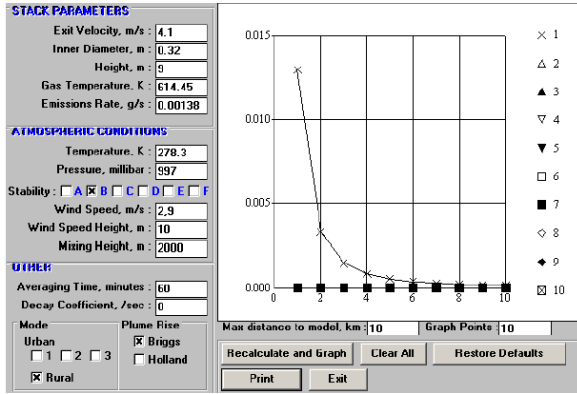
Eti Bsk 10 Nolu Fırın 1 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



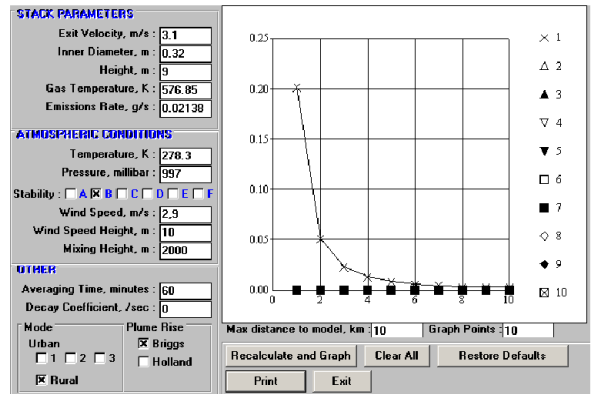
Eti Bsk 8 Nolu Fırın 5 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



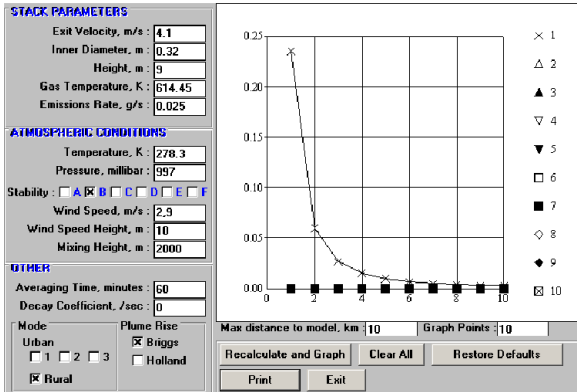
Eti Bsk 10 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



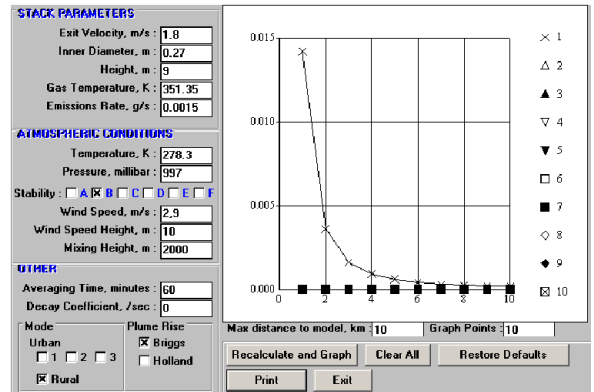
Eti Bski 10 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



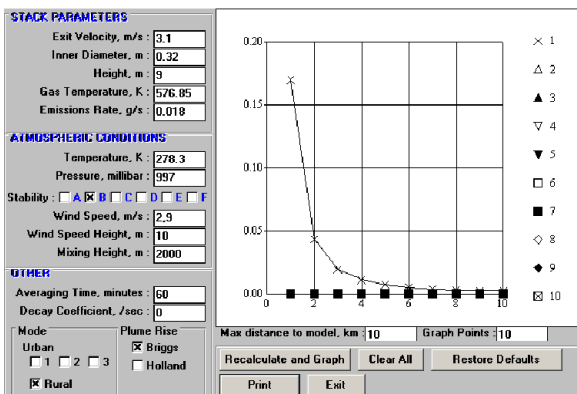
Eti Bski 10 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



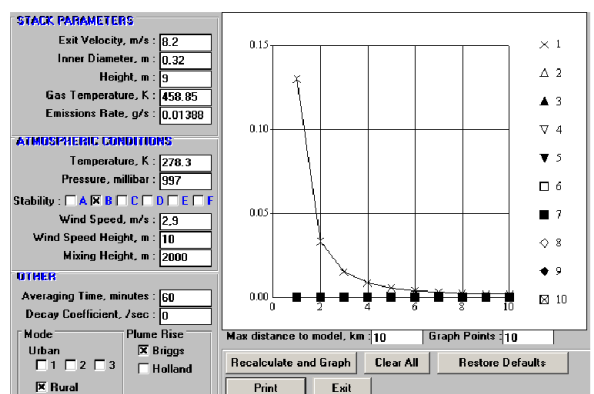
Eti Bski 10 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



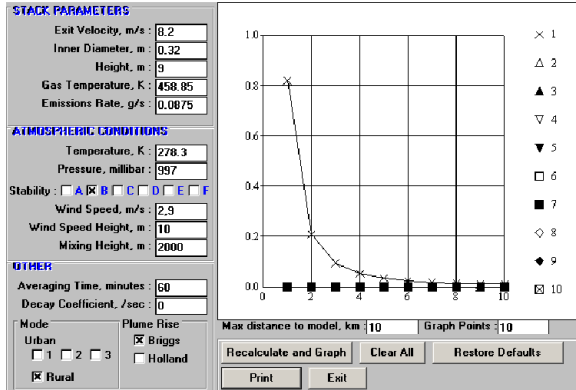
Eti Bski 11 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



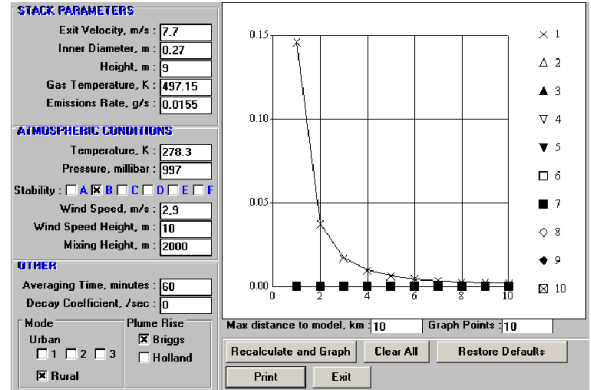
Eti Bski 10 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



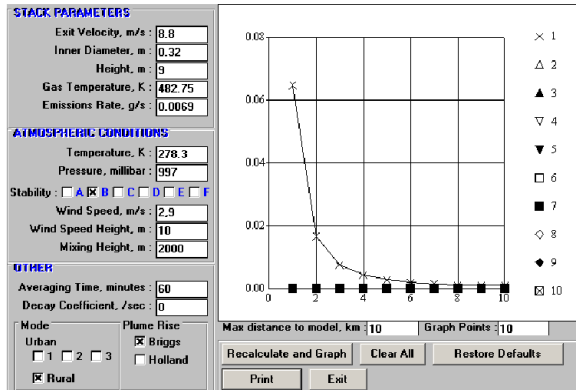
Eti Bski 11 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



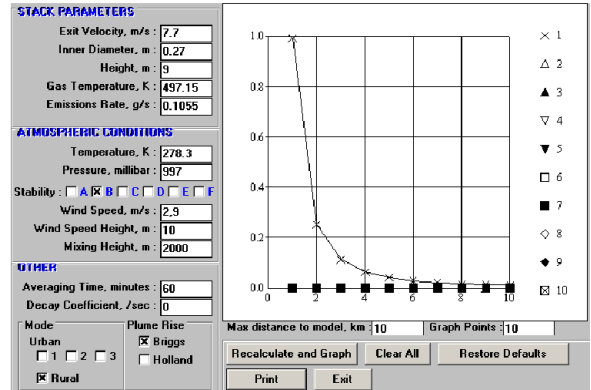
Eti Bsk 11 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



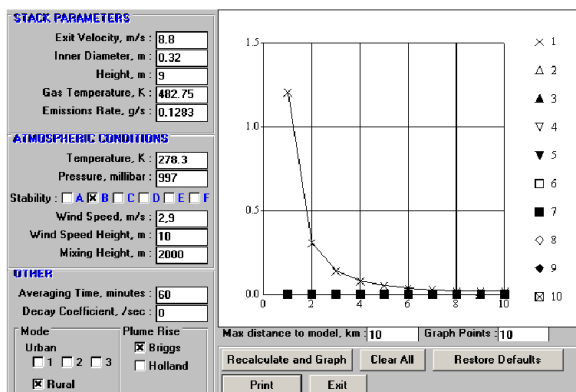
Eti Bsk 11 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



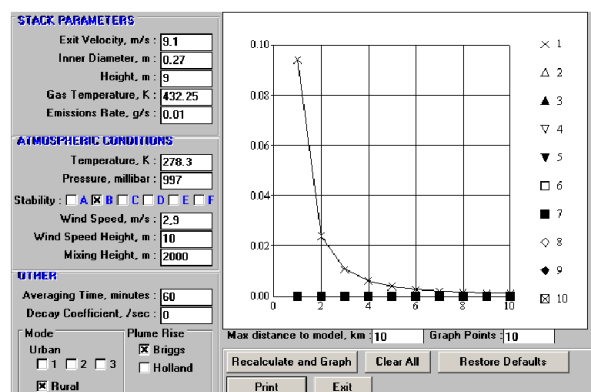
Eti Bsk 11 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



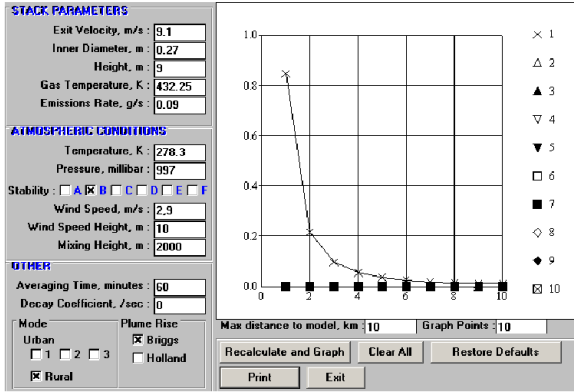
Eti Bsk 11 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



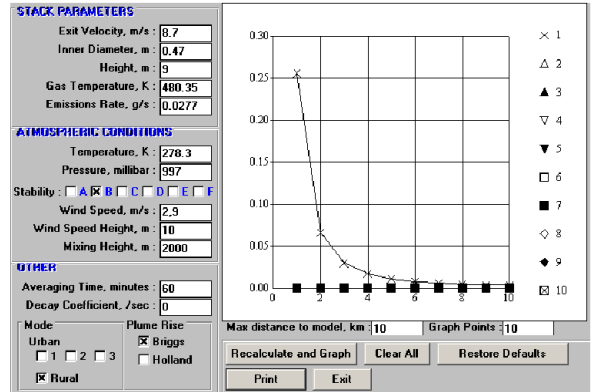
Eti Bsk 11 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



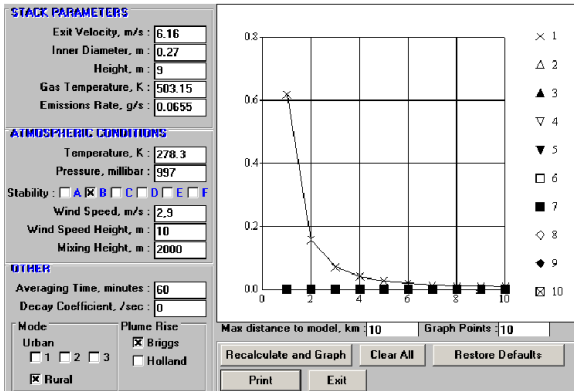
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 1 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



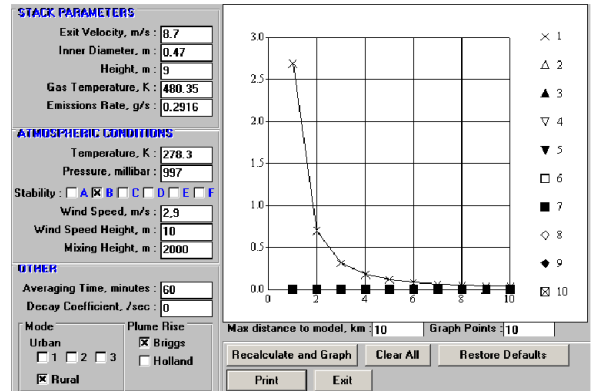
Eti Bski 12 Nolu Fırın 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



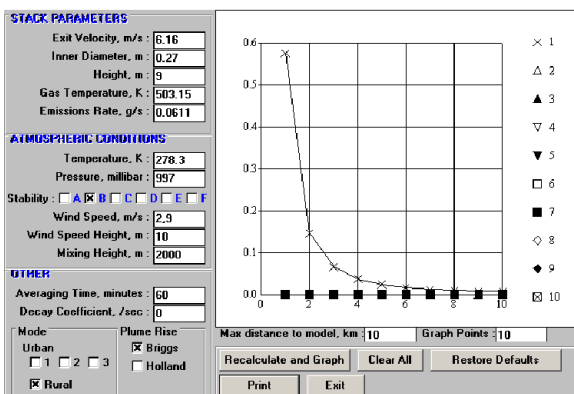
Eti Bski 12 Nolu Fırın 3 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



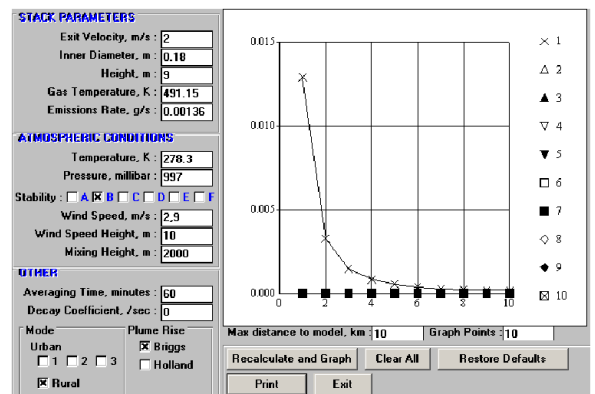
Eti Bski 12 Nolu Fırın 2 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



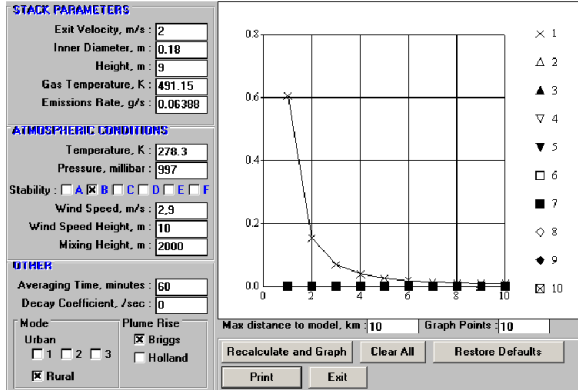
Eti Bski 12 Nolu Fırın 3 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



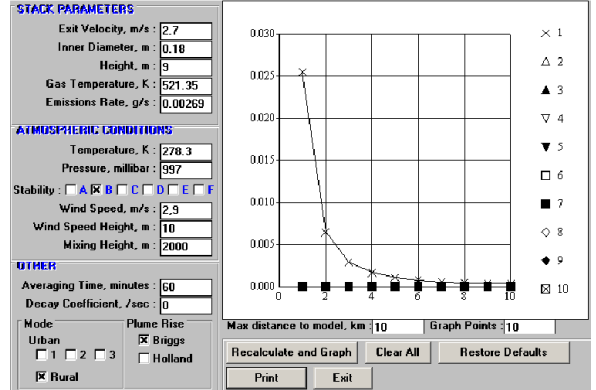
Eti Bski 12 Nolu Fırın 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



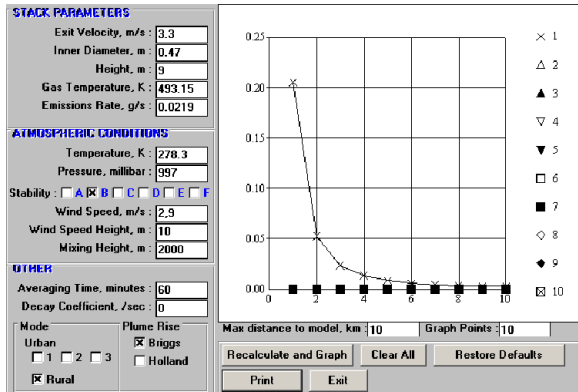
Eti Bski 12 Nolu Fırın 4 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



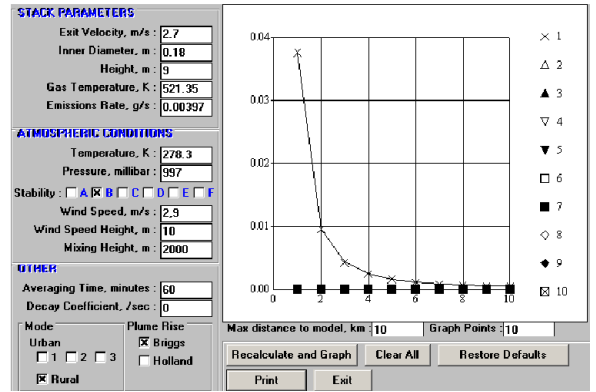
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 4 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



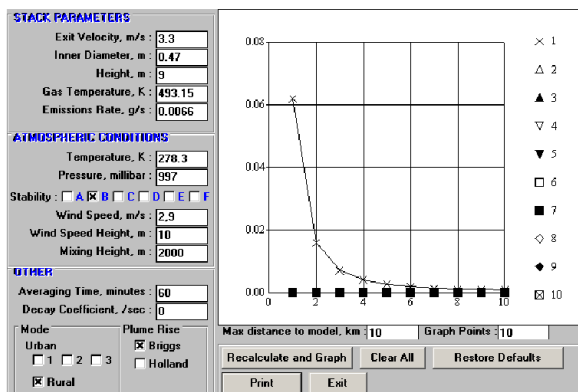
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 6 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



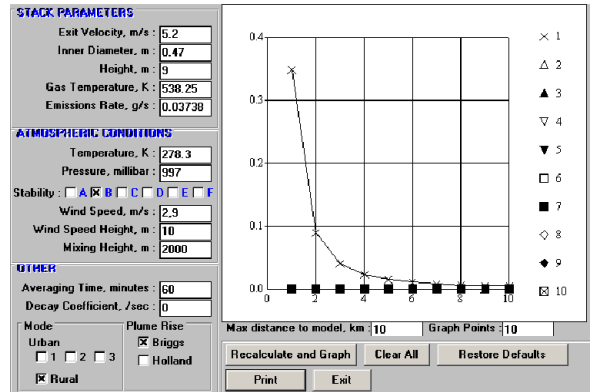
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 5 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



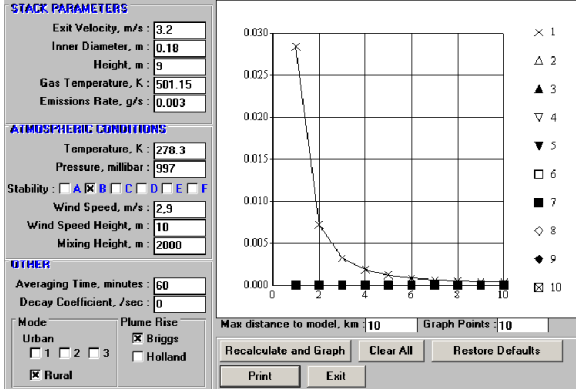
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 6 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



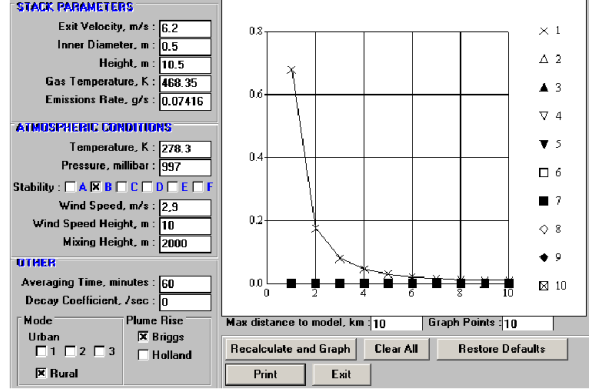
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 5 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği



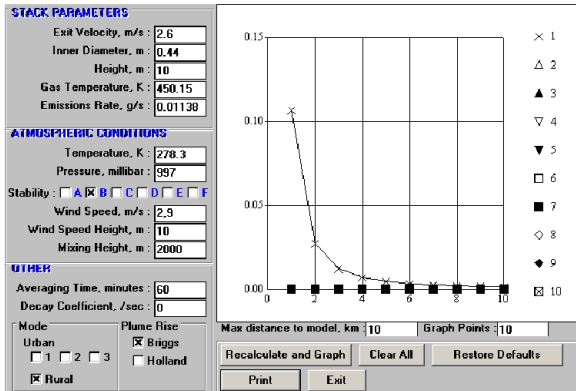
Eti Bsk 12 Nolu Fırın 7 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



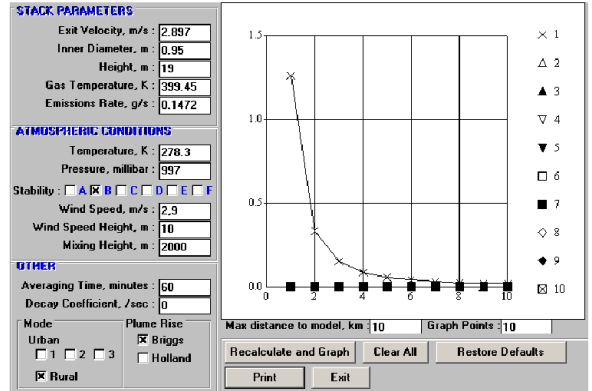
Eti BÜsküi 12 Nolu Fırın 8 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



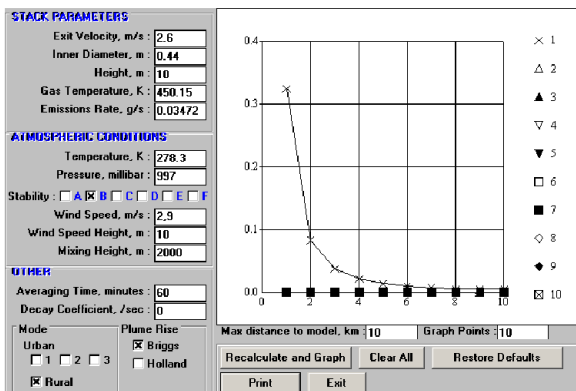
Eti BÜsküi Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



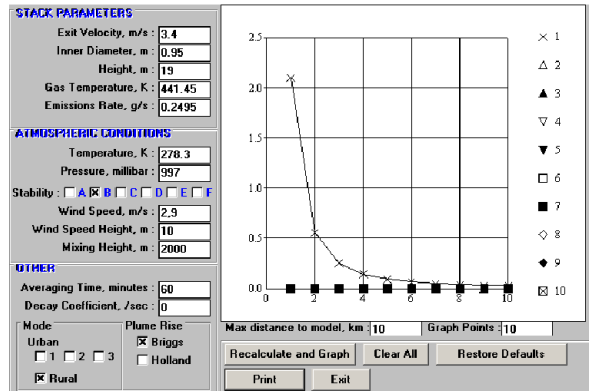
Eti BÜsküi Gofret Fırını CO dispersiyon grafiği



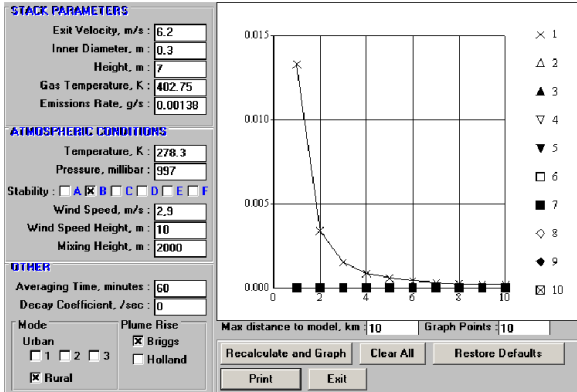
Pınar Süt 1 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



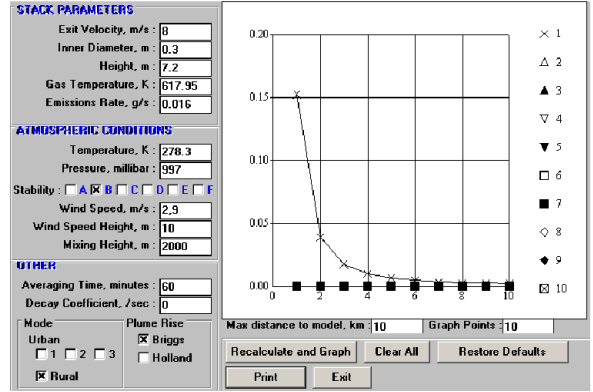
Eti BÜsküi Gofret Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



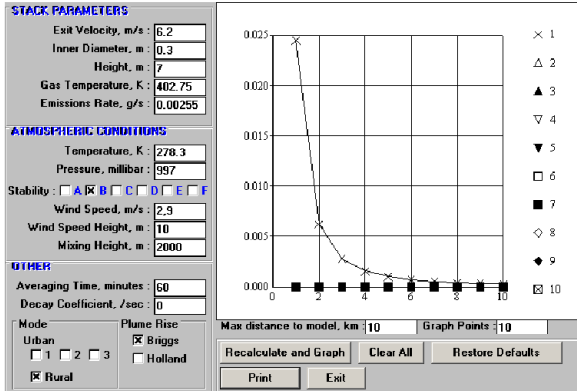
Pınar Süt 2 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



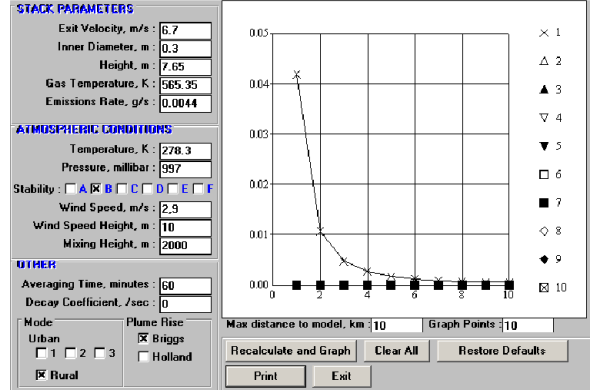
Tam Gıda 1 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



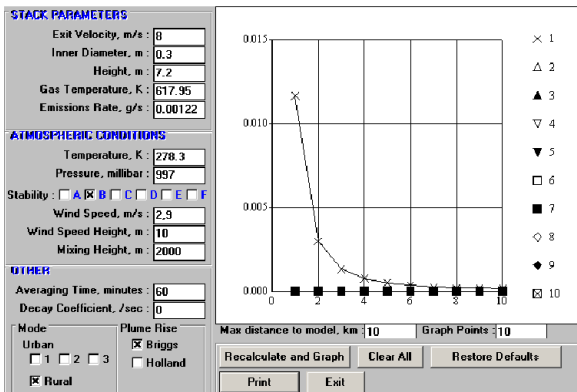
Tam Gıda 2 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



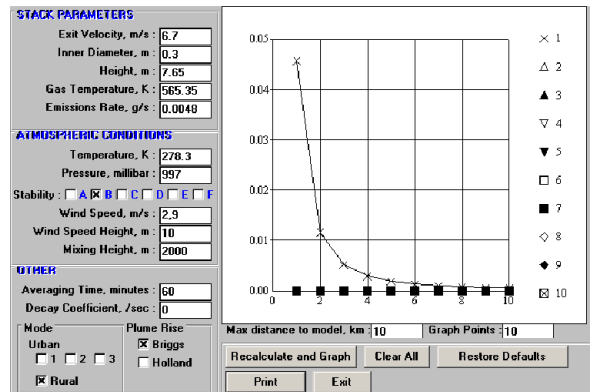
Tam Gıda 1 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



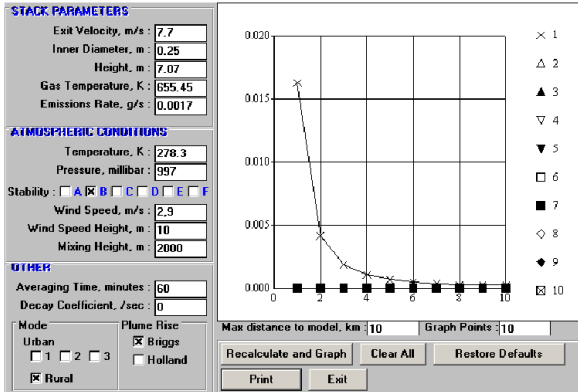
Tam Gıda 3 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



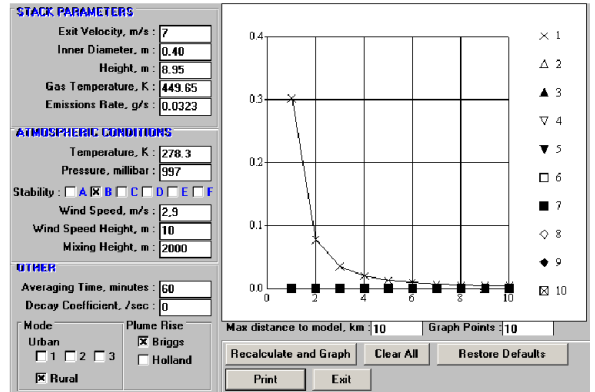
Tam Gıda 2 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



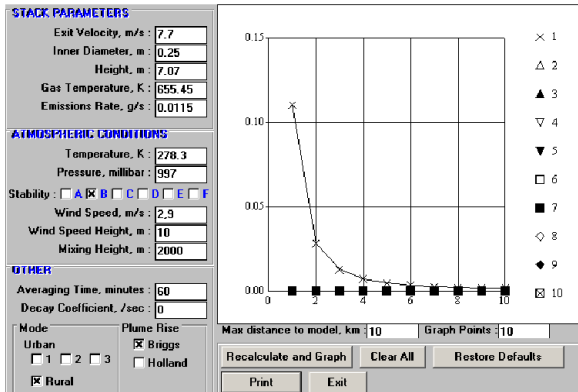
Tam Gıda 3 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



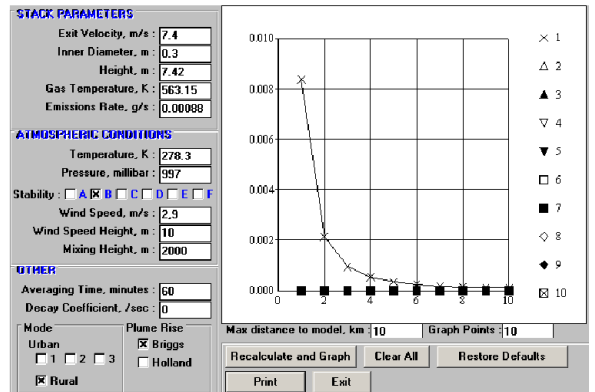
Tam Gıda 4 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



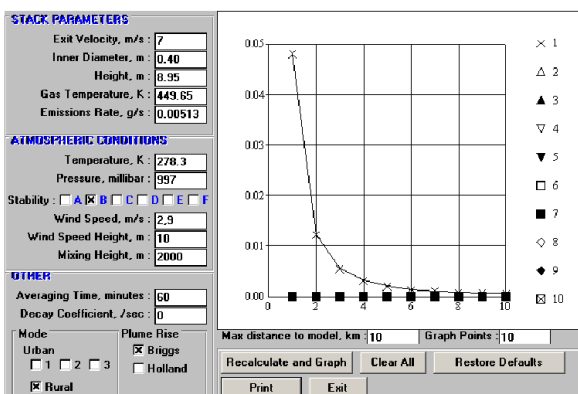
Tam Gıda 5 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



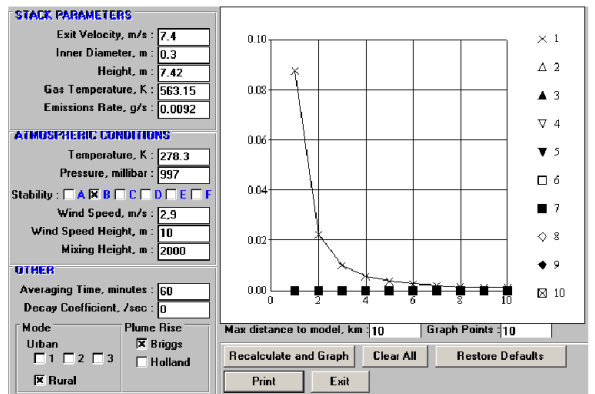
Tam Gıda 4 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



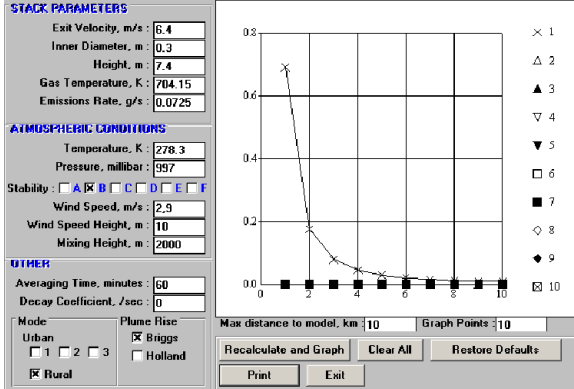
Tam Gıda 6 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



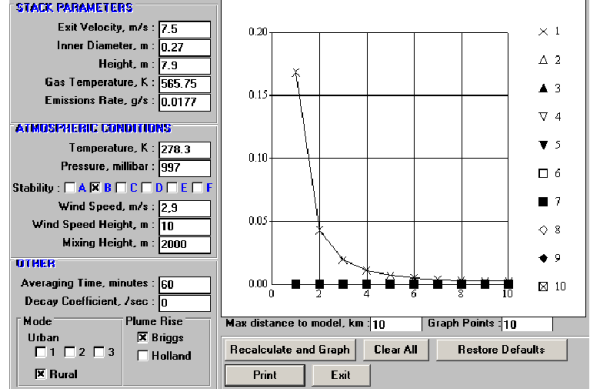
Tam Gıda 5 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



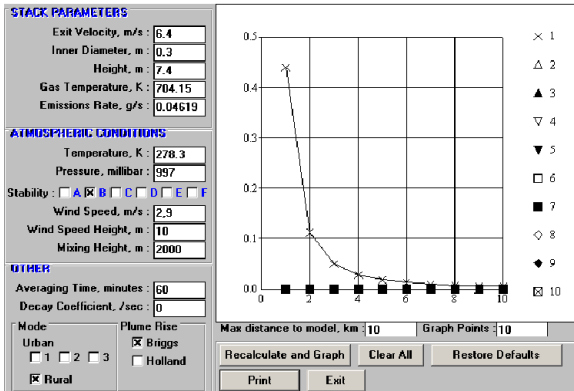
Tam Gıda 6 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



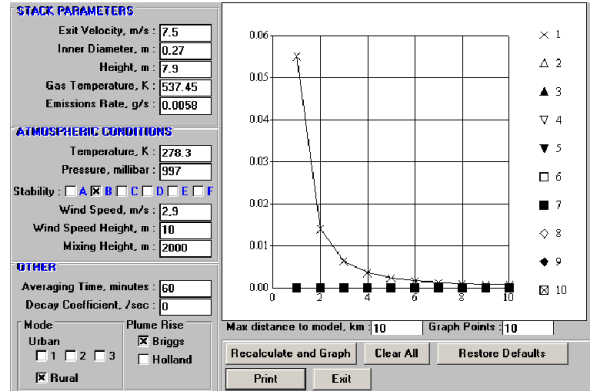
Tam Gıda 7 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



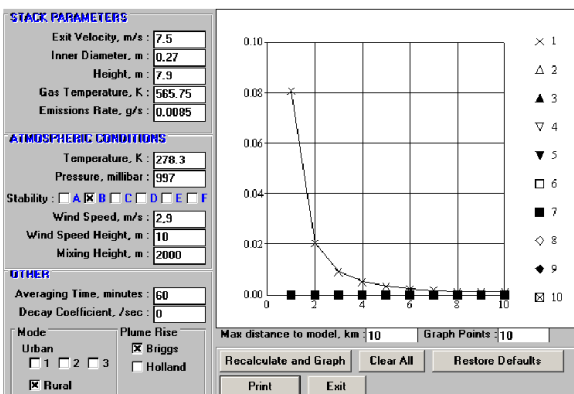
Tam Gıda 9 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



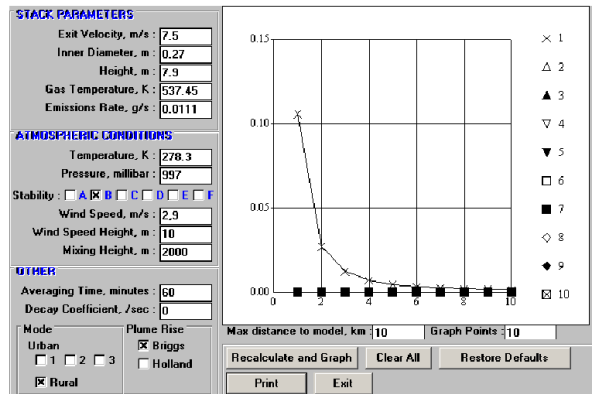
Tam Gıda 7 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



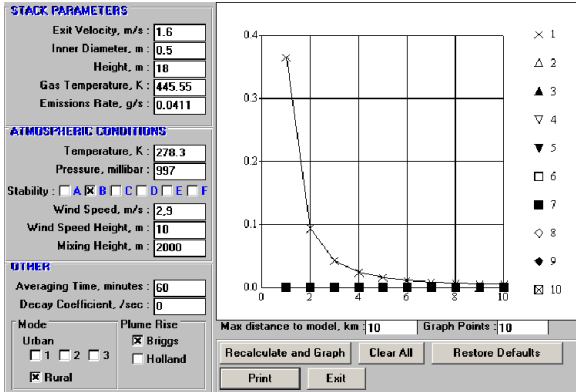
Tam Gıda 10 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



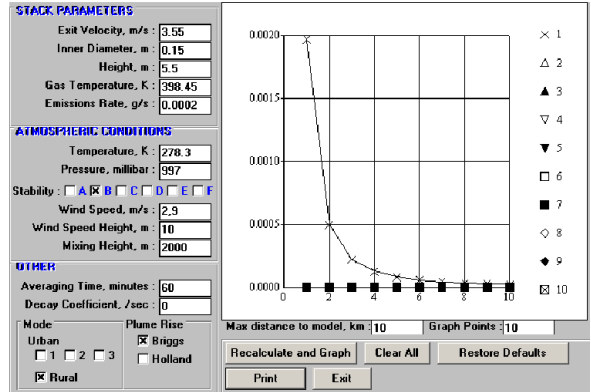
Tam Gıda 9 Nolu Doğalgaz Fırını CO dispersiyon grafiği



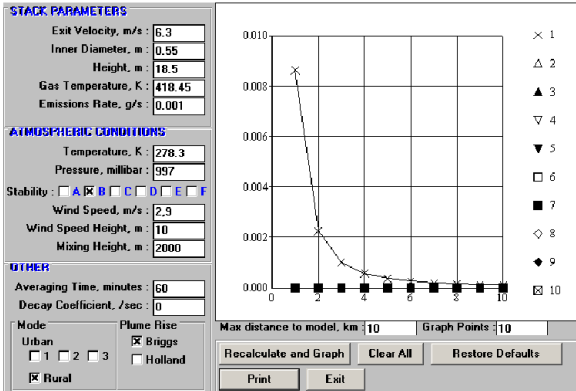
Tam Gıda 10 Nolu Doğalgaz Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



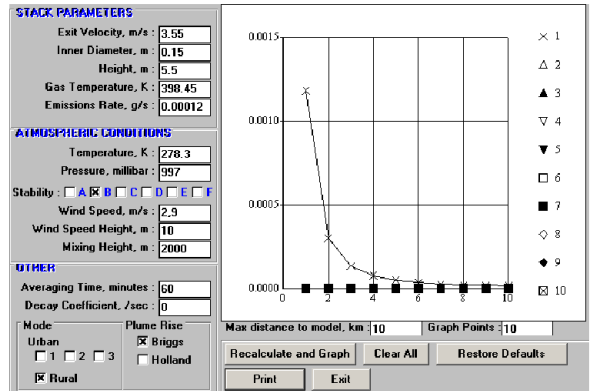
Tam Gıda Kalorifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



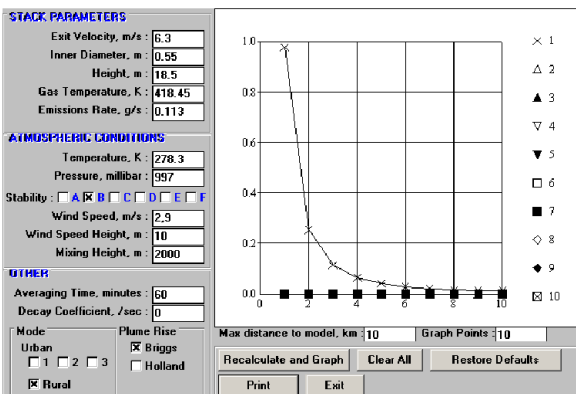
Peyman 1 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi CO dispersiyon grafiği



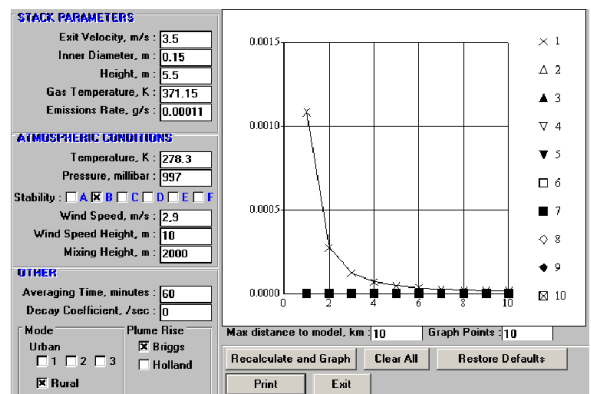
Tam Gıda Buhar Kazanı CO dispersiyon grafiği



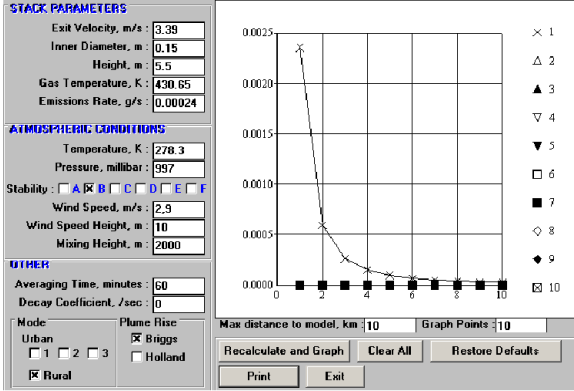
Peyman 1 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi NO₂ dispersiyon grafiği



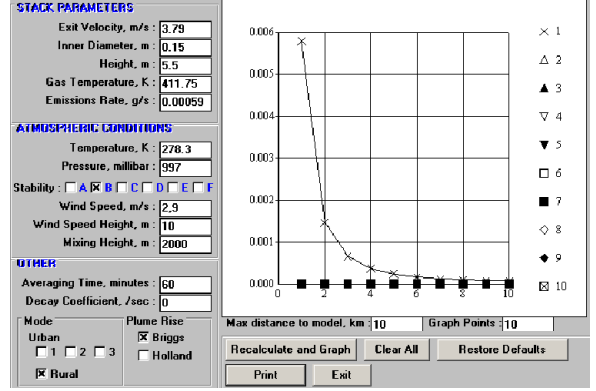
Tam Gıda Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



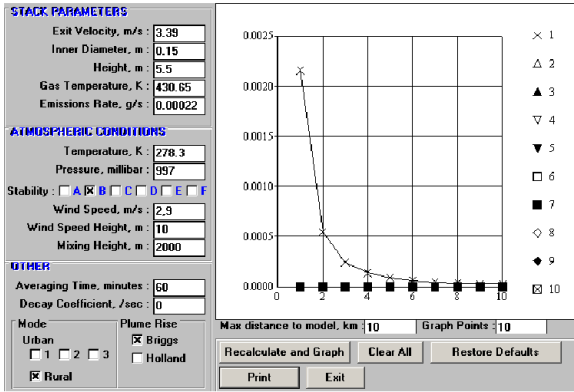
Peyman 2 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi CO dispersiyon grafiği



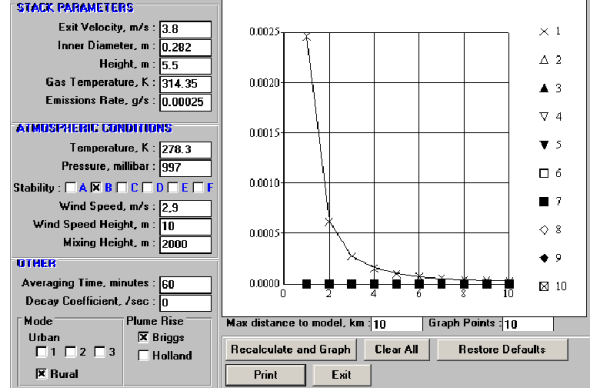
Peyman 3 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi
CO dispersiyon grafiği



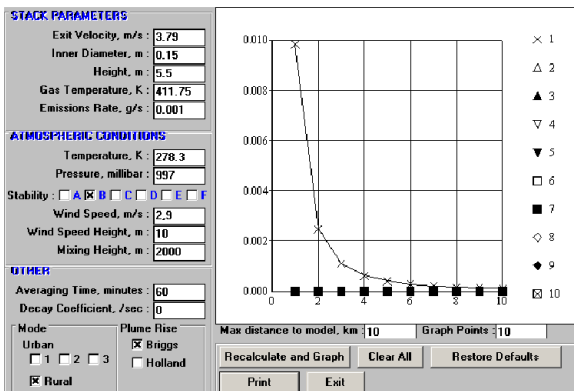
Peyman 4 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi
NO₂ dispersiyon grafiği



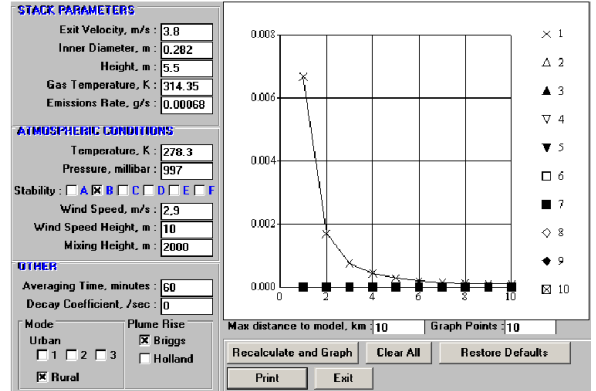
Peyman 3 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi
NO₂ dispersiyon grafiği



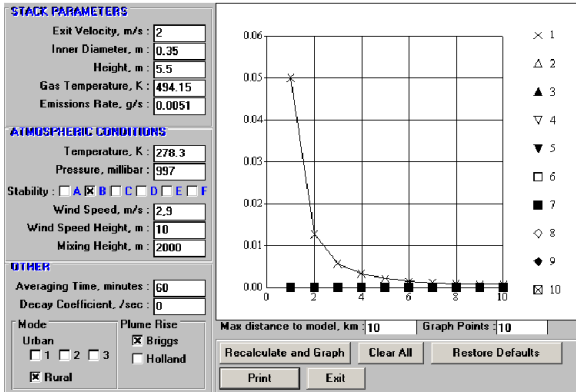
Peyman 1 Nolu Dönerli Kavurma CO
dispersiyon grafiği



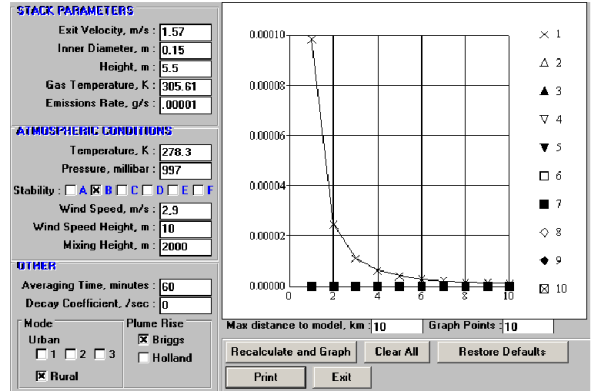
Peyman 4 Nolu Bantlı Kavurma Sistemi
CO dispersiyon grafiği



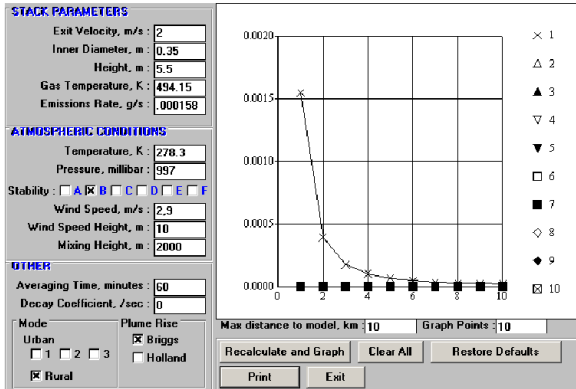
Peyman 1 Nolu Dönerli Kavurma NO₂
dispersiyon grafiği



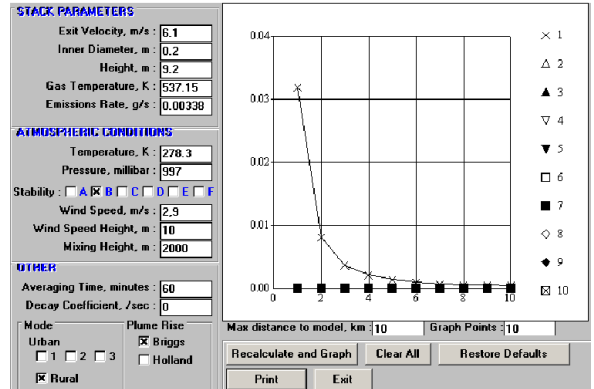
Peyman 2 Nolu Dönerli Kavrma CO dispersiyon grafiği



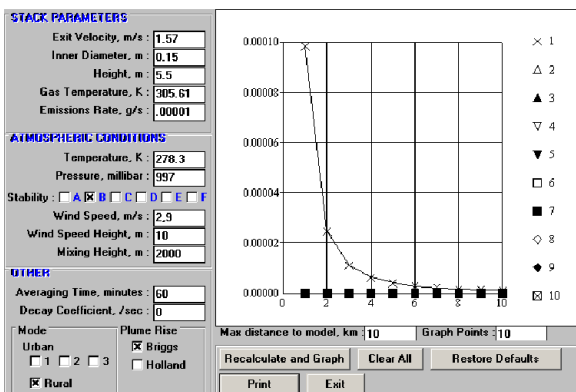
Peyman 3 Nolu Dönerli Kavrma NO₂ dispersiyon grafiği



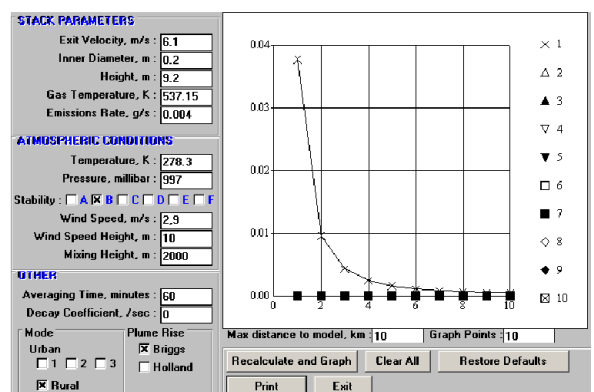
Peyman 2 Nolu Dönerli Kavrma NO₂ dispersiyon grafiği



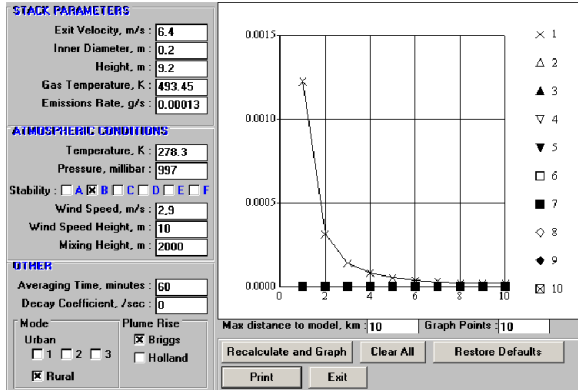
Cicisan 1 Nolu Fırın CO dispersiyon grafiği



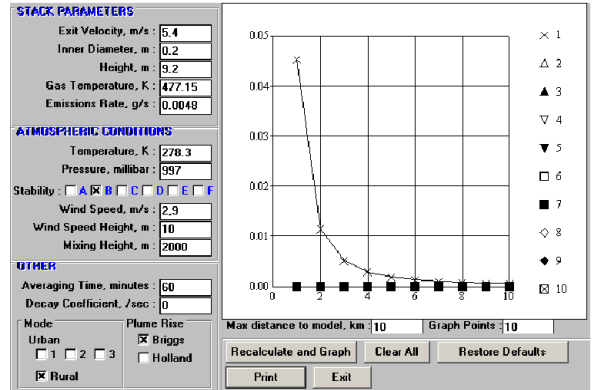
Peyman 3 Nolu Dönerli Kavrma CO dispersiyon grafiği



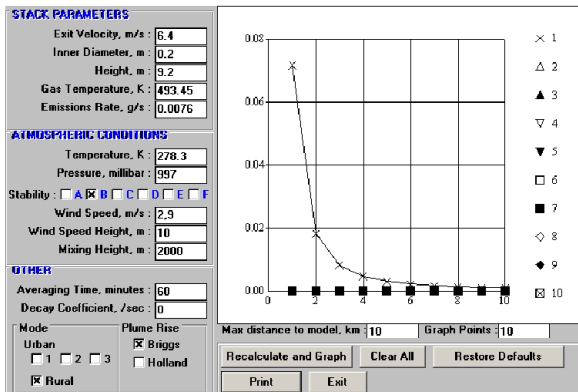
Cicisan 1 Nolu Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



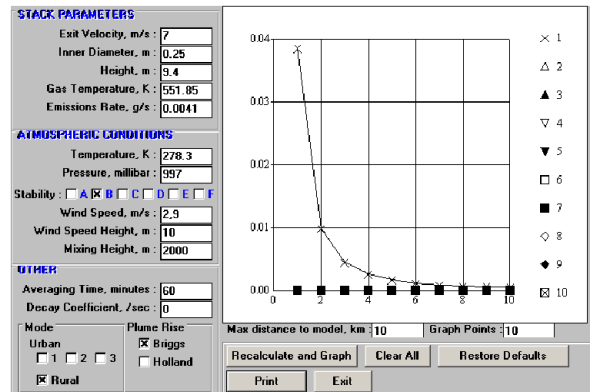
Cicisan 2 Nolu Fırın CO dispersiyon grafiği



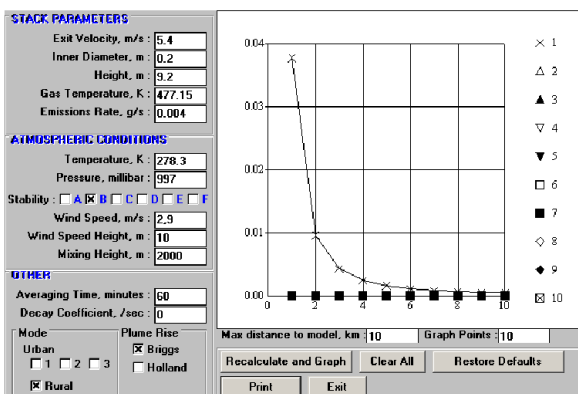
Cicisan 3 Nolu Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



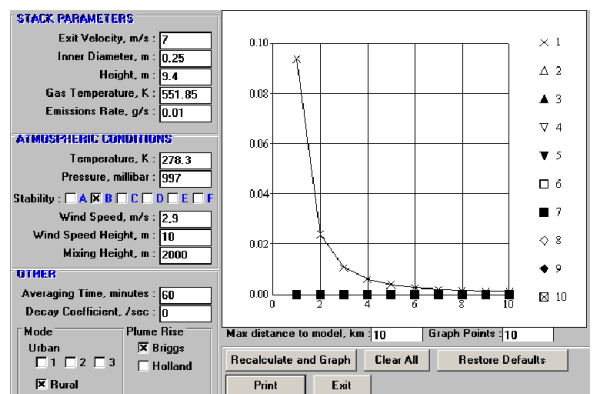
Cicisan 2 Nolu Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



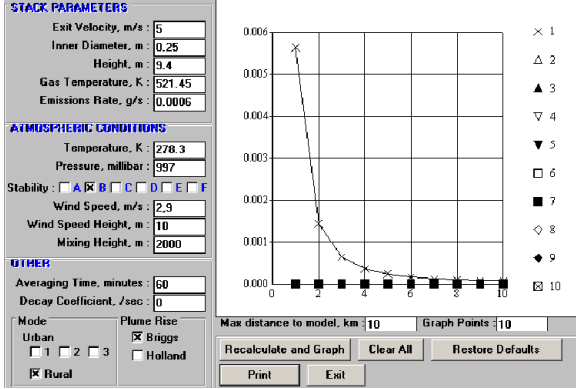
Cicisan 4 Nolu Fırın CO dispersiyon grafiği



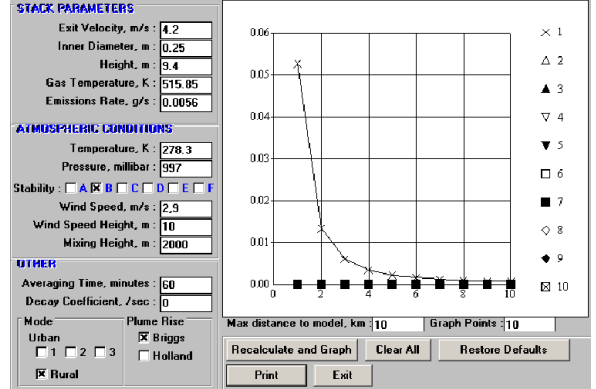
Cicisan 3 Nolu Fırın CO dispersiyon grafiği



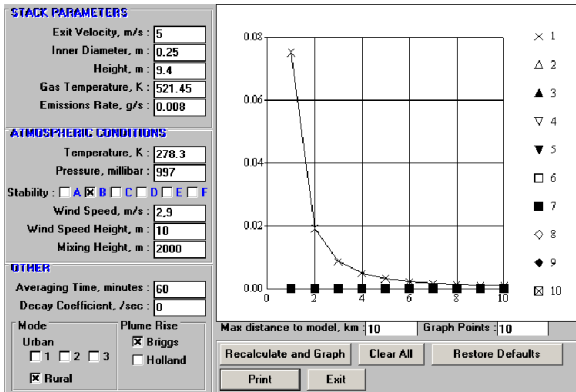
Cicisan 4 Nolu Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



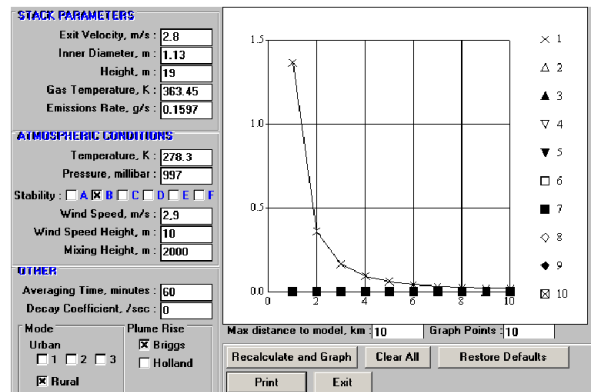
Cicisan 5 Nolu Fırın CO dispersiyon grafiği



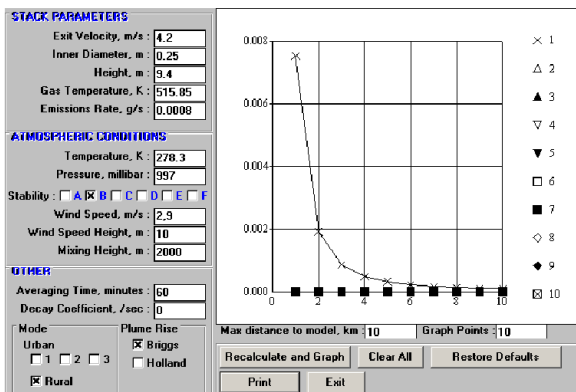
Cicisan 6 Nolu Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



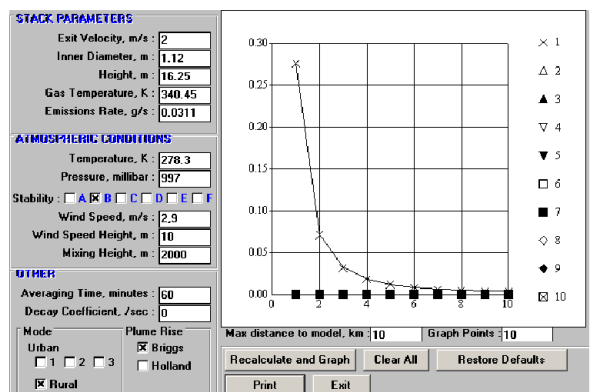
Cicisan 5 Nolu Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



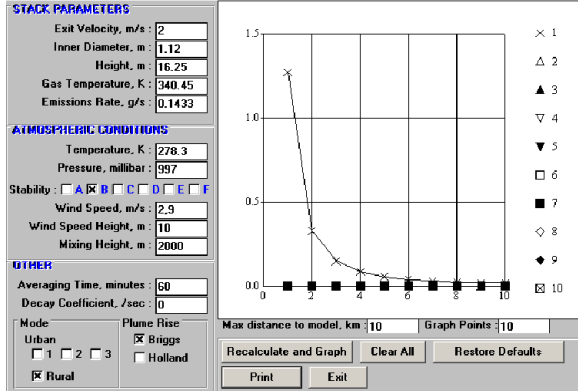
Cicisan 1 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



Cicisan 6 Nolu Fırın CO dispersiyon grafiği

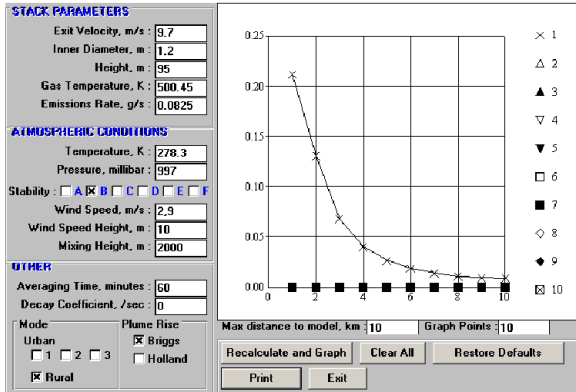


Cicisan 2 Nolu Buhar Kazanı CO dispersiyon grafiği

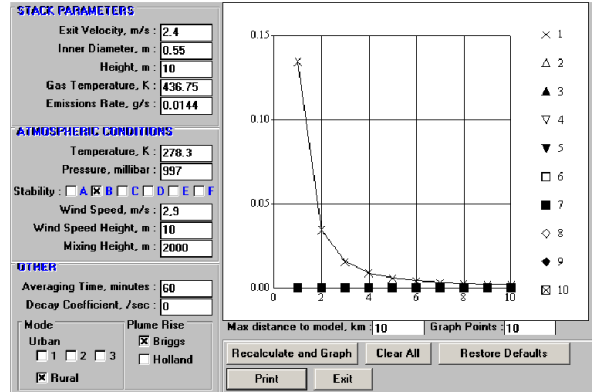


Cicisan 2 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği

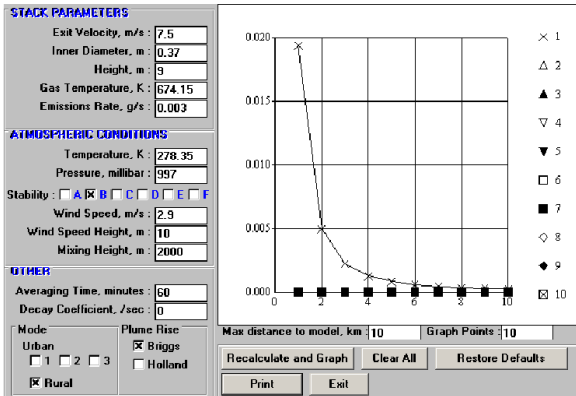
E-) TOPRAK ÜRÜNLERİ SANAYİ



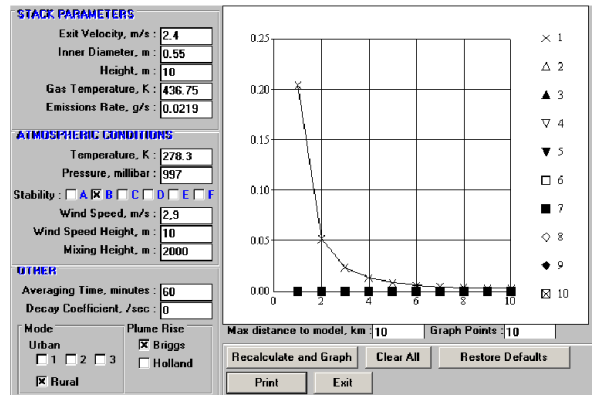
Paşabahçe Cam Sanayi Cam Ergitme Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



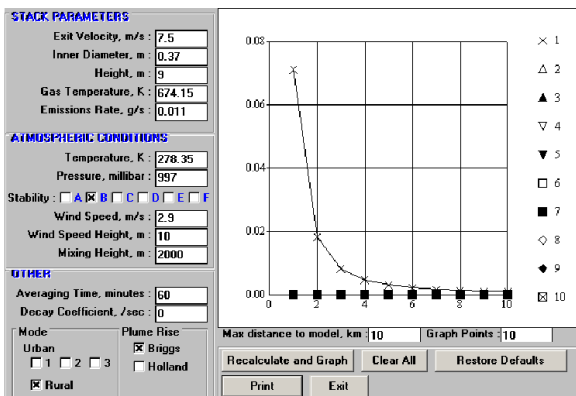
Hatipoğlu Cam Sanayi Tic.A.Ş. Kalorifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



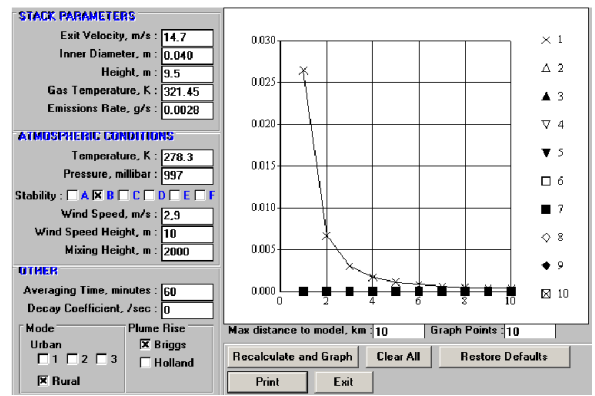
Sertaş Ateş Tuğla Emaye San.ve Tic. A.Ş.'ye ait CO dispersiyon grafiği



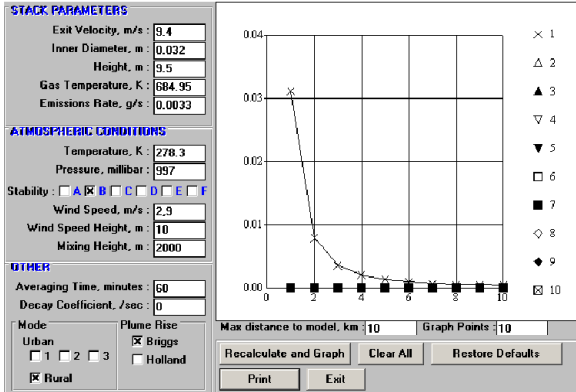
Hatipoğlu Cam Sanayi Tic.A.Ş. Kalorifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



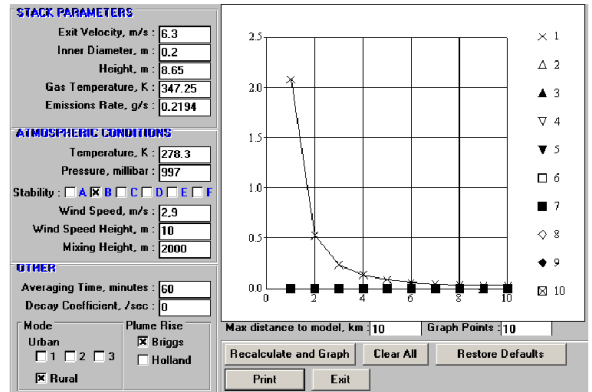
Sertaş Ateş Tuğla Emaye San.ve Tic. A.Ş.'ye ait NO₂ dispersiyon grafiği



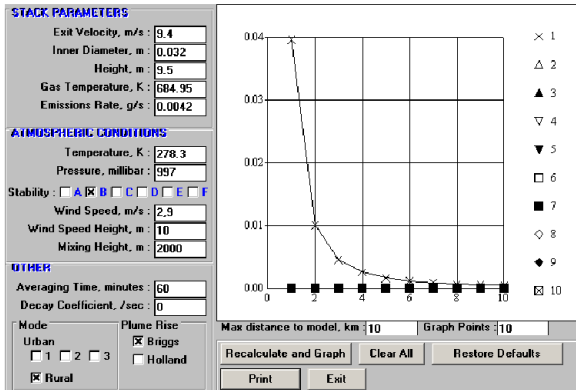
Hatipoğlu Cam Sanayi Tic.A.Ş. Yakma Fırını CO dispersiyon grafiği



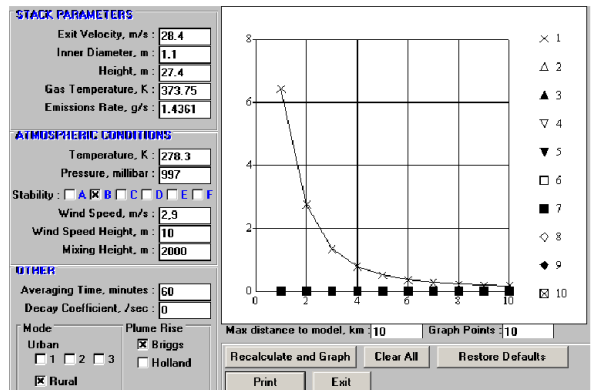
Hatipoğlu Cam Sanayi Tic.A.Ş. Basınçlı Su Yıkama Makinası CO disp. Grafiği



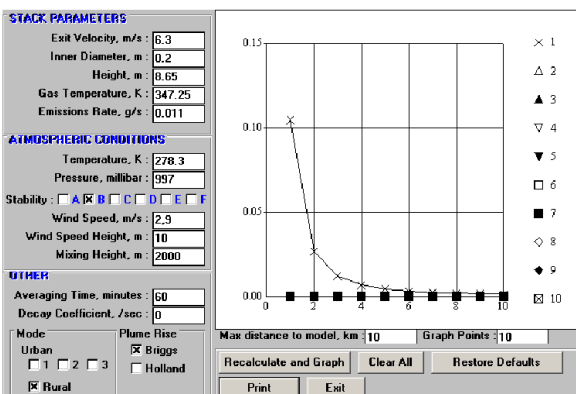
Toprak Holding Karo Fabrikası DK Shrink Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



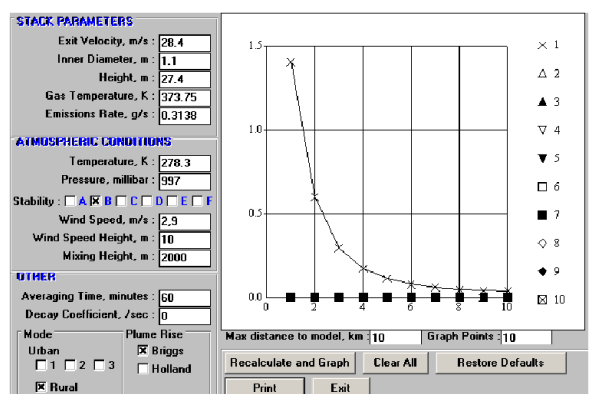
Hatipoğlu Cam Sanayi Tic.A.Ş. Basınçlı Su Yıkama Makinası NO₂ disp. Grafiği



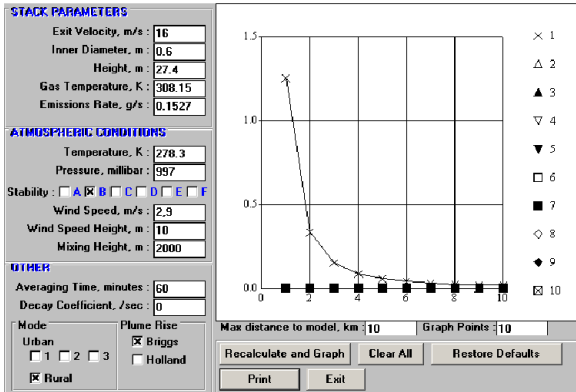
Toprak Holding Karo Fabrikası DK Spray Drier CO dispersiyon grafiği



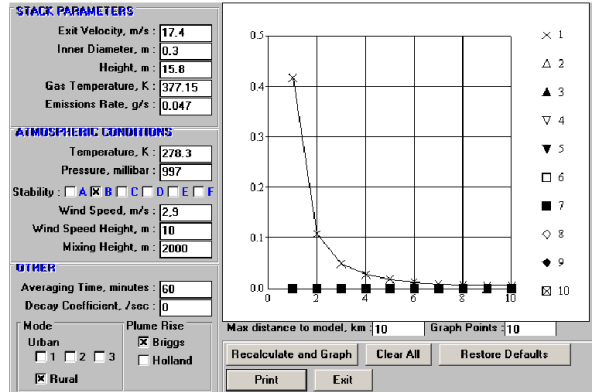
Toprak Holding Karo Fabrikası DK Shrink Fırını CO dispersiyon grafiği



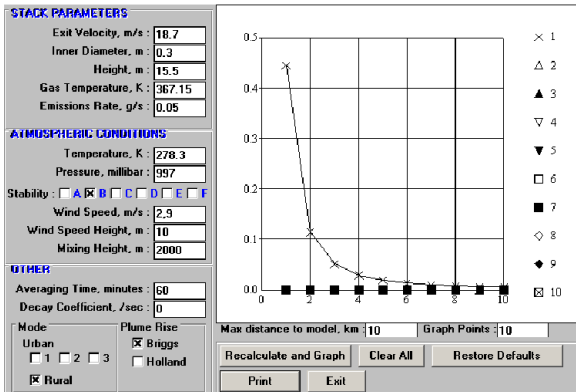
Toprak Holding Karo Fabrikası DK Spray Drier NO₂ dispersiyon grafiği



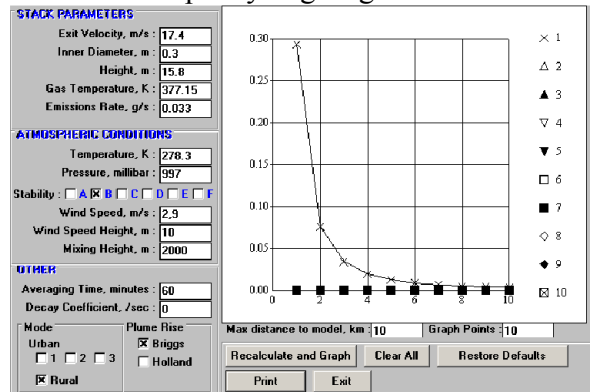
Toprak Holding Karo Fabrikası DK Spray Drier Sulu Toz Tutma CO disp. Grafiği



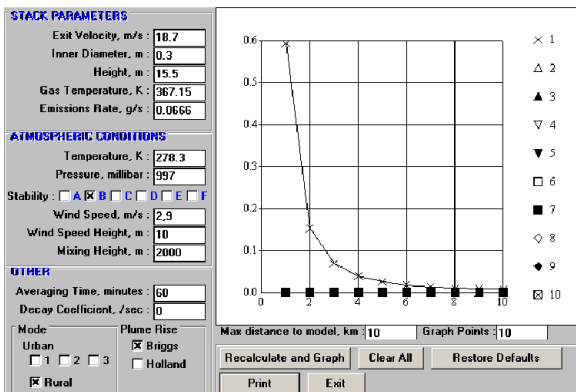
Toprak Holding Karo Fabrikası DK 2 Nolu Trim Yatay Kurutma CO dispersiyon grafiği



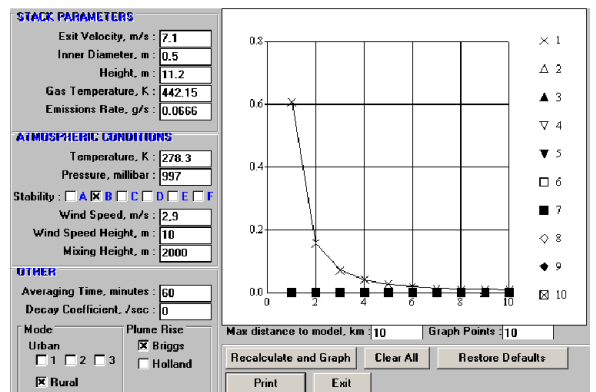
Toprak Holding Karo Fabrikası DK 1 Nolu Trim Yatay Kurutma CO dispersiyon grafiği



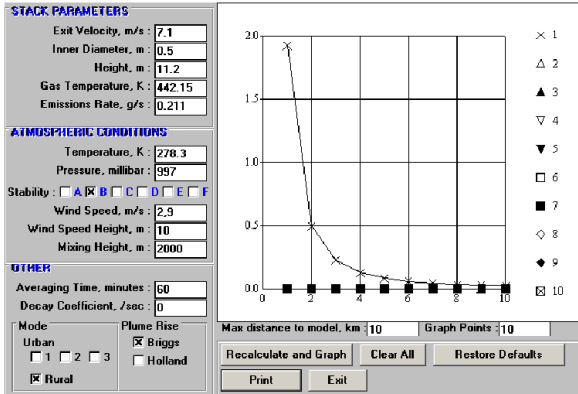
Toprak Holding Karo Fabrikası DK 2 Nolu Trim Yatay Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



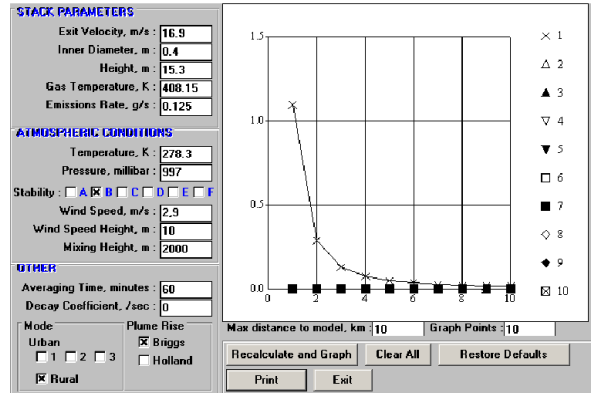
Toprak Holding Karo Fabrikası DK 1 Nolu Trim Yatay Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



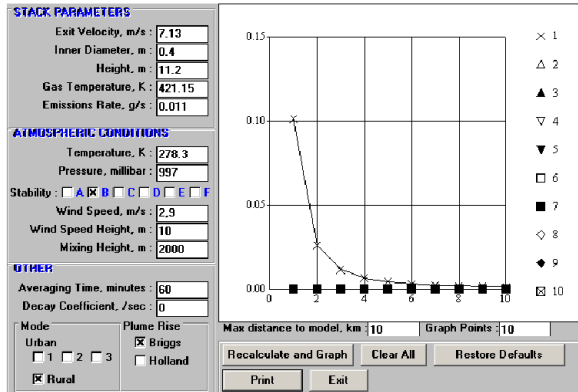
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu Trim Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



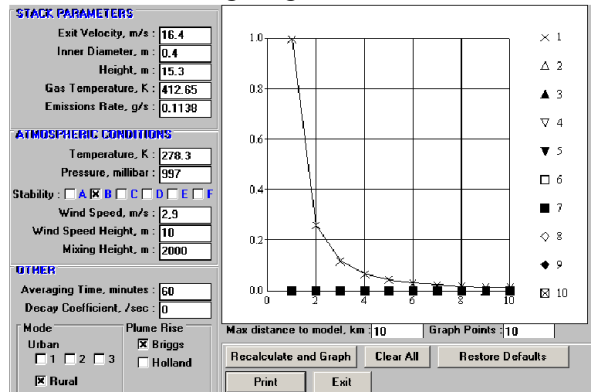
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu
Trim Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



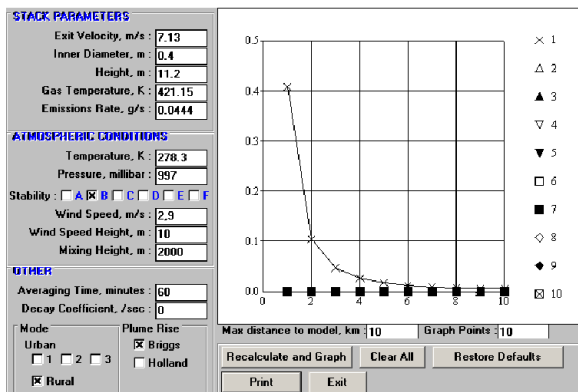
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon
grafiki



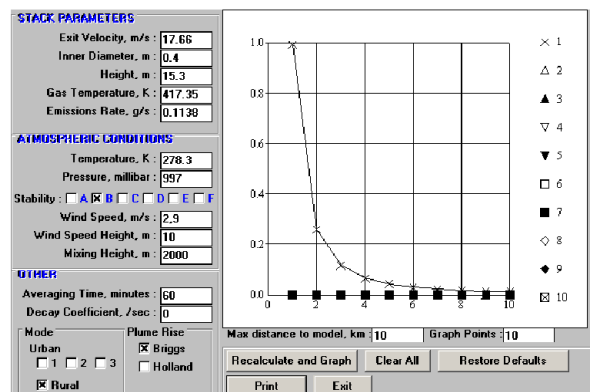
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu
Trim Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



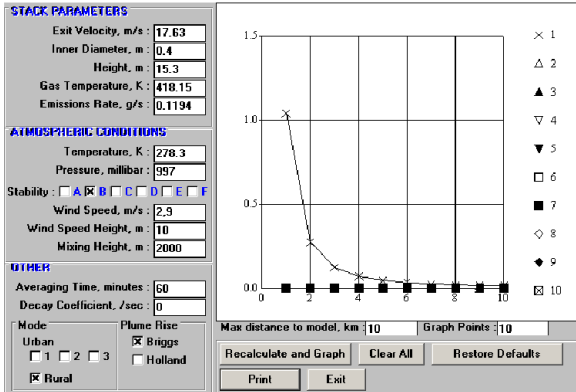
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon
grafiki



Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu
Trim Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği

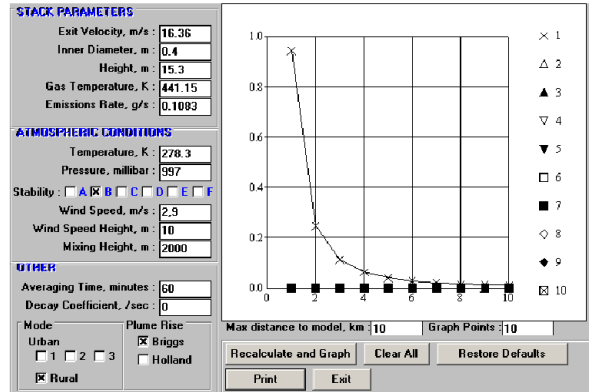


Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon
grafiki



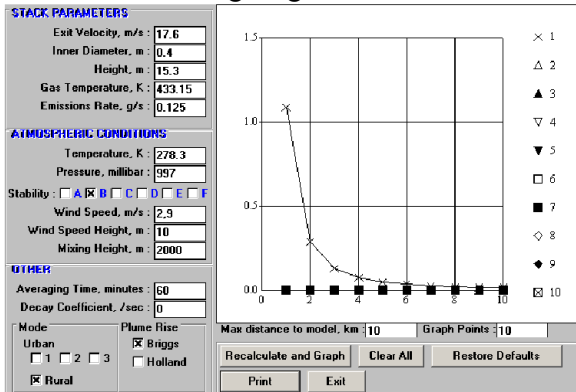
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon

grafığı



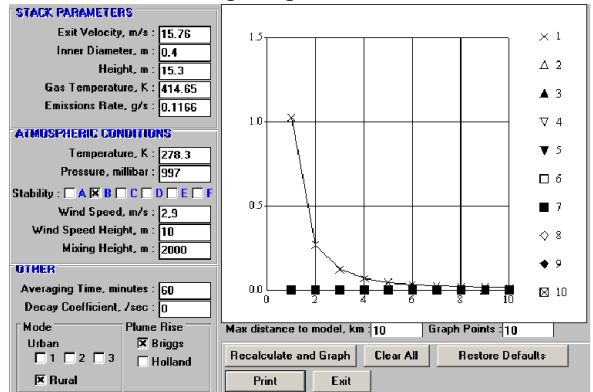
Toprak Holding Karo Fabrikası 7 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon

grafığı



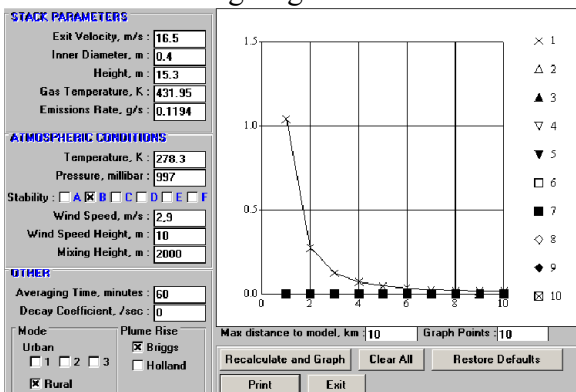
Toprak Holding Karo Fabrikası 5 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon

grafığı



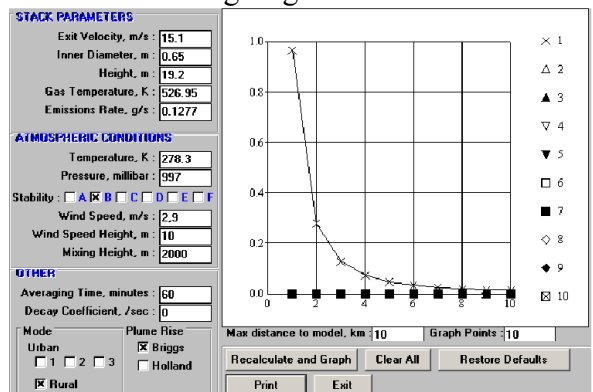
Toprak Holding Karo Fabrikası 8 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon

grafığı



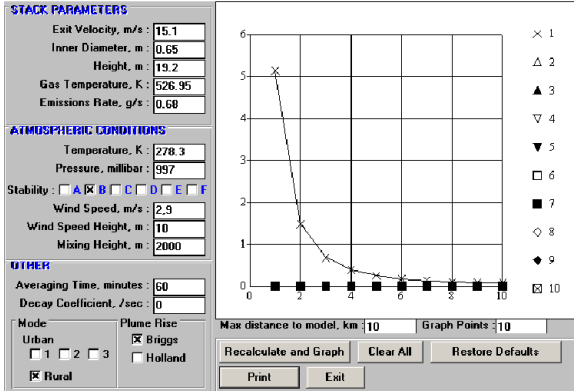
Toprak Holding Karo Fabrikası 6 Nolu
DK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon

grafığı

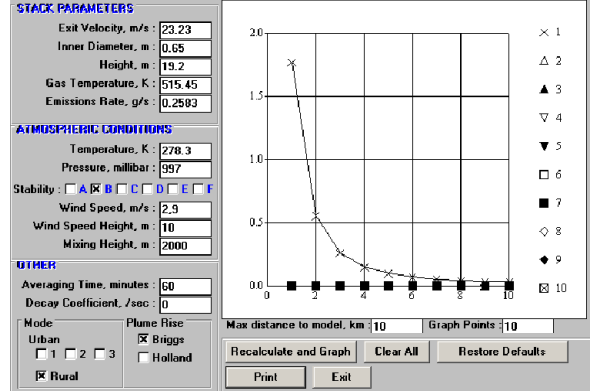


Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu
DK Roller Fırın CO dispersiyon

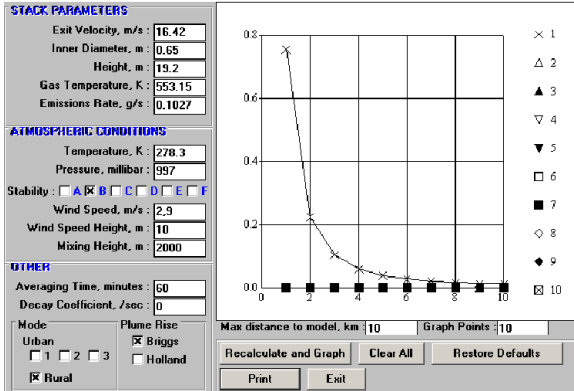
grafığı



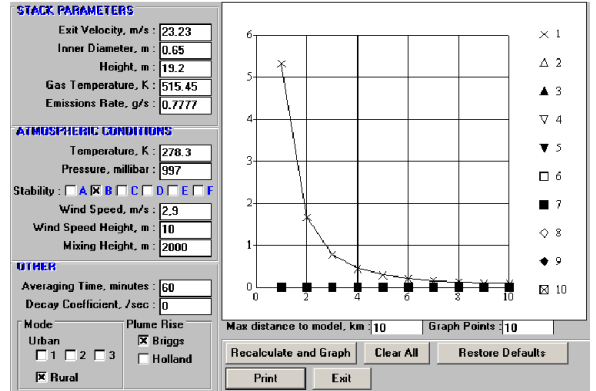
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu DK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



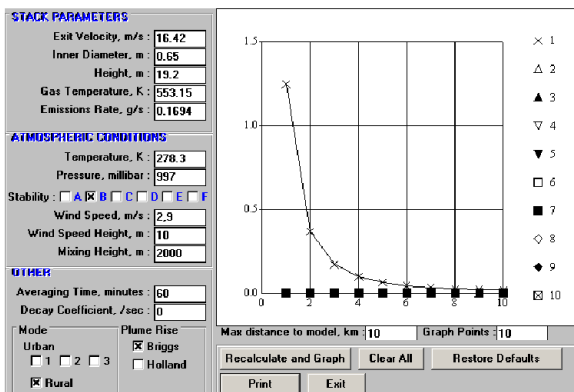
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu DK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



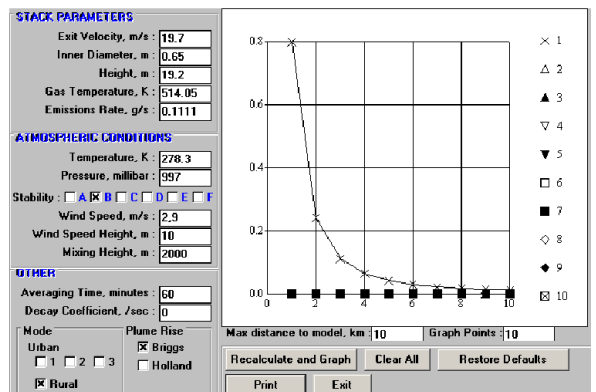
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu DK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



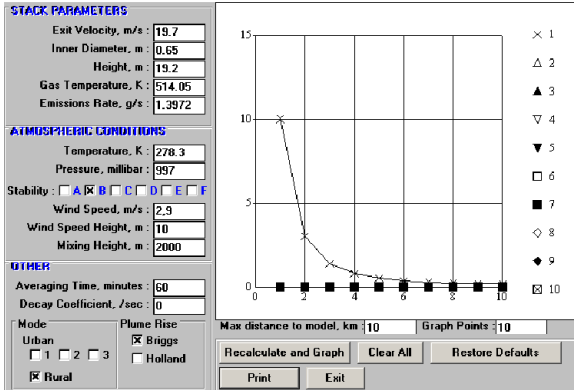
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu DK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



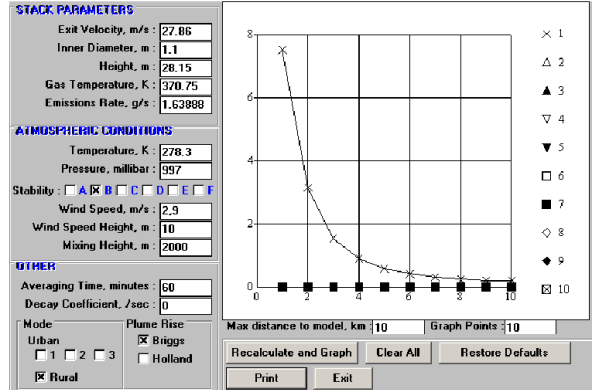
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu DK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



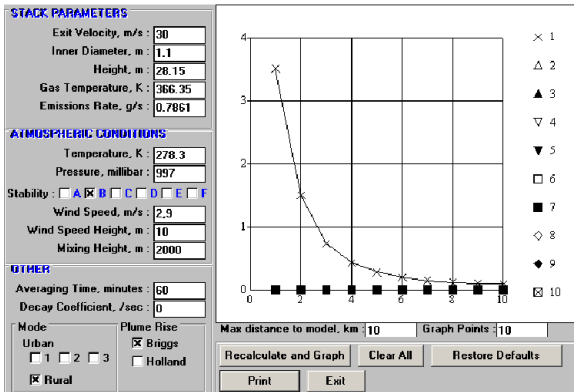
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu DK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



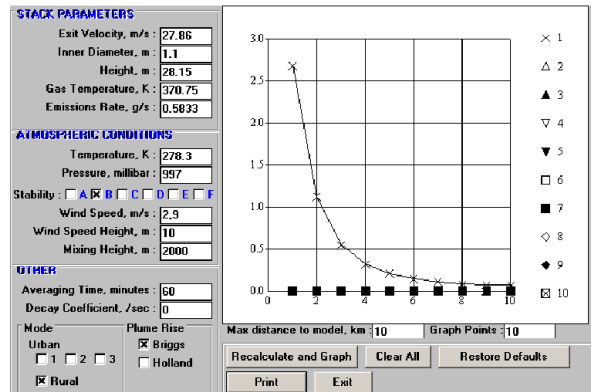
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu DK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



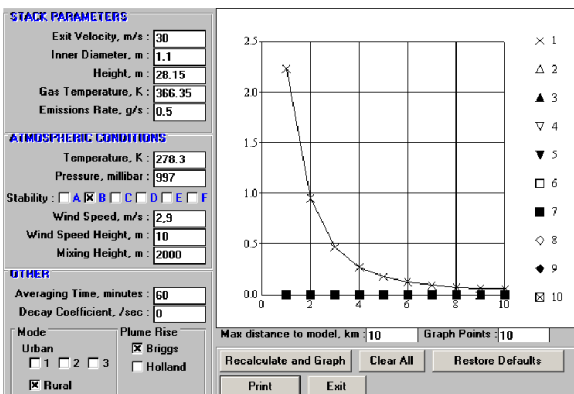
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu YK Spray Drier CO dispersiyon grafiği



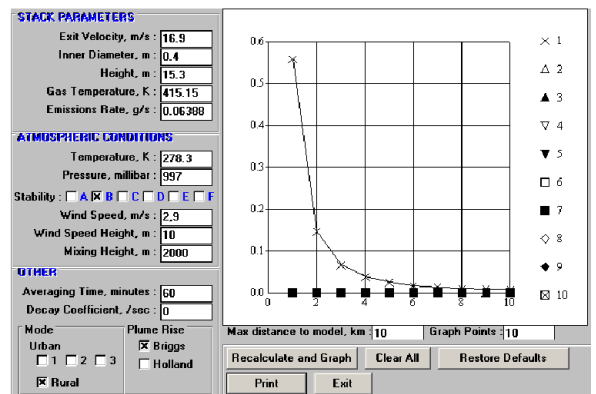
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu YK Spray Drier CO dispersiyon grafiği



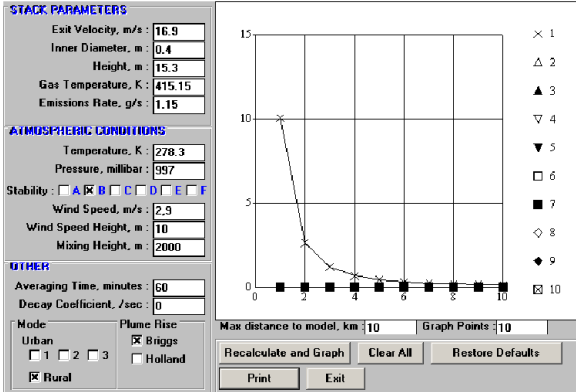
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu YK Spray Drier NO₂ dispersiyon grafiği



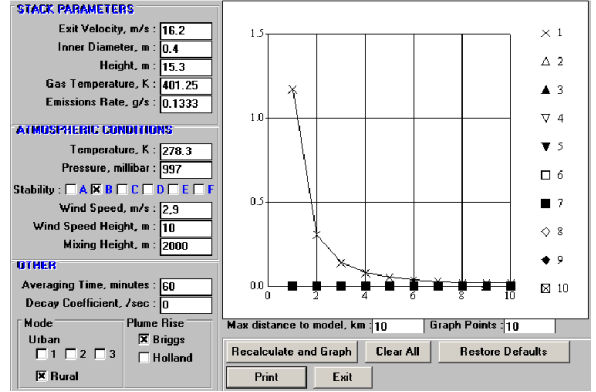
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu YK Spray Drier NO₂ dispersiyon grafiği



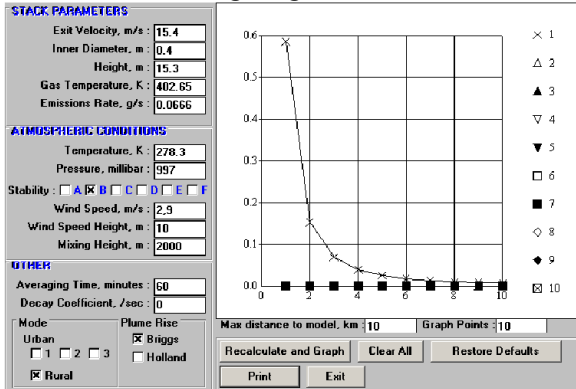
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



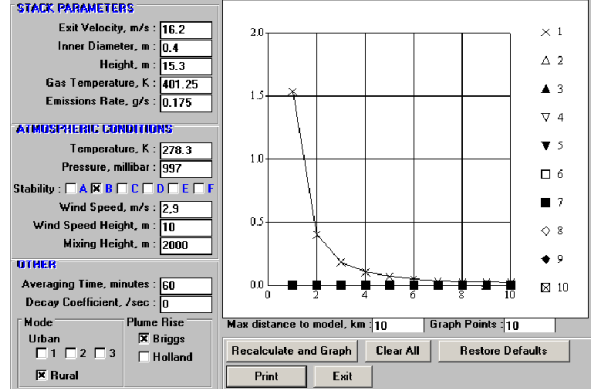
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



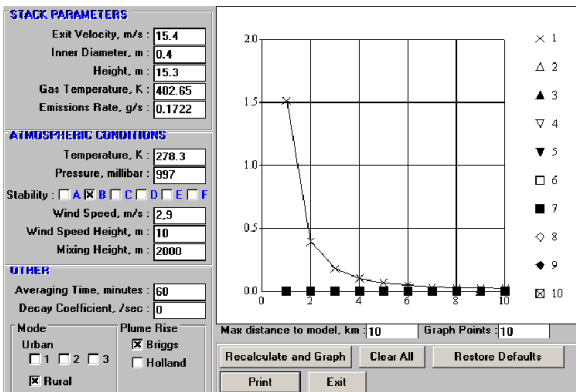
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



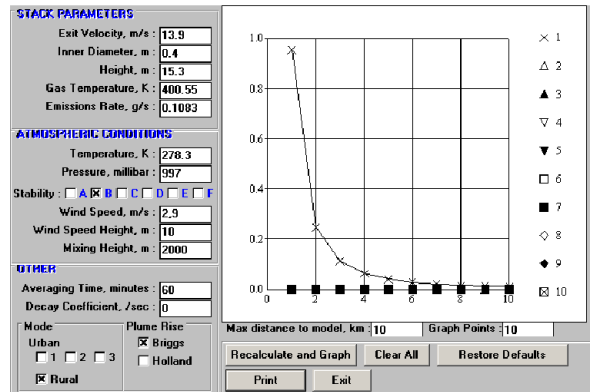
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



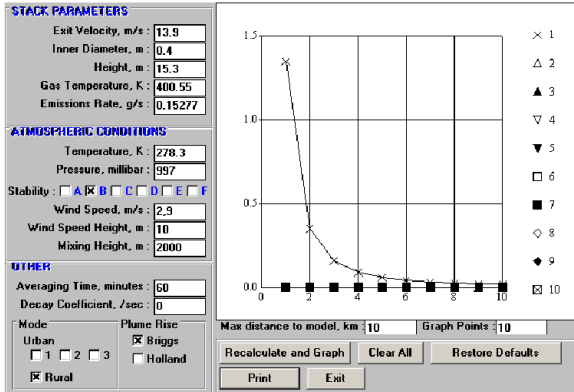
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



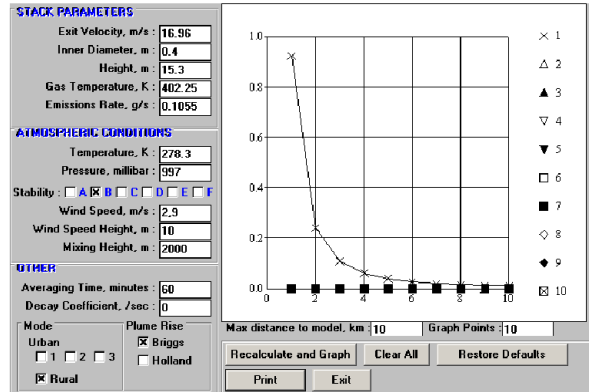
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



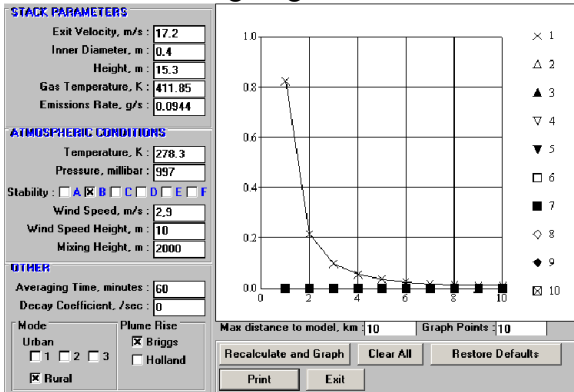
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



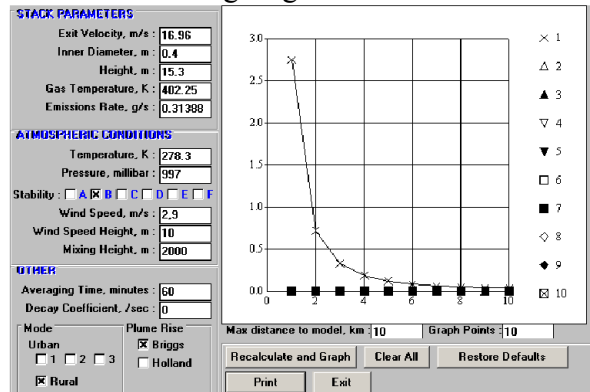
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu
YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon
grafığı



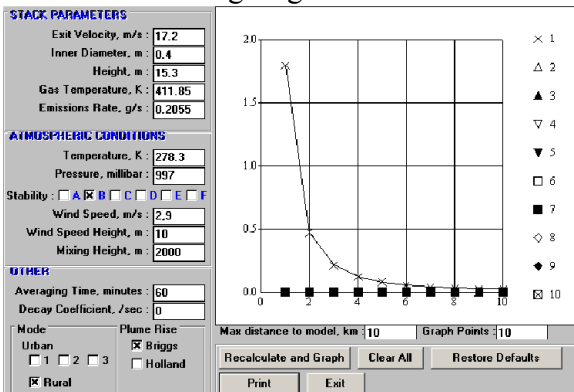
Toprak Holding Karo Fabrikası 6 Nolu
YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon
grafığı



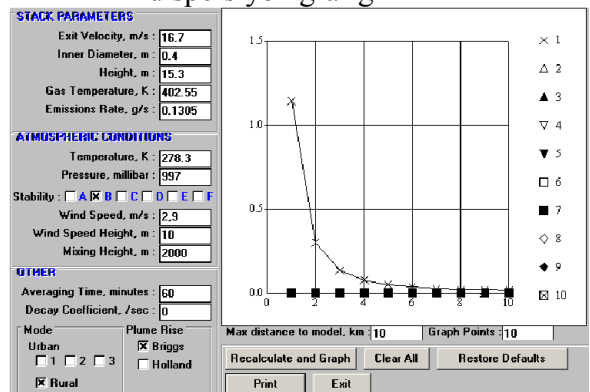
Toprak Holding Karo Fabrikası 5 Nolu
YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon
grafığı



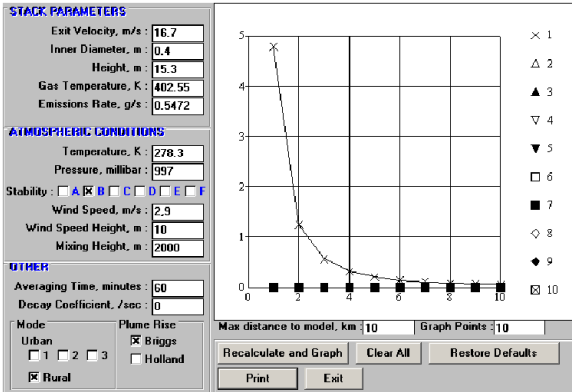
Toprak Holding Karo Fabrikası 6 Nolu
YK Dikey Pres Kurutma NO₂
dispersiyon grafığı



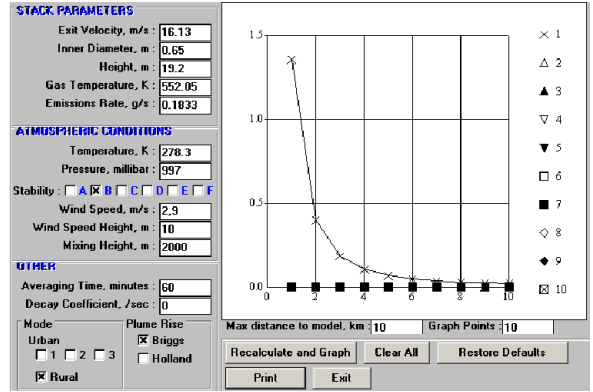
Toprak Holding Karo Fabrikası 5 Nolu
YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon
grafığı



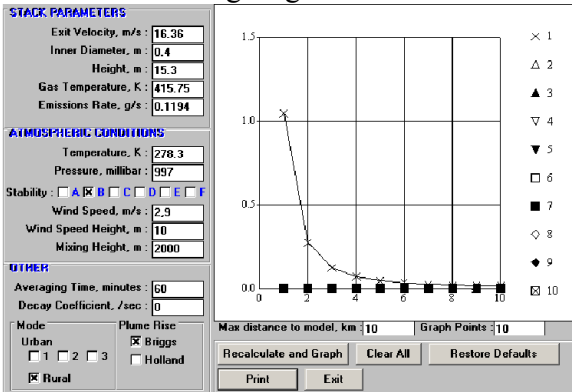
Toprak Holding Karo Fabrikası 7 Nolu
YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon
grafığı



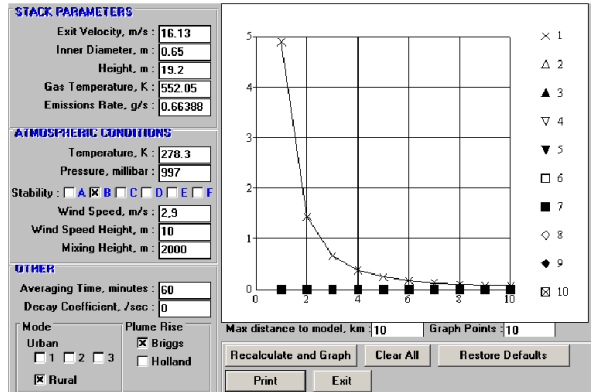
Toprak Holding Karo Fabrikası 7 Nolu YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



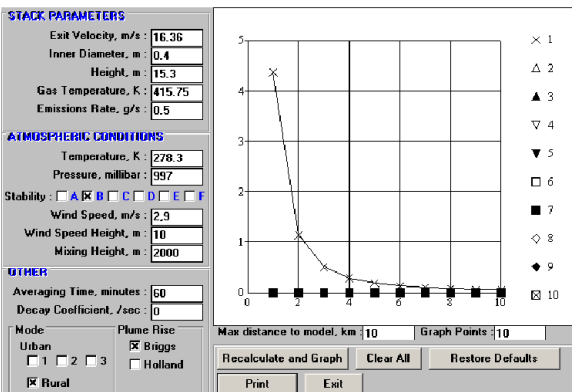
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu YK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



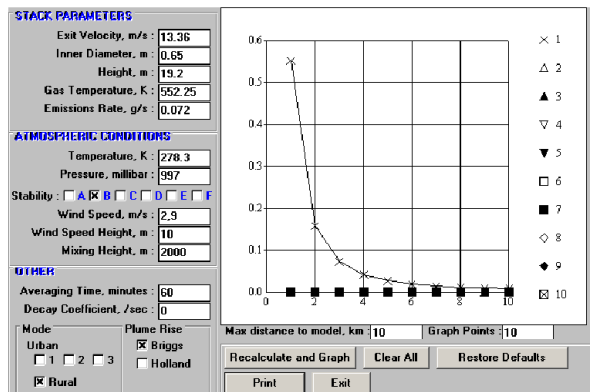
Toprak Holding Karo Fabrikası 8 Nolu YK Dikey Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



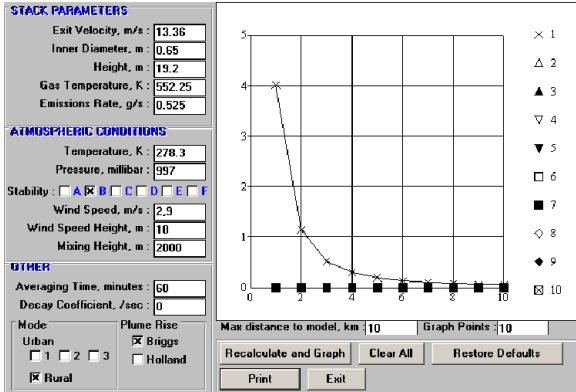
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu YK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



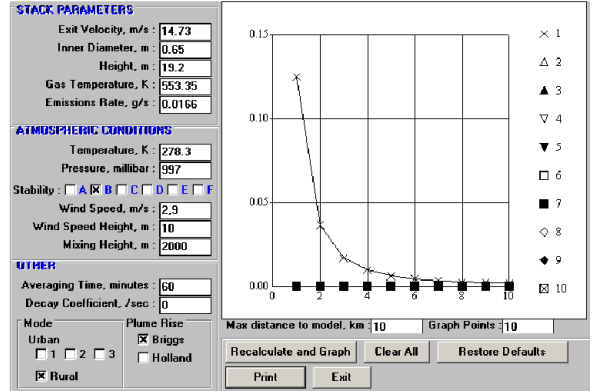
Toprak Holding Karo Fabrikası 8 Nolu YK Dikey Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



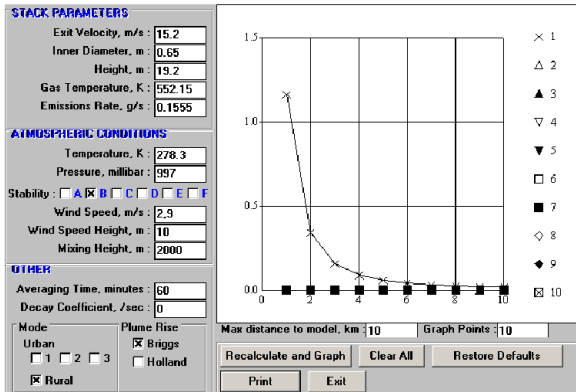
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu YK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



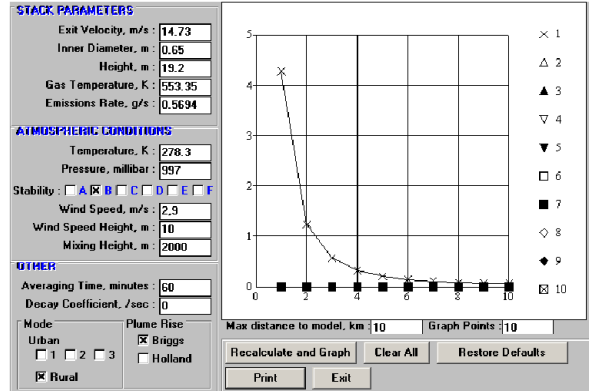
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu
YK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



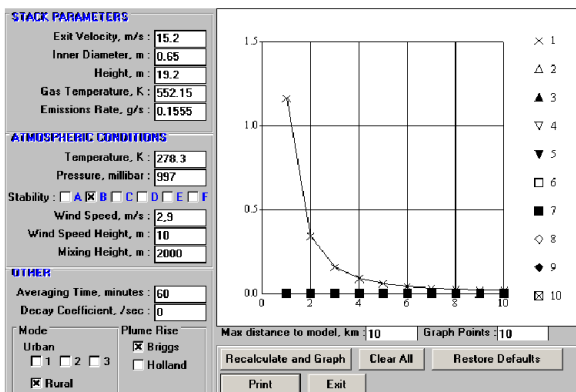
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu
YK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



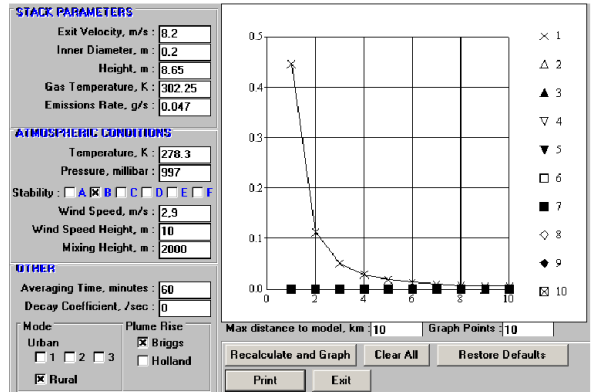
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu
YK Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



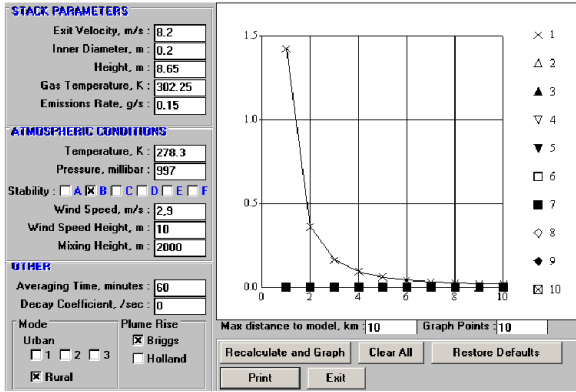
Toprak Holding Karo Fabrikası 4 Nolu
YK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



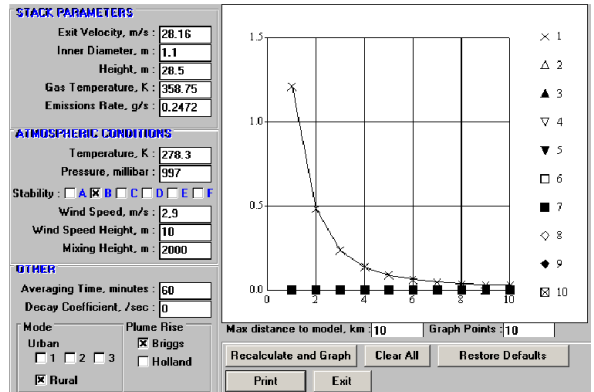
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu
YK Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



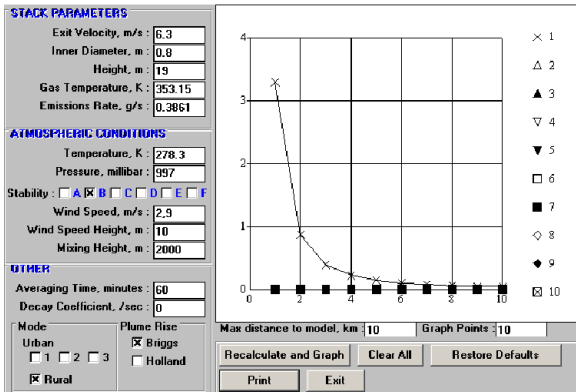
Toprak Holding Karo Fabrikası YK
Shrink Fırını CO dispersiyon grafiği



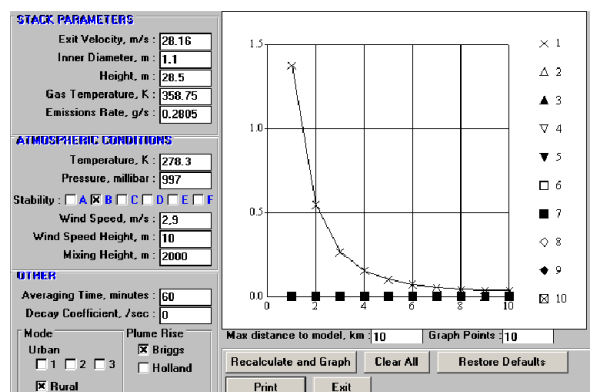
Toprak Holding Karo Fabrikası YK Shrink Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



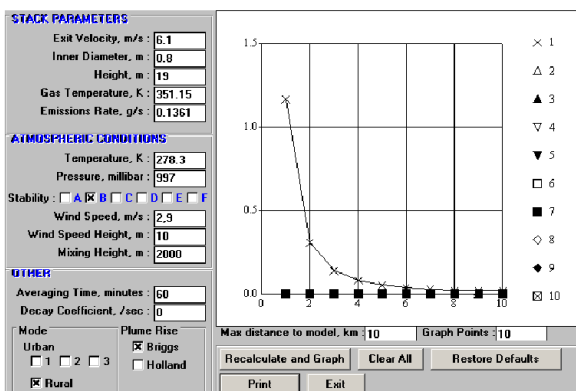
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Spray Drier CO dispersiyon grafiği



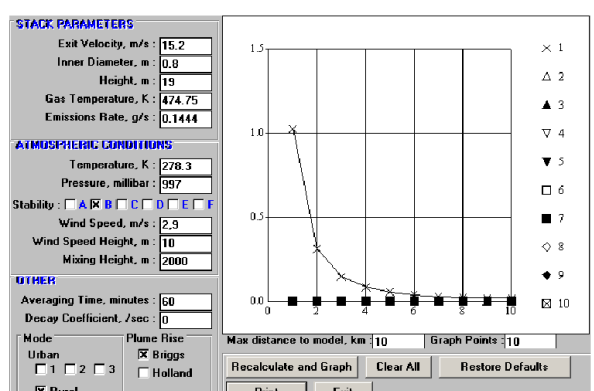
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



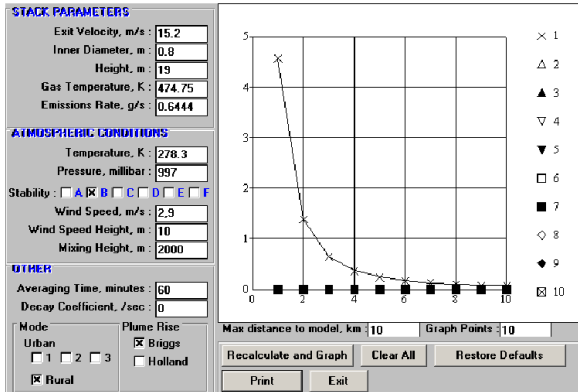
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Spray Drier NO₂ dispersiyon grafiği



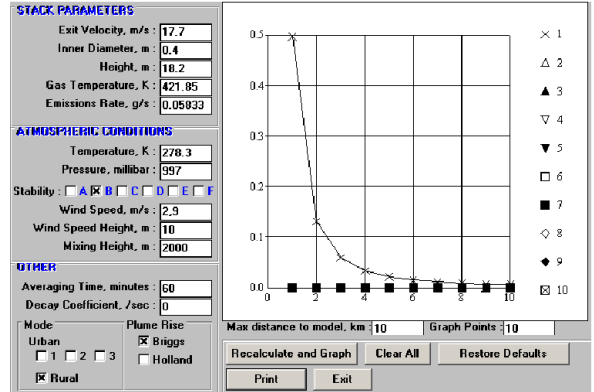
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



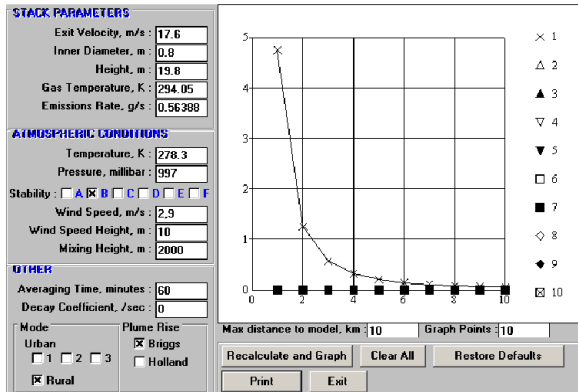
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



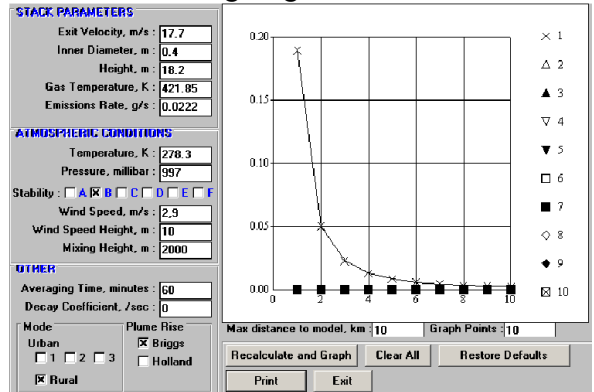
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



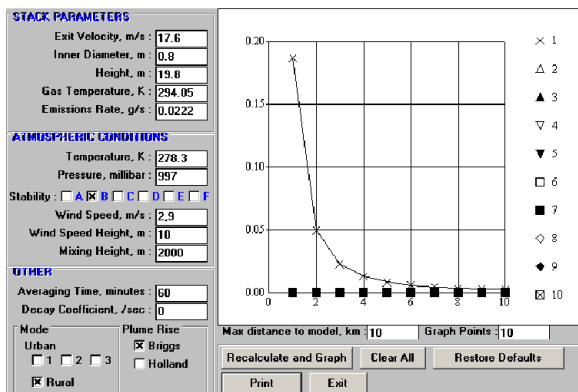
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu Granit Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



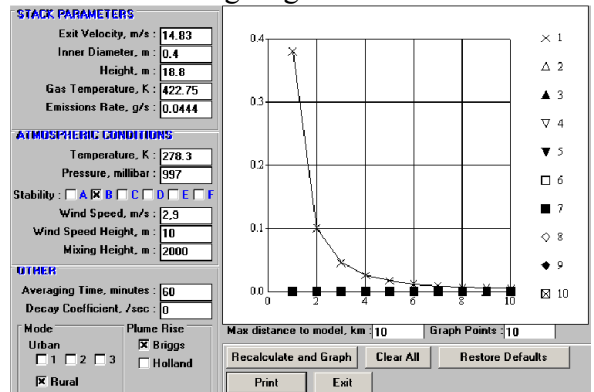
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Fırın Kurutma CO dispersiyon grafiği



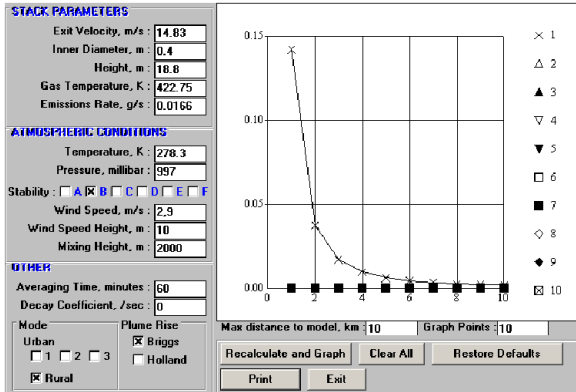
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu Granit Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



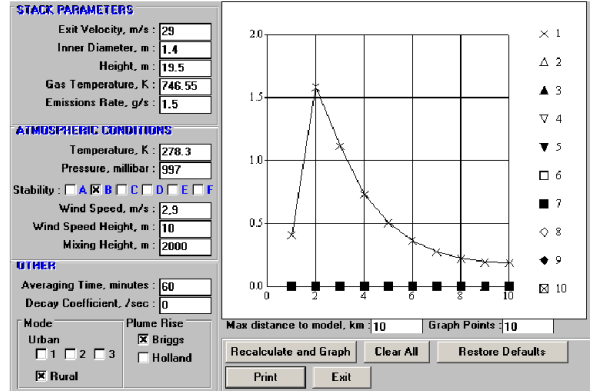
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Fırın Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



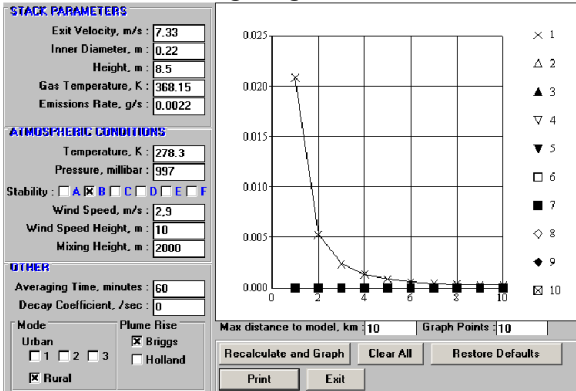
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu Granit Pres Kurutma CO dispersiyon grafiği



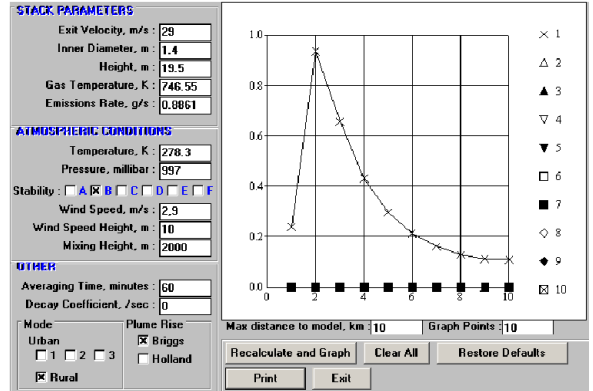
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu Granit Pres Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



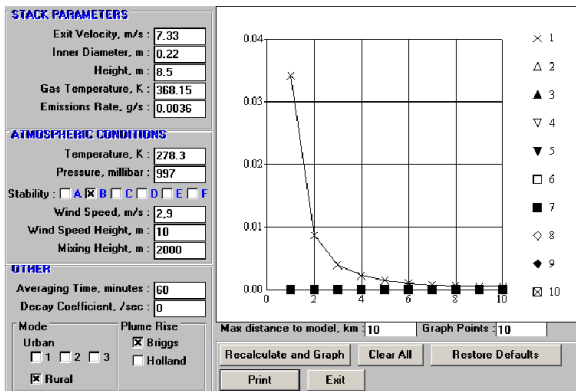
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu Co-Generation Ünitesi CO dispersiyon grafiği



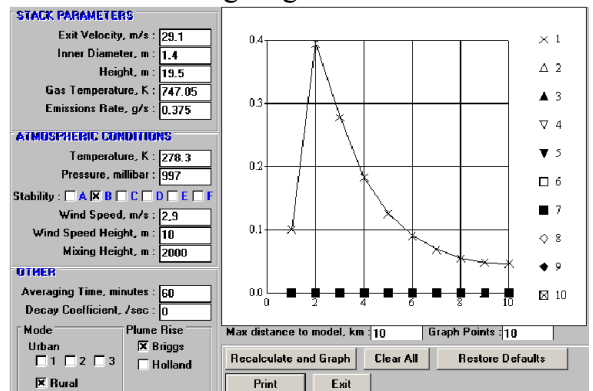
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Shrink Fırın CO dispersiyon grafiği



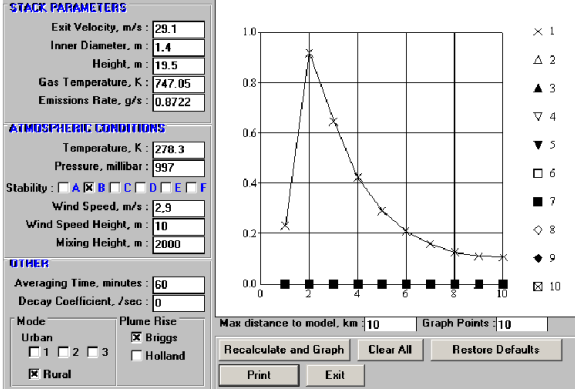
Toprak Holding Karo Fabrikası 1 Nolu Co-Generation Ünitesi NO₂ dispersiyon grafiği



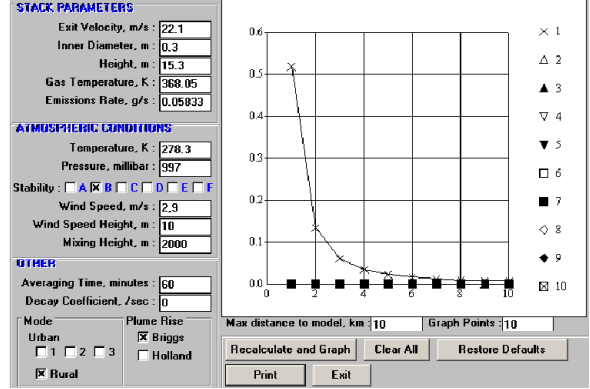
Toprak Holding Karo Fabrikası Granit Shrink Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



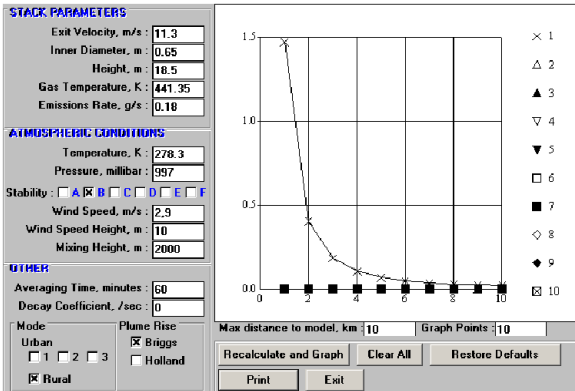
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu Co-Generation Ünitesi CO dispersiyon grafiği



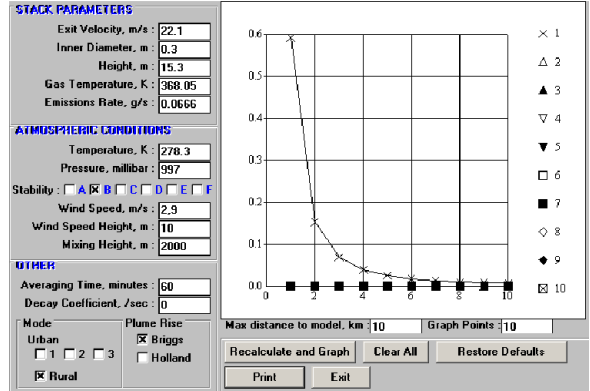
Toprak Holding Karo Fabrikası 2 Nolu Co-Generation Ünitesi NO₂ dispersiyon grafiği



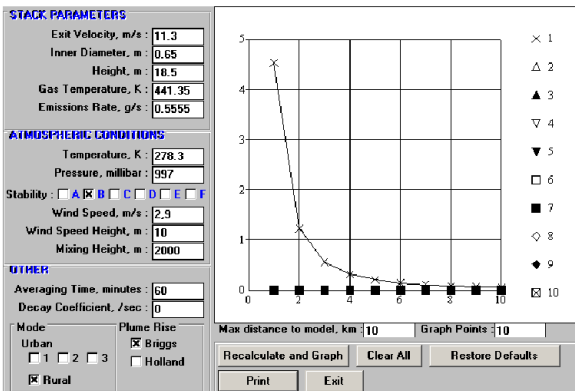
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu Trim Yatay Kurutma CO dispersiyon grafiği



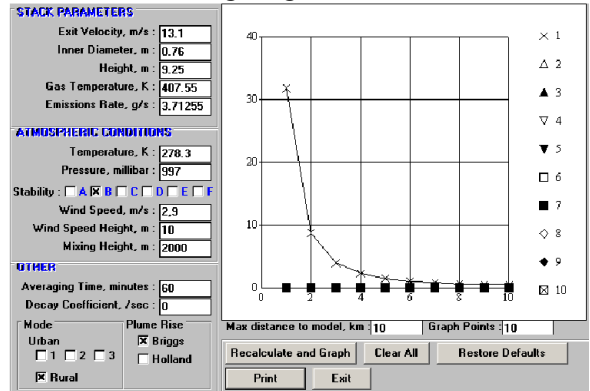
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu Trim Roller Fırın CO dispersiyon grafiği



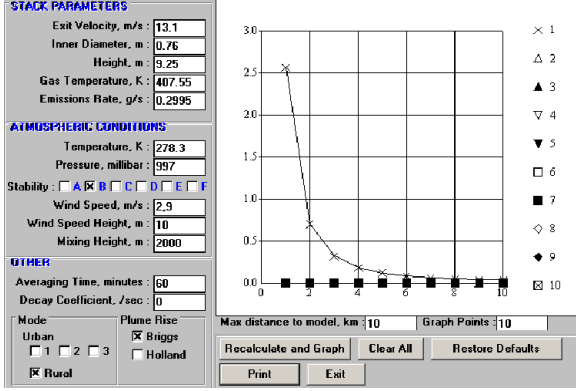
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu Trim Yatay Kurutma NO₂ dispersiyon grafiği



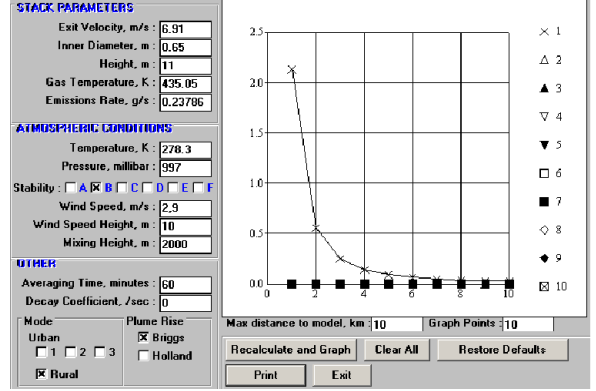
Toprak Holding Karo Fabrikası 3 Nolu Trim Roller Fırın NO₂ dispersiyon grafiği



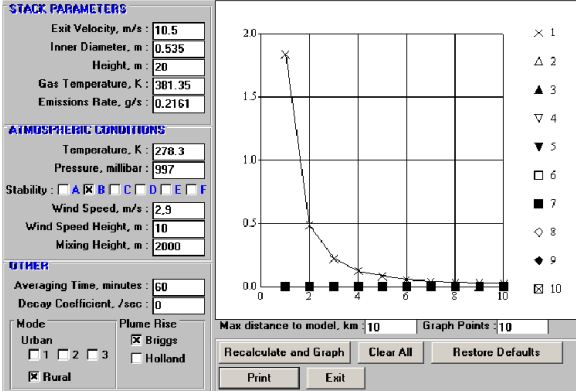
Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası Tünel Fırın CO dispersiyon grafiği



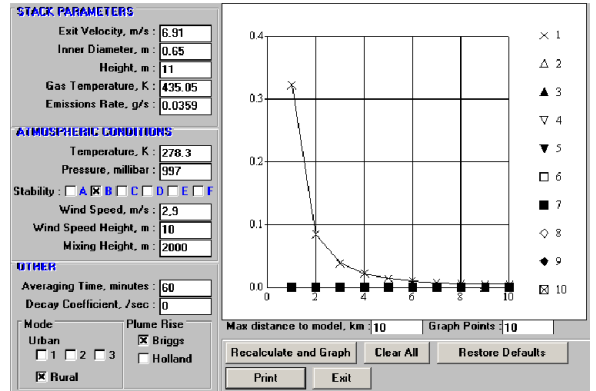
Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası Tünel Fırın
NO₂ dispersiyon grafiği



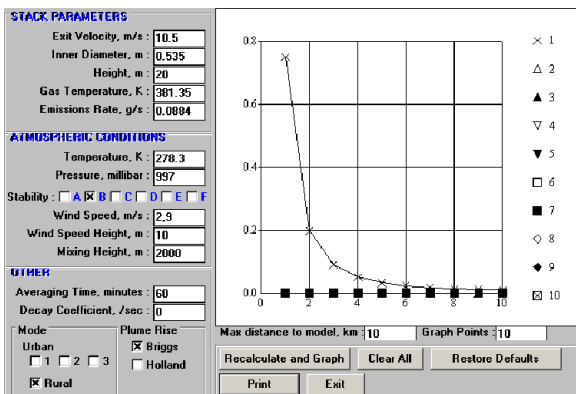
Enton Beton1 Nolu Buhar Kazanı CO
dispersiyon grafiği



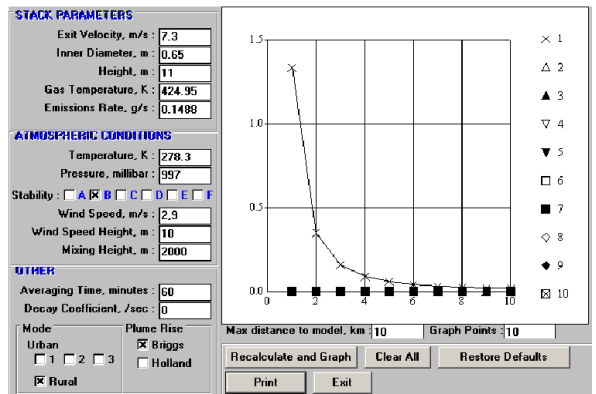
Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası Kiremit
Kurutma Kazanı CO dispersiyon grafiği



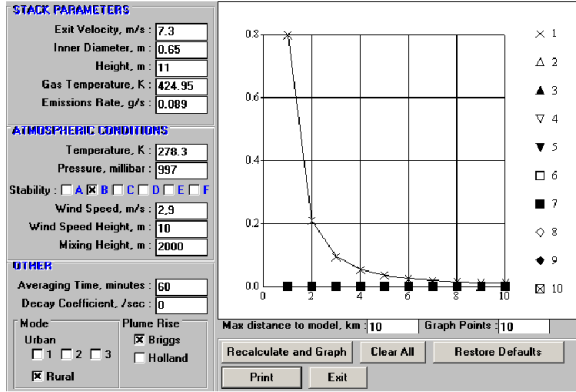
Enton Beton1 Nolu Buhar Kazanı NO₂
dispersiyon grafiği



Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası Kiremit
Kurutma Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği

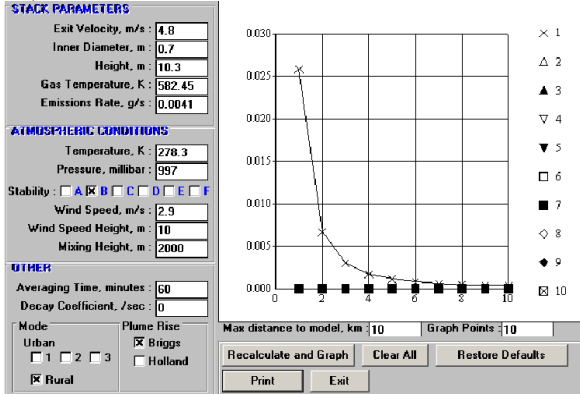


Enton Beton 2 Nolu Buhar Kazanı CO
dispersiyon grafiği

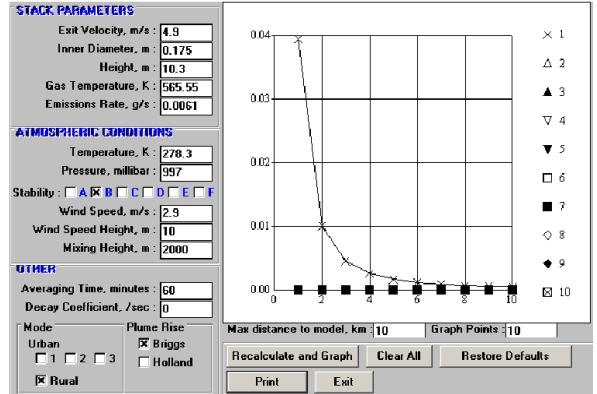


Enton Beton 2 Nolu Buhar Kazanı NO₂
dispersiyon grafiği

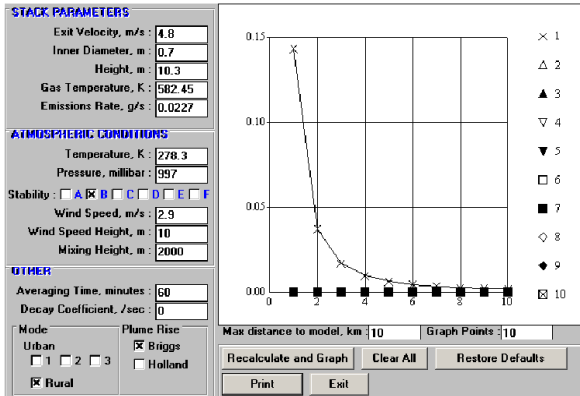
F-) KİMYA SANAYİ



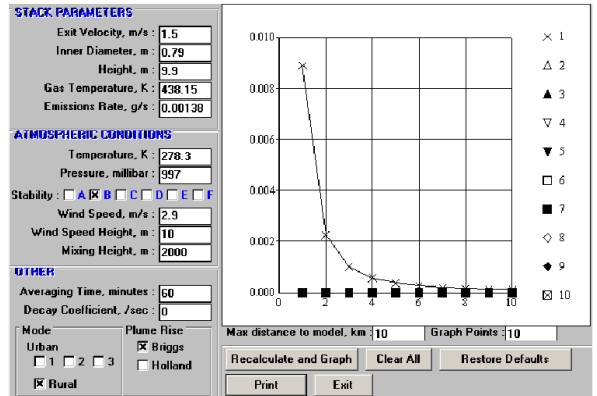
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. Yağ alma fosfatlama firmını CO dispersiyon grafiği



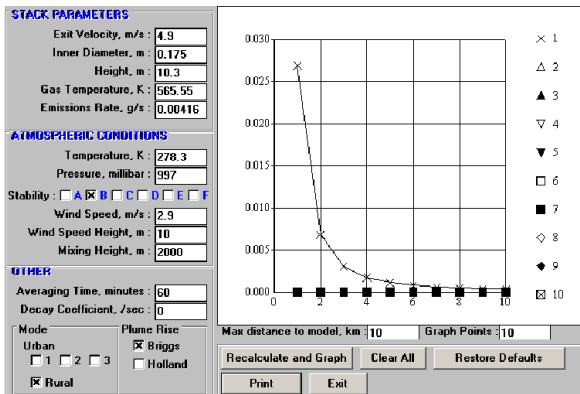
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. boya pişirme firmını NO₂ dispersiyon grafiği



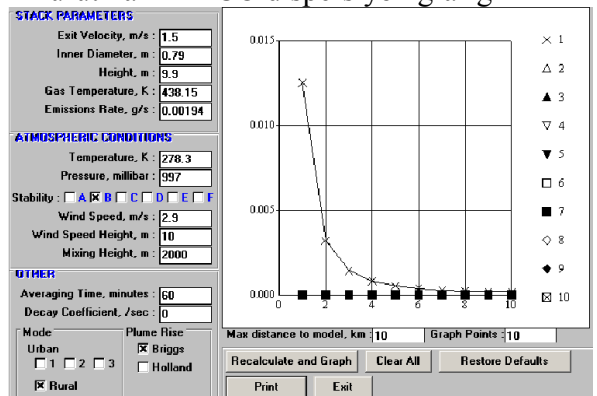
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. Yağ alma fosfatlama firmını NO₂ dispersiyon grafiği



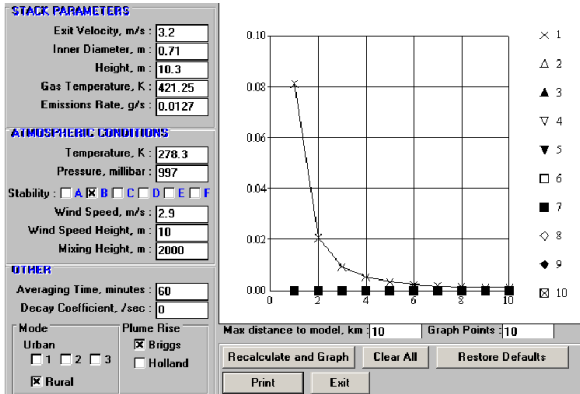
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. boya kurutma firmını CO dispersiyon grafiği



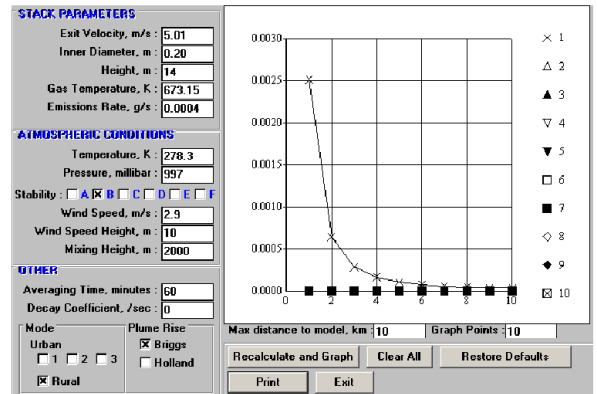
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. boya pişirme firmını CO dispersiyon grafiği



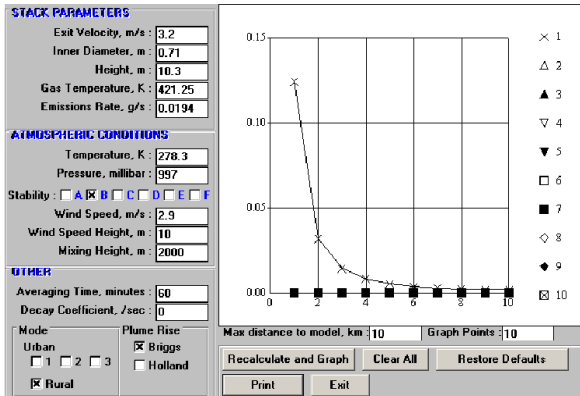
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. boya kurutma firmını NO₂ dispersiyon grafiği



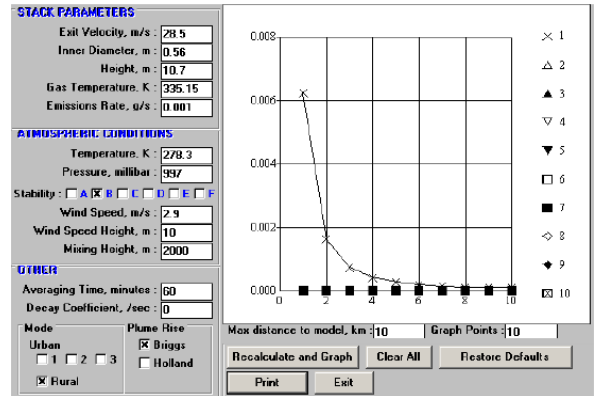
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. kalorifer kazanı CO dispersiyon grafiği



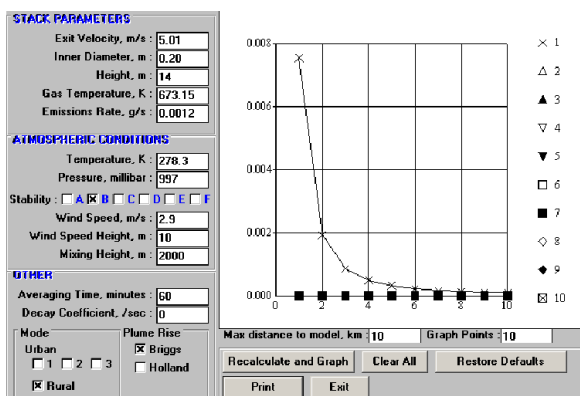
Arı Kimya Metalurji San.Tic.A.Ş. kalorifer kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



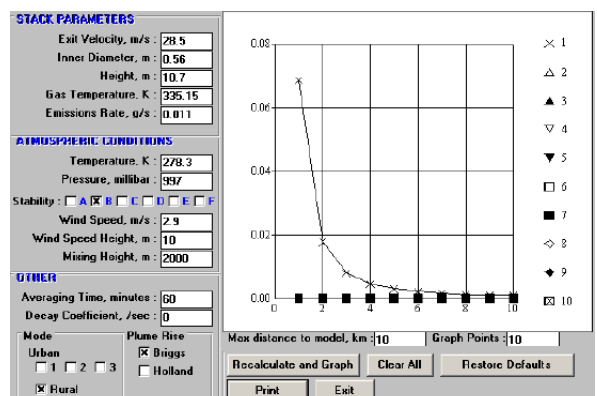
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş. kalorifer kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



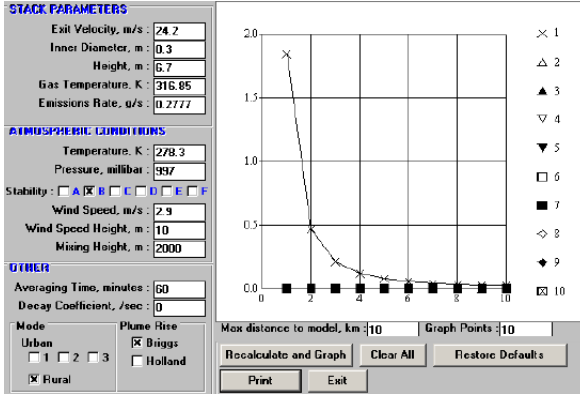
Dolsan Golgu Malzemeleri San.Tic.A.Ş. sepiyolit fırını CO dispersiyon grafiği



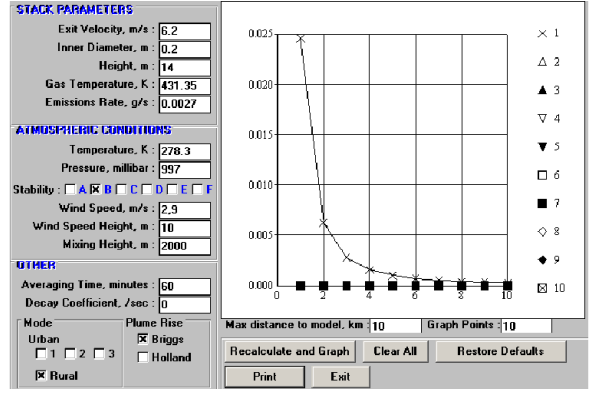
Arı Kimya Metalurji San.Tic.A.Ş. kalorifer kazanı CO dispersiyon grafiği



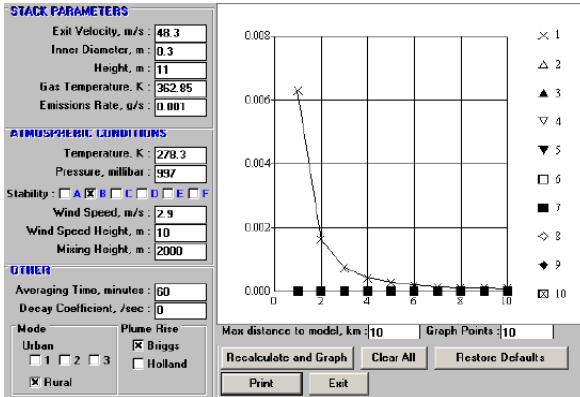
Dolsan Golgu Malzemeleri San.Tic.A.Ş. sepiyolit fırını NO₂ dispersiyon grafiği



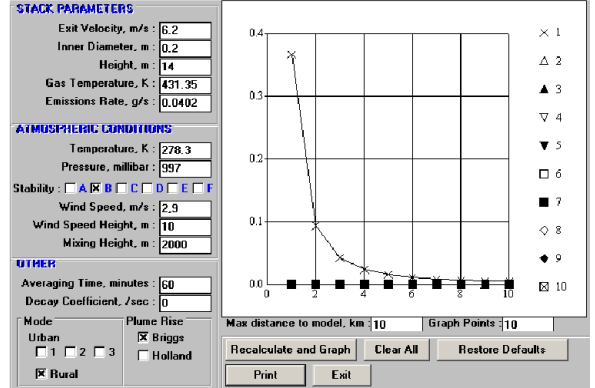
Dolsan Golgu Malzemeleri San.Tic.A.Ş.
döner fırın NO₂ dispersiyon grafiği



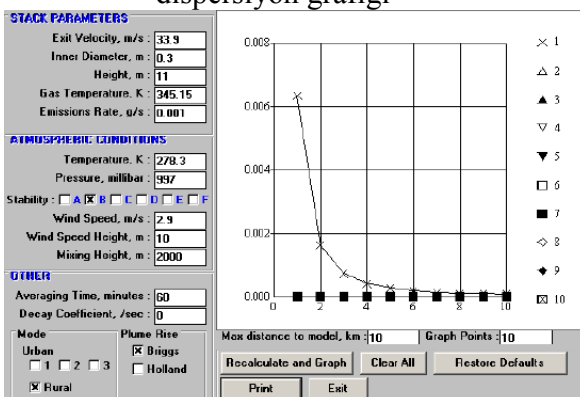
Eskim A.Ş. Buhar Kazanı CO
dispersiyon grafiği



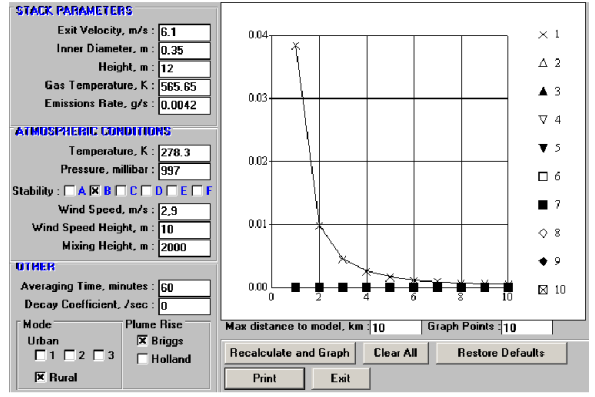
Dolsan Golgu Malzemeleri San.Tic.A.Ş. 1
Nolu öğütücü değirmen fırını NO₂
dispersiyon grafiği



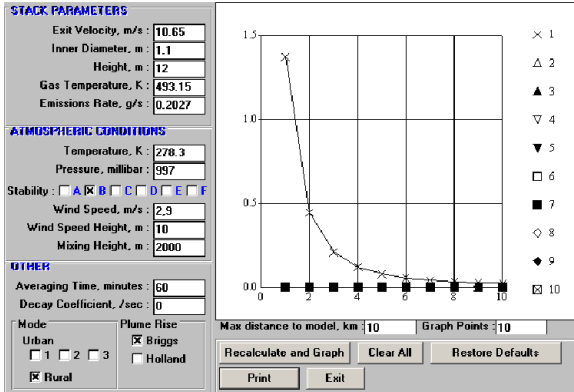
Eskim.A.Ş. Buhar Kazanı NO₂
dispersiyon grafiği



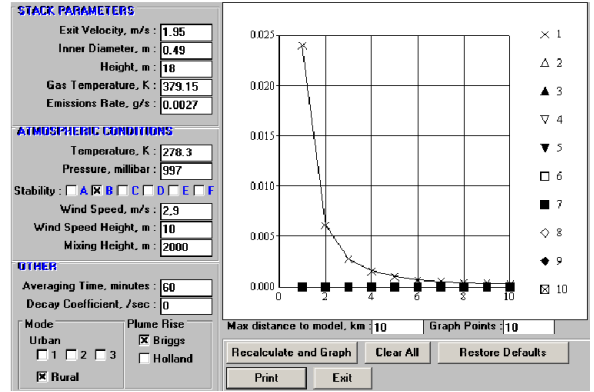
Dolsan Golgu Malzemeleri San.Tic.A.Ş. 2
Nolu öğütücü değirmen fırını NO₂
dispersiyon grafiği



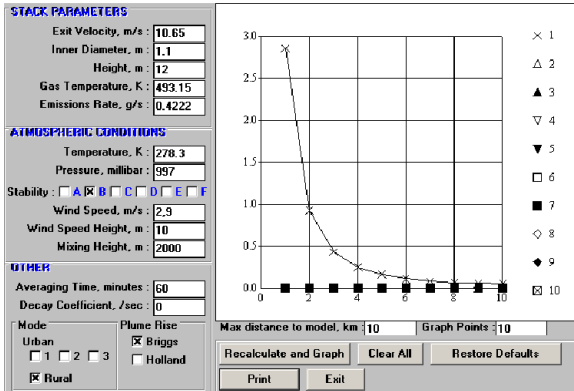
Eskim A.Ş. Kızgın Yağ Kazanı CO
dispersiyon grafiği



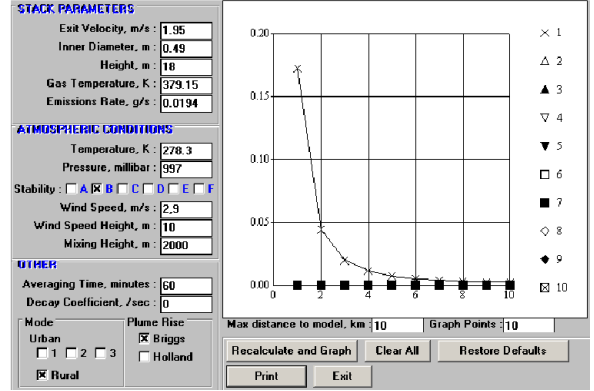
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası Cam Ergitme Fırını CO dispersiyon grafiği



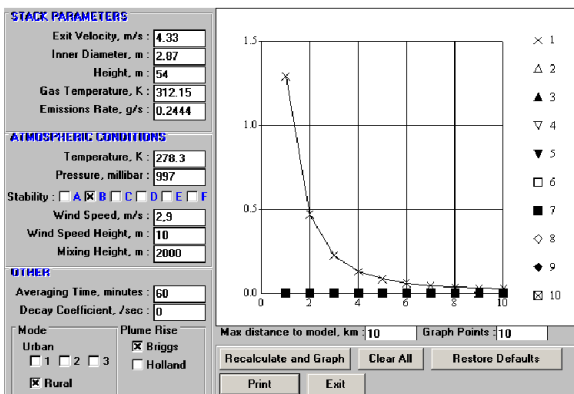
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası 1 Nolu Kazan CO dispersiyon grafiği



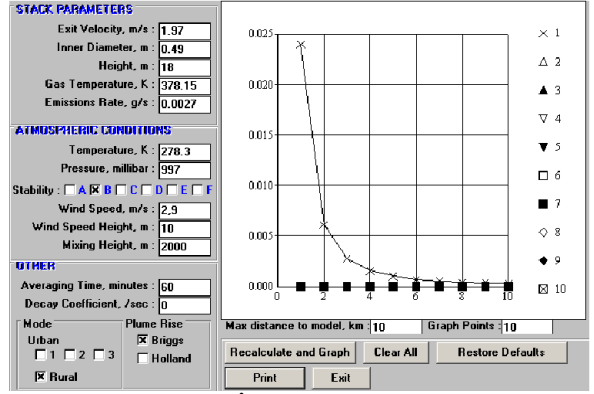
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası Cam Ergitme Fırını NO₂ dispersiyon grafiği



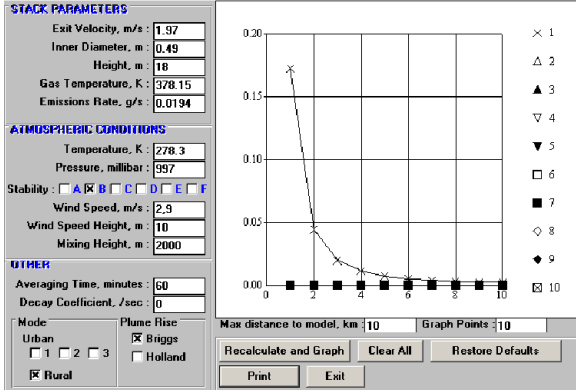
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası 1 Nolu Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



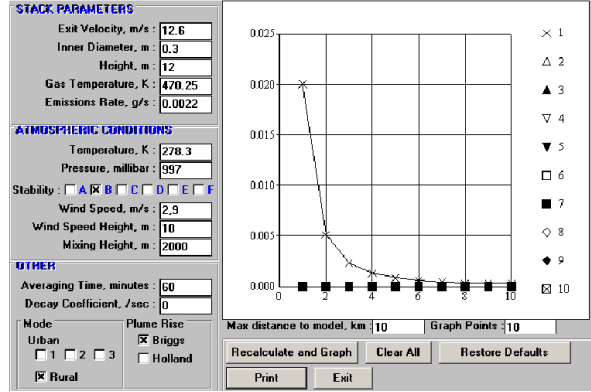
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası Proses Bacası CO dispersiyon grafiği



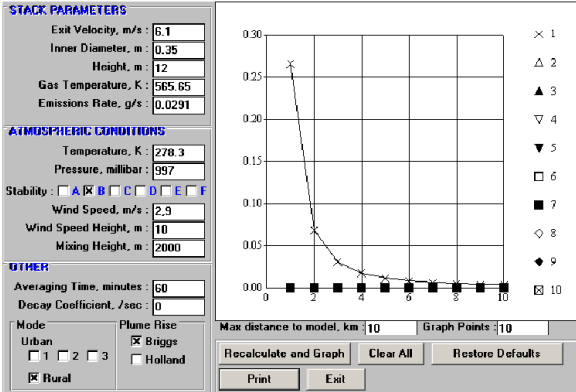
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası 2 Nolu Kazan CO dispersiyon grafiği



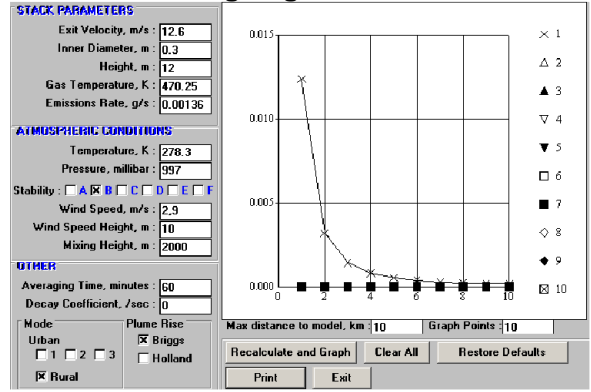
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası 2 Nolu Kazan NO₂ dispersiyon grafiği



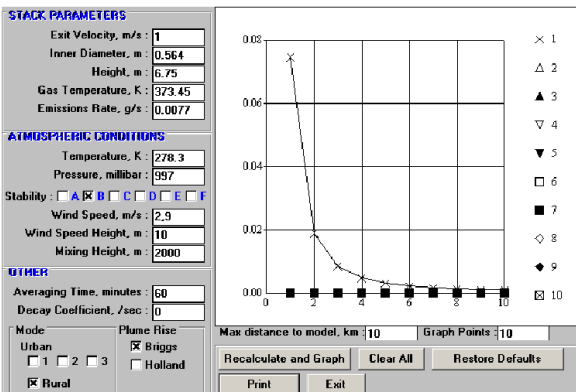
Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti. 1 Nolu Kalerifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



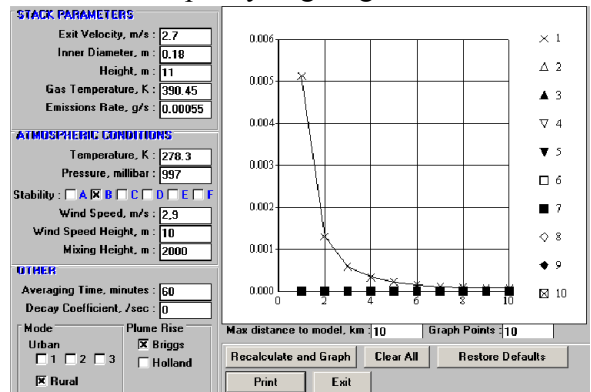
Eskim A.Ş. Kızgın Yağ Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



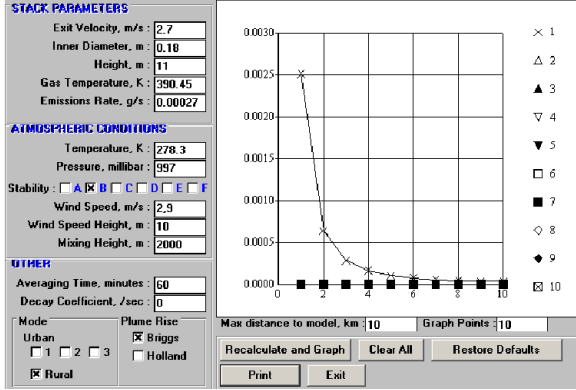
Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti. 1 Nolu Kalerifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



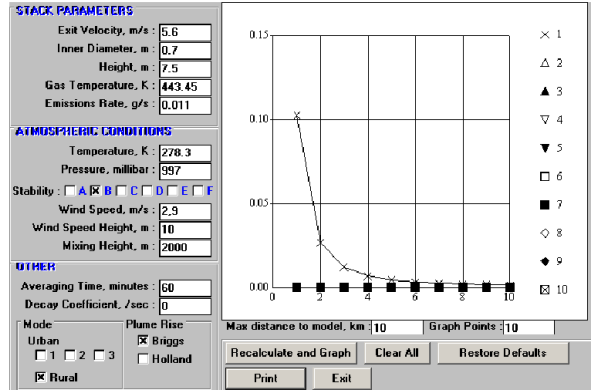
Espol Sünger ve Kimya San.Ltd.Şti. CO dispersiyon grafiği



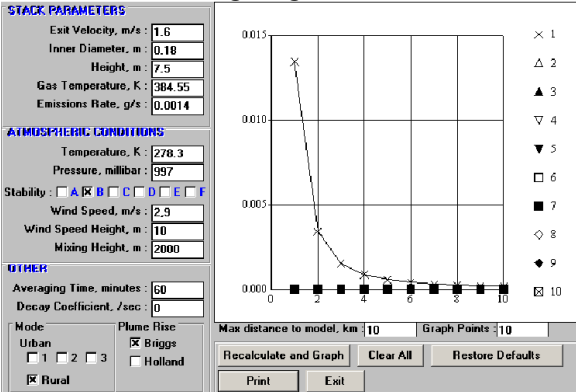
Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti. 2 Nolu Kalerifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



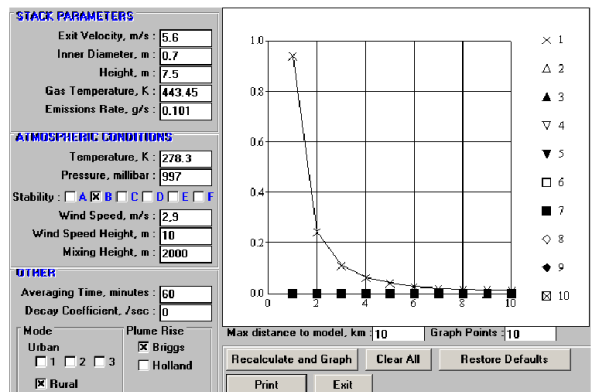
Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti. 2 Nolu Kalorifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



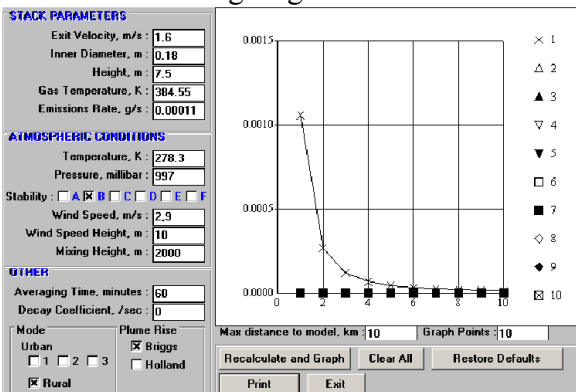
Şimşirel Kimya San.ve Tic.A.Ş. 1 Nolu Baca CO dispersiyon grafiği



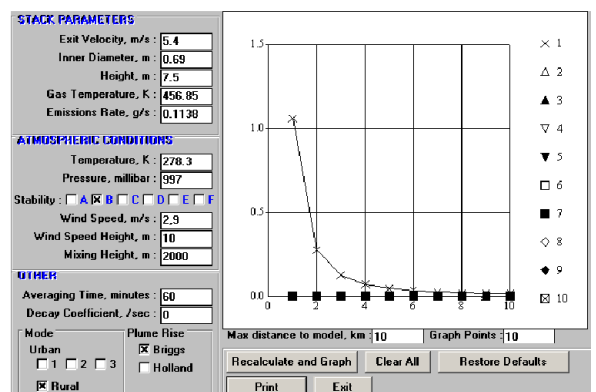
Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti.3 Nolu Kalorifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



Şimşirel Kimya San.ve Tic.A.Ş. 1 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği

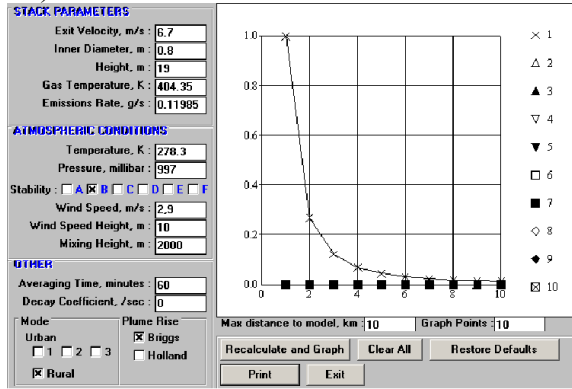


Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti. 3 Nolu Kalorifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği

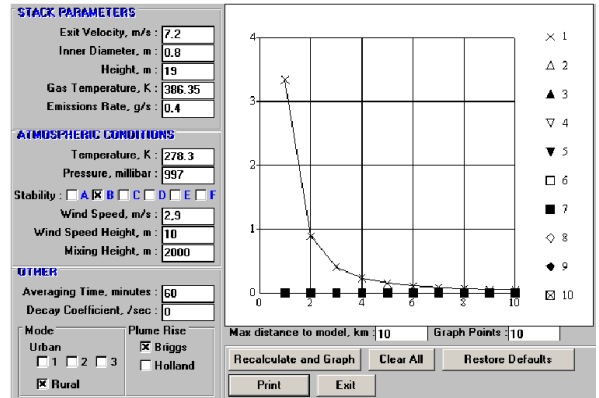


Şimşirel Kimya San.ve Tic.A.Ş. 2 Nolu Baca NO₂ dispersiyon grafiği

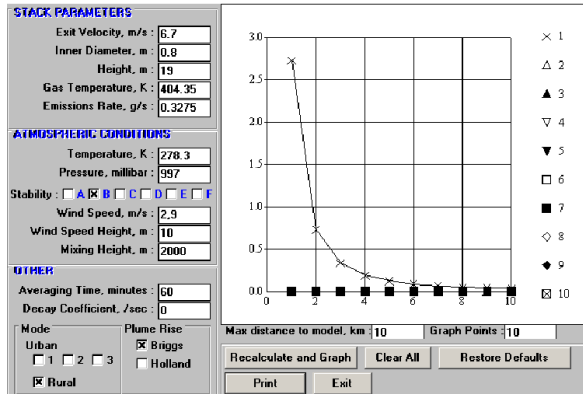
G-) ORMAN ÜRÜNLERİ



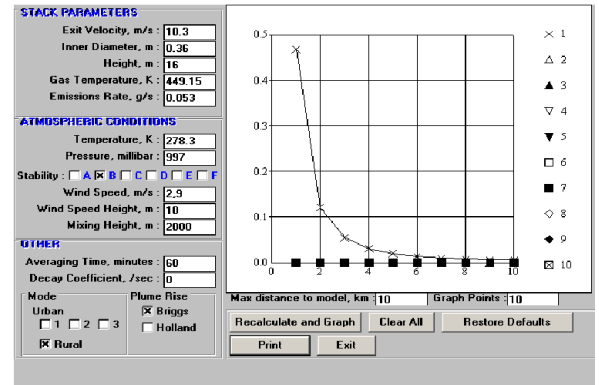
Tepe(Bil) Mobilya 1 Nolu Sıcak su kazanı
CO dispersiyon grafiği



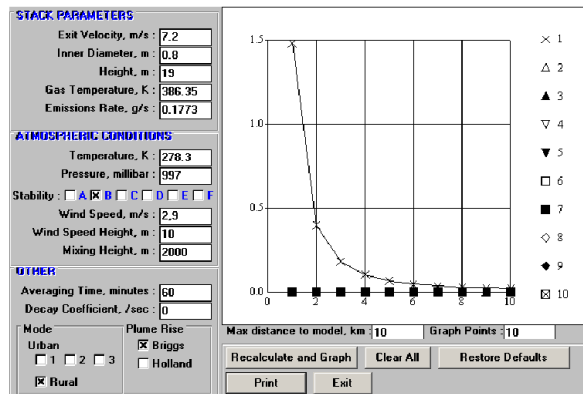
Tepe(Bil) Mobilya 2 Nolu Sıcak su
kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



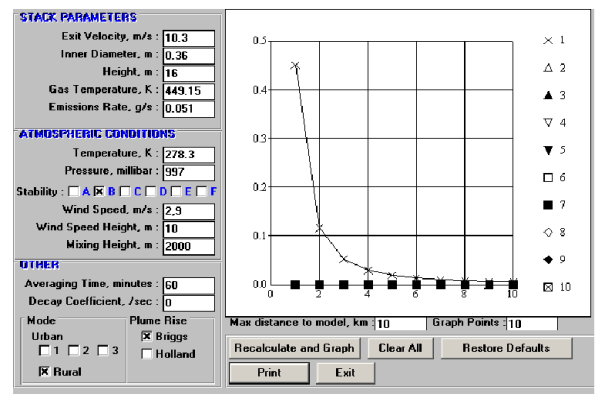
Tepe(Bil) Mobilya 1 Nolu Sıcak su kazanı
NO₂ dispersiyon grafiği



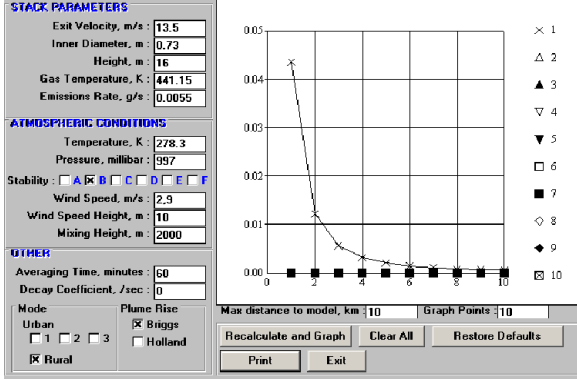
Başak Ambalaj 1 Nolu Buhar Kazanı CO
dispersiyon grafiği



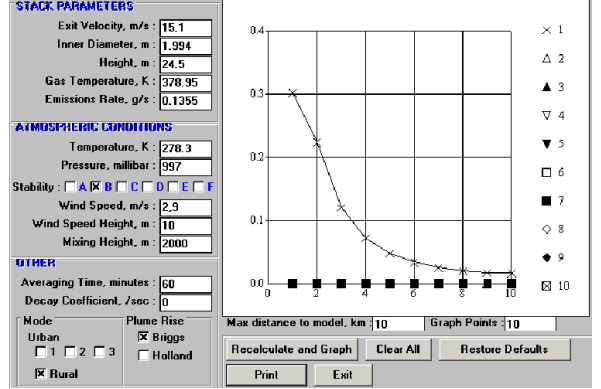
Tepe(Bil) Mobilya 2 Nolu Sıcak su kazanı
CO dispersiyon grafiği



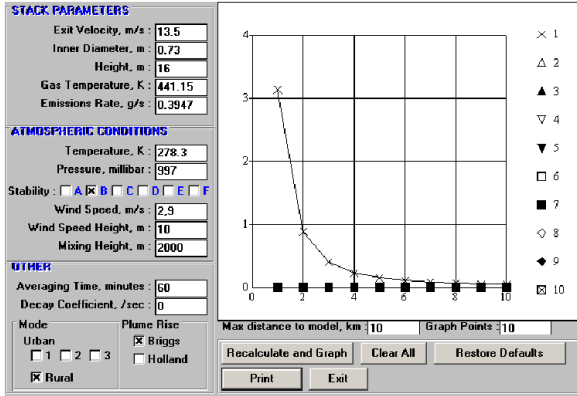
Başak Ambalaj 1 Nolu Buhar Kazanı
NO₂ dispersiyon grafiği



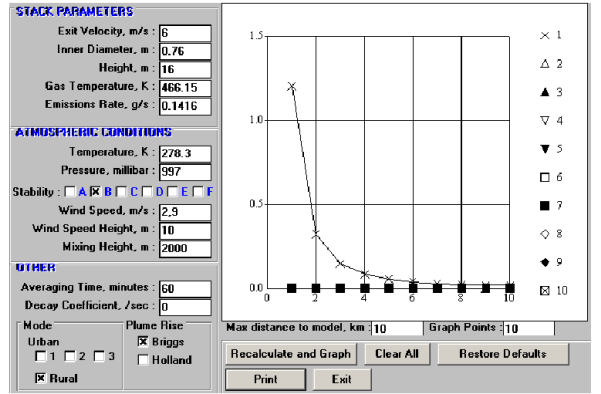
Başak Ambalaj 2 Nolu Buhar Kazanı CO dispersiyon grafiği



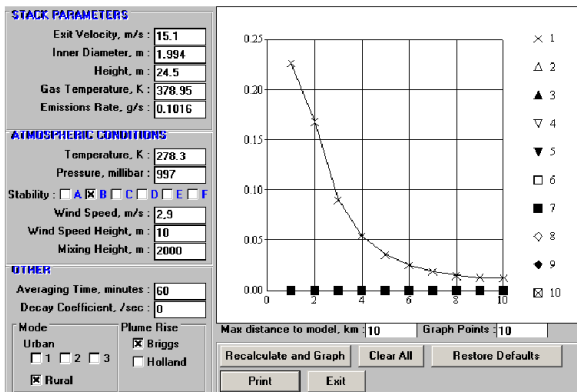
Dekor Orman Ürünleri Ltd.Şti. NO₂ dispersiyon grafiği



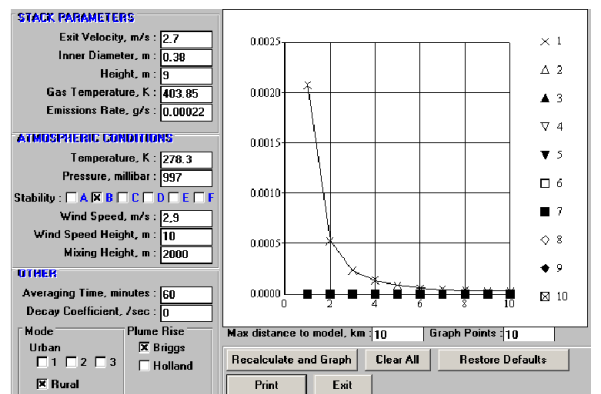
Başak Ambalaj 2 Nolu Buhar Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



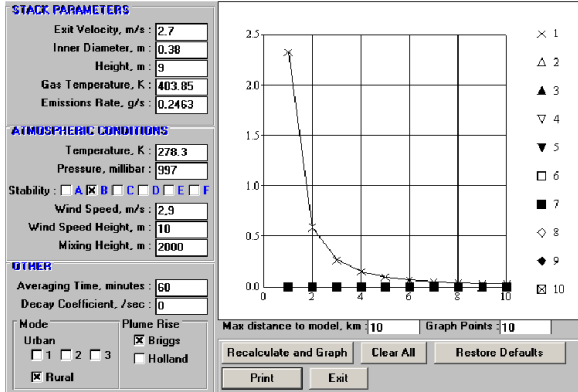
Nigar Ambalaj NO₂ dispersiyon grafiği



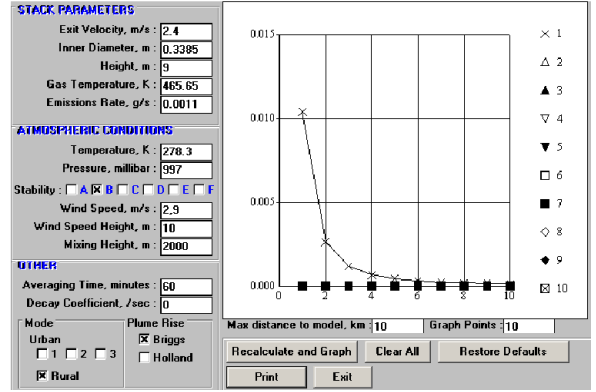
Dekor Orman Ürünleri Ltd.Şti. CO dispersiyon grafiği



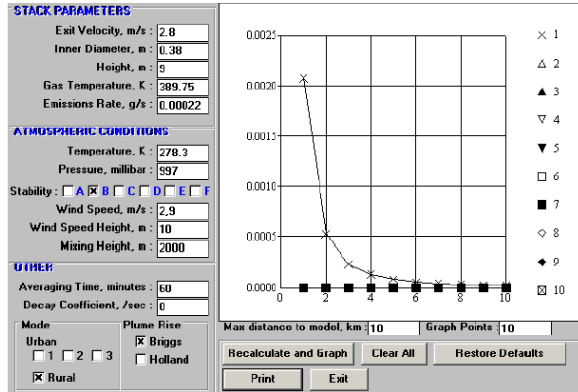
Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş. 1 Nolu Kalorifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



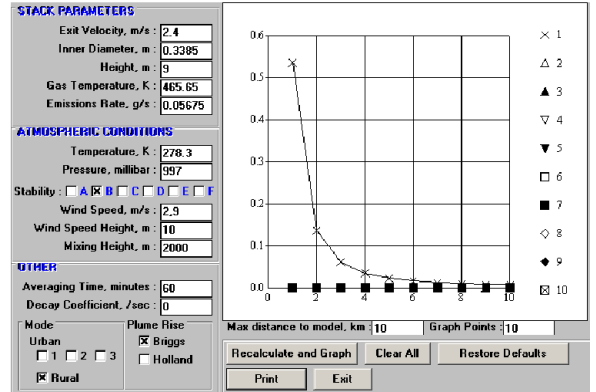
Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş. 1 Nolu Kalerifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği



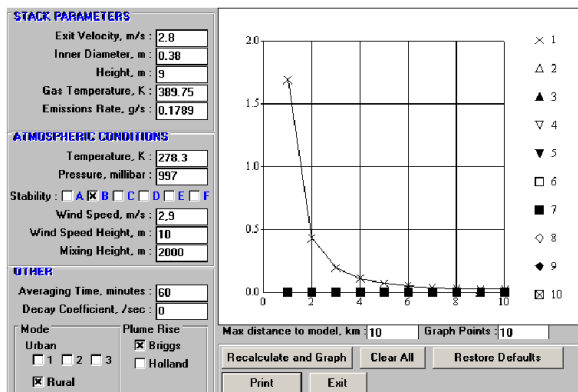
Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş. 3 Nolu Kalerifer Kazanı CO dispersiyon grafiği



Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş. 2 Nolu Kalerifer Kazanı CO dispersiyon grafiği

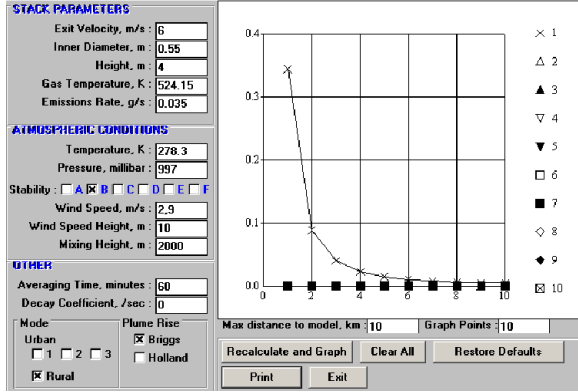


Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş. 3 Nolu Kalerifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği

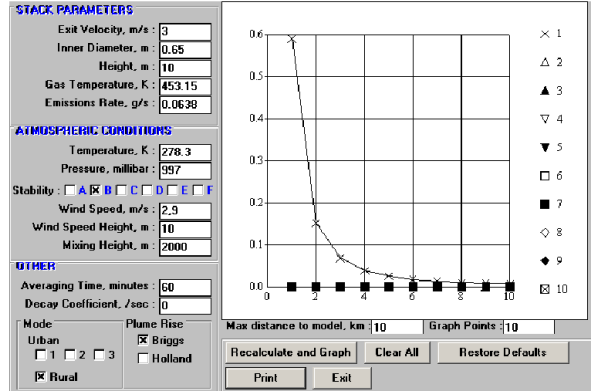


Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş. 2 Nolu Kalerifer Kazanı NO₂ dispersiyon grafiği

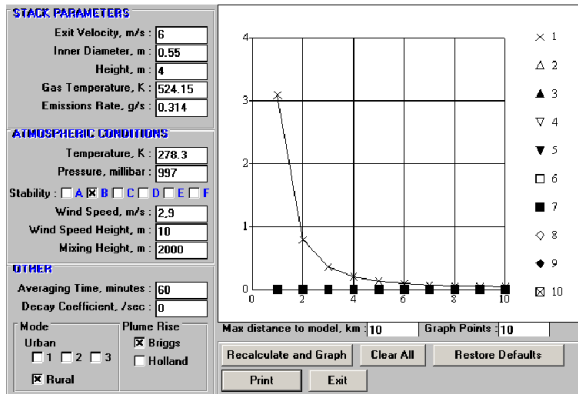
H-)DİĞER



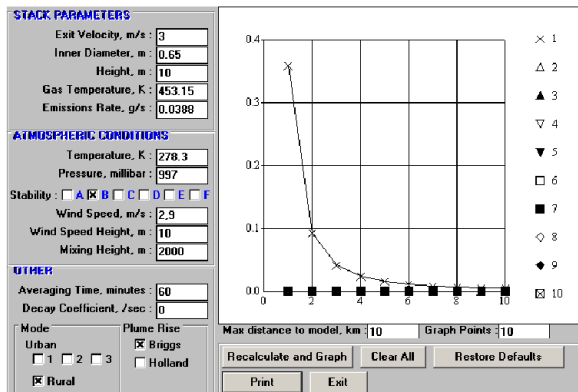
Esyem A.Ş. CO dispersiyon grafiği



Köytür Tavukçuluk-Yem Fabrikası NO₂ dispersiyon grafiği



Esyem A.Ş. NO₂ dispersiyon grafiği



Köytür Tavukçuluk-Yem Fabrikası CO dispersiyon grafiği

Fabrika Adı	Ölçüm Tarihi
Endüstriyel Enerji A.Ş.	18.09.2006
Ergünler Pres Döküm Kalıp	25.02.2004
Deniz Döküm San.ve Tic. A.Ş.	01.12.2005
ICF	27.05.2005
JAMAK	12.05.2003
Ecem Isı gereçleri	07.10.2005
Esco Emaye Döküm İmalat Sanayi	16.11.2000
Durali Emaye Soba Sanayi	13.05.2005
Özçancı Emaye Isı Mamulleri San.Tic.A.Ş.	05.04.2001-18.10.2001
Pim Makina San.Tic.A.Ş.	27.04.1999
Alpes Elektrik Teks.San.Tic.A.Ş.	29.06.1999
Yükseliş Makina San.Tic.A.Ş.	01.12.2005
Şahlan Kabin Makine San.Tic.A.Ş.	01.10.1999
Arıkan Kriko ve Makine San.Tic.A.Ş.	12.01.2005
Tezsan Makina San.Tic.Ltd.Şti.	06.07.2004
Botel Bobin Teli Kablo San.ve Tic.A.Ş.	Eylül 2001
Konveyör A.Ş.	04.08.2004
Yakaboyu Kabin A.Ş.	25.11.2005
Yıldız Metal Makina San.Tic.Ltd.Şti.	15.12.2005
Eti Makina San.veTic.A.Ş.	27.11.2006
OMK San.A.Ş.	06.01.2006
Arçelik A.Ş. Kompresör İşletmesi	20-24.06.2006
Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi	11-12-13-14-15.08.2006
Turan Tarım Makinaları A.Ş.	Aralık 2000, Şubat-Mayıs 2001
Orkun Giyim	04.11.2002
Eti Büsküi	29.10.2006-19.11.2006
Tam Gıda	16.03.2006
Peyman	Ekim 1999
Cicisan	Eylül 1999
Paşabahçe	22.05.2007
Hatipoğlu Cam Sanayi Tic.A.Ş.	15.12.2005
Sertaş Ateş Tuğla Emaye San.ve Tic.	30.09.2002
Toprak Holding Karo Fabrikası	Temmuz 1999
Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası	29.01.2007
Enton Beton	24.10.2005
Aspen Yapı Sis.San.Tic.A.Ş.	16.12.2005
Arı Kimya Metalurji San.Tic.A.Ş.	21.10.2005
Dolsan Golgu Malzemeleri San.Tic.A.Ş.	Ağustos 1999
Eskim A.Ş.	06.04.2004
Toprak Holding İzolasyon Fabrikası	Mayıs-Ekim 1999
Espol Sünger ve Kimya San.Ltd.Şti.	26.06.2007

Birlik Sünger Kimya San.ve Tic.Ltd.Şti.	29.08.2006
Şimşirel Kimya San.ve Tic.A.Ş.	04.01.2006
Tepe(Bil) Mobilya	01.03.2005
Başak Ambalaj (Basaş Ambalaj)	Ocak-Mart 2001
Dekor Orman Ürünleri Ltd.Şti. (Suntasan)	13.11.2006-15.11.2006-17.11.2006
Nigar Ambalaj	31.12.2004
Alipsan Kağıt Mak. San.veTic.A.Ş.	Mayıs 1999
Esyem A.Ş.	Temmuz 2000
Köytür Tavukçuluk	Mart-Ekim 1999



T.C.
ESKİŞEHİR VALİLİĞİ
İl Çevre ve Orman Müdürlüğü
(Çevre Yönetimi Şube Müdürlüğü)

SAYI : B.18.0.İÇÖ.2.26.02.00/055-2379-5527
KONU : Emisyon Verileri

28 KASIM 2007

Sayın: Araştırma Görevlisi Serdar ARAR
Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Meşelik Yerleşkesi
ESKİŞEHİR

İLGİ: 26.11.2007 tarihli yazınız.

İlgi yazınızdan, doktora tezinizde kullanmış olduğunuz Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan tesislerin 1999-2007 yıllarına ait emisyon ile ilgili verilerinin doğruluğu hususunda bilgi istenmektedir.

Doktora tezinizde kullanılmak üzere Müdürlüğümüzce verilen emisyon ve baca değerleri ile ilgili bilgiler Müdürlüğümüz arşivinden sağlanmıştır.

Bilgilerinize rica ederim.

Mehmet KARAKAYA
İl Çevre ve Orman Müdürü

Çizelge 4.12. Aylara göre rüzgar hızı değerleri

Aylar	Ortalama Sıcaklık(°C)	Ort. Rüzgar hızı (m/s)	Aylar	Ortalama Sıcaklık(°C)	Ort. Rüzgar hızı (m/s)
Ocak	2,1	2,5	Temmuz	22,4	2,7
Şubat	1,5	3,1	Ağustos	22,8	3,1
Mart	4,9	2,8	Eylül	16,8	2,1
Nisan	10	2,6	Ekim	9,6	2,4
Mayıs	14,7	2,3	Kasım	5,2	2,9
Haziran	18,2	1,9	Aralık	2,5	2,7

Çizelge 4.13. Aylara göre rüzgarın esme yönleri

Aylar	Ortalama Rüzgar Yönü	Aylar	Ortalama Rüzgar Yönü
Ocak	Doğudan	Temmuz	Batıdan
Şubat	Doğudan	Ağustos	Batıdan
Mart	Batıdan	Eylül	Batıdan
Nisan	Batıdan	Ekim	Batıdan
Mayıs	Batıdan	Kasım	Doğudan
Haziran	Batıdan	Aralık	Doğudan

T. C.
ÇEVRE BAKANLIĞI
DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
ESKİŞEHİR

Maksade ZERMAN

Maksade ZERMAN
Maksade ZERMAN
Şube Müdürü (Teknik)
Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü

