

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

HAVA KİRLİLİĞİ VE MODELLEMESİ

NOKTASAL KAYNAKLARDAN OLUŞAN
HAVA KİRLİLİĞİNİN GAUSS DİSPERSİYON
MODELİ İLE MODELLENMESİ

ÇEVRE MÜH. EYÜP FATİH AY
ÇEVRE MÜH. MERVE BALTA
ÇEVRE MÜH. MERVE ÇOLAK
ÇEVRE MÜH. HÜLYA SEMERCİOĞLU

2010 BAHAR
SAKARYA

HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği; Ekolojik dengeyi bozan, insan sağlığını olumsuz bir şekilde etkileyen ekonomik faaliyetler sonucu, yapay yollarla havanın doğal bileşiminin bozulmasıdır.

Hava kirliliği kaynakları 3 e ayrılmaktadır.

1. Alansal Kaynaklar

Bu grupta en önemli kaynak konutların ısıtılmasıdır. Ülkemizde son yıllarda doğal gaz kullanımı hızla artmakta ve kükürt değeri az kalori değeri yüksek olan tamamen ithal veya ithal yerli kömür karışımı yakıt kullanılmaktadır. Isıtmada kullanılan diğer yakıt cinsleri de fuel-oil, motorin, kerosin, gaz ve odundur. Konut ısıtılmasında ve enerji temininde kullanılan fosil yakıtlar içerisinde en büyük pay kömür ve petrole aittir. Kullanılan yakıtın kalitesi bu tür kaynaklardan gelen hava kirliliği üzerine çok fazla etki yapmaktadır.

2. Çizgisel Kaynaklar

Bu tür hava kirliliği ulaştırma kaynaklıdır. Yolcu ve yük taşıyan araçların getirdiği kirlilik başlıcalarıdır. Bunlar benzinli, mazotlu ve gaz tribünlü içten yanmalı motorla çalışmaktadırlar. Bu kaynaklardan yanma sonucu karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partikül madde (PM) kirletici olarak atmosfere yayılmaktadır (Şen, 1996). Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler bakımından en yüksek emisyonlar araçlar tarafından oluşturulmaktadır. Örneğin, karbon monoksit üreten başlıca kirletici kaynaklar arasında motorlu araçlar % 66 ile birinci sırada yer almaktadır. Motorlu araçlar % 12 ile en yüksek hidrokarbon emisyonuna ve % 6 ile de en yüksek azot oksit emisyonuna sahip bulunmaktadır. Bunlardan başka özellikle benzinli otomobillerin sebep olduğu kurşun, arsenik ve aldehitler motorlu araç emisyonları içerisinde ön plandadır (İncecik ve diğ. 1994).

3. Noktasal Kaynaklar

Bu gruptaki kaynaklar fabrikalar, sanayi ve enerji santralleridir. Bu işletmelerde üretim yapmak için gerekli olan enerjiyi sağlamak için kullanılan yakıttan atmosfere kirletici çıkmaktadır. Ayrıca noktasal olarak katı atıkların fırınlarda ve açık arazide yanması sonucu kirlenme oluşmaktadır. Yine benzin, boya maddeleri ve kuru temizleme çözeltileri gibi organik maddelerin buharlaşmasından noktasal olarak kirlilik meydana gelmektedir.

Yukarıdaki sınıflandırmanın dışında hava kirleticileri temel kaynak özellikleri itibariyle de gruplandırılmaktadır. Kalitatif olarak daha etkin olan bu tür bir sınıflandırma da motorlu araçlar, endüstriyel tesisler, enerji birimleri ve konut ısıtılması ile ortaya çıkan emisyonlar bu tür bir sınıflandırmanın temel elemanları olarak kabul edilir.

1) KIRLETİCİLERİN ATMOSFERDE DAĞILMASI

Herhangi bir kirletici kaynaktan atmosfere atılan kirleticilerin atmosfer ortamındaki dispersiyonu (dağılma ve yayılması) ve rüzgârla taşınımı, birbirleriyle ilişkili birçok etkiyen bağlıdır. Mesela kirleticileri içeren atık gazların fiziksel ve kimyasal özellikleri, çevre atmosferinin meteorolojik özellikleri, hava hareketlerini engelleyebilecek oluşumlara bağlı olarak bacanın konumu ve rüzgâr yönünde bölgenin topografik özellikleri gibi tüm etkenler birbirleriyle bağlantılı olarak etkili olmaktadır. Birçok analitik model geliştirilmiş olmasına rağmen, bu modellerin hiçbirisi tüm bu etkileri içerecek şekilde kapsamlı olamayıp, seçilen birkaç parametreye bağlı olarak oluşturulmuştur. Bacadan atılan kirleticiler sadece gaz olabilir veya gazla beraber parçacık madde (PM) de içerebilir. Parçacık maddelerin boyutları 20µm ve altı boyutlarda ise atmosfer ortamındaki çökme hızları ihmal edilecek kadar küçük olduğu için bu boyutlardaki parçacıklar hemen hemen gazlar gibi davranırlar ve içinde buldukları atık gaz külesiyle beraber hareket ederler.

Dolayısıyla, gazlar için geliştirilen analitik yöntemler bu ebatlardaki küçük parçacık maddeler için de kullanılabilir. Ancak, büyük parçacık maddeler ihmal edilemeyecek büyüklükte çökme hızına sahip oldukları için gazlarla aynı şekilde modellenemezler. Büyük parçacık maddelerin kayda değer çökme hızları olduğu için, rüzgârla taşınım sürecinde kaynağa yakın mesafelerde çökme hareketi içinde olacaklarından ve dolayısıyla yer seviyesine yakın irtifalarda birikme potansiyeli göstereceklerinden, daha yüksek yer seviyesi konsantrasyonları oluştururlar.

Azami dispersiyon olabilmesi için kirleticiler yeterli büyüklükte momentum ve kaldırma kuvvetleriyle kaynağı (bacayı) terk etmesi gereklidir. Rüzgâr esmediği durumda, düşük yoğunluklu kirletici hüzmesi yüksek irtifalara çıkıp düşük yer seviyesi konsantrasyonu oluştururlar. Büyük parçacıklar ve yoğun kirletici hüzmeleri bacaya yakın mesafelerde yer seviyesine çökme eğilimi gösterirler. Yüksek rüzgâr hızları atmosferin seyreltme faaliyetini artırır ve rüzgâr önü mesafelerde düşük yer seviyesi konsantrasyonları oluştururlar. Sıcak atık gazların yükselmesine hemen hemen tamamen atık gazın yüksek sıcaklığı sebep olmaktadır. Bir başka ifadeyle atık gazların sahip olduğu büyük termal kaldırma kuvveti gazların yükselmesinde baskın kuvvet olmaktadır. Bacadan çıkan atık gazlar rüzgârla beraber taşınırken, taşınım eksenini boyunca hüzme yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızı, u , ile orantılı olarak seyrelirler. Termal tabakalaşma olan atmosferde, hüzmenin termal kaldırma kuvveti, çevreleyen atmosferin kararlı yapısı sebebiyle dağılmaktadır. Nötr atmosfer şartları varlığında hüzme türbülans ile yayılmaktadır. Bu durumdaki hüzmenin yoğunluğu; yüksekliğine, yüzey pürüzlülüğüne ve en önemlisi rüzgâr hızına bağlıdır.

Bacadan çıkan atık gaz hüzmesi yeterli dikey momentuma sahip değilse baca çıkışında çeşitli etkilerle baca seviyesi altına doğru alçalabilir. Şekil 2.1 çeşitli etkilerle oluşan hüzme alçalmasını göstermektedir. Hüzmenin baca dibine doğru alçalmasını önlemek için, atık gazların bacadan çıkış hızının (V_s) yeterince yüksek olması gerekmektedir. Pratik bir yaklaşım olarak aşağıdaki hızların oranı bir kıyaslama olarak kullanılabilir:

$V_s / u \geq 1.5 \rightarrow$ Hüzme alçalması ihmal edilir.

Yani, atık gazların bacadan çıkış hızı baca çıkış seviyesindeki rüzgâr hızının en az 1,5 katı olduğunda hüzme alçalması asgari seviyede olmaktadır ve ihmal edilebilir.

2)ATMOSFERİK DİSPERSİYON MODELİ

Atmosferik dispersiyon modeli, atmosfer içerisinde hava kirleticilerinin nasıl dağıldığını matematiksel olarak simüle etmektedir. Kirletici dağılımını simüle eden algoritmalar ve matematiksel denklemleri çözen bilgisayar programları ile çalışmaktadır. Dispersiyon modelleri, taşıt trafiği ve endüstri tesisleri gibi kaynaklardan yayılan hava kirleticilerinin rüzgâr yönü konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu gibi modeller çevre hava kalitesinin yönetimi ve korunması ile görevlendirilen devlet daireleri için önemlidir. Modeller, zararlı hava kirleticilerinin emisyonlarını azaltmak için kontrol stratejilerinin dizayn edilmesine yardım etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Dispersiyon modellerinin ihtiyaç duyduğu giriş dataları;

- Rüzgar hızı, rüzgar yönü gibi meteorolojik koşullar, kararlılık hali olarak adlandırılan atmosferik türbülans miktarı, çevre hava sıcaklığı, inversiyonun yer seviyesinden yüksekliği
- Kaynak yeri, yüksekliği, kaynak çıkışı menfez çapı, çıkış hızı, çıkış sıcaklığı ve kütle debisi gibi emisyonların parametreleri
- Kaynak yeri ve reseptör yerinde arazi yüksekliği
- Yayılan kirli hava kümesinin yolunda bina veya diğer yapılar gibi engellerin yeri, yüksekliği ve genişliği

Gelişmiş dispersiyon modelleme programları meteorolojik ve diğer dataların giriş verileri için ön işlemci içermektedir. Ayrıca, haritalarda hava kirleticilerinin etki alanlarını ve çıkış verilerini grafiklemek için ileri bir işlemci bulunmaktadır.

Atmosferik dispersiyon modelleri; atmosferik difüzyon modelleri, hava dispersiyon modelleri, hava kalite modelleri veya hava kirliliği dispersiyon modelleri olarak da bilinmektedir.

Hava kirliliği dağılımında teknik literatür oldukça geniş ve literatür oluşumu 1930'lara dayanmaktadır. İlk hava kirleticilerinin dağılım denklemleri Bosanquet ve Pearson tarafından elde edilmiştir. Bu denklemler ne Gauss dağılımı ne de kirletici kümesinin yansıma etkisini içermektedir.

Sir Graham Sutton 1947'de hava kirleticileri dağılım denklemi elde etmiştir. Bu denklem, kirletici kümesinin dikey ve yatay dağılım içinde Gauss dağılım tüketimini içermektedir. Ayrıca yansıma etkilerini içermektedir.

Bağlayıcı çevresel kontrol regülasyonlarının gelişmesiyle, 1960'lardan günümüze kadar hava kirletici dağılım hesaplamalarının kullanımı büyük oranda büyüme göstermiştir. Hava kirliliği emisyonlarını hesaplamak için birçok bilgisayar programları geliştirilmiş ve hava dispersiyon modelleri adını almıştır. Bu modellerin birçoğu için en temel model, Gauss dispersiyon modelidir.

3) GAUSS DISPERSİYON MODELİ

Bir atmosferik dispersiyon modeli, herhangi bir yer seviyesi veya baca seviyesi kaynaktan atmosfere atılan kirletici gaz kütlesinin atmosfer ortamındaki genel davranışını matematiksel olarak taklit edebilmelidir.

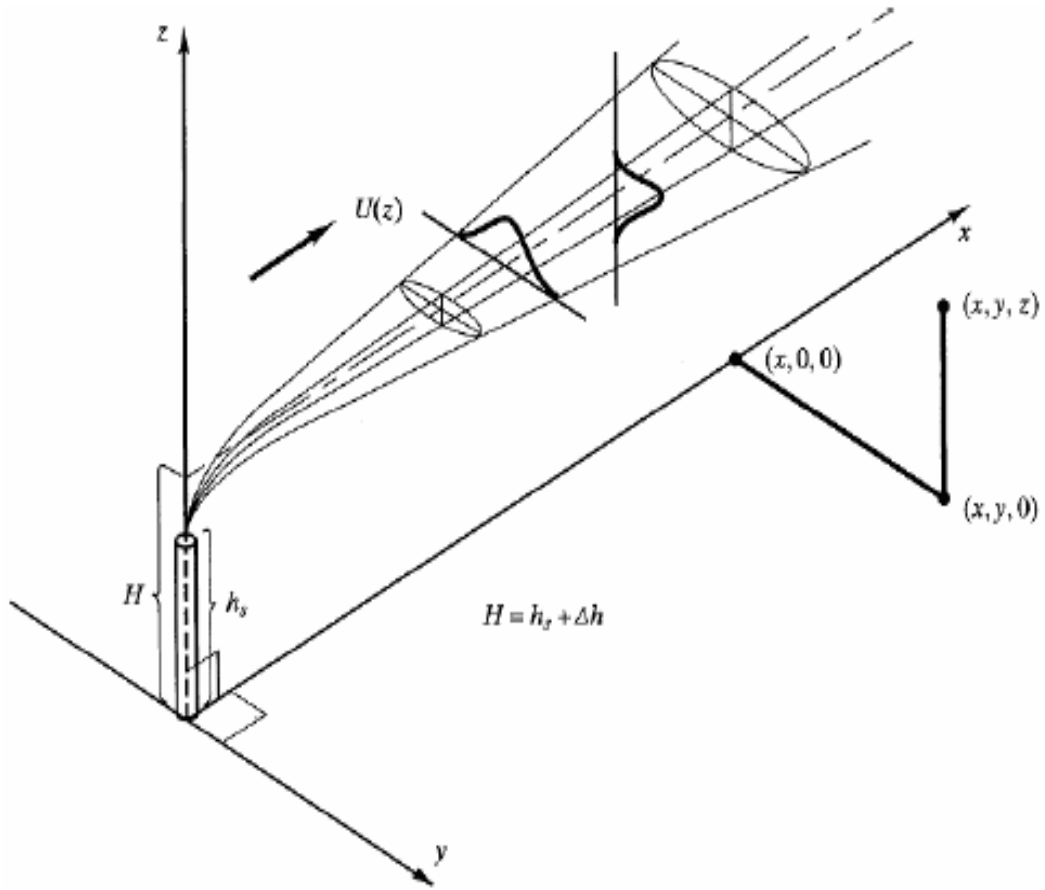
Herhangi bir nokta kaynaktan atılan kirletici hüzmenin, rüzgârın ve genel dispersiyon mekanizmasının etkisiyle dağılımı Şekil 1’de gösterildiği gibi olmaktadır. Kirletici hüzme baca yüksekliği olan h_s seviyesinden atmosfere bırakılmasına rağmen, atık gazların sıcaklığından kaynaklanan termal kaldırma kuvveti ve bacadan çıkış hızından (V_s) kaynaklanan momentum kuvvetiyle Δh kadar daha yükselir.

Sonuç olarak, kirletici huzmesi *etkin baca yüksekliği*;

$$H=h+\Delta h$$

olarak ifade edilen bir yükseklikten atmosfere bırakılıyor olarak görülmektedir.

Hüzmenin rüzgâr yönündeki dağılım eksenini takip edildiğinde, hüzmenin sanal başlangıç noktası konumlandırılabilir. Şekil 2’te görüldüğü gibi bu sanal kaynak noktası rüzgâr esme yönü düşünüldüğünde hüzme ekseninde ve bacanın biraz arkasında bir yerde oluşmakla beraber çoğu durumlarda tam bacanın üzerinde kabul edilebilmektedir.



Şekil 1. Bir nokta kaynak emisyonunun atmosferde taşınım hareketi

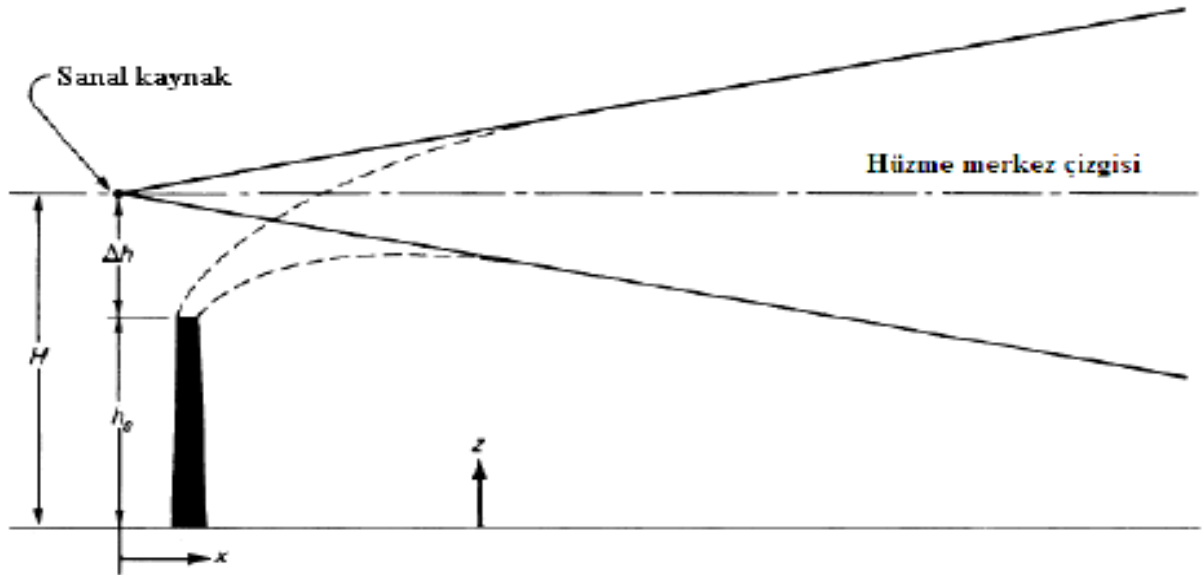
Bir nokta kaynaktan çıkan kirletici gaz hüzmesi, atmosferik girdap (türbülans veya eddy) hareketleri sonunda Şekil 1'de görüldüğü gibi bir dağılım göstererek genişleyecektir.

Görüldüğü gibi, herhangi bir konumdaki kirletici konsantrasyonu örnekleme süresine bağlı olup, "anlık" hüzme dar bir alanda çok yüksek konsantrasyonlara haiz olabilmektedir. Buna göre, 10 dakikalık ortalama bir süre içinde, hüzme daha geniş bir alana yayılmakta, dolayısıyla konsantrasyonu düşmektedir. Aynı şekilde, 2 saatlik periyotta hüzme rüzgar yönüne dik yönde daha fazla yayılmakta, buna karşılık maksimum konsantrasyon seviyesinde düşme görülmektedir. Görüldüğü gibi, yeterli bir süre alındığında, rüzgar yönüne dik ekseninde konsantrasyon dağılımı "**Gauss Dağılımı**" veya "**Normal Dağılım**" göstermektedir.

Hüzmenin zamana göre dağılımına benzer bir şekilde, kaynaktan olan mesafeye bağlı olarak da (rüzgâr yönü boyunca) bir yayılma söz konusudur. Hüzme genişledikçe, daha büyük girdaplar kirleticilerin dispersiyonunda etkilidir.

Kaynağa yakın mesafelerde etkili olan türbülans hareketleri ile uzak mesafelerdeki türbülans hareketlerinin boyutları farklıdır. Dolayısıyla, hüzmenin yayılma hızı sadece türbülans hareketlerinin şiddetine ve dağılımına değil aynı zamanda hüzmenin boyutuna, buna bağlı olarak da kaynaktan itibaren hareket süresine bağlıdır.

Yukarıda bahsedilen, hüzmenin fiziksel olarak gösterdiği dağılım özelliği, matematiksel olarak Gauss fonksiyonu ile gösterilebilir. Rüzgâr yönüne (ve dolayısıyla hüzmenin hareketinin meydana geldiği x yönüne) dik koordinatlarda, yani y ve z eksenlerinde, gauss veya normal dağılım ile temsil edilebilen iki ayrı difüzyon olayı meydana gelmektedir. Rüzgâr yönünde hüzmenin yayılmasında ise yatay taşınım (adveksiyon) hareketi difüzyona nispetle çok daha önemlidir. Rüzgâr hızı arttıkça x yönündeki dispersiyon artacak, dolayısıyla alıcı ortam konsantrasyonu ile rüzgâr hızı arasında ters orantı olacaktır. Aynı zamanda, kaynaktaki emisyon miktarı (kaynak kuvveti, Q) arttıkça konsantrasyon da artacağından kütle emisyon debisi (Q) ile alıcı ortam konsantrasyonu arasında doğru orantı vardır.



Şekil 2. Bir dispersiyon modelinde hüzme yükselmesi ve sanal kaynak noktasının konumu

Rüzgâr yönüne dik olan y ve z eksenlerinde ise hüzme dağılımı Gauss fonksiyonları ile temsil edilebilir. Gauss dağılımının meydana geldiği bu iki eksenlerdeki kirletici dağılımı, dispersiyon katsayıları (σ_y ve σ_z) olarak ifade edilen dağılım katsayıları ile temsil edilebilmektedir. Dispersiyon katsayılarının sayısal büyüklükleri kaynaktan uzaklığa (x mesafesi) ve atmosferin kararlılık durumuna bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla bir alıcı ortamın kaynaktan uzaklığı yanında ortam atmosferinin termal yapısı da kirleticilerin dağılmasında önemli rol oynamaktadır. Dispersiyon katsayıları büyüdükçe kirleticilerin dağılımı da daha fazla olacağından alıcı noktada daha düşük konsantrasyon değerleri

oluşacaktır. Dolayısıyla alıcı ortam konsantrasyon değeri dispersiyon katsayılarıyla ters orantılıdır. Ancak dispersiyon katsayılarının alıcı ortam konsantrasyon değeri üzerinde iki şekilde etkisinde bahsetmek mümkündür. Alıcı nokta hüzme merkez çizgisi üzerinde ise dispersiyon katsayıları bu noktadaki konsantrasyona basit bir ters orantı ile etki etmektedir. Diğer bir durum ise alıcı noktanın hüzme merkez çizgisinden farklı bir konumda olmasıdır ki bu durumda hüzmenin Gauss tipi bir dağılım gösterdiği kabulüyle Gauss fonksiyonunun doğası gereği üssel (e fonksiyonu) bir ifade ile de dağılım oluşmaktadır. Aşağıdaki matematik fonksiyon y yönündeki Gauss dağılımını temsil eden üssel ifadedir.

$$C \propto A \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right]$$

Yukarıdaki fonksiyonda A parametresi orantıyı eşitliğe dönüştürecek bir sabittir. Aynı tipte üssel dağılım fonksiyonu σ_z dispersiyon katsayısı ile z yönü için de yazılabilir. Buraya kadar ifade edilen dispersiyon özelliklerinin toplandığı Gauss dağılım denklemi aşağıdaki şekilde olacaktır.

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

Denklemdaki terimler:

$C(x, y, z, H)$: Koordinatları verilen alıcı noktadaki kirletici konsantrasyonudur. H terimi etkin baca yüksekliğini ifade etmektedir.

$$\frac{Q}{2 \pi u \sigma_y \sigma_z}$$

: Hüzmenin, merkez çizgi üzerinde x mesafesine bağlı değişimini ifade etmektedir. Görüldüğü gibi C değer Q ile doğru orantılı; u , y σ ve σz ile ters orantılıdır. Sabit terimler denklemin geliştirilmesinden gelmektedir.

$$\exp \left(-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2} \right)$$

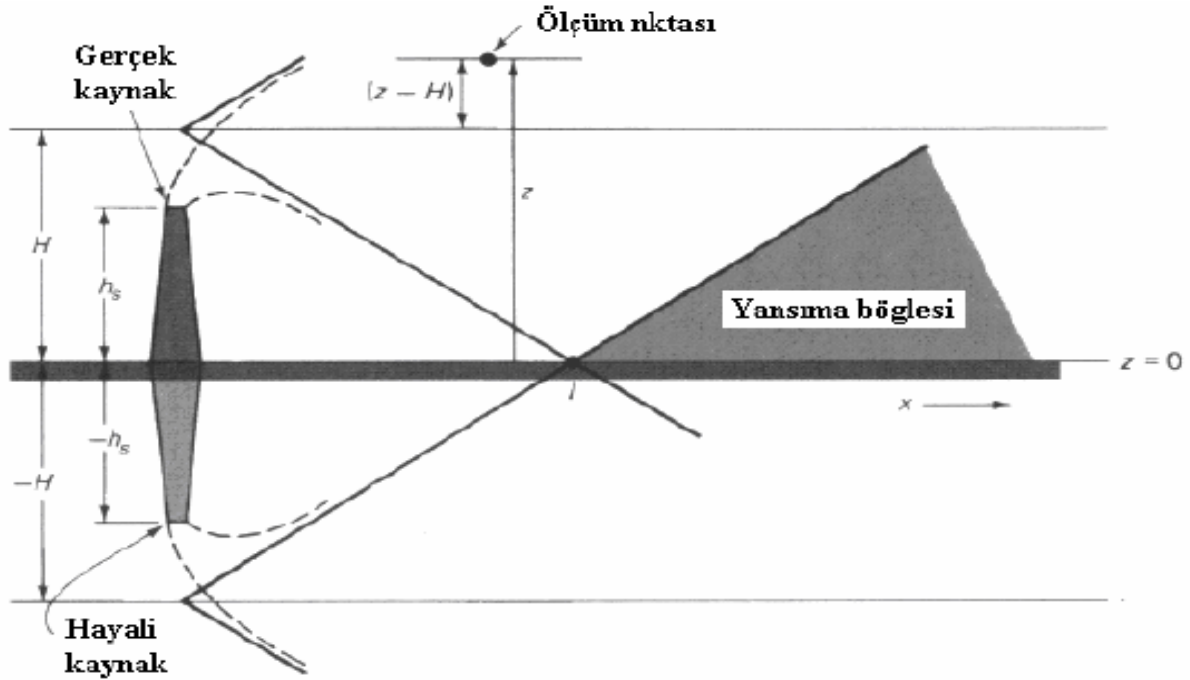
: Hüzmenin, merkez çizgisinden y yönü mesafelerdeki dispersiyonunu ifade etmektedir.

$$\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

: Hüzmenin, merkez çizgisinden z yönü mesafelerdeki dispersiyonunu ifade etmektedir. Dikey eksende alıcı nokta yüksekliği ile kaynak noktası yüksekliği arasında $(z-H)$ kadar bir mesafe bulunmaktadır.

4) Hüzmenin Yerden Yansıması

Hüzmenin x eksenini boyunca rüzgârla taşınım hareketi sürecinde diğer önemli bir olay da belirli bir yükseklikten bırakılan hüzmenin belirli bir x mesafesinde yere ulaşacağıdır. Yere ulaşan kirlenici hüzme topoğrafik yapının özelliklerine bağlı olarak yerden tamamen veya kısmen yansımaya uğrayacaktır. Şekil 3'te görüldüğü gibi yerden yansıyan hüzme, bir yansıma bölgesi oluşturacaktır ve bu bölgede olması gerektiğinden daha yüksek kirlenici konsantrasyonu meydana gelecektir. Kirlenici hüzme yerden tamamen yansırsa; yani yer yüzeyi kirlenicileri hiç soğurmazsa, yansıma bölgesinde yansıma olmayan duruma göre iki kat kirlenici konsantrasyonu oluşacaktır. Bu durumun matematik modeli kurulurken Şekil 3'te görüldüğü gibi yer seviyesi altında gerçek kaynakla aynı özelliklerde hayali bir kaynak olduğu kabul edilir. Dispersiyon denkleminde z yönündeki dispersiyon terimine yansımayı temsil eden bir üssel parametre daha ilave edilir.



Şekil 3. Hüzmenin yer yüzeyinden yansımasının getirdiği etkinin hayali bir kaynakla temsili

Ancak gerçekte tam yansıma oluşmaz. Çünkü her yer yüzeyi yapısının bir miktar tutma (absorbsiyon veya adsorpsiyon) özelliği vardır. Mesela, rüzgâr yönünde kirletici hüzmeye bir su yüzeyi (mesela bir göl) üzerinden geçerse, su yüzeyine ulaşan hüzmeye kirleticilerin kayda değer bir kısmı su tarafından tutulacaktır (absorbsiyon). Dolayısıyla tam bir yansımanın olacağı söylenemez. Bu bakımdan yansıma terimi, topoğrafik özellikler de dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

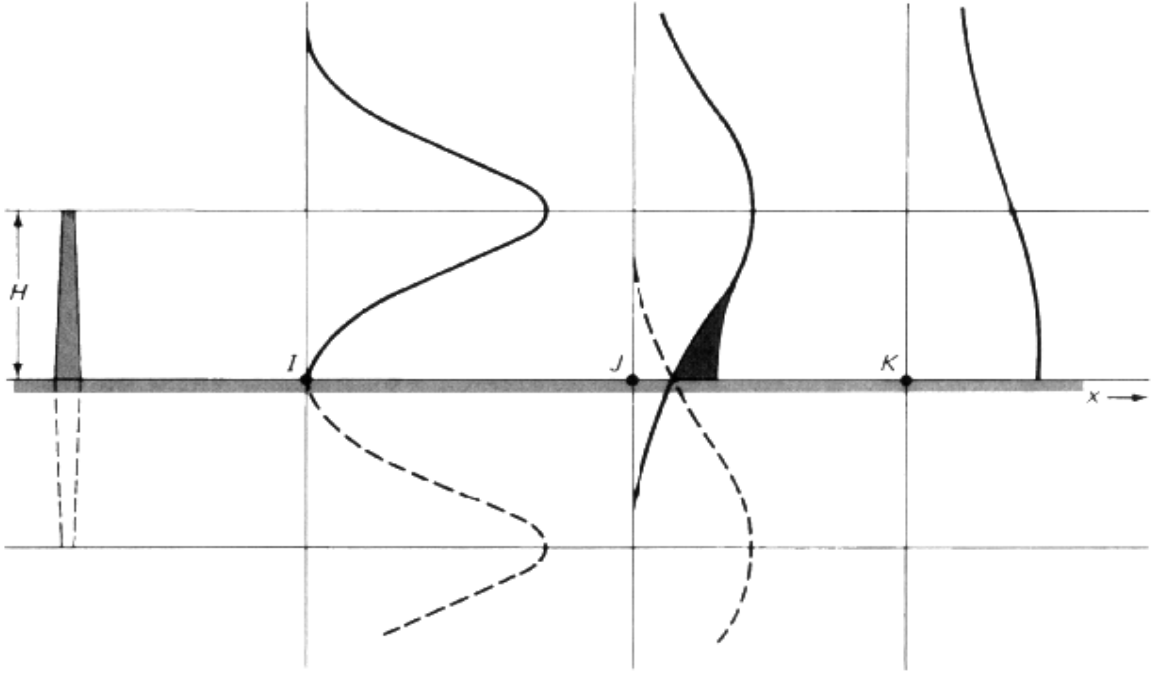
Yansıma terimini de içeren en geniş haliyle Gauss dispersiyon modeli aşağıdaki gibidir.

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

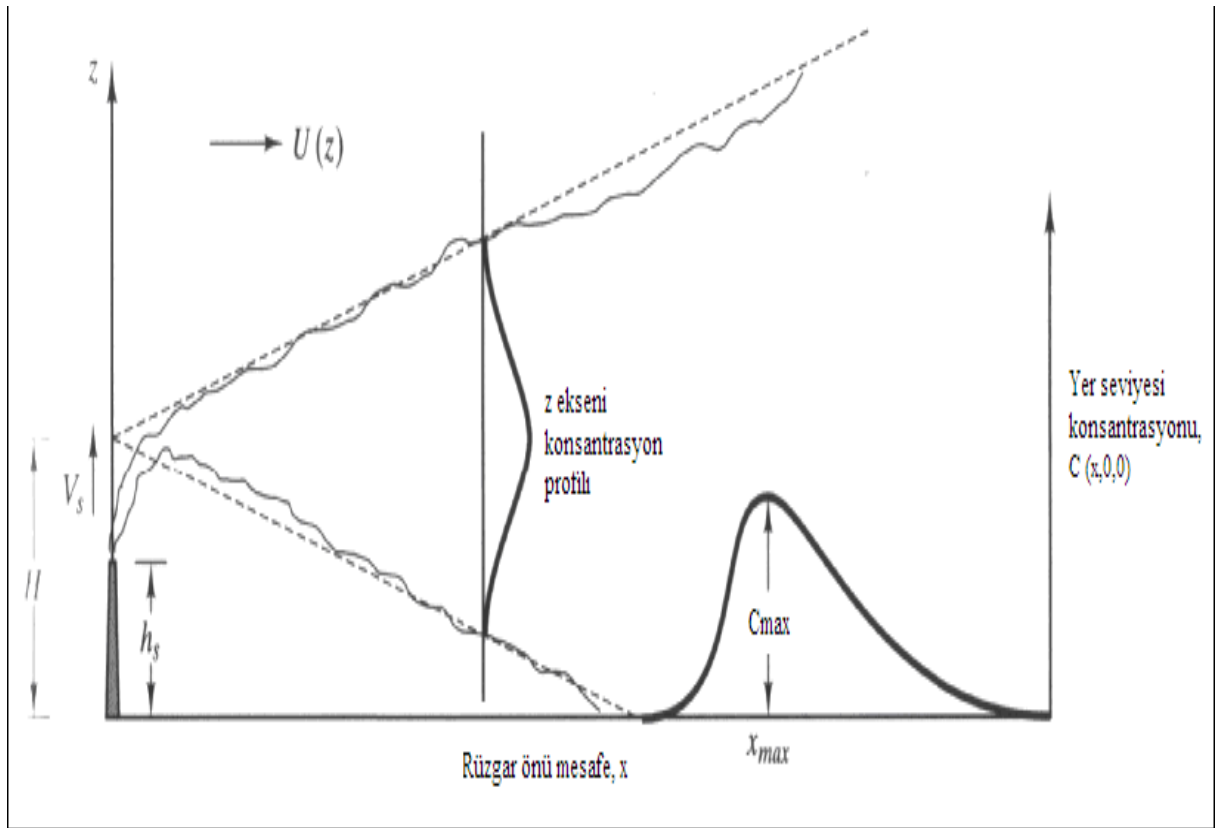
Hüzmenin yerden yansımasının çeşitli x mesafelerinde dikey konsantrasyon profillerindeki etkisi Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4'te I konumundaki iki konsantrasyon profili (gerçek ve sanal kaynakların dikey konsantrasyon profilleri) henüz örtüşmeye başlamıştır. I noktasından ilerlemeye devam edildikçe her iki konsantrasyon profillerinin örtüşmeleri daha da bariz olarak etkisini ortaya koyacaktır.

Temsili bir J noktasında bu örtüşme, dikey konsantrasyon profilinde ve dolayısıyla yer seviyesi konsantrasyonunda etkisini göstermektedir. J noktasında sanal kaynağın konsantrasyon profilinin etkisi taralı alan ile gösterilmiş olup yer seviyesi ($z=0$) konsantrasyon noktasını taralı alan kadar arttırmıştır. Daha ileri bir K noktasında ise dikey konsantrasyon profili görüldüğü gibi belirli bir azami yer seviyesi konsantrasyon değerini oluşturmaktadır.

Şekil 4'e bağlı olarak anlatılan yansıma etkisinin rüzgâr yönü boyunca oluşturduğu yer seviyesi konsantrasyon profili ile azami konsantrasyon (C_{max}) noktasının oluşumu ve izafi konumu Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 4. Hüzme yansımasının rüzgar yönünde dikey konsantrasyon profiline etkisi



Şekil 5. Yansıma sonrası oluşan yer seviyesi konsantrasyon profili

Tüm bu açıklamalardan sonra, uygulamada Gauss dispersiyon modelinin birkaç önemli oluşumunu ifade etmek gerekmektedir. Gauss dispersiyon modelinin kaynak ve alıcı nokta özelliklerine bağlı olarak uygulamada alacağı formlar aşağıdaki gibi olacaktır:

- **Yerden H Yüksekliğinde Kaynak, Yansımali Topografya ve Rüzgâr Yönünde Herhangi bir Yerdeki Konsantrasyon $C(x,y,z,H)$:**

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

- **Yerden H Yüksekliğinde Kaynak, Yansımali Topografya ve Rüzgâr Yönünde Yer Seviyesi Konsantrasyonu $C(x,y,0,H)$:**

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

- **Yerden H Yüksekliğinde Kaynak, Yansımali Topografya ve Rüzgâr Yönünde Yer Seviyesinde Hüzme Merkez Çizgisi Üzerindeki Konsantrasyon $C(x,0,0,H)$:**

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

- **Yer Seviyesinde Kaynak, Yansımali Topografya ve Rüzgâr Yönünde Yer Seviyesinde Hüzme Merkez Çizgisi Üzerindeki Konsantrasyon $C(x,0,0,0)$:**

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

Yukarıda sıralanan bütün formüller Gauss dispersiyon formülünün en geniş şeklinin, bahsedilen kaynak ve alıcı nokta konumu dikkate alınarak sadeleştirilmiş şekilleridir.

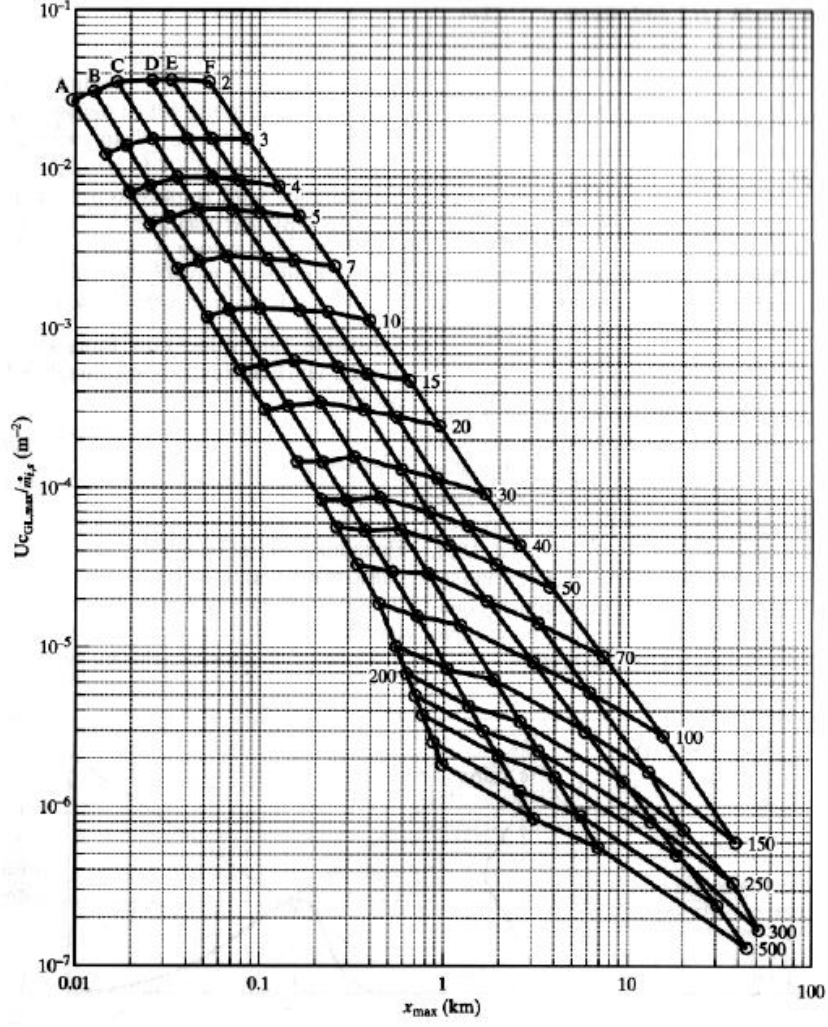
5) Yer Seviyesi Maksimum Konsantrasyonu

Daha evvel açıklandığı gibi hüzmengin yerden yansıması, hüzmeye merkez çizgisi üzerinde x mesafesi boyunca gaz kirleticinin yer seviyesi konsantrasyonunda artışa sebep olmaktadır. Bu artış hüzmeye yansıması olmaksızın gerçekleşen artıştan oldukça yüksektir. Ancak bu artış x mesafesi boyunca sürekli olmayıp bir noktadan sonra azalmaya başlayacaktır. Bunun sebebi ise y ve z eksenleri boyunca süregelen dispersiyon mekanizmasının x yönünde belirli bir mesafeden sonra baskın hale gelip merkez çizgi ($y=0$) üzerinde yer seviyesi ($z=0$) konsantrasyonunu azaltmaya başlayacaktır. Şekil 4 'te etkisi gösterilen dispersiyon mekanizmasının Şekil 5'de yer seviyesi konsantrasyonunu nasıl değiştirdiği görülmektedir.

Azami konsantrasyon değeri ve oluştuğu x mesafesinin belirlenmesi için geliştirilen yöntemlerden biri de Turner'in grafiksel çözümüdür. Şekil 8 bu çözümü ifade etmektedir. Şekil 8'deki çözüm Gauss dispersiyon denklemi, Şekil 6 ve Şekil 7 kullanılarak kentsel şartlar için oluşturulmuştur. Şekil 8'de, Cu/Q ifadesinin azami değerinin, azami konsantrasyonun oluştuğu x_{max} mesafesine bağlı ve atmosferin kararlılığı ile beraber etkin baca yüksekliği değişkenleriyle değişimini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle, yer seviyesi maksimum konsantrasyonunun oluştuğu mesafe etkin baca yüksekliği ve atmosferin kararlılığının fonksiyonudur. Bu bilgiler Şekil 8 üzerinde belirli bir nokta oluşturmakta ve bu noktadan y eksenine ulaşıldığında maksimum konsantrasyon (C_{max}) değerini ve x eksenine ulaşıldığında da bu konsantrasyonun oluştuğu x mesafesini (x_{max}) vermektedir. Fakat grafikten hassas bir şekilde sayısal değer okumanın zorluğu düşünüldüğünde, Şekil 8'deki grafiksel bilginin matematiksel bir denklem ile ifade edilmesi daha kullanışlı olacaktır. Şekil 8 kullanılarak Ranchoux tarafından geliştirilen genel bir denklem Şekil 8'den daha hassas bilgi edinmeyi sağlamaktadır:

$$\left(\frac{C u}{Q} \right)_{max} = \exp \left[a + b (\ln H) + c (\ln H)^2 + d (\ln H)^3 \right]$$

Denklemden H: Etkin baca yüksekliği, metre
C: Hesaplanacak olan azami konsantrasyon, $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
u: Rüzgar hızı, m/san
Q: Kirletici kütleli emisyon debisi, $\mu\text{gr}/\text{san}$
a, b, c, d: Katsayılar, (Tablo 1)



Şekil 8. Maksimum Cu/Q değerinin kararlılık sınıfı ve etkin baca yüksekliğine bağlı değişimi

Tablo 1. Ranchoux denkleminin kararlılık sınıflarına göre katsayıları
Kararlılık Katsayılar

Sınıfı	a	b	c	d
A	-1.0563	-2.7153	0.1261	0
B	-1.8060	-2.1912	0.0389	0
C	-1.9748	-1.9980	0	0
D	-2.5302	-1.5610	-0.0934	0
E	-1.4496	-2.5910	0.2181	-0.0343
F	-1.0488	-3.2252	0.4977	-0.0765

Ranchoux denkleminin verdiği değerlerle Şekil 8'den elde edilen değerler arasındaki fark hatası A, B, C eğrileri için %2'den az, D, E, F eğrileri için de %4.5'ten azdır. Maksimum konsantrasyonun yeri ve büyüklüğünün belirlenmesi için farklı bir yol da σ_y ve σ_z grafiklerinin eğriselliği dikkate alınarak geliştirilebilir. Şekil 6 ve Şekil 7 birlikte incelendiğinde, hafif kararsız veya nötre yakın atmosfer şartlarında (C eğrileri etrafında) σ_y / σ_z değeri hemen hemen x mesafesinden bağımsızdır. Yani $\sigma_y / \sigma_z = k$ alınıp Gauss denkleminde y ve z değerleri sıfıra eşitlenirse:

$$\sigma_y / \sigma_z = k \Rightarrow \sigma_y = k \sigma_z, \quad y=0 \quad \text{ve} \quad z=0 \quad \text{ile genel Gauss denklemi:}$$

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

C 'nin σ_z 'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse; türevin tanımı gereği C değerinin en büyük olduğu durum bulunmuş olur. Aslında yapılması gereken x 'e göre türev almaktır. Ancak denkleminde x değişkeni açıkça görülmediği için onu temsil eden σ_z 'ye göre türev alınmaktadır. Yani sonuç olarak σ_z 'ye göre türev almak x 'e göre türev almakla aynı işlem olmaktadır.

$$\frac{\partial C}{\partial \sigma_z} = -\left(\frac{Q}{\pi k u} \sigma_z^{-3}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} + \left(\frac{Q}{\pi k u} \sigma_z^{-2}\right) \left\{ -2\left(\frac{-H^2}{2}\right) \sigma_z^{-3} \right\} \left\{ \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} = 0$$

$$\therefore -\left(\frac{Q}{\pi k u} \sigma_z^{-3}\right) + \left(\frac{Q}{\pi k u} \sigma_z^{-2}\right) \left\{ -2\left(\frac{-H^2}{2}\right) \sigma_z^{-3} \right\} = 0$$

$$\therefore -(\sigma_z^{-3}) - (\sigma_z^{-2}) \left\{ -2\left(\frac{-H^2}{2}\right) \sigma_z^{-3} \right\} = 0$$

$$\therefore 1 + \left(\frac{-H^2}{2}\right) \sigma_z^{-2} = 0 \Rightarrow \sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} = 0.707 H$$

Evvla etkin baca yüksekliği (H) hesaplanır daha sonra σ_z değeri yukarıda elde edilen eşitlikte bulunur. Bulunan σ_z değeri Şekil 7'deki $\sigma_z - x$ grafiğinden uygun kararlılık sınıfı için kullanılarak azami konsantrasyonun oluştuğu x mesafesi bulunur. Ancak bu Şekilde bulunan x mesafesi grafiğin doğası gereği yaklaşık değer olacaktır. Grafikselsel okuma hatalarını daha da azaltacak bir yntem Őyle olabilir:

Yukarıda elde edilen $\sigma_z - H$ bağıntısından $H^2 = 2 \sigma_z^2$ eşitliği Gauss denkleminde yerine konarak yine yer seviyesi ($z=0$) ve hzme merkez çizgisi üzeri ($y=0$) dzteltmeleri yapılır ve denklem çzölürse:

$$C_{\max, y=0, z=0} = \frac{0.1171 Q}{u \sigma_y \sigma_z}$$

Yansımalsı topografya için azami konsantrasyon değerini veren denklem elde edilir. Tabi ki bu denklem elde edilirken kullanılan Şartlar dikkate alındığında hafif kararsız veya ntr Şartlar için geğerli olduğunu unutmamak gerekir. Ancak daha önce Şekil 8'e bağlı olarak açıklanan Turner'in grafikselsel yntemi ise bu Şekilde kısıtlı değerdir. Zira yntem doğrudan Gauss dispersiyon denkleminde dayanmakta ve Şekil 8'dan da görüldüğu gibi tüm kararlılık sınıflarını ihtiva etmektedir.

6) Atmosferin Kararlılık Sınıfının Tespiti

Atmosferin kararlılık sınıfının tespiti Gauss dispersiyon denklemlerinin kullanılabilmesi için yapılacak ilk iştir. Turner çalışmasında geliştirdiği yöntemde atmosferin kararlılık sınıfının pratik olarak tespiti için birkaç meteorolojik parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Gündüz vakti yer seviyesi rüzgar hız ile güneş ışınma durumu, gece vakti ise yine yer seviyesi rüzgar hızı ile bulutluluk durumu kararlılık sınıfının tespitinde ihtiyaç duyulan meteorolojik parametrelerdir. Tablo 2’de bu bilgilerle atmosferin kararlılık sınıfının tespiti görülmektedir. Daha evvel de bahsedildiği gibi kararlılık sınıfının tespitinde daha hassas yöntemler de bulunmasına rağmen çoğu uygulamalarda pratik kullanımlar için Tablo 2 yeterli olabilmektedir. Mesela radyosonde verilerinin kullanılmasıyla dikey sıcaklık profiline çıkarılıp adyabatik sıcaklık profiliyle karşılaştırılması ile kararlılık sınıfının tespiti daha hassas sonuçlar verebilmektedir. Ancak radyosonde verilerinin elde edilmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Mevcut meteoroloji istasyonlarının hepsinde de radyosonde ölçümleri gerçekleştirilmemektedir.

Tablo 2. Kararlılık sınıfları

Yüzey rüzgâr hızı (10 m’de) m/san	Gündüz Güneş ışığı			Gece Bulut örtüsü	
	Kuvvetli	Orta	Zayıf	Kapalı veya bulutluluk ≥4/8	Açık veya bulutluluk ≤3/8
Kategori	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
< 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

Not (1) Solar açının 60°den büyük olduğu, açık yaz günleri,
(2) Parçalı bulutlu yaz günü,
(3) Solar açının 60°den büyük olduğu açık sonbahar günleri veya parçalı bulutlu (alçak) yaz günleri veya solar açının 15 – 35° olduğu açık yaz günleri,
(4) Kış günü için de kullanılabilir.
Gündüz ve gece kapalı şartlar için Nötr kararlılık, D, kabul edilecektir.

Diğer bir yöntemde ise atmosferin potansiyel sıcaklık profiline hesaplanması ile kararlılığın tespiti mümkündür. Potansiyel sıcaklık profili sayısal değer olarak ele alındığında; pozitif, sıfır veya negatif olması durumları ile kararlılığın tespitinde kullanılabilir. Ancak bu yöntemde de kararlılığın sadece üç hali (kararlı, nötr veya kararsız) ortaya konabilmektedir. Dolayısıyla Tablo 2 pratik uygulamalar için yeterli kabul edilmektedir.

SAKARYA İLİ NOKTASAL KAYNAKLI EMİSYONLARIN DİSPERSİYON MODELİ KARARLILIK SINIFLARINA GÖRE İNCELENMESİ

Emisyon yayılımı hesaplamaları; Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve noktasal kaynaklarda yıllık ortalama konsantrasyon formülüne* göre hesaplanmıştır.

$$\text{Yıllık ortalama kons.} = \sum_{\text{kaynaklar}} \sum_{16 \text{ rüzgar yönü}} \sum_{5 \text{ rüzgar hızı}} \sum_{6 \text{ kararlılık sınıfı}} (\text{frekans. } C)$$

Meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğünden alınmıştır. Bu verilerden yıllık esme sayıları, yıllık ortalama rüzgar hızı belirlenmiştir. Bu rüzgar hızları frekansları ile ilişkilendirilip baca yüksekliğindeki rüzgar hızları belirlenmiştir. Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği' ne göre etkin baca yükseklikleri hesaplanmıştır. Daha sonra yönetmelikte belirtilen aşağıdaki formüle göre istenilen mesafelerde konsantrasyonlar bulunmuştur.

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

TOPLAM YILLIK NOx EMİSYON DAĞILIMI;

YON \ M	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
N	0,00	0,00	0,20	1,26	2,82	4,15	5,00	5,43	5,54	5,46
NNE	0,00	0,00	0,13	0,94	2,23	3,39	4,18	4,60	4,75	4,72
NE	0,00	0,00	0,08	1,06	3,35	6,01	8,24	9,79	10,68	11,06
ENE	0,00	0,00	0,00	0,04	0,35	1,18	2,39	3,69	4,89	5,85
E	0,00	0,00	0,00	0,01	0,20	0,92	2,21	3,83	5,50	7,01
ESE	0,00	0,00	0,00	0,02	0,21	0,69	1,40	2,17	2,87	3,44
SE	0,00	0,00	0,00	0,03	0,34	1,13	2,29	3,55	4,69	5,62
SSE	0,00	0,00	0,01	0,30	1,14	2,28	3,35	4,18	4,72	5,02
S	0,00	0,00	0,05	0,71	2,23	4,00	5,49	6,52	7,11	7,36
SSW	0,00	0,00	0,04	0,49	1,55	2,77	3,81	4,52	4,93	5,11
SW	0,00	0,00	0,02	0,49	1,88	3,77	5,54	6,90	7,80	8,30
WSW	0,00	0,00	0,00	0,09	0,59	1,59	2,83	4,00	4,96	5,67
W	0,00	0,00	0,00	0,03	0,26	0,88	1,78	2,75	3,63	4,35
WNW	0,00	0,00	0,00	0,04	0,24	0,64	1,14	1,61	2,00	2,28
NW	0,00	0,00	0,00	0,08	0,41	0,93	1,49	1,96	2,31	2,54
NNW	0,00	0,00	0,02	0,21	0,68	1,22	1,67	1,98	2,16	2,24

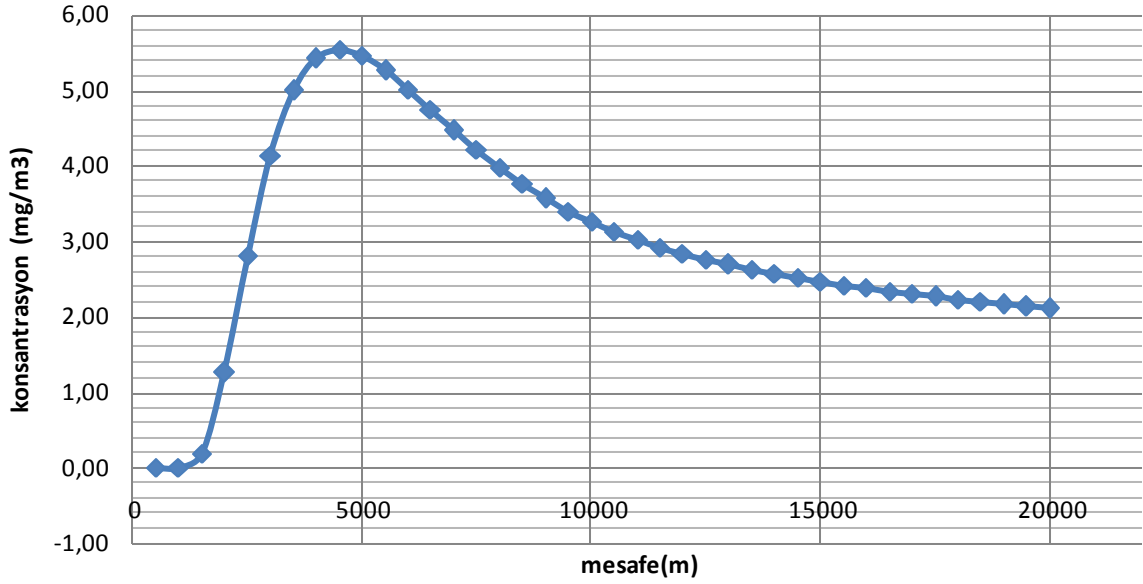
5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
5,27	5,02	4,74	4,47	4,21	3,97	3,76	3,57	3,41	3,26
4,58	4,39	4,16	3,93	3,71	3,50	3,32	3,15	3,00	2,87
11,08	10,87	10,52	10,08	9,62	9,14	8,69	8,25	7,85	7,49
6,57	7,06	7,35	7,48	7,50	7,43	7,29	7,11	6,90	6,68
8,25	9,20	9,88	10,33	10,57	10,66	10,63	10,51	10,32	10,08
3,86	4,15	4,32	4,40	4,41	4,36	4,28	4,18	4,06	3,92
6,31	6,78	7,06	7,19	7,20	7,13	7,00	6,83	6,63	6,42
5,13	5,12	5,02	4,86	4,68	4,48	4,27	4,07	3,88	3,70
7,38	7,24	7,00	6,72	6,40	6,09	5,78	5,50	5,23	4,99
5,12	5,02	4,86	4,66	4,44	4,22	4,01	3,81	3,63	3,46
8,49	8,46	8,30	8,04	7,73	7,40	7,06	6,73	6,42	6,12
6,13	6,39	6,49	6,48	6,38	6,23	6,04	5,83	5,61	5,39
4,89	5,25	5,47	5,57	5,58	5,53	5,42	5,29	5,14	4,97
2,46	2,57	2,61	2,60	2,57	2,50	2,43	2,35	2,26	2,17
2,66	2,71	2,70	2,65	2,58	2,49	2,39	2,29	2,19	2,10
2,24	2,20	2,13	2,04	1,95	1,85	1,76	1,67	1,59	1,51

10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000
3,13	3,02	2,93	2,84	2,76	2,69	2,63	2,57	2,52	2,47
2,75	2,65	2,56	2,48	2,41	2,35	2,30	2,25	2,20	2,16
7,16	6,86	6,60	6,37	6,16	5,97	5,80	5,65	5,52	5,39
6,45	6,21	5,99	5,76	5,55	5,35	5,16	4,98	4,82	4,66
9,82	9,53	9,23	8,93	8,64	8,34	8,06	7,79	7,54	7,29
3,79	3,65	3,52	3,39	3,26	3,14	3,03	2,93	2,83	2,74
6,19	5,97	5,75	5,54	5,33	5,14	4,96	4,79	4,63	4,48
3,54	3,39	3,25	3,13	3,02	2,92	2,83	2,75	2,68	2,61
4,77	4,57	4,40	4,24	4,10	3,98	3,86	3,76	3,67	3,59
3,31	3,17	3,05	2,94	2,84	2,76	2,68	2,61	2,55	2,49
5,85	5,60	5,37	5,17	4,99	4,82	4,68	4,54	4,42	4,32
5,18	4,97	4,77	4,58	4,41	4,25	4,10	3,96	3,84	3,72
4,80	4,62	4,45	4,29	4,13	3,98	3,84	3,71	3,58	3,47
2,08	2,00	1,92	1,84	1,77	1,71	1,65	1,59	1,54	1,50
2,00	1,92	1,84	1,77	1,70	1,64	1,59	1,54	1,49	1,45
1,45	1,39	1,34	1,29	1,25	1,21	1,17	1,14	1,12	1,09

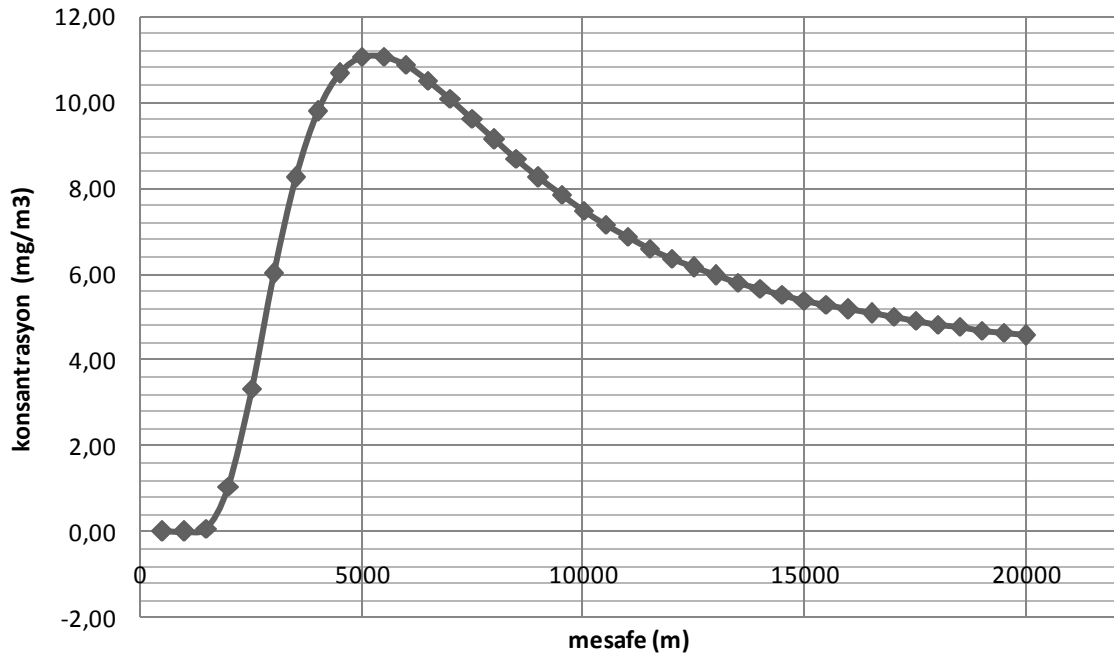
15500	16000	16500	17000	17500	18000	18500	19000	19500	20000
2,43	2,38	2,34	2,30	2,27	2,23	2,20	2,17	2,14	2,12
2,12	2,08	2,04	2,01	1,98	1,95	1,92	1,89	1,87	1,84
5,28	5,18	5,09	5,00	4,91	4,84	4,76	4,69	4,63	4,57
4,52	4,39	4,27	4,16	4,06	3,97	3,88	3,80	3,73	3,66
7,06	6,85	6,65	6,46	6,29	6,13	5,98	5,84	5,71	5,59
2,66	2,58	2,51	2,45	2,39	2,33	2,28	2,23	2,19	2,15
4,35	4,22	4,10	4,00	3,90	3,81	3,73	3,65	3,58	3,52
2,55	2,50	2,45	2,40	2,36	2,32	2,28	2,25	2,22	2,19
3,52	3,45	3,39	3,33	3,27	3,22	3,17	3,13	3,08	3,04
2,44	2,39	2,35	2,31	2,27	2,23	2,20	2,17	2,14	2,11
4,22	4,13	4,05	3,97	3,90	3,84	3,78	3,72	3,67	3,62
3,62	3,52	3,44	3,36	3,28	3,22	3,16	3,10	3,05	3,00
3,37	3,27	3,18	3,10	3,02	2,95	2,89	2,83	2,77	2,72
1,45	1,42	1,38	1,35	1,32	1,29	1,27	1,25	1,23	1,21
1,42	1,38	1,35	1,33	1,30	1,28	1,25	1,23	1,22	1,20
1,07	1,05	1,03	1,01	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92

TOPLAM YILLIK NOx EMİSYONUNUN YÖNLERE GÖRE DAĞILIM GRAFİKLERİ;

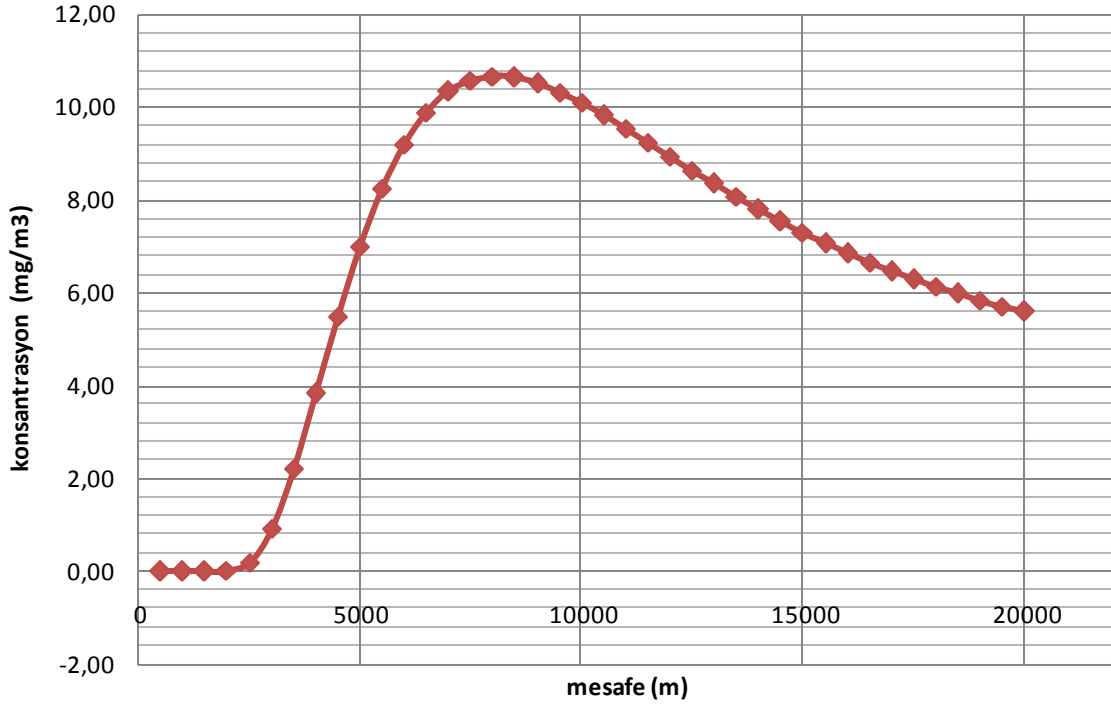
N yönünde toplam NOx emisyon yayılım grafiği



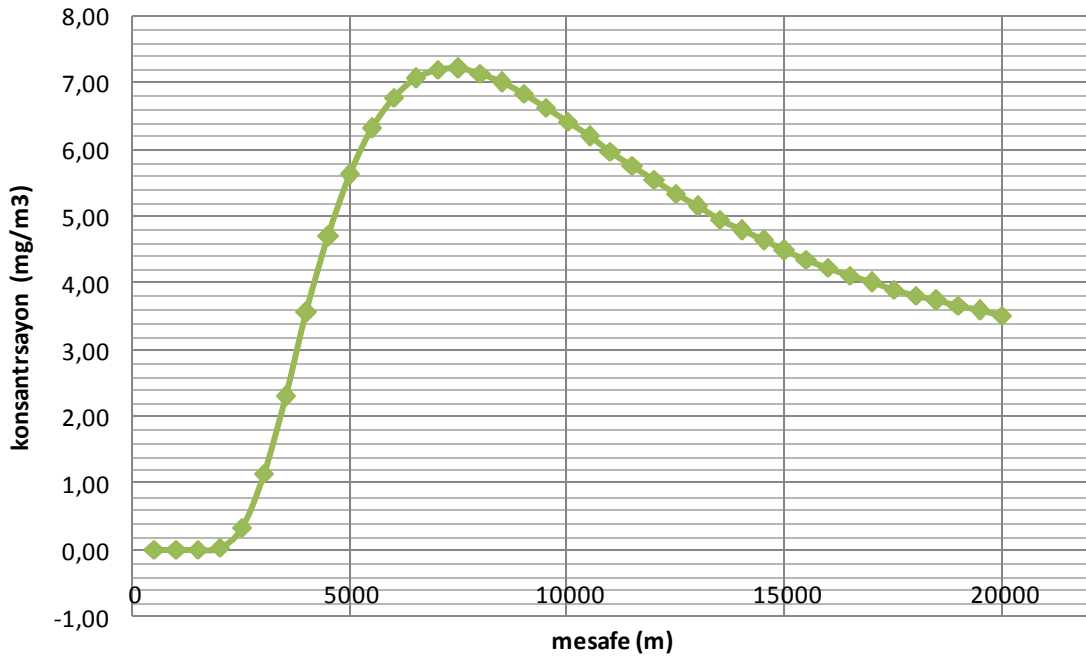
NE yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



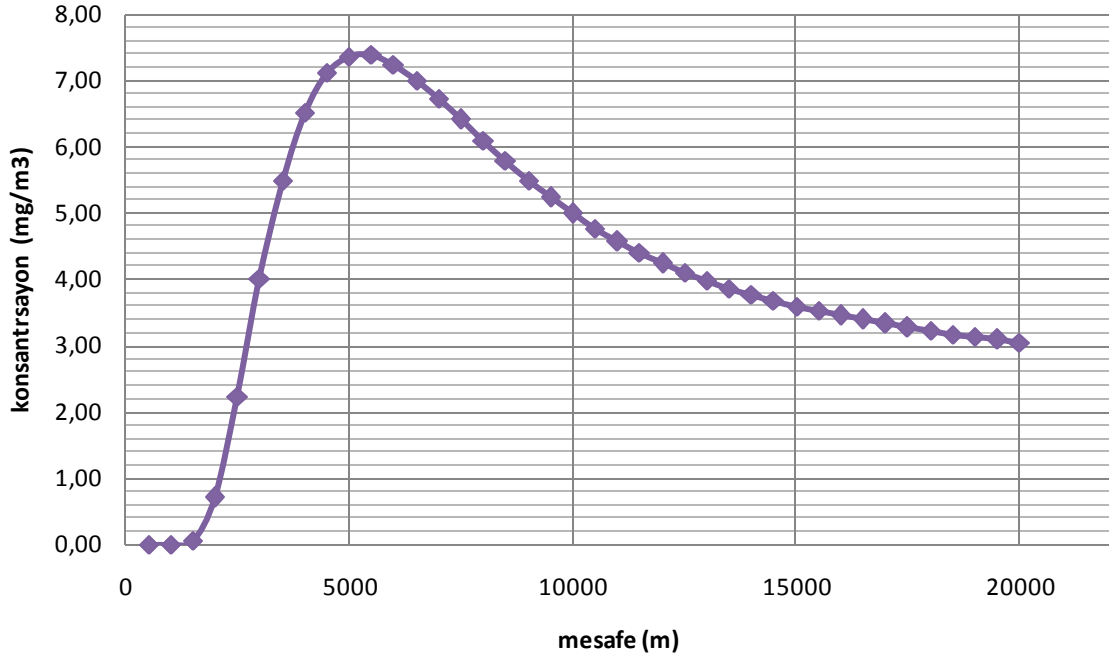
E yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



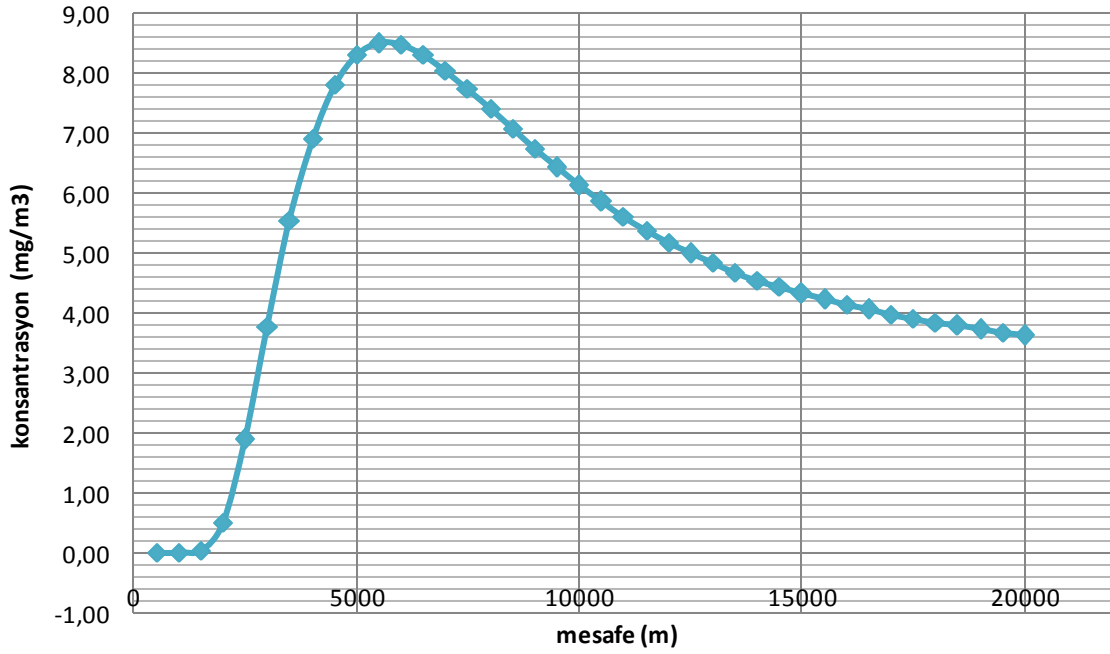
SE yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



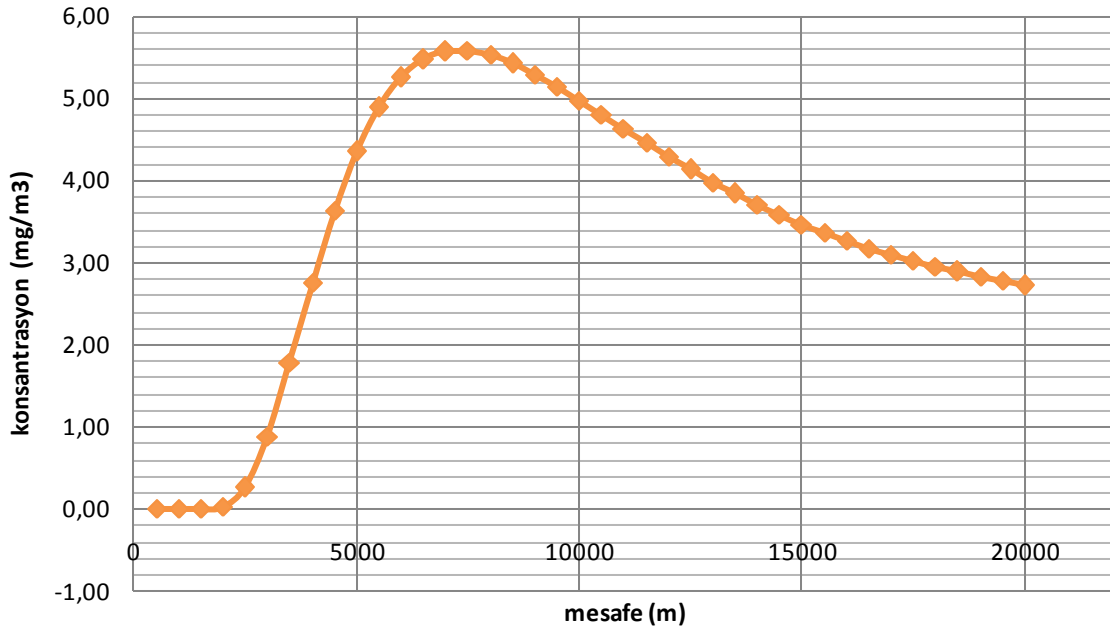
S yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



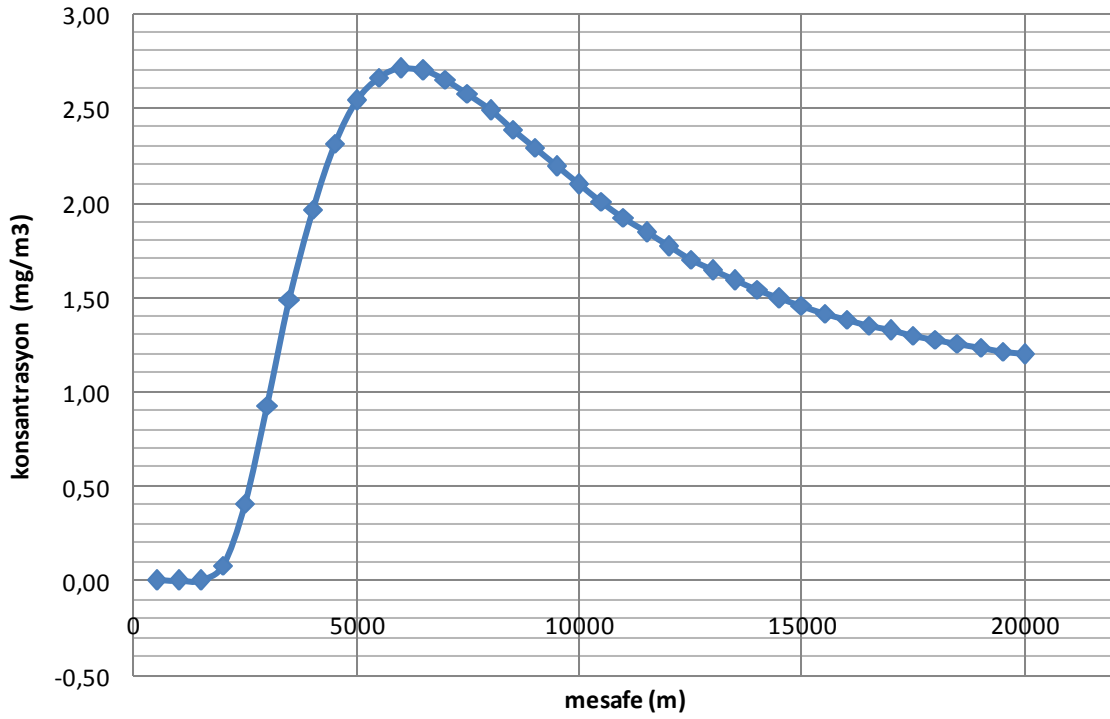
SW yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



W yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



NW yönünde toplam NOx emisyon dağılım grafiği



EKLER

A KARARLILIK SINIFI İÇİN ;

Etkin baca yüksekliğinin bulunması;

YÖN	YAYILMA	UR	H	ZA	ETKİN BACA YÜK.	M
N	A	1,5	990,429	2	1070,429459	0,09
NNE	A	1,5	1019,56	2	1099,559737	0,09
NE	A	1,5	1155,5	2	1235,501036	0,09
ENE	A	1	1575,68	2	1655,683231	0,09
E	A	1	1733,25	2	1813,251554	0,09
ESE	A	1	1575,68	2	1655,683231	0,09
SE	A	1	1575,68	2	1655,683231	0,09
SSE	A	1,5	1238,04	2	1318,036824	0,09
SS	A	1,5	1155,5	2	1235,501036	0,09
SSW	A	1,5	1155,5	2	1235,501036	0,09
SW	A	1,5	1238,04	2	1318,036824	0,09
WSW	A	1	1444,38	2	1524,376295	0,09
W	A	1	1575,68	2	1655,683231	0,09
WNW	A	1	1444,38	2	1524,376295	0,09
NW	A	1	1333,27	2	1413,270426	0,09
NNW	A	1,5	1155,5	2	1235,501036	0,09

Denklem değişkenlerinin bulunması;

YÖN	HAVA	F	f	G	g	UH	Y	Z	H	Q	&Y^2	&Z^2
N	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,223	0	0	1070,43	9,18	26138,183	27461,43
NNE	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,246	0	0	1099,56	9,18	26138,183	27461,43
NE	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,083	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43
ENE	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,067	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
E	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,039	0	0	1813,25	9,18	26138,183	27461,43
ESE	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,114	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
SE	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,070	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
SSE	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,157	0	0	1318,04	9,18	26138,183	27461,43
S	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,124	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43
SSW	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,179	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43
SW	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,095	0	0	1318,04	9,18	26138,183	27461,43
WSW	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,092	0	0	1524,38	9,18	26138,183	27461,43
W	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,090	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
WNW	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,229	0	0	1524,38	9,18	26138,183	27461,43
NW	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,258	0	0	1413,27	9,18	26138,183	27461,43
NNW	A	0,4	0,91	0,41	0,91	0,410	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43

YÖN	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
N	0,00	0,00	0,13	0,77	1,56	2,11	2,35	2,40	2,32	2,19
NNE	0,00	0,00	0,09	0,58	1,25	1,75	2,00	2,06	2,02	1,92
NE	0,00	0,00	0,05	0,68	2,00	3,33	4,24	4,70	4,84	4,77
ENE	0,00	0,00	0,00	0,02	0,23	0,75	1,45	2,12	2,65	3,01
E	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,60	1,40	2,31	3,15	3,82
ESE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,44	0,85	1,25	1,56	1,77
SE	0,00	0,00	0,00	0,02	0,22	0,72	1,39	2,04	2,55	2,90
SSE	0,00	0,00	0,01	0,19	0,70	1,31	1,79	2,09	2,22	2,25
S	0,00	0,00	0,04	0,45	1,34	2,22	2,82	3,13	3,22	3,18
SSW	0,00	0,00	0,02	0,31	0,93	1,54	1,96	2,17	2,24	2,20
SW	0,00	0,00	0,02	0,32	1,16	2,17	2,96	3,45	3,67	3,71
WSW	0,00	0,00	0,00	0,06	0,38	0,98	1,64	2,19	2,56	2,77
W	0,00	0,00	0,00	0,02	0,17	0,56	1,08	1,58	1,97	2,24
WNW	0,00	0,00	0,00	0,02	0,15	0,40	0,66	0,88	1,03	1,11
NW	0,00	0,00	0,00	0,06	0,26	0,55	0,83	1,02	1,14	1,19
NNW	0,00	0,00	0,01	0,14	0,41	0,67	0,86	0,95	0,98	0,97

5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
2,04	1,88	1,73	1,59	1,46	1,34	1,23	1,14	1,05	0,98
1,79	1,66	1,53	1,41	1,30	1,20	1,10	1,02	0,94	0,88
4,59	4,34	4,08	3,80	3,54	3,29	3,06	2,85	2,65	2,47
3,22	3,31	3,32	3,26	3,17	3,05	2,92	2,79	2,65	2,52
4,29	4,57	4,72	4,75	4,70	4,60	4,47	4,31	4,14	3,97
1,89	1,95	1,95	1,92	1,86	1,79	1,72	1,64	1,56	1,48
3,10	3,18	3,19	3,13	3,05	2,93	2,81	2,68	2,55	2,42
2,20	2,11	2,00	1,89	1,77	1,66	1,55	1,45	1,35	1,26
3,06	2,89	2,71	2,53	2,36	2,19	2,04	1,90	1,77	1,65
2,12	2,01	1,88	1,76	1,64	1,52	1,41	1,31	1,22	1,14
3,64	3,49	3,31	3,12	2,93	2,74	2,56	2,39	2,23	2,09
2,86	2,85	2,79	2,70	2,58	2,46	2,33	2,20	2,08	1,96
2,40	2,47	2,47	2,43	2,36	2,27	2,18	2,08	1,97	1,88
1,15	1,15	1,12	1,09	1,04	0,99	0,94	0,89	0,84	0,79
1,19	1,16	1,12	1,06	1,01	0,95	0,89	0,84	0,79	0,74
0,93	0,88	0,82	0,77	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,50

10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000
0,91	0,84	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,57	0,54	0,51
0,81	0,76	0,71	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46
2,31	2,16	2,02	1,90	1,78	1,68	1,58	1,49	1,41	1,34
2,39	2,27	2,15	2,04	1,94	1,84	1,75	1,66	1,58	1,51
3,79	3,62	3,45	3,29	3,14	2,99	2,85	2,72	2,60	2,48
1,41	1,33	1,26	1,20	1,14	1,08	1,03	0,98	0,93	0,89
2,30	2,18	2,07	1,96	1,86	1,77	1,68	1,60	1,52	1,45
1,18	1,11	1,04	0,98	0,92	0,87	0,82	0,78	0,73	0,70
1,54	1,44	1,35	1,26	1,19	1,12	1,05	1,00	0,94	0,89
1,07	1,00	0,93	0,88	0,82	0,78	0,73	0,69	0,65	0,62
1,96	1,83	1,72	1,62	1,52	1,44	1,36	1,28	1,21	1,15
1,85	1,75	1,65	1,56	1,48	1,40	1,33	1,26	1,19	1,14
1,78	1,69	1,60	1,52	1,44	1,37	1,30	1,24	1,18	1,12
0,75	0,70	0,66	0,63	0,59	0,56	0,53	0,51	0,48	0,46
0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42
0,47	0,44	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29	0,27

15500	16000	16500	17000	17500	18000	18500	19000	19500	20000
0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31
0,44	0,42	0,39	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,28
1,27	1,20	1,15	1,09	1,04	0,99	0,95	0,91	0,87	0,83
1,44	1,37	1,31	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,01	0,97
2,37	2,26	2,17	2,07	1,99	1,91	1,83	1,76	1,69	1,62
0,84	0,81	0,77	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57
1,38	1,32	1,26	1,20	1,15	1,10	1,05	1,01	0,97	0,93
0,66	0,63	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,47	0,45	0,43
0,85	0,80	0,76	0,73	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55
0,59	0,56	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
1,09	1,04	0,99	0,94	0,90	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72
1,08	1,03	0,98	0,94	0,89	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72
1,07	1,02	0,97	0,93	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72
0,43	0,41	0,39	0,38	0,36	0,34	0,33	0,32	0,30	0,29
0,39	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26
0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17

B KARARLILIK SINIFI İÇİN:

Etkin baca yüksekliğinin bulunması;

YÖN	YAYILMA	UR	H	ZA	ETKİN BACA YÜK.	M
N	B	1,5	990,42946	2	1070,429459	0,2
NNE	B	1,5	1019,5597	2	1099,559737	0,2
NE	B	1,5	1155,501	2	1235,501036	0,2
ENE	B	1	1575,6832	2	1655,683231	0,2
E	B	1	1733,2516	2	1813,251554	0,2
ESE	B	1	1575,6832	2	1655,683231	0,2
SE	B	1	1575,6832	2	1655,683231	0,2
SSE	B	1,5	1238,0368	2	1318,036824	0,2
SS	B	1,5	1155,501	2	1235,501036	0,2
SSW	B	1,5	1155,501	2	1235,501036	0,2
SW	B	1,5	1238,0368	2	1318,036824	0,2
WSW	B	1	1444,3763	2	1524,376295	0,2
W	B	1	1575,6832	2	1655,683231	0,2
WNW	B	1	1444,3763	2	1524,376295	0,2
NW	B	1	1333,2704	2	1413,270426	0,2
NNW	B	1,5	1155,501	2	1235,501036	0,2

Denklem değişkenlerinin bulunması;

YÖN	HAVA	F	f	G	g	UH	Y	Z	H	Q	&Y^2	&Z^2
N	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,444	0	0	1070,43	9,18	26138,183	27461,43
NNE	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,491	0	0	1099,56	9,18	26138,183	27461,43
NE	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,168	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43
ENE	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,141	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
E	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,083	0	0	1813,25	9,18	26138,183	27461,43
ESE	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,240	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
SE	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,146	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
SSE	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,320	0	0	1318,04	9,18	26138,183	27461,43
S	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,252	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43
SSW	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,364	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43
SW	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,194	0	0	1318,04	9,18	26138,183	27461,43
WSW	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,191	0	0	1524,38	9,18	26138,183	27461,43
W	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,189	0	0	1655,68	9,18	26138,183	27461,43
WNW	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,475	0	0	1524,38	9,18	26138,183	27461,43
NW	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,530	0	0	1413,27	9,18	26138,183	27461,43
NNW	B	0,4	0,91	0,41	0,91	0,831	0	0	1235,50	9,18	26138,183	27461,43

YÖN	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
N	0,00	0,00	0,06	0,39	0,78	1,06	1,18	1,20	1,16	1,10
NNE	0,00	0,00	0,04	0,29	0,63	0,87	1,00	1,03	1,01	0,96
NE	0,00	0,00	0,03	0,34	0,99	1,64	2,09	2,32	2,39	2,35
ENE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,36	0,69	1,01	1,27	1,44
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,28	0,66	1,09	1,49	1,81
ESE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,21	0,41	0,60	0,74	0,85
SE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,35	0,67	0,97	1,22	1,38
SSE	0,00	0,00	0,00	0,10	0,34	0,64	0,88	1,02	1,09	1,10
S	0,00	0,00	0,02	0,22	0,66	1,09	1,39	1,54	1,59	1,57
SSW	0,00	0,00	0,01	0,15	0,46	0,76	0,96	1,07	1,10	1,09
SW	0,00	0,00	0,01	0,16	0,57	1,06	1,45	1,69	1,80	1,82
WSW	0,00	0,00	0,00	0,03	0,18	0,47	0,79	1,05	1,23	1,33
W	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,27	0,52	0,75	0,94	1,07
WNW	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,19	0,32	0,42	0,50	0,54
NW	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,27	0,40	0,50	0,55	0,58
NNW	0,00	0,00	0,01	0,07	0,20	0,33	0,42	0,47	0,48	0,48

5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
1,02	0,94	0,87	0,79	0,73	0,67	0,62	0,57	0,53	0,49
0,90	0,83	0,77	0,71	0,65	0,60	0,55	0,51	0,47	0,44
2,26	2,14	2,01	1,88	1,75	1,62	1,51	1,40	1,31	1,22
1,54	1,58	1,58	1,56	1,51	1,46	1,40	1,33	1,27	1,20
2,03	2,16	2,23	2,24	2,22	2,18	2,11	2,04	1,96	1,87
0,90	0,93	0,93	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,74	0,71
1,48	1,52	1,52	1,50	1,45	1,40	1,34	1,28	1,22	1,16
1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,81	0,76	0,71	0,66	0,62
1,51	1,43	1,34	1,25	1,16	1,08	1,01	0,94	0,87	0,81
1,05	0,99	0,93	0,87	0,81	0,75	0,70	0,65	0,60	0,56
1,78	1,71	1,62	1,53	1,43	1,34	1,25	1,17	1,09	1,02
1,38	1,38	1,35	1,30	1,25	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95
1,15	1,18	1,18	1,16	1,13	1,09	1,04	0,99	0,94	0,90
0,55	0,55	0,54	0,52	0,50	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38
0,58	0,56	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41	0,38	0,36
0,46	0,43	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,25

10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000
0,45	0,42	0,39	0,37	0,35	0,32	0,31	0,29	0,27	0,26
0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23
1,14	1,06	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66
1,14	1,08	1,03	0,97	0,93	0,88	0,83	0,79	0,76	0,72
1,79	1,71	1,63	1,56	1,48	1,41	1,35	1,29	1,23	1,17
0,67	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47	0,44	0,42
1,10	1,04	0,99	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,69
0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34
0,76	0,71	0,66	0,62	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,44
0,53	0,49	0,46	0,43	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30
0,96	0,90	0,84	0,79	0,75	0,70	0,66	0,63	0,59	0,56
0,89	0,84	0,80	0,75	0,71	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55
0,85	0,81	0,76	0,73	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54
0,36	0,34	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	0,22
0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20
0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13

15500	16000	16500	17000	17500	18000	18500	19000	19500	20000
0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16
0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14
0,63	0,59	0,56	0,54	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
0,69	0,65	0,63	0,60	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46
1,12	1,07	1,02	0,98	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77
0,40	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
0,66	0,63	0,60	0,57	0,55	0,53	0,50	0,48	0,46	0,45
0,32	0,31	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21
0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27
0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19
0,53	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,37	0,35
0,52	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35
0,51	0,49	0,47	0,44	0,43	0,41	0,39	0,37	0,36	0,34
0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14
0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13
0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08

C/I KARARLILIK SINIFI İÇİN ;

Etkin baca yüksekliğinin bulunması;

YÖN	YAYILMA	UR	H	ZA	ETKİN BACA YÜK.	M
N	C/I	1,5	691,94387	2	771,9438688	0,2
NNE	C/I	1,5	712,29516	2	792,295159	0,2
NE	C/I	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,2
ENE	C/I	1	1100,8198	2	1180,819791	0,2
E	C/I	1	1210,9018	2	1290,90177	0,2
ESE	C/I	1	1100,8198	2	1180,819791	0,2
SE	C/I	1	1100,8198	2	1180,819791	0,2
SSE	C/I	1,5	864,92984	2	944,929836	0,2
SS	C/I	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,2
SSW	C/I	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,2
SW	C/I	1,5	864,92984	2	944,929836	0,2
WSW	C/I	1	1009,0848	2	1089,084809	0,2
W	C/I	1	1100,8198	2	1180,819791	0,2
WNW	C/I	1	1009,0848	2	1089,084809	0,2
NW	C/I	1	931,4629	2	1011,4629	0,2
NNW	C/I	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,2

Denklem değişkenlerinin hesaplanması;

YÖN	HAVA	F	f	G	g	UH	Y	Z	H	Q	&Y^2	&Z^2
N	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,416	0	0	771,94	9,18	11372,695	9556,223
NNE	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,460	0	0	792,30	9,18	11372,695	9556,223
NE	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,157	0	0	887,27	9,18	11372,695	9556,223
ENE	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,132	0	0	1180,82	9,18	11372,695	9556,223
E	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,078	0	0	1290,90	9,18	11372,695	9556,223
ESE	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,224	0	0	1180,82	9,18	11372,695	9556,223
SE	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,137	0	0	1180,82	9,18	11372,695	9556,223
SSE	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,300	0	0	944,93	9,18	11372,695	9556,223
S	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,236	0	0	887,27	9,18	11372,695	9556,223
SSW	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,341	0	0	887,27	9,18	11372,695	9556,223
SW	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,181	0	0	944,93	9,18	11372,695	9556,223
WSW	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,179	0	0	1089,08	9,18	11372,695	9556,223
W	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,177	0	0	1180,82	9,18	11372,695	9556,223
WNW	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,444	0	0	1089,08	9,18	11372,695	9556,223
NW	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,496	0	0	1011,46	9,18	11372,695	9556,223
NNW	C/I	0,36	0,86	0,33	0,86	0,777	0	0	887,27	9,18	11372,695	9556,223

YÖN	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
N	0,00	0,00	0,00	0,11	0,47	0,98	1,47	1,83	2,06	2,17
NNE	0,00	0,00	0,00	0,07	0,34	0,76	1,18	1,51	1,72	1,84
NE	0,00	0,00	0,00	0,05	0,35	1,04	1,92	2,77	3,45	3,93
ENE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,25	0,56	0,97	1,40
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15	0,43	0,86	1,38
ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,33	0,57	0,82
SE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,24	0,54	0,93	1,34
SSE	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,33	0,68	1,07	1,41	1,67
S	0,00	0,00	0,00	0,03	0,24	0,69	1,28	1,84	2,30	2,62
SSW	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,48	0,89	1,28	1,59	1,81
SW	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,54	1,13	1,76	2,32	2,76
WSW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,39	0,76	1,17	1,56
W	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,18	0,42	0,72	1,04
WNW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,16	0,30	0,47	0,63
NW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,26	0,44	0,62	0,78
NNW	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,21	0,39	0,56	0,70	0,79

5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
2,21	2,19	2,13	2,05	1,96	1,87	1,78	1,68	1,59	1,51
1,89	1,89	1,85	1,79	1,72	1,65	1,57	1,49	1,41	1,34
4,23	4,38	4,42	4,39	4,30	4,18	4,04	3,88	3,72	3,56
1,81	2,16	2,45	2,66	2,82	2,91	2,97	2,99	2,98	2,95
1,94	2,47	2,94	3,33	3,65	3,88	4,05	4,16	4,22	4,24
1,06	1,27	1,44	1,56	1,65	1,71	1,74	1,75	1,75	1,73
1,74	2,08	2,35	2,56	2,70	2,80	2,85	2,87	2,86	2,83
1,86	1,97	2,03	2,05	2,03	2,00	1,95	1,89	1,82	1,75
2,82	2,92	2,95	2,92	2,87	2,78	2,69	2,58	2,48	2,37
1,95	2,02	2,04	2,03	1,99	1,93	1,86	1,79	1,72	1,64
3,07	3,26	3,36	3,39	3,36	3,30	3,22	3,12	3,01	2,90
1,90	2,16	2,35	2,48	2,55	2,58	2,58	2,56	2,52	2,46
1,35	1,61	1,82	1,98	2,09	2,17	2,21	2,22	2,22	2,19
0,76	0,87	0,94	1,00	1,03	1,04	1,04	1,03	1,01	0,99
0,90	0,99	1,04	1,07	1,08	1,08	1,06	1,04	1,01	0,98
0,86	0,89	0,89	0,89	0,87	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72

10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000
1,43	1,35	1,28	1,22	1,15	1,10	1,04	0,99	0,94	0,90
1,27	1,20	1,14	1,08	1,03	0,98	0,93	0,89	0,85	0,81
3,40	3,25	3,10	2,96	2,82	2,69	2,57	2,46	2,35	2,25
2,90	2,84	2,77	2,70	2,63	2,55	2,47	2,39	2,32	2,24
4,23	4,19	4,14	4,07	3,98	3,89	3,80	3,70	3,60	3,50
1,70	1,67	1,63	1,59	1,54	1,50	1,45	1,41	1,36	1,32
2,79	2,73	2,67	2,60	2,52	2,45	2,37	2,30	2,23	2,15
1,68	1,61	1,55	1,48	1,42	1,36	1,30	1,25	1,19	1,14
2,26	2,16	2,06	1,97	1,88	1,79	1,71	1,64	1,57	1,50
1,57	1,50	1,43	1,37	1,30	1,24	1,19	1,14	1,09	1,04
2,78	2,67	2,56	2,45	2,34	2,25	2,15	2,06	1,97	1,89
2,40	2,33	2,26	2,18	2,11	2,03	1,96	1,89	1,82	1,76
2,16	2,11	2,06	2,01	1,95	1,90	1,84	1,78	1,72	1,67
0,96	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,71
0,95	0,91	0,88	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69	0,67
0,69	0,66	0,63	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46

15500	16000	16500	17000	17500	18000	18500	19000	19500	20000
0,86	0,82	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64	0,61	0,59
0,77	0,74	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,53
2,15	2,06	1,98	1,90	1,82	1,75	1,69	1,62	1,56	1,51
2,17	2,10	2,03	1,96	1,90	1,83	1,77	1,72	1,66	1,61
3,40	3,30	3,21	3,11	3,02	2,93	2,84	2,76	2,68	2,60
1,27	1,23	1,19	1,15	1,11	1,08	1,04	1,01	0,98	0,95
2,08	2,01	1,95	1,88	1,82	1,76	1,70	1,65	1,60	1,55
1,10	1,05	1,01	0,97	0,93	0,90	0,87	0,83	0,80	0,78
1,44	1,38	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,08	1,04	1,00
1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
1,81	1,74	1,67	1,61	1,55	1,49	1,43	1,38	1,33	1,28
1,69	1,63	1,57	1,52	1,47	1,41	1,37	1,32	1,27	1,23
1,61	1,56	1,51	1,46	1,41	1,36	1,32	1,28	1,24	1,20
0,68	0,66	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,50
0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46
0,44	0,42	0,40	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30

C/II KARARLILIK SINIFI İÇİN;

Etkin baca yüksekliğinin hesaplanması;

YÖN	YAYILMA	UR	H	ZA	ETKİN BACA YÜK.	M
N	C/II	1,5	691,94387	2	771,9438688	0,28
NNE	C/II	1,5	712,29516	2	792,295159	0,28
NE	C/II	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,28
ENE	C/II	1	1100,8198	2	1180,819791	0,28
E	C/II	1	1210,9018	2	1290,90177	0,28
ESE	C/II	1	1100,8198	2	1180,819791	0,28
SE	C/II	1	1100,8198	2	1180,819791	0,28
SSE	C/II	1,5	864,92984	2	944,929836	0,28
SS	C/II	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,28
SSW	C/II	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,28
SW	C/II	1,5	864,92984	2	944,929836	0,28
WSW	C/II	1	1009,0848	2	1089,084809	0,28
W	C/II	1	1100,8198	2	1180,819791	0,28
WNW	C/II	1	1009,0848	2	1089,084809	0,28
NW	C/II	1	931,4629	2	1011,4629	0,28
NNW	C/II	1,5	807,26785	2	887,2678469	0,28

Denklem değişkenlerinin hesaplanması;

YÖN	HAVA	F	f	G	g	UH	Y	Z	H	Q	$\square y^2$	$\square z^2$
N	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,670	0	0	771,94	9,18	3324,4757	1571,334
NNE	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,743	0	0	792,30	9,18	3324,4757	1571,334
NE	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,256	0	0	887,27	9,18	3324,4757	1571,334
ENE	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,219	0	0	1180,82	9,18	3324,4757	1571,334
E	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,130	0	0	1290,90	9,18	3324,4757	1571,334
ESE	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,373	0	0	1180,82	9,18	3324,4757	1571,334
SE	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,228	0	0	1180,82	9,18	3324,4757	1571,334
SSE	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,490	0	0	944,93	9,18	3324,4757	1571,334
S	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,384	0	0	887,27	9,18	3324,4757	1571,334
SSW	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,554	0	0	887,27	9,18	3324,4757	1571,334
SW	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,297	0	0	944,93	9,18	3324,4757	1571,334
WSW	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,296	0	0	1089,08	9,18	3324,4757	1571,334
W	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,295	0	0	1180,82	9,18	3324,4757	1571,334
WNW	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,735	0	0	1089,08	9,18	3324,4757	1571,334
NW	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	0,816	0	0	1011,46	9,18	3324,4757	1571,334
NNW	C/II	0,32	0,78	0,22	0,78	1,266	0	0	887,27	9,18	3324,4757	1571,334

YÖN	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NNE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ENE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SSW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WSW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WNW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NNW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,13	0,18	0,23	0,29
0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,13	0,17	0,21
0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05	0,08	0,12	0,18	0,24
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07
0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,12	0,16
0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,11
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,05

10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000
0,34	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63	0,67	0,72	0,76	0,80
0,26	0,31	0,36	0,41	0,45	0,50	0,54	0,58	0,62	0,65
0,31	0,40	0,48	0,58	0,67	0,77	0,87	0,96	1,06	1,15
0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,20
0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,09	0,11	0,14
0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12
0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,13	0,16	0,19
0,09	0,12	0,15	0,19	0,23	0,26	0,31	0,35	0,39	0,43
0,21	0,26	0,32	0,38	0,45	0,51	0,58	0,64	0,70	0,76
0,15	0,18	0,22	0,27	0,31	0,36	0,40	0,44	0,49	0,53
0,15	0,20	0,25	0,31	0,37	0,44	0,50	0,57	0,64	0,71
0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,21	0,24	0,28
0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15
0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11
0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17
0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23

15500	16000	16500	17000	17500	18000	18500	19000	19500	20000
0,84	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,01
0,69	0,71	0,74	0,76	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,85
1,23	1,32	1,39	1,47	1,53	1,60	1,65	1,71	1,75	1,80
0,23	0,27	0,31	0,35	0,40	0,44	0,49	0,53	0,57	0,62
0,17	0,21	0,25	0,29	0,34	0,39	0,44	0,49	0,55	0,60
0,14	0,16	0,18	0,21	0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,36
0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,47	0,51	0,55	0,59
0,47	0,51	0,55	0,58	0,62	0,65	0,68	0,71	0,73	0,76
0,82	0,88	0,93	0,98	1,02	1,06	1,10	1,14	1,17	1,20
0,57	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83
0,78	0,84	0,90	0,96	1,02	1,07	1,12	1,17	1,21	1,25
0,32	0,36	0,41	0,45	0,49	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70
0,17	0,20	0,23	0,26	0,30	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46
0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,28
0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,35
0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,35	0,36

D KARARLILIK SINIFI İÇİN:

Etkin baca yüksekliğinin hesaplanması;

YÖN	YAYILMA	UR	H	ZA	ETKİN BACA YÜK.	M
N	D	1,5	279,4963966	2	359,4963966	0,37
NNE	D	1,5	282,2101236	2	362,2101236	0,37
NE	D	1,5	294,2332912	2	374,2332912	0,37
ENE	D	1	326,2806617	2	406,2806617	0,37
E	D	1	336,8130391	2	416,8130391	0,37
ESE	D	1	326,2806617	2	406,2806617	0,37
SE	D	1	326,2806617	2	406,2806617	0,37
SSE	D	1,5	301,0783663	2	381,0783663	0,37
SS	D	1,5	294,2332912	2	374,2332912	0,37
SSW	D	1,5	294,2332912	2	374,2332912	0,37
SW	D	1,5	301,0783663	2	381,0783663	0,37
WSW	D	1	316,9532048	2	396,9532048	0,37
W	D	1	326,2806617	2	406,2806617	0,37
WNW	D	1	316,9532048	2	396,9532048	0,37
NW	D	1	308,6084254	2	388,6084254	0,37
NNW	D	1,5	294,2332912	2	374,2332912	0,37

Denklem değişkenlerinin hesaplanması;

YÖN	HAVA	F	f	G	g	UH	Y	Z	H	Q	&Y^2	&Z^2
N	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,864	0	0	359,50	9,18	1307,0458	48,96321
NNE	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,953	0	0	362,21	9,18	1307,0458	48,96321
NE	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,322	0	0	374,23	9,18	1307,0458	48,96321
ENE	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,262	0	0	406,28	9,18	1307,0458	48,96321
E	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,153	0	0	416,81	9,18	1307,0458	48,96321
ESE	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,446	0	0	406,28	9,18	1307,0458	48,96321
SE	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,273	0	0	406,28	9,18	1307,0458	48,96321
SSE	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,610	0	0	381,08	9,18	1307,0458	48,96321
S	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,483	0	0	374,23	9,18	1307,0458	48,96321
SSW	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,697	0	0	374,23	9,18	1307,0458	48,96321
SW	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,369	0	0	381,08	9,18	1307,0458	48,96321
WSW	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,359	0	0	396,95	9,18	1307,0458	48,96321
W	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,352	0	0	406,28	9,18	1307,0458	48,96321
WNW	D	0,31	0,71	0,06	0,71	0,892	0	0	396,95	9,18	1307,0458	48,96321
NW	D	0,31	0,71	0,06	0,71	1,003	0	0	388,61	9,18	1307,0458	48,96321
NNW	D	0,31	0,71	0,06	0,71	1,592	0	0	374,23	9,18	1307,0458	48,96321

E KARARLILIK SINIFI İÇİN:

Etkin baca yüksekliğinin bulunması;

YÖN	YAYILMA	UR	H	ZA	ETKİN BACA YÜK.	M
N	E	1,5	168,06767	2	248,0676734	0,42
NNE	E	1,5	173,01084	2	253,0108403	0,42
NE	E	1,5	196,07895	2	276,0789523	0,42
ENE	E	1	267,38039	2	347,3803896	0,42
E	E	1	294,11843	2	374,1184285	0,42
ESE	E	1	267,38039	2	347,3803896	0,42
SE	E	1	267,38039	2	347,3803896	0,42
SSE	E	1,5	210,08459	2	290,0845918	0,42
SS	E	1,5	196,07895	2	276,0789523	0,42
SSW	E	1,5	196,07895	2	276,0789523	0,42
SW	E	1,5	210,08459	2	290,0845918	0,42
WSW	E	1	245,09869	2	325,0986904	0,42
W	E	1	267,38039	2	347,3803896	0,42
WNW	E	1	245,09869	2	325,0986904	0,42
NW	E	1	226,24495	2	306,244945	0,42
NNW	E	1,5	196,07895	2	276,0789523	0,42

Denklem değişkenlerinin hesaplanması;

YÖN	HAVA	F	f	G	g	UH	Y	Z	H	Q	$\square y^2$	$\square z^2$
N	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,958	0	0	248,07	9,18	1307,0458	48,96321
NNE	E	0,31	0,71	0,06	0,71	1,063	0	0	253,01	9,18	1307,0458	48,96321
NE	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,368	0	0	276,08	9,18	1307,0458	48,96321
ENE	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,320	0	0	347,38	9,18	1307,0458	48,96321
E	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,191	0	0	374,12	9,18	1307,0458	48,96321
ESE	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,545	0	0	347,38	9,18	1307,0458	48,96321
SE	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,333	0	0	347,38	9,18	1307,0458	48,96321
SSE	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,707	0	0	290,08	9,18	1307,0458	48,96321
S	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,553	0	0	276,08	9,18	1307,0458	48,96321
SSW	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,797	0	0	276,08	9,18	1307,0458	48,96321
SW	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,428	0	0	290,08	9,18	1307,0458	48,96321
WSW	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,430	0	0	325,10	9,18	1307,0458	48,96321
W	E	0,31	0,71	0,06	0,71	0,430	0	0	347,38	9,18	1307,0458	48,96321
WNW	E	0,31	0,71	0,06	0,71	1,068	0	0	325,10	9,18	1307,0458	48,96321
NW	E	0,31	0,71	0,06	0,71	1,181	0	0	306,24	9,18	1307,0458	48,96321
NNW	E	0,31	0,71	0,06	0,71	1,820	0	0	276,08	9,18	1307,0458	48,96321

REFERANSLAR

- CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ YRD. DOÇ. DR. ORHAN CERİT DERS NOTLARI
- YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ YRD. DOÇ. DR. ARSLAN SARAL DERS NOTLARI
- HAVA KALİTESİ KONTROLU YÖNETMELİĞİ
- Air Pollution Control Engineering - NOEL DE NEVERS
- www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava_kirliligi_ve_modellemesi_1.pdf
- WİKİPEDIA - http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_dispersion_modeling