



**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

HAVA KİRLİLİĞİ NEDİR, ÖLÇÜM VE HAVA KALİTE MODELLEME YÖNTEMLERİ NELERDİR

Hava Kirliliği ve Modellemesi

**Burcu AYDINLAR
Hasan GÜVEN
Seda KIRKSEKİZ**

**01.02.2009
Sakarya Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü**

1. Hava Nedir?

Hava, atmosferi meydana getiren gazların karışımı olarak tanımlanabilir. **Hava**, insan ve canlıların yaşaması için hayati öneme sahiptir. Yerküreyi saran gaz kütleyle **atmosfer** adı verilmektedir. Atmosferdeki hava tabakasının kalınlığı yaklaşık 150 km'dir. Bunun sadece yaklaşık 5 km'si canlıların yaşamasına elverişlidir. Yeryüzünden uzaklaştıkça hava tabakasının yoğunluğu azalır. Atmosfer, yerkürenin etrafında adeta düzenleyici ve koruyucu bir örtü şeklindedir. Saf hava, başta azot ve oksijen olmak üzere argon, karbondioksit, su buharı, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, azot monoksit, ksenon, ozon, amonyak ve azot dioksit gazlarının karışımından meydana gelmiştir. Havada yaklaşık olarak;

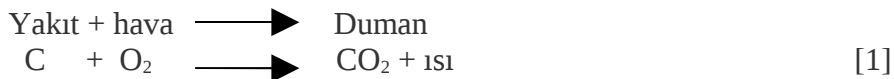
- Azot %78,
- Oksijen %21,
- Karbondioksit ve asal gazlar %1 oranında bulunur.

Havada bulunan gazları 3 grupta toplayabiliriz;

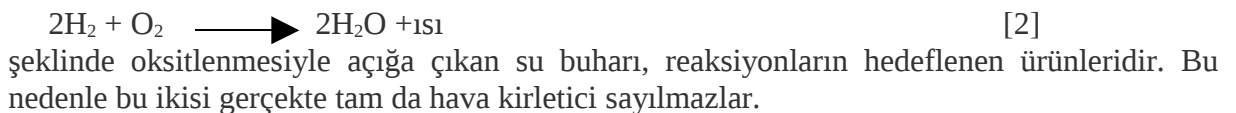
1. Havada devamlı bulunan ve çoğunlukla miktarları değişmeyen gazlar (*azot, oksijen ve diğer asal gazlar*)
2. Havada devamlı bulunan ve miktarları azalıp çoğalan gazlar (*karbondioksit, su buharı, ozon*)
3. Havada her zaman bulunmayan gazlar (*kirleticiler*)

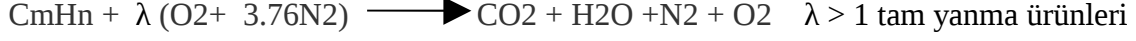
Hava da tıpkı su ve toprak gibi kirlenebilen bir ortamdır. Bunlardan farklı olarak canlılar aç ve susuz günlerce yaşayabileceği halde nefes almadan birkaç dakikadan fazla duramaz. Bu yüzden doğal bileşimdeki hava, tüm canlılar için zorunlu olan yaşamsal bir haktır.

Hava kirliliği modern yaşamın bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıkışık düzende kurup, içinde kendimizi yaşamaya hapsettiğimiz kentlerde; ulaşım, ısınma ve aydınlanma için gerekli enerji ve her geçen gün artıp çeşitlenen tüketim gereksinmemizi karşılamaya yönelik toplu üretimin artıkları, havayı yoğun gaz ve toz kalıntılarıyla doldurmaktadır. Havayı kirleten en önemli etken yanma reaksiyonudur.



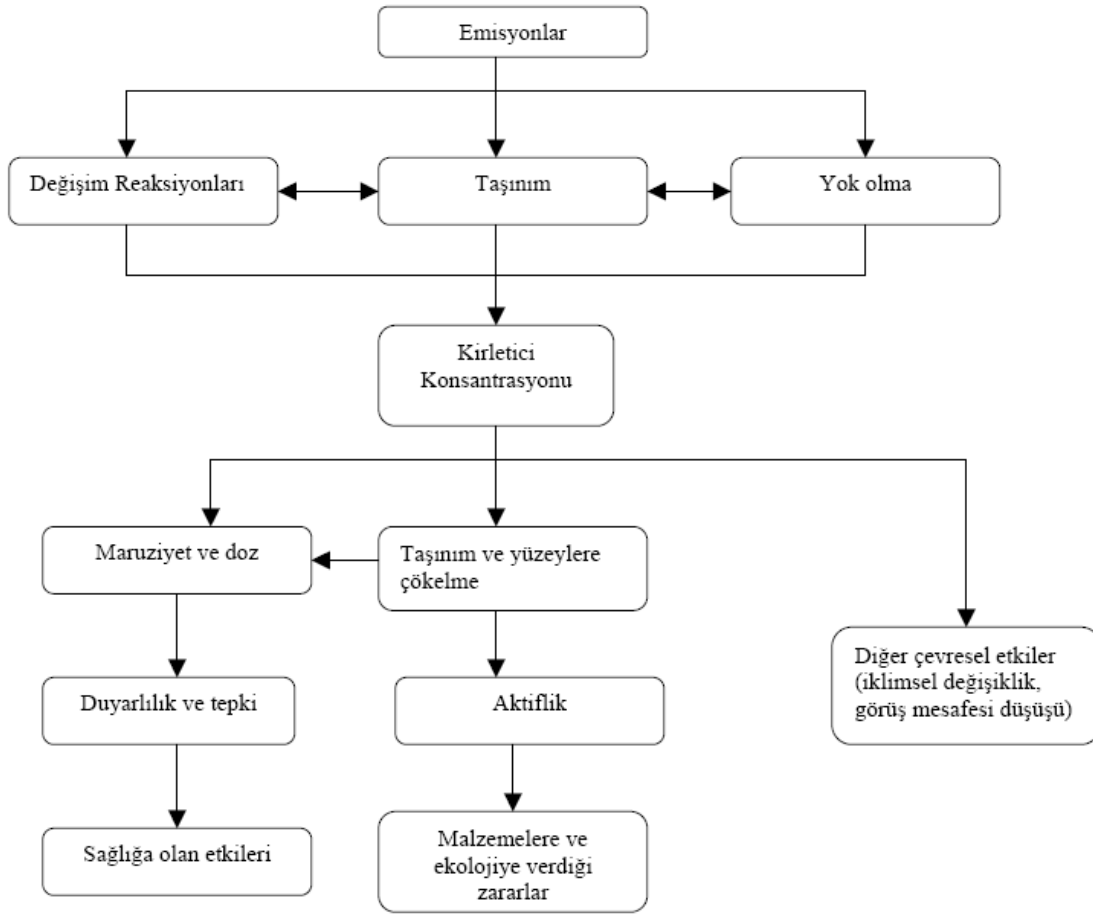
Reaksiyonu uyarınca, fosil yakıt adını verdiğimiz gaz, petrol, veya kömürün yakılmasıyla oluşan CO₂ ve bunun yanı sıra bu yakıtlarda bol bulunan hidrojenin,





Ancak yakıt içeriğinde bulunan safsızlıklara; oksijenin verilmiş oran ve şekline, yanma sıcaklığının gereğinden az veya çok oluşuna, sıcak ve soğuk bölgelerde gazların bekleme süresine bağlı nedenlerle 1. ve 2. reaksiyonlar tam olarak gerçekleşmemesi yüzünden oluşan başka gaz ve buharlar “hava kirletici” sayılırlar

2. Hava Kirliliği



Hava kirliliği, bina dışı açık havada bir veya daha fazla türden kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ticari veya kişisel eşyalara ve yaşamaktan zevk duyulabilecek bir evre kalitesine zarar veren miktarda belli bir srenin üstünde bulunmasıdır. Unutulmamalıdır ki hava kalitesi ne kadar düşük olursa hayat kalitesi de bununla doğru orantılı olarak düşmektedir. Toz duman, (yapay) sis, buhar, iri partiküller, gazlar (NO_x, SO_x, CO, VOC) ve (kötü) kokulu maddeler kirleticilere birer örnektir. Havada 0,04 ppm'den fazla ozon, hidrokarbon buharları ve karbon monoksit gazı ise kirletici sayılır. İnsanların çeşitli faaliyetleri sonucu meydana gelen üretim ve tüketim aktiviteleri sırasında ortaya çıkan atıklar ile hava tabakası kirlenerek, yeryüzündeki canlı hayatı olumsuz yönde etkilenmektedir.



2.1. Hava Kirletici Kaynaklar

Hava kirleticilerin havaya atıldığı yere veya faaliyete kirletici kaynak adı verilmektedir. Kirlilik kaynağı; orman yangını, volkan püskürmesi vb. doğal kaynaklar ve evsel ısınma araçları, sanayi kuruluşları, taşıtlar gibi yapay kaynaklar şeklinde-dir. Hava kirleticiler atmosfere ulaşıp, önceleri bir duman huzmesi ya da bulutu halinde taşınıırken, bir taraftan da seyrelerek, çökelerek veya atmosferde reaksiyona uğrayarak uzaklaşarak kaybolur.

Hava kirliliği yapay kaynakları 3'e ayrılmaktadır.

1. *Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği*: Ülkemizde özellikle ısınma amaçlı, düşük kalorili ve kükürt oranı yüksek kömürlerin yaygın olarak kullanılması ve yanlış yakma tekniklerinin uygulanması **hava kirliliğine** yol açmaktadır.
2. *Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği*: Nüfus artışı ve gelir düzeyinin yükselmesine paralel olarak, sayısı hızla artan motorlu taşıtlardan çıkan egzoz gazları, **hava kirliliğinde** nemli bir faktör oluşturmaktadır.
3. *Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliği*: Sanayi tesislerinin kuruluşunda yanlış yer seçimi, evre korunması açısından gerekli tedbirlerin alınmaması (*baca filtresi, arıtma tesisi olmaması vb.*), uygun teknolojilerin kullanılmaması, enerji üreten yakma ünitelerinde vasıfsız ve yüksek kükürtlü yakıtların kullanılması, **hava kirliliğine** sebep olan etkenlerin başında gelmektedir.

Ülkemizde tüketilen enerji kaynaklarının %41'i konutların ısıtılması amaçıyla kullanılmaktadır. Özellikle kiş aylarında görülen kirliliğin %90'ından sorumludur. şehirlerde

hava kirliliğinin %40'ını trafik oluşturmaktadır. Yazın bu oran daha da artmaktadır. Şehir merkezlerinde endüstrinin etkisi yaklaşık olarak %20 civarındadır.

2.2. Çeşitli Hava Kirleticiler

Doğal hava bileşimini bozan bütün maddelerin kirleticisi olarak tanımlanmasına karşılık, yanma reaksiyonunun doğal ürünleri olan karbon dioksit ve su buharını klasik hava kirleticiler arasında saymak yanlış olur. Sıklıkla karşılaştığımız hava kirleticileri genel bir sıralamayla;

- Kükürt oksitler
- Azot oksitler
- Karbon monoksit
- Organik maddeler
- Hidrokarbonlar
- Askıda partikül maddeler (tozlar ve aerosoller)

2.2.1. Partikül Maddeler

Atmosferde gazların dışında bileşenler de bulunur. Sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamında askıda durmasıyla oluşan toz veya partikül madde diye adlandırılan kirleticisi türü, ister doğal isterse yapay kaynaklı olsun; çeşitli iklimsel ve hijyenik etkileriyle önem kazanmaktadır. Bu asılı maddelerin çok ince olup havada koloidal süspansiyon oluşturmalarına aerosol denmektedir. Doğal sis olayında asıl etken bu aerosollerdir. Bunun gibi kirlenmeye bağlı yapay sis olaylarında aerosoller etkili olmaktadır.

Tozlar, katı maddelerdir ve doğrudan endüstri veya ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür, çimento tozları, kum, talaş, toprak gibi maddeler bu sınıfa girer.

Havanın tozlu olması, yani doğal veya yapay partikül maddelerle dolu olması;

- Görüş mesafesini kısaltmakta,
- Güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak gelen enerji akışını değiştirmekte,
- İnsani hayvan ve bitki sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bunların dışında partiküller, yüzeyleri üzerinde adsorbladıkları diğer kirleticileri, hava normal derişimlerinin daha yükselmesine neden olarak, bu kirleticilerin zararlı etkilerinin daha yoğun hissedilmesi gibi önemli bir etkisi vardır.

2.2.2. Kükürt Oksitler

Havadaki kükürt oksitler (SO_x) içinde en önemli pay kükürt dioksit (SO_2) gazına aittir. Kükürt oksit kirleticilerinin oluşmasının en büyük nedeni, ülkemizde de yaygın olarak tüketilen, ısınma amaçlı kullanılan kömürlerdir. Bir diğeri ise sanayilerde kullanılan kömürlerdir.

Kükürt dioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0,3-1 ppm seviyelerde ağızda kötü bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse neden olmaktadır.

2.2.3. Azot Oksitler

Azot oksitler (NO_x) havadaki en önemli kirletici gazlardandır. Yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO_2) gazlarının toplamından oluşur.

Azot oksitleri daha çok enerji santrallerinden ve motorlu araçların egzoz borularından yayılır. Bir azot oksit olan nitrojen dioksit (NO_2) solunması kalp, akciğer ve karaciğer rahatsızlıklarına ve solunum yolu hastalıklarına yol açar.

2.2.4. Karbon Monoksit

Karbon monoksit (CO), renksiz, kokusuz, ve havanın ortalama mol ağırlığına yakın mol ağırlığında bir gaz olup, hem kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmayan, hem de renksiz ve kokusuz olması sebebiyle varlığı fark edilmeyen bir kirleticidir.

Fosil yakıtların kullanılması, egzoz gazları, orman yangınları ve kapalı mekanlardaki sigara dumanı gibi nedenlerle atmosfere büyük oranda karbon monoksit (CO) gazı yayılır. Karbon oksitleri baş dönmesi ve reflekslerde yavaşlamaya sebep olur. Havada yüksek oranda bulunmaları ölümlere neden olabilir.

2.2.5. Hidrokarbonlar

Motorlu taşıtlarda kullanılan petrolün, tüm olarak yanmaması etilen (C_2H_4) ve benzen (C_6H_6) gibi hidrokarbonların çevreye salınmasına neden olur. Bu hidrokarbonlar, havadaki başka kimyasal maddelerle tepkimeye girdiğinde, gözlere ve solunum yollarına zararlı etkileri olur. Benzen gibi bazı hidrokarbonların kanser yapıcı etkileri de vardır. Bu kirleticilerle, atmosferik özelliklerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonların en önemlileri ise fotokimyasal olaylardır ki, bunlardan özellikle floroklorokarbonlar, güneşten gelen zararlı UV (ultraviyole) ışınlarına karşı yeryüzünü koruyan ozon tabakasında büyük tahribata yol açmaktadır.

Doğal veya insan yapısı sonucu atmosfere karışan kirleticiler, her iki halde de Atmosfere yayıldıkları anda hızla kimyasal reaksiyonlar oluştururlar ve hava akımları ile karışır, dağılır, yayılır ve taşınırlar. Böylece kirleticiler, kaynaktan çıkıp, alıcılara ulaştığında karakterleri değişebilir. Genel olarak kirlilik, havadaki katı parçacıklar ve kükürt dioksit miktarına göre belirlenir. Oysa atmosferde oluşan kimyasal olaylarda, organik maddeler büyük rol alır. Çünkü organik maddeler, atmosferde ister reaksiyona girsinler, ister girmesinler kimyasal reaksiyonların çekirdeğini oluştururlar. Hava kirliliği denildiğinde, kirleticiler ve bunların bulunduğu atmosfer ortamı aynı derecede rol oynar. Herhangi bir yerde hava kirliliği çalışması yapıldığında, ilk olarak o bölgenin meteorolojik koşulları ve havanın kimyasal yapısı incelenmelidir.

3. HAVA KALİTESİ

Hava kalitesinin ölçümünün neden gerekli olduğunu açıklamadan önce, hava kalitesinin önemini vurgulamak gerekmektedir. Öncelikle, hava kalitesinden bahsetmek, soluduğumuz havadan bahsetmek olduğunun farkına varmalıyız. Yaşadığımız ortamda ki hava kalitesi ne kadar yüksekse, hayat kalitemiz de o kadar yüksek olmaktadır.

3 kaynaktan (ısınma, ulaştırma ve endüstri) kaynaklı hava kirleticilerinin yoğunluğuna göre hava kalitesi değişmektedir. Hava kirliliğinin, canlı sağlığı üstünde çok büyük sağlık problemlerine neden olduğunu bilmekteyiz. Hava kirliliği insan sağlığını etkileyerek, yaşam kalitesini düşürmektedir.

Bu bağlamda, bir bölgede hava kalitesini ölçmek, o bölgede yaşayan insanların nasıl bir hava teneffüs ettiğinin saptanması açısından çok büyük önem taşımaktadır. Tabii ki unutulmaması gereken bir nokta vardır, bir bölgede meydana gelen hava kirliliği sadece o bölgede görülmeyip meteorolojik olaylara bağlı olarak yayılım göstermektedir.

Bir örnek vererek hava kalitesinin ölçümünün önemini vurgulayalım. Sular, içme suyu standartlarına uygun hale getirilmek için birçok işleme tabi tutulmakta ve daha sonra standartlara uygunluğunun belirlenmesi amacıyla birçok ölçüm yapılmaktadır. Bu standartları sağlama koşullarında insanların içmesine izin verilmektedir. Fakat hava için aynı işlemlerin uygulandığını söyleyemiyoruz. Ayrıca kirli bir suyun içilmesini engellemek için bir çok tedbir alınabilirken, nefes almayı önleme gibi bir seçeneğimiz yoktur. Bu nokta da hava kirliliği ölçüm ağlarının önemi çok büyüktür. Hava kalitesi düzenli olarak ölçüldüğü takdirde, o bölgedeki kirliliğin ne düzeyde olduğu belirlenebilmekte, temiz hava planları çıkarılmakta, hava kirliliği haritaları oluşturulmakta ve dağılım modelleri yapılmaktadır. Bu bağlamda oluşturulan hava kalitesi ölçümleri doğrultusunda, elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, hava kalitesinin iyileştirilmesi yönünde çözüm önerileri ve standartlar daha sağlıklı, gerçekçi ve kolay şekilde oluşturulabilmektedir.

Şehir içi bölgelerde hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi için uzun süreli ve kapsamlı çalışmaların yapılması gereklidir. Bacadan ve egzozdan atılan kirleticilerin atmosferde dağılımını, topoğrafik ve meteorolojik faktörler etkiler. Kirletici türleri ise bölgedeki kaynak tiplerine göre değişmektedir. Bu nedenden dolayı ölçüm değerleri, bölgenin hava kalitesi seviyesini temsil edici yer ve ölçüm ağı içinde diğer istasyonlardan elde edilen verilerle karşılaştırılabilir ve mukayese edilebilir olması gerekir. Ölçüm yerlerinden elde edilen değerlerin bölgelerarası farkı da yansıtması istenir. Dolayısıyla yoğun, az yoğun ve yoğun olmayan kirlenmeye maruz kalan bölgeler, önceden tek tek etüt edilmelidir. Ölçümlerle, nokta (sanayi), alan (konutlar) ve mobil (taşıtlar) kaynaklarının her birinin veya tümünün bölgenin, hava kalitesi seviyesi üzerine etkisi tespit edilmelidir.

Bu tür çalışmalarda, bölgede mevcut kirlenme kaynakları yanında, şehir dışından taşınan background kirletici konsantrasyonları da tespit edilebilmelidir ki; böylece şehir içi bölgede kirletici kaynakların hava kalitesi üzerine etkisi belirlenebilsin.

Bir bölgenin hava kalitesi tespit edilirken; özellikle halkın, bitkilerin, ağaçların, hayvanların, taşıtların, yapıların ve malzemelerin hava kirlenmesine maruz kaldığı yerler seçilmelidir. Ölçüm istasyonları 1 saat, 8 saat, 24 saat ve yıllık periyotlar için yeterli sayıda veri (en az %50 oranında) üretebilmelidir.

Hava kalitesi ölçüm çalışmalarda, topoğrafik ve meteorolojik faktörlerin bölgenin hava kalitesi seviyesi üzerine etkileri de belirlenmelidir. Hava kalitesi ölçüm istasyonu yeri, harita üzerine işlenmelidir.

Özetle, ölçüm noktalarından elde edilen veriler, o bölgenin hava kalitesi seviyesini ve standardını sağlıklı olarak temsil edebilmelidir. Hava kalitesi ölçüm ağı hava kalitesini izleme ve halkın bilgilendirilmesine katkıda bulunmalıdır. Kirletici seviyesi sınır değerlerini aşığında gerekli acil eylem planı devreye sokulmalıdır.

Hava kalitesi için önemli diğer bir husus ise ölçüm yerlerinin tespitidir. Eğer o bölgeyi tam anlamıyla temsil edecek bir yer belirlenmese, gerçek bir hava kalitesi çalışması yapılmış olmayız.

Kirletici konsantrasyonlarının bölgeyi temsil edici olabilmesi için hava kirliliği ölçüm cihazları girişleri; ev, apartman, sanayi ve taşıtların bacalardan çıkan emisyonların ve türbülans, vorteks, bastırma (down wash) gibi etkenlerden direk etkilenmemesi için mümkün olduğu kadar yapılardan ve ağaçlardan etkilenmeyen yerlerde, mümkünse park-bahçelerde, eğitim alanlarında veya hastane bahçelerinde, trafik yoğunluğunun çok az veya hiç olmadığı yerlerde, spor alanları, şehir meydanları ve regresyon alanlarında olması gerekir. Hava kalitesi ölçüm cihazlarının numune alma girişleri, yüksek yapılarla çevrili (bina, ağaç, duvar ve işyeri v.b. gibi) hava hareketini kesen, durgun hava oluşumunu sağlayan yerlerden uzak olmalıdır. Genel kural olarak numune alma girişleri, bina çatısının yatayla 30° derece veya daha az açı yaptığı veya en yakın yapı (bina, işyeri gibi) yüksekliğinden iki kat daha uzak mesafede olmalıdır. Yani numune alma girişi; 20 metre yüksekliğindeki binadan asgari 37 metre uzakta olmalıdır.

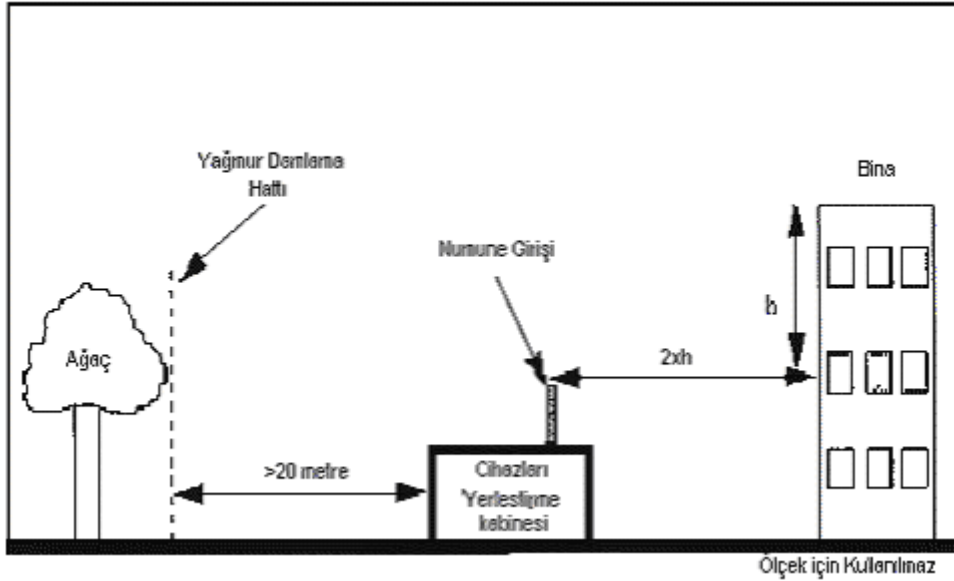
Çevre havası ile karışmamış emisyonların ölçümünden kaçınılmalıdır. Ölçüm istasyonu, yerel emisyon kaynaklarına özellikle yakın olmamalıdır. Bu ölçümler sonucunda background konsantrasyonlarını elde etmiş olmaktadır.

Sadece yoldan ileri gelen kirlilikten etkilenmemesi için, ölçüm cihazı girişi, yoldan belirli uzaklıkta olmalıdır. Ancak yollardan ileri gelen kirlilik seviyesi inceleme esası ayırıcıdır. Yerden yükselecek toz etkisini minimize etmek ve solunum seviyesini temsil etmek üzere partikül ölçüm cihazları girişleri yerden asgari 2 metre, en fazla 15 metre yükseklikte olmalıdır. Ağaçlık bölgelerde bu yükseklik 8 metre olabilir. Hava debisinde azalma meydana getirilmeden en az 270° arc oluşturacak şekilde olmalıdır.

Trafikten kaynaklanan hava kirliliğini ölçmek için ölçüm noktaları ana kavşaktan en az 20 metre ve trafik hattından en az 4 metre uzakta olmalıdır. Azot oksit ve karbon monoksit ölçüm aletleri girişi, kaldırım kenarından 5 metreden fazla uzakta olmamalıdır. Trafikten ileri gelen karbon monoksit kirliliğinin ölçümü için numune alma yeri Şekil 2'de verilmiştir.

Ekosistemin ve bitkiler üzerine hava kirliliğinin etkisini izlemek üzere; hava kalitesi binalardan, sanayiden ve motorlu taşıt yollarından en az 5 km uzakta ölçülmelidir.

Sonuç olarak, ölçüm cihazları sonuçlarından, özellikle belirli bir kirletici kaynak etkisinden çok o bölgede mevcut tüm kirletici kaynakların, bölgenin genel hava kalitesi seviyesi üzerine etkisi elde edilebilmelidir.



Şekil 1. Hava Kalitesinin Ölçümünde Göz Önüne Alınacak Esaslar



Şekil 2. Şehir İçinde Karbon Monoksit Konsantrasyonunu Ölçmek İçin Numune Alma Yeri Tespiti

Tablo1. Ozon Ölçüm Cihazlarıyla Otoyollar Arasındaki Minimum Uzaklık (En Yakın Trafik Şeridinin Kenarı)

Otoyol Günlük Ortalama Trafik Araç/Gün	Ölçüm Cihazları ile Otoyollar Arasındaki Minimum Uzaklık (metre)
≤ 10.000	≥ 10 ^(a)
15.000	20
20.000	30
40.000	50
70.000	100
≥ 110.000	≥ 250

^(a) Mesafe trafik ışıklarına göre interpolasyon yöntemi ile tespit edilecektir.

Tablo 2. Numune Alma Probu Yerleştirme Esasları Özeti

Kirleticiler	Yerden Yükseklik, (metre) ^(a)	Destekleyici Yapıdan Uzaklık (metre)		Diğer Mesafe Kriteri ^(c)
		Dikey	Yatay ^(b)	
Partikül Madde (ana otoyol kenarlarının ve/veya zemin yüksekliğindeki kaynaklar)	2-7	-	>2	1,2,3,4,5
Partiküller	2-15	-	>2	1.2.3.4
SO ₂	2-15	>1	>1	1.2.3.4
CO (sokak / kanyon)	4± 1/2	>1	>1	6.7.8
CO (sokak dışı Kanyon/Koridor)	3-15	>1	>1	3
O ₃	3-15	>1	>1	1.2.3.9
NO ₂	3-15	>1	>1	1.2.3
Partikül kriterersiz kirleticiler	2-7 yer, 2-15 yüksek seviyedeki kaynaklar	-	>2	1.2.3.4
Gaz kriterersiz kirleticiler	3-15	>1	>1	1.2.3.4

^(a) Yer seviyesindeki kaynaklar için, monitörlerin / giriş problemleri nefes alma bölgesine mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilmelidir.

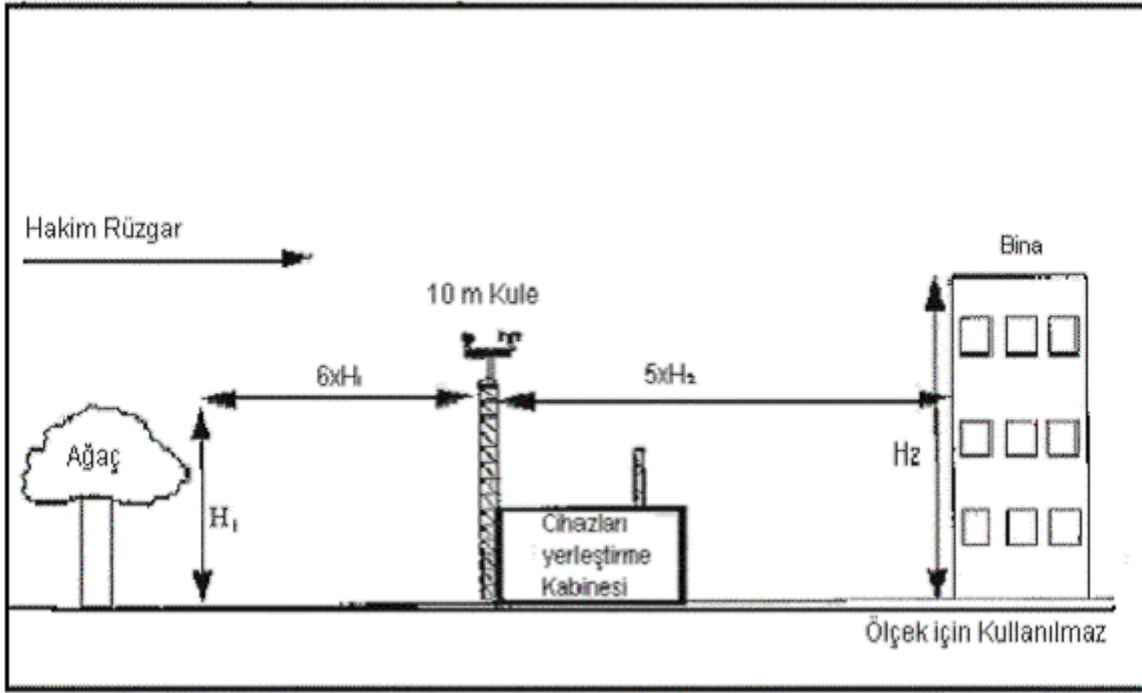
^(b) Prob çatı üstüne yerleştirildiğinde, bu ayırma mesafesi çatı üstündeki duvarlar, garapeller veya çatı katı ile referans durumundadır.

^(c)

1. Yağış düşme hattından 20 metreden fazla ve ağaçlar engel teşkil ediyorsa yağış düşme hattından 10 metre mesafede olmalıdır.
2. Numune alma noktasının engellere, örneğin binalara uzaklığı, engelin numune alma noktasına yaptığı çıkıntının en az iki misli olmalıdır.
3. Kısıntıya sebep olmayacak hava akışı olmalı ve numune alma noktası çevresinde 270° arc olmalıdır.
4. Baca veya yanma gazı olan yerler olmamalıdır.
5. Yollara 5-10 metre mesafede olmalıdır.
6. Kesişme noktalarından en az 10 metrede ve orta blok noktasında olmalıdır.
7. En yakın trafik şeridinde 4-10 metre uzakta olmalıdır.
8. Giriş probu çevresinde 180° de kesintisiz hava akışı olmalıdır.
9. Yollara göre uzaklığı trafik yoğunluğu ile değişmektedir.

3.1.METEOROLOJİK ÖLÇÜMLER

Hava kalitesi ölçümünde en önemli hususlardan biri de meteorolojik ölçümlerin yapılmasıdır. Çünkü unutulmamalıdır ki hava kirleticilerin yayılımı ve taşınımı tamamen meteorolojik olaylarla gerçekleşmektedir. Meteorolojik ölçüm cihazlarının doğru yerleştirilmesi, kirleticiler maddelerin dağılımı ile ilgili ilişki kurmayı mümkün kılar. Genel olarak, meteorolojik ölçüm cihazları, engelleyici yapılardan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 3).



Şekil 3. Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının Tespitinde Göz Önüne Alınacak Esaslar

10 metrelik bir kule üzerine rüzgâr ölçüm cihazları yerleştirildiğinde, ölçüm yeri herhangi bir büyük engelin (bina ya da yüksek ağaçlar) yüksekliğinin en az 5 katı mesafede olmalıdır. İdeal olan engelin 10 katı bir mesafe olması arzu edilir. Rüzgâr ölçüm cihazları kulenin tepesine yerleştirilmelidir.

Sıcaklık ölçüm cihazları yerden iki metre yükseklikte monte edilir. Sıcaklık sensörünün güneşle ısınmasını azaltmak için aspiratör bulunan bir muhafaza içine yerleştirilmelidir. Barometrik basınç göstergesi kule üzerine veya negatif ya da pozitif basınç altında değilse barınak içine yerleştirilir.

Hava kalitesi ölçüm değerlerinin incelenmesinde hakim rüzgar yönü, rüzgar hızı, basınç değerleri, sıcaklık ve havanın açık veya bulutlu durumu raporlanmalıdır.

3.2.ÖLÇÜM İSTASYONU SAYISI

Şehir içi bölgelerde, nüfus yoğunluğuna ve coğrafi yayılım alanına bağlı olarak ölçüm istasyonları kurularak hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli hava kirleticiler için büyük şehirlerde kurulması gerekli istasyon sayısı ve minimum ölçüm sıklığı Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Nüfus Yoğunluğuna Bağlı Olarak Ölçüm İstasyonu Sayısı

PARAMETRELER	MİNİMUM ÖLÇÜM SIKLIĞI	NÜFUS S	MİNİMUM ÖLÇÜM İSTASYONU SAYISI*
Partikül Maddeler* (PM)	Sürekli	> 5.000.000	12+0.16x her 10 ⁵ Kişi
Duman*	İki saatte bir numune		Her 250.000 kişiye bir istasyon

Kükürt dioksit*	Sürekli	1.000.000	6+0.15x her 10 ⁵ Kişi
Karbon monoksit*	Sürekli	> 5.000.000	6+0.05x her 10 ⁵ Kişi
Azot oksitler*	Sürekli	> 1.000.000	10

*: Otomatik olmayan ölçüm sistemlerinde ise minimum istasyonu sayısı

İki milyon nüfus başına en az bir otomatik ölçüm istasyonu kurmak gereklidir.

Otomatik olmayan ölçüm sistemlerinde kükürt dioksit ve toplam askıda maddeler (PM₁₀) gibi kirleticileri ölçmek için nüfusu 10 milyon olan bir şehirde ortalama 35 ölçüm istasyonunun olması gerekmektedir.

Buna göre bir şehirde;

Nüfusun ve servis hizmetlerinin (ticari merkezlerin),

-Tarihi binaların

-Sanayicinin (küçük, orta ve büyük ölçekli)

-Trafığın,

Yoğun olduğu bölgelerde hava kirliliği ölçüm istasyonları kurularak ölçümler yapılmalıdır.

Gerek ülkemizde, gerekse dünyada hava kirliliğinin günden güne artması başta insan olmak üzere canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemekte ve çeşitli sağlık problemlerine neden olmaktadır.

Bunun yanı sıra kirli hava, binalar, tarihi eserler vb gibi canlı olmayan varlıkları da etkilemekte ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde hava kalitesi ölçümleri yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle, günümüzde hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde hava kalitesi ölçümleri yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çerçevede temiz hava planları çıkarılmakta, hava kirliliği haritaları oluşturulmakta ve dağılım modellemeleri yapılmaktadır. Bu bağlamda oluşturulan hava kalitesi ölçümleri doğrultusunda, elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, hava kalitesinin iyileştirilmesi yönünde çözüm önerileri daha sağlıklı ve gerçekçi şekilde oluşturulabilmektedir.

Hava kalitesi izleme çalışmaları; kirlilik kaynakları ve dağılımını belirlemek, uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve bu stratejilerin etkinliğini kontrol etmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Hava kalitesi izleme metodolojisi;

1. Pasif örnekleyiciler
2. Aktif örnekleyiciler
3. Otomatik analizörler
4. Uzaktan algılayıcılar, olmak üzere 4 başlık altında incelenmektedir.

3.3.HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.3.1.Pasif Örnekleyiciler

Çeşitli gazlar için kullanılan pasif örnekleyiciler; gaz ve buhar halindeki kirletici numunelerini, atmosferdeki statik bir tabaka içinden difüzyon veya bir membran içinden permeasyon gibi fiziksel bir işlemle, atmosferden hız kontrollü olarak alabilen cihaz olarak tanımlanır. Ancak burada, havanın örnekleyici içinden aktif bir hareketle geçmesi gerekmez. Bu ölçüm sonuçları, meteorolojik koşullara kuvvetle bağlıdır. Modern anlamda difüzyon tipi pasif örnekleyiciler, Palmes ve Gunninson tarafından; permeasyon / difüzyon tipi örnekleyiciler ise Reiszner ve West tarafından geliştirilmiştir.

Difüzyon tipi örnekleyicilerin temel prensibi; gaz moleküllerinin, yüksek konsantrasyon bölgesinden (örnekleyicinin acık ucu), düşük konsantrasyon bölgesine (örnekleyicinin sonundaki absorblayıcı) difuze olmasıdır.

3.3.2.Aktif Örnekleyiciler

Bu örnekleyiciler, hava numunesinin bir pompa aracılığı ile kimyasal veya fiziksel bir ortamdan geçirilebilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Örneklenen hava hacminin yüksek olması hassasiyeti artırır. Şöyle ki günlük ortalama ölçümler elde edilebilir. Geniş çapta kullanılan aktif örnekleyiciler, SO₂ için asidi metrik yöntem, asılı partikül madde için OECD filtre yöntemi, toplam veya solunabilir partiküller için US EPA gravimetrik yüksek hacimli (High-Volume) örnekleme yöntemidir.

3.3.3.Otomatik Analizörler

Bu cihazlar, ölçülen gazın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak sürekli tayinlerine olanak sağlarlar. Örneklenen hava, ya gazın optik özelliğine göre doğrudan reaksiyon hücrelerine girer ya da kimyasal ısıma veya floresans ışığı üreterek kimyasal reaksiyon oluşur. Işık detektörü, ölçülecek kirleticinin konsantrasyonu ile orantılı olarak elektriksel bir sinyal oluşturur.

3.3.4.Uzaktan Algılayıcılar

Uzaktan algılayıcılar belirli bir hat boyunca (normal olarak >100m) çok bileşenli ölçümlerin yapılmasına olanak sağlar. Mobil sistemler kullanılarak, alan içindeki 3-D (DIAL teknikleri ile) kirletici konsantrasyon haritaları oluşturulabilir.

Uzaktan algılayıcılar, kaynak yakınındaki araştırmalar ve atmosferdeki dikey ölçümler için faydalıdır (troposferik ve stratosferik ozon dağılımı). Ancak, mevcut ticari gelişim içinde, bu cihazlar hem çok pahalı (>200.000 \$) ve de çok karmaşıktır. Ayrıca verilerin geçerliliği, kalite güvenilirliği ve kalibrasyonu konusunda ciddi zorluklar yaşanabilir.

3.4. HAVA KALİTESİ İNDEKSİ

Hava durumu gibi hava kalitesi de gün gün veya saat saat değişmektedir. Hava kalitesini ölçen otoriteler, insanlara soluduğu hava kalitesi hakkında sürekli bilgi vermelidir. Hava kalitesi ile ilgili bilgiler kolay ve anlaşılabilir olmalıdır. Hava kalitesi ve hava kirliliği hakkında basit bilgilerle halkın bilgilendirilmesi ve sağlıklarını nasıl koruyacaklarını öğrenmeleri için hesaplanan hava kalitesi indeksi verilmelidir. Hava kalitesi indeksinin temeli; bilgilerin halka kolay ve anlaşılır olarak ulaştırılmasıdır.

Hava kalitesinin sürekli ölçüldüğü bölgelerde, hava kalitesi indeksi hesaplaması yapılmalı ve elde edilen veriler halka duyurulmalıdır. Problemleri kirleticiler günlük olarak incelenmelidir. Meteorolojik parametreler kullanılarak diğer günler için hava kalitesi ile ilgili yapılmalıdır.

Hava kalitesi indeksi, hava kalitesinin ölçüldüğü yerlerde; havanın kalite olarak iyi, orta, sağlıklı, kötü veya zararlı olduğu hakkında bilgi verir. Hava kalitesi indeksi, farklı hava kalitesi ile birlikte genel halk sağlığı üzerine etkisini, hava kirliliği seviyesini, sağlıklı seviyeye yükseldiğinde alınması gereken kademeleri de belirler. Hava kalitesi indeksi; sağlığımızı hava kirliliğinden nasıl koruyacağımız konusunda bizlere yardımcı olur.

Hava kalitesi indeksi, günlük hava kalitesini raporlamak için basit bir yoldur. Soluduğumuz havanın temiz veya kirli olduğunu bize söyler. 5 temel kirletici için hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır. Bunlar; partikül maddeler, karbon monoksit, CO, kükürt dioksit, SO₂ ve azot dioksit, NO₂, yer sayesinde ozon, O₃, dir. Bu kirleticilerin her biri için hava kalitesi indeks değerleri geliştirilmiştir.

Hava Kalitesi İndeksi Değeri	Sağlıkla İlgili Seviye	Renkler
Hava Kalitesi İndeksi Değeri, bu aralıkta olduğu zaman:	...Hava kalitesi şartları:	...bu renklerle sembolize edildiği gibi:
0 ila 50	İyi	Yeşil
51 ila 100	Orta	Sarı
101 ila 150	Hassas gruplar için sağlığa zararlı	Portakal Rengi
151 ila 200	Sağlığa zararlı	Kırmızı
201 ila 300	Sağlığa çok zararlı	Mor
301 ila 500	Tehlikeli	Kestane rengi

Hava kalitesi indeksi yükseldikçe hava kirliliği de artmaktadır. Hava kalitesi indeksi, 100'ün üzerinde olduğu zaman hava kalitesinin sağlık açısından kötü olduğunu söyleyebiliriz. Hava kalitesi indeksi 300'ün üzerinde olduğunda, hava kalitesi sağlık açısından zararlı demektir.

İyi: Hava kalitesi indeksi, 0-50 arasında olduğunda, hava kalitesinin sağlık açısından iyi olduğunu ve hava kirliliğinin küçük etkiye sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Orta: Hava kalitesi indeksi, 51 ile 100 arasında olduğunda ise hava kalitesi kabul edilebilir sınırlar içinde demektir. Bazı kirleticiler bazı insanlar için olumsuz etkiye sahiptir. Ozona karşı oldukça hassas olan kişilerde solunum semptomları görülür.

Hassas Gruplar için Sağlıksız: Hava kalitesi indeksi 101-150 arasında olduğunda hassas grup üyelerinin sağlıkları üzerinde olumsuz etkileri görülür. Akciğer hastası kişiler büyük risk altındadırlar. Partikül kirliliğine maruz kalan akciğer hastası kişiler daha büyük risk altındadırlar. Hava kalitesi indeksi bu aralıkta iken genel olarak sağlıklı kişiler çok fazla etkilenmez.

Sağlıksız: Hava kalitesi indeksi 151-200 arasında olduğunda herhangi bir kişide sağlık etkileri görülmeye başlar. Hassas kişilerde daha ciddi sağlık etkisi görülmeye başlar.

Çok Sağlıksız: 201-300 arasındaki hava kalitesi indeksi, AQI, sağlık açısından alarm işaretini gösterir. Herhangi bir kişide ciddi sağlık etkileri görülebilir.

İndeks* Değeri	Halk Sağlığı ile İlgili Seviye	HKİ için Kirletici-Spesifik Uyarı Açıklamaları	HKİ için Kirletici-Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması
0 ila 50	İyi	Hiçbiri	Hiçbiri
51 ila 100	Orta	Hiçbiri	Hiçbiri
101 ila 150	Hassas Gruplar için Sağlığa zararlı	Hiçbiri	Hiçbiri
151 ila 200	Sağlığa zararlı	Hiçbiri	Hiçbiri
201 ila 300	Sağlığa çok zararlı	Çocuklar ve solunum hastalığı olan kişiler, astımlı gibi, yoğun olarak açık havada güç harcamaktan kaçınmalıdırlar.	Çocuklara ve solunum hastalığı olan kişilerde, astımlı gibi, solunuma ilişkin semptomlarda artma ihtimali ve sıkıntılı soluk alma.
301 ila 500	Tehlikeli	Çocuklar ve solunum hastalığı olan kişiler, astımlı gibi, orta seviyede veya yoğun olarak açık havada güç harcamaktan kaçınmalıdırlar.	Çocuklara ve solunum hastalığı olan kişilerde, astımlı gibi, solunuma ilişkin semptomlarda daha büyük artma ihtimali ve soluk alıp verme zorluğu.

* Azot dioksit için HKİ, bir saatlik azot dioksit kons. ortalaması esas alınarak belirlenmiştir.

Zararlı: Hava kalitesi indeksi, 300'ü aştığı zaman acil sağlık ikazları başlar. Tüm halk olumsuz olarak etkilenir.

Dioksit ile İlgili HKİ için Kirletici- Spesifik Uyarı Açıklamaları ve Kirletici-Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması

Karbon monoksit ile ilgili HKİ için Kirletici- Spesifik Uyarı Açıklamaları ve Kirletici-Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması

İndeks* Değeri	Halk Sağlığı ile İlgili Seviye	HKİ için Kirletici- Spesifik Uyarı Açıklamaları	HKİ için Kirletici-Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması
0 ila 50	İyi	Hiçbiri	Hiçbiri
51 ila 100	Orta	Hiçbiri	Hiçbiri
101 ila 150	Hassas Gruplar için Sağlıksız	Kalp hastası kişiler, anjin gibi, yoğun güç harcamayı azaltmalı ve yoğun trafik gibi, karbon monoksit kaynaklarından uzak durmalıdırlar.	Kardiyovasküler hastalığı olan kişilerde, artan kardiyovasküler semptomlardan dolayı azalan egzersiz toleransında artma ihtimali, göğüs ağrısı gibi.
151 ila 200	Sağlığa zararlı	Kalp hastası kişiler, anjin gibi, aşırıya kaçan güç harcamayı azaltmalı ve yoğun trafik gibi, karbon monoksit kaynaklarından uzak durmalıdırlar.	Kardiyovasküler hastalıklı kişilerde, kardiyovasküler semptomların artışından dolayı azalan egzersiz toleransı, göğüs ağrısı gibi.
201 ila 300	Sağlığa çok zararlı	Kalp hastası kişiler, anjin gibi, güç harcamaktan ve	Kardiyovasküler hastalıklı kişilerde, kardiyovasküler

		yoğun trafik gibi, karbon monoksit kaynaklarından uzak durmalıdırlar.	semptomlarda, önemli ağrılaşma, göğüs ağrısı gibi;
301 ila 500	Tehlikeli	Kalp hastası kişiler, anjin gibi, güç harcamaktan ve yoğun trafik gibi, karbon monoksit kaynaklarından uzak durmalıdırlar. Başkaca herkes yoğun güç harcamayı azaltmalılar.	Kardiyovasküler hastalıklı kişilerde, kardiyovasküler semptomlarda ciddi kötüleşme, göğüs ağrısı gibi; genel halkın faal aktivitelerinde bozulma.

* Karbon monoksit için HKİ, 8 saatlik CO kons. ortalaması esas alınarak belirlenmiştir.

4. HAVA KALİTESİ MODELLERİ

Hava kalitesi modelleri matematiksel ve sayısal teknikleri kullanarak, fiziksel ve kimyasal prosesleri simule eder. Bu kimyasal ve fiziksel süreçte önemli olan nokta, atmosferde bulunun hava kirleticilerinin nasıl bir tepkime verdiği ve yayılımının incelenmesidir.

Meteorolojik veriler ve kaynak girişleri üzerinde emisyon oranları ve yükseklik yığını gibi bilgiler temelinde, bu modeller, doğrudan atmosfere verilen birincil kirleticilerin karakteristiğini belirlemek için dizayn edilmiştir ve bazı durumlarda, ikincil kirleticiler bu atmosfer içinde karmaşık kimyasal reaksiyonlar sonucu olarak oluşur.

Bu modeller hava kalitesi yönetimi sisteminde çok önemlidir çünkü birçok büyük kuruluş, hava kalitesi problemlerinde kaynakların belirlenmesi ile birlikte hava kirliliğinin kontrolünde yaygın olarak modelleri kullanmaktadır ve bu bağlamda zararlı hava kirleticilerin azaltılmasına yönelik etkili stratejiler geliştirilmektedir. Örneğin, hava kalitesi modelleri, yeni kaynakların ortam hava kalitesi standartları aşmaması için izin prosesleri esnasında kullanılabilir ya da gerekirse, ek kontrol şartlar belirler. Ek olarak, hava kalitesi modelleri, yeni bir düzenleme programının uygulanmasından sonra, birden fazla kaynaktan gelecek kirletici konsantrasyonun tahmini için kullanılabilir, insan ve çevrenin Zararlı etkilere maruziyetinin önlenmesi amacıyla programlar geliştirilebilir.

En sık kullanılan hava kalitesi modelleri şu şekildedir;

Dispersiyon modellemesi; bu modeller tipik olarak izin alma prosesi sürecinde, emisyon kaynağı etrafında yer-seviyesi reseptörlerinde kirletici konsantrasyonlarının tahmini için kullanılmaktadır.

Fotokimyasal modelleme; bu modeller genellikle düzenleyici veya politika değerlendirmelerinde, tüm kaynaklardan çıkan kirletici konsantrasyonları tahmin edilerek etkileri ve büyük mekansal ölçekler üzerinde kimyasal reaktif ve inert kirleticilerinin her ikisi de miktarının simule edilmesi için kullanılmaktadır.

Reseptör modelleme; gözlem teknikleri olarak adlandırılır ki bu teknikler, kaynaktan ölçülen gaz ve partiküllerin kimyasal ve fiziksel karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır ve reseptör varlığı tanımlamak ve reseptör konsantrasyonlarına kaynak katkıları ölçmek için kullanılır.

Modelleme çalışmaları yoluyla, yapılmış olan emisyon ölçümlerinden yararlanılarak, yer seviyesindeki konsantrasyonlar hesaplanmakta ve bulunan değerler ile ölçüm sonuçları karşılaştırılabilir olanağı sağlanmaktadır. Model her kaynak (source) ve alıcı (receptor) kombinasyonu için çökme veya konsantrasyon değerlerini, meteorolojik girdilerin verildiği her saat için hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte, kullanıcı tarafından belirlenen zaman aralıklarındaki ortalama konsantrasyonu da hesaplanabilmektedir. Birçok model (OSPM, STREET-SRI, ISCT vb.), nokta kaynakların yakın civarındaki binaların hava kirleticileri üzerindeki aerodinamik etkilerini belirleyebilmek, kirleticilerin birim alandaki kuru ve yağ çökme hızlarını ve ayrıca toplam çökme hızını hesaplamak için değişik algoritmalar içermektedir.

Modellemeler için gerekli olan girdi verileri ise şu şekilde sıralanabilir;

1. Emisyonlar (trafik, sanayi, ısınma verileri ve emisyon faktörü)
 2. Meteoroloji
 3. Background Kirliliği
 4. Modelleme yapılan alan hakkında bilgi (cadde yapısı, binalar, topografya vb.)
- Kirletici konsantrasyon modelleri bilinen emisyon oranlarını ve meteorolojiyi temel almaktadır. Bu modeller, Hava Kalitesi Yönetiminde (hava kirleticilerin kontrol stratejilerinde kullanılan) önemli rol oynamaktadır.
 - Sabit kutu modelleri, şehirler için en basit kirletici konsantrasyon modelidir, fakat bunlar ciddi engellere sahiptir. Kullanımı ve anlaması oldukça basittir, ama çok nicelikleri doğru olan sayısal tahminlerin, nitelikleri doğru değildir.
 - Gaussian Plume Modelleri, genişçe noktasal kaynaklar için kullanılmaktadır. Bunlar, ağır basitleştirilmiş varsayımlar üstünde kalmaktadır, fakat tek, yüksek nokta kaynaklar için deneysel sonuçları belirlemede makul ölçüde başarılı olmuştur.
 - Çift hücreli modeller, giriş verisi ve bilgisayar zaman talepleri büyük miktardadır, fakat bu modeller, bir çok uzman tarafından, fotokimyasal kirleticileri için başarılı modellemesini sağlayan tek model olarak kabul edilmiştir.
 - Gaussian Plume modelleri, anlık meteoroloji verileri basit olduğu zaman, düz arazilerde çok iyi çalışmaktadır. Bu modeller, zaman zaman meteorolojik verilerin kompleks hal aldığında, dağlık alanlarda, uzun mesafeler için iyi çalışmamaktadır.
 - Reseptör odaklı modeller, kaynak odaklı modellerde olduğu gibi akıllı modeller değildir. Bunlar deneysel kaynak paylaşılması yöntemleri değildir
 - Binaların yüksekliği, yerel dağlar, ulaşım uzunluğu ve hava akım bozukluğunu etkileyen diğer kaynaklar, hava kalitesi modellemesini karmaşıktırılmaktadır.

Hava kalitesi izleme çalışmalarında, şehrin her noktasında sık sık ölçümler yapmak mümkün değildir. Hem zaman hem de fazlasıyla emek harcanmış olacaktır. Bu nedenle tüm şehri temsil edebilecek, bir nokta seçilir. Bu bölgede ölçümler gerçekleştirilir ve daha sonra modeller yardımıyla hem şu anki durumu hem de gelecek senaryolar oluşturulması sağlanır. Bu şekilde daha kolay bir şekilde tüm şehrin hava kalitesi modelleri oluşturulması sağlanacaktır. Unutulmamalıdır ki modelin güvenilir ve doğruluğu, bizim elde etmiş olduğumuz girdi verilerine bağlıdır. Veriler ne kadar doğruysa yapacak olduğumuz modellemede o kadar doğru sonuçlar oluşacaktır.

KAYNAKLAR

1. Air PollutionControl Engineering- Noel De Nevers
2. World Health Organisation (WHO). "Air Quality Guidelines for Europe". Second Edition, Regional Publications, European Series No. 91, Copenhagen, (2000).
3. Hava Kalitesinin Korunması Yonetmeliği. 19269 sayılı Resmi Gazete, (1986).
4. Yesilyurt C, Akcan N. "Hava Kirliliği Đzleme Metodolojileri ve Orneklem Kriterleri". T.