

KENTSEL HAVA KİRLİLİĞİNİN METEOROLOJİK VERİLERİ KULLANARAK YÖNETİMİ

Mahmut KAYHAN¹

Anahtar kelimeler: Kentsel hava kirliliği, Enverziyon, Sıcaklık terselmesi, Sigma koordinatları, Konsantrasyon, Partikül, Yer seviyesi ozonu, Basınç sistemleri, Verifikasyon.

Özet: Kış aylarında yoğun fosil kökenli yakıt kullanımına bağlı olarak kentlerde görülen hava kirliliğinin yönetilmesine yönelik olarak alınması gereken tedbirler ve sürecin yönetilmesine yardımcı olmak amacıyla yapılmış bir çalışmadır.

HAVA KİRLİLİĞİ ve YÖNETİMİ

Her sene kış aylarında havanın soğumasıyla ortaya çıkan ısınma talebine bağlı olarak yoğun yakıt tüketimi ve özellikle de kötü kaliteli yakıt tüketilmesiyle birlikte çok önemli sorunlardan biri olan **Kentsel Hava Kirliliği** ortaya çıkmaktadır., Hava kirliliğinin oluşmasına uygun meteorolojik koşullar mevcutsa ve doğal veya insan kaynaklı kirletici salımlar oluyorsa, atmosferde bulunan kirletici konsantrasyonlarının miktarı Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) koymuş olduğu sınır değerlerini aşmasına sebep olmaktadır. Bu durumda, atmosferik kirliliğin canlı ve cansız varlıklar üzerinde olumsuz etkiler yapması kaçınılmazdır.

Kentsel hava kirliliğini meydana getiren doğrudan salımlar; Kükürt dioksit (SO_2), Hidrojen Sülfür (H_2S), Azot Monoksit (NO), Azot Dioksit (NO_2), Karbon Monoksit (CO), Karbon Dioksit (CO_2), Hidrojen Florür (HF), Partiküller, vb. Ayrıca Atmosferde sonradan oluşan kirletici bileşikler; Kükürt Trioksit (SO_3), Sülfürik Asit (H_2SO_4), Aldehitler, Ketonlar, Asitler, Endüstriyel Duman, vb.



Resim-1, Normal atmosfer koşullarında baca gazı hareketi.

Bunlara ilave olarak yaşamsal faaliyetlere bağlı olarak üretilen fosil kaynaklı yakıtların (odun, kömür, benzin, fuel-oil vb.) yanması ile oluşan; Partiküller, Kükürt Dioksit, Azot Oksitleri, Karbon Oksitleri, Kurşun, Hidrokarbonlar, vb.

Hava kirliliği, havada rutubetin artması ile ortamda bulunan kükürt veya azot oksitlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan asitlerin, binalara, sanat eserlerinin dış yüzeylerinde ve araç boyalarında oluşturdukları tahribat yıldan yıla çok büyük zararların oluşmasına sebep olmaktadır.

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Meteoroloji Mühendisi, kayhanmahmut06@gmail.com, Şubat 2023

Kentsel hava kirliliğinin başlıca kaynakları, evsel ısınma, trafik, endüstriyel kaynaklar ve taş ocakları pek çok kentimizde özellikle kış aylarında yoğun olarak karşılaştığımız hava kirliliği insan sağlığı açısından önemli problemler yaratmakta ve hatta bazı durumlarda ölümlere neden olabilmektedir.

Konunun önemini kavrama bakımından geçmişten bazı örnekler vermek gerekirse, kentsel hava kirliliğinin önemini anlamamız açısından çok daha anlaşılır olacaktır. Londra da 1948, 1952, 1956,1957, 1959, 1967 yıllarında yaşanan hava kirliliği olayında yüzlerce kişi hayatını kaybetmiştir ve ayrıca 1963 yılında New York'ta 200-400 arasında insan hayatını kaybetmiştir ve bunların tamamı Kasım, Aralık, Ocak, Şubat aylarında yani kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Atmosfere insan kaynaklı kirleticilerin yoğun bir şekilde salındığı zamana denk gelmektedir. Bu örnekleri çoğaltmak mümkündür ve durumun ciddiyetini anlama bakımından önemlidir.

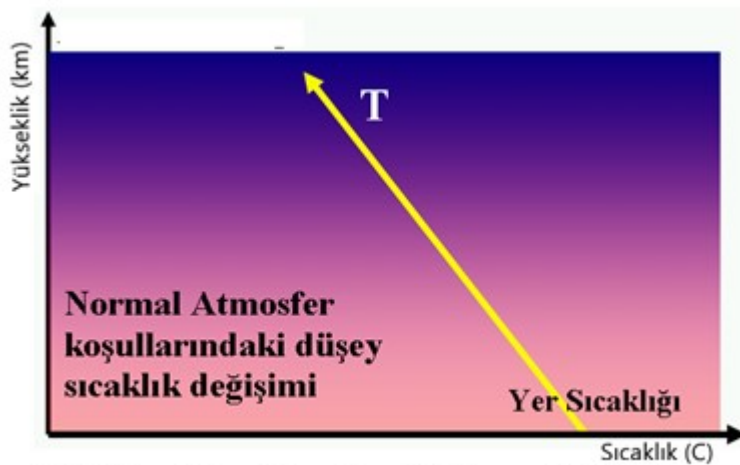
Hava kirleticileri çok çeşitli olmakla beraber, kentsel hava kirliliği genellikle atmosferde bulunan kükürt dioksit (SO₂) ve partikül madde konsantrasyonlarının ölçülmesiyle saptanmaktadır. Son yıllarda sanayi kaynaklı kirleticilere bağlı olarak ortaya çıkan **Yer Seviyesi Ozonu** da, kentsel hava kirliliği açısından takip edilmesi gereken önemli parametrelerden birisi olmuştur.

Kentsel hava kirliliğine etki eden en önemli parametrelerden başlıcaları; Kirleticilerin yoğunluğu, yakıtın kalitesi, bölgede yaşayan nüfus yoğunluğu, yerleşim yerinin topoğrafik ve coğrafik özellikleri ile en önemli özelliklerden birisi olan Meteorolojik şartlarıdır. Buradaki en belirleyici meteorolojik hadise ise Sıcak Nüveli Yüksek Basıncın etkin olması, Enverziyon, karışma yüksekliği, sıcaklık değişimi, rüzgâr ile nem en önemli değişkenlerdir.

Atmosferin yere yakın seviyelerinde gerçekleşen hava kirliliği olayının gerçekleşmesinde kirleticilerin varlığı ve konsantrasyon yoğunluğunun yanında en önemli nedenlerden birisi atmosferde gerçekleşen alt seviye sıcaklık terselmesi dediğimiz enverziyon olayıdır. Bu tamamen meteorolojik bir hadise olduğu için konuyu inceledikten sonra hava kirliliğini yönetimi olayına geçelim.

ENVERZİYON (SICAKLIK TERSELMESİ) ;

Normal atmosfer koşulları içerisinde düşey sıcaklık değişimi, yerden itibaren yükseldikçe her 100 metrede 0.5 ile 1.0 °C arasında azalma eğilimi göstermektedir. Buna basit bir örnekle açıklamak gerekirse en iyi örnek olarak **Şekil-1** deki durum ile ifade edilebilir.

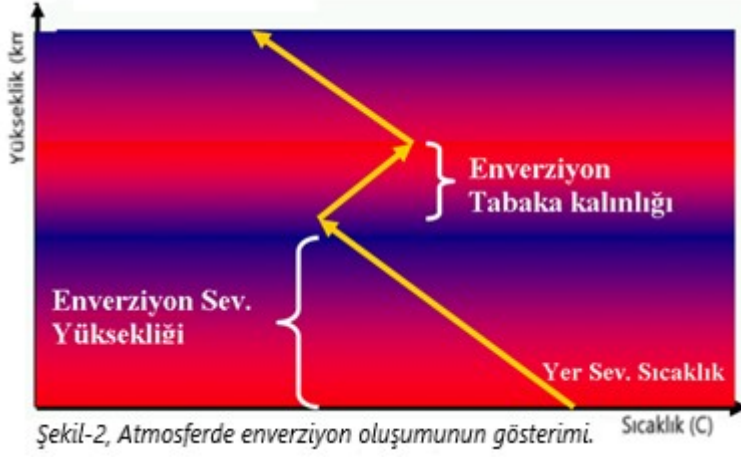


Şekil- 1 Normal Atmosfer koşullarındaki düşey sıcaklık değişimi.

Şekilde gösterilen atmosferik düşey sıcaklık değişimi yerin sıcak, üst seviyelerine çıkıldıkça sıcaklığın düştüğü durumu göstermektedir. Yaz aylarında kara yüzeylerinde, kış aylarında deniz yüzeyleri üzerinde oluşmaktadır. Böyle durumlarda bacadan çıkan sıcak gaz, baca gazı çıkış hızı ve sıcaklığına bağlı olarak **Resim-1** deki gibi atmosferin üst seviyelerine doğru yükselmeye zorlanacağından kirlilik oluşma tehlikesini ortadan kaldırmaktadır. Bu durum o bölgedeki canlıların

sağlığı bakımından daha az riskli bir durumun oluşmasına sebep olmaktadır.

Ancak her zaman ideal atmosfer koşullarının bulunması mümkün değildir. Sıcaklığın yükseklikle azalacağı yerde tam tersine **Şekil- 2** teki gibi yükseklikle birlikte artışın görülmesi durumuna **Sıcaklık Terselmesi** (temperature of inversion) ya da **Sıcaklık Enverziyonu** denilmektedir.



Sıcaklık terselmesi yer seviyesinden itibaren meydana geliyorsa bu duruma **Yer Seviyesi Sıcaklık Enverziyonu** denilir. Yerden daha yukarı seviyelerde sıcaklık terselmesi olayının meydana gelmesi durumuna **Yüksek Seviye Sıcaklık Enverziyonu** denir.

Sıcaklık terselmesinin görüldüğü durumlarda enverziyonun tabanı,

yükselen hava hareketlerinin son bulduğu sınır olarak kabul edilse de baca gazı çıkış hızı ve çıkan kirliliğin sıcaklığına bağlı olarak bu sınırı aşabilir ama bu kirliliğin oluşumuna engel olacak bir durum değildir. Enverziyon yerden itibaren başladığı takdirde dikey hareketler çok sınırlı olacağından su buharı ve atmosferik kirlleticiler yükselemeyecek, yatay hava akımlarının da bu olaya bağlı olarak yok denecek kadar az olmasından dolayı yatay yönde de taşınma olmayacak ve sonuçta **Resim-2** deki gibi atmosferde kirlletici konsantrasyonu artacak ve hava kirliliği sorunu yaşanabilecektir.

Bu meteorolojik olay genel olarak yer yüzeyinin soğumaya başlaması ile birlikte başlar ve yerin soğuk olduğu durumlarda etkili olmaktadır, bu nedenle yazları deniz üzerinde, kışları kara üzerinde meydana gelmesi ısınma amaçlı yakıt tüketiminin artmasından dolayı kentler için önemli dezavantajdır.

Kentlerimizde meydana gelen enverziyon olaylarının büyük çoğunluğu, Sıcak nüveli yüksek basıncın hakim olduğu yani havanın açık olduğu (bulutların olmadığı veya çok az olduğu) durumlarda, yer yüzeyinin hızla soğuması nedeniyle, Akşam saatlerinden başlayarak gece ve sabah erken saatlerde oluşmaktadır. Bu atmosfer koşullarının olduğu durumlarda kirlletici olmasa dahi ulaşımı olumsuz şekilde etkileyen yoğun şekilde sis oluşmasına sebep olmaktadır. Sabah saatlerinde meydana gelen enverziyon durumu, genellikle öğlen saatlerine doğru yer yüzeyinin ısınması ve ısınan havanın yükselmesiyle birlikte ortadan kalkmaktadır.

Özellikle kuvvetli enverziyonun beklendiği günlerde, sabah saatlerinde kötü kaliteli yakıt kullanılan bölgelerde kalorifer ve sobaların yakılmaması veya kirlilik salımının azaltılması oluşacak hava kirliliğinin yoğunluğunu düşürecektir.



Resim-2, Enverziyon olduğu saatlerde kirleticilerin yere yakın seviyede yoğunlaşması.

Şekil-2 deki sembolik gösterime bakarak, sıcaklık terselmesi yer seviyesine çok yakın (75 metre nin altında) meydana geliyorsa, enverziyon tabakasının kalınlığı fazlaysa, terselmenin etkisi kuvvetli ise yani enverziyon alt tabakası ile üst tabakasının arasındaki sıcaklık farkı çoksa yer seviyesine yakın atmosfer tabakasındaki kirlilik artışı o oranda etkili ve tehlikelidir. Enverziyon

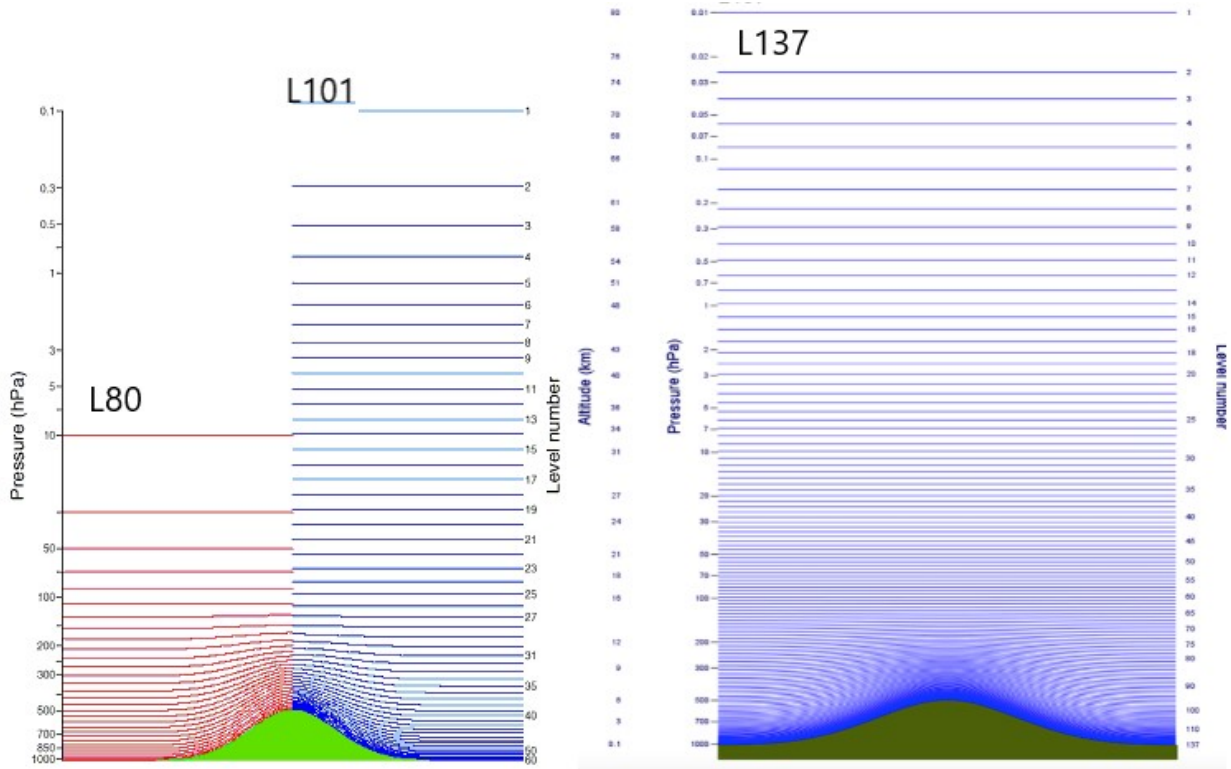
etkili olduğu zaman diliminin uzunluğu hava kirliliği konsantrasyonu yoğunlaşmasına neden olacağından her bir parametrenin tek tek irdelenmesinde fayda vardır.

Enverziyon yere yakın seviyeden itibaren başladığı takdirde, yükselici hareketler olmadığından su buharı ve atmosferik kirleticiler yükselmeyecek, yatay hava akımlarının da bu olaya bağlı olarak yok denecek kadar az olacağından dolayı yatay yönde de bir hava taşınımı olmayacağından dolayı atmosferde kirleticiler konsantrasyonu artarak hava kirliliği sorununu oluşturacaktır.

HAVA KİRLİLİĞİNİN YÖNETİMİ

Hava kirliliği yönetilebilir bir çevre sorunudur ve bu durum meteorologlarla yerel karar vericiler arasındaki koordinasyonla bir afete dönüşmeden engellenebilir. Bunun için sistemsel bir yönetim mekanizmasının hayata geçirilmesi gerekir ve ilk olarak meteorologlarca bölgenin klimatolojik verileri, etkisinde kaldığı meteorolojik sistemlerin dönemsel analizleri ve geçmişte yaşanmış hava kirliliği istatistikleri analiz edilerek bir veri tabanının oluşturulmasıyla işe başlamak gerekir.

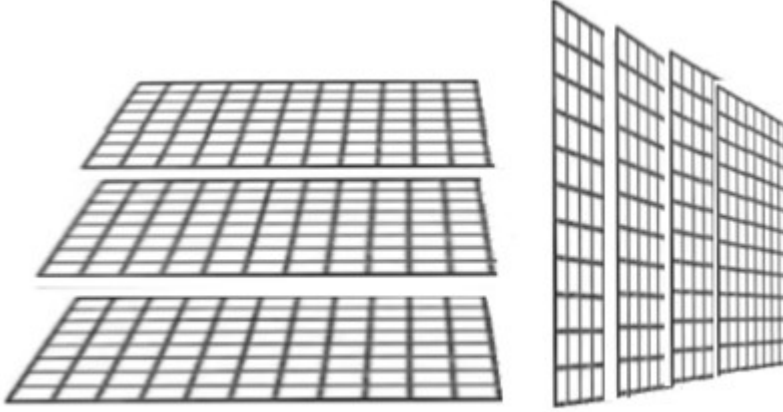
Hava kirliliğinin yöneltmesinde en önemli kısmı yukarıda ayrıntılı olarak bahsettiğimiz enverziyon olayının tahmin edilmesidir. Nerede, hangi saatler arasında ve ne kadar etkili bir enverziyon olacağının tahmin edilmesi gerekir. Bu kapsamda yüksek çözünürlüklü, düşey katman sayısı çok olan ve en az üç günlük tahmin tutarlılıklarının yüksek olduğu bir model seçilmelidir. Aşağıda örnek olarak verilen üç farklı modelin yükseklik için kullandığı sigma seviyelerin bakıldığında sağdaki 137 seviyeli modelin bu işe için en ideali olduğu görülecektir.



şekil 3- Atmosfer modelinde sigma koordinatlarında kullanılan model seviyeleri.

Bu grafikte, atmosfer modellerinde kullanılan ve sigma koordinatlarındaki meteorolojik parametrelerin tahminleri yapılan sigma seviyelerini göstermektedir. Konunun kolay anlaşılması bakımında sol taraftaki kırmızı model az sayıda model seviyesi kullanıldığını ve seviyeler arasındaki yüksekliklerin çok daha fazla olduğunu gösterirken sağ taraftaki model daha çok seviyeden oluşmaktadır. Alt tabakalar da seviyeler arasındaki yükseklik mesafesi azdır. Sağdaki

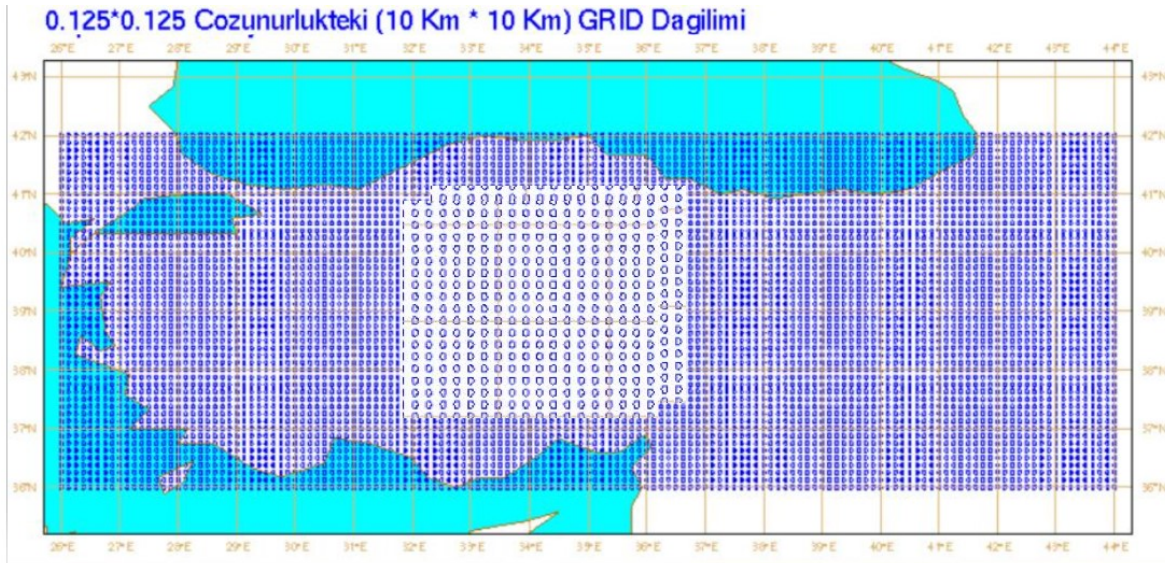
modelde yerden itibaren seviyeler arasında 10-12 metre iken yukarıya doğru çıkıldıkça sigma seviyeleri aralarındaki tabaka kalınlık mesafeleri artmaktadır. Bu nedenle yerden itibaren 20 seviyenin verisini aşağıdaki grid yapısına göre saatlik model tahminlerinde ki tabakalar dikkate alarak düşey sıcaklık gradyanının hesaplanarak enverziyon olup olmayacağını ve varsa şiddetinin ne olacağını bularak en az 24 saat önceden karar vericilerle paylaşmak gerekir.



Şekil-4, Atmosfer modellerinde Gridlerin yatay ve düşey gösterimi.

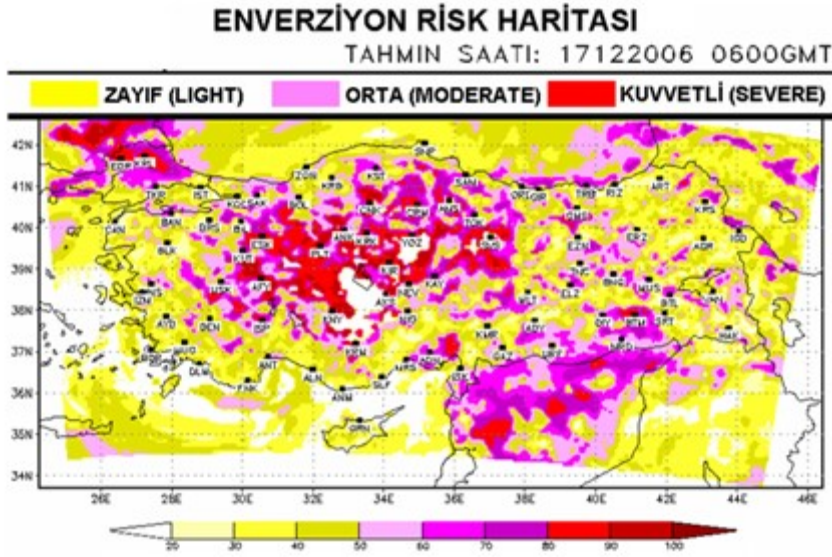
Soldaki Şekil-4 de görülen temsili yatay olarak grildenmiş olan yer ve atmosfer tabakalarını, sağda ise bu gridlerin düşey dağılımının sembolize edilmiş bir görüntüsü paylaşılmıştır. Model gridlerinde elde edilen bütün sayısal veriler son derece bilimsel yöntemlere dayanmaktadır.

Geçmişte çeşitli çalışmalarda (Orman Yangını Risk Tahminleri, Çığ Tahminleri, Kuvvetli Meteorolojik Olayların Tahminleri gibi) çalışmalarda kullandığımız ECMWF IFS modelindeki kullandığımız grid dağılımını gösteren diyagram aşağıda gösterilmiştir ve burada yaklaşık 9310 nokta için tahmin değeri üretilmektedir.



Şekil -5, ECMWF modelinde 0,125*0,125 çözünürlük için kullanılan grid dağılımı.

Kentsel Hava Kirliliği Riski için Enverziyon Şiddeti Tahmini çıktısının sonuçları açısından Şekil -6 te bir örneği görülebilir. Her 3 saatlik aralıklarla gelecek 3 güne kadar il ve ilçe merkezleri için Enverziyon tahmini yapıldığı gibi, bu çıktılar kış aylarında hava kirliliği riski arttığı için saatlik tahmin çıktıları da üretilebilir. Üretilen bu ürünlerin yerel yöneticiler veya yerel karar vericiler tarafından kullanılarak kentsel hava kirliliğini yönetebilmelerine yardımcı olması muhakkaktır.



Şekil-6, ECMWF model verilerinden elde enverziyon tahmin haritası.

belirlenip yakıt türlerinin buna göre seçilmesi her bakımdan faydalı olacaktır. Kentlerin hava kirliliğinin yönetilmesindeki süreçte meteorolojik analizler için mutlaka uzman meteorologlardan faydalanılmalı ve evnverziyon tahminlerine göre kentteki yakıt tüketimi konusunda zamansal planlamalar yapılmalıdır. Örneğin; Ankara da 2 gün sonra saat 18:00 ile 21:00 arasında kuvvetli enverziyon varsa bunun anlamı o saatler arasında her türlü kirleticinin atmosfere salımının durdurulması gerekir demektir ve dikkat edilmediği taktirde kirleticilerin yer seviyene en yakın atmosfer tabakasında çörekleneceği ve bu durumun kentsel hava kirliliğindeki konsantrasyon miktarını artıracığı anlamına gelmektedir.

Kentlerde hava kirliliği yönetmenin en önemli yolu yerel karar vericilerin bu konuyu önemsemesidir ve sıcaklık terselmesinin orta kuvvette ve şiddetli olacağı saatler arasında yakıt kullanımının engellenmesi, trafiğe çıkan araç sayısı azaltılması, bu saatler arasında atmosferin kirlenmesine katkı sağlayan sanayi kesiminde üretim durdurulması gibi tedbirleri alabilir. Tabi ki, bunun ekonomik maliyetler olacaktır ama burada ki önceliklerin insan sağlığı mı yoksa üretim mi olduğunun iyi belirlenmesi gerekir. Tedbir olarak mekânlar sıcaklık terselmesinden önce ısıtılabilir, insanların bu olayın olacağı saate kadar işlerini bitirerek evlerine dönmeleri sağlanabilir yani trafik yoğunluğu düşürülebilir. Bu meteorolojik hadise atmosferde sürekli olan bir olay değildir, bazı kış günlerinde akşam ve sabah saatlerinde oluşmaktadır. Kaldı ki ne zaman olacağı yukarıda belirtildiği gibi tahmin edilmektedir.

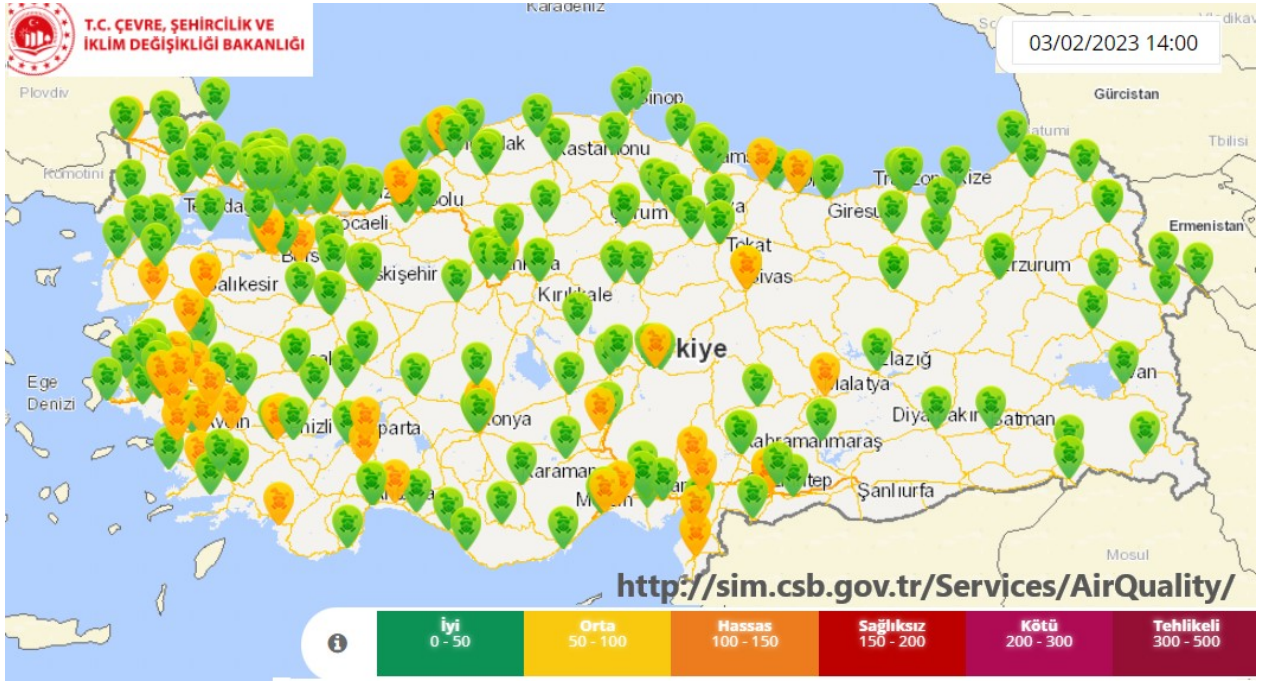
Hava kirliliğinin olduğu saatlerde solunum sonucunda ciddi sağlık problemlerine sebep olmanın yanında toprağın kirlenmesi, bitkilerin, içme suyunun ve besin zincirinin olumsuz şekilde etkilenmesi gibi ciddi sorunlara neden olmaktadır.

Özellikle yakıt türü kömüre dayalı Termik santrallerin bulunduğu bölgelerde enverziyon tahminleri bölgede yaşayanlar bakımından son derece önemlidir. Mutlaka konuya gerekli önemin verilmesi ve enverziyon olacağı saatlerden önce sistemlerin susturulması şeklinde kirlilik yönetimi yapılmalıdır.

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği bakanlığına bağlı olarak kentlerde kurulan kava kalitesi ölçüm istasyonları bu anlamda yapılmış en önemli projelerden biridir. Aşağıda verilen resim üzerindeki internet adresinden anlık verilere ulaşmak ve yaşadığının yerdeki havanın kalitesini görmek mümkündür. Bu çalışmanın en önemli faydalarından biriside Hava Kirliliği Tahmin Sistemi kapsamında yapılan Enverziyon tahminlerinin tutarlıklarını doğrulamak(verifikasyonu) yapmak açısından son derece faydalı bir çalışmadır.

Her kentin meteorolojik özellikleri aynı değildir ve bu nedenle bütün illerde aynı yakıt türü aynı yoğunlukta tüketilse dahi oluşacak hava kirliliği yoğunluğu etkisi aynı olmayacaktır.

Bu nedenle her kentin kendine özgü iklim özellikleri yıl içerisinde o kentte ortalama kaç kez ve hangi şiddette enverziyon olduğunun



Sonuç olarak; Kentsel hava kirliliği, meteoroloji birimleri ile yerel karar vericilerin işbirliği ve koordinasyonu ile yönetilebilir ve ayrıca oluşabilecek hava kirliliğinin çevre ve sağlık sorununa dönüşmesi engellenebilir. Bilgiye ulaşmanın ve bilgiyi kullanmanın bu kadar kolay olduğu günümüzde sanayi alanlarının ve kentsel imar planlamalarının yapımı aşamasında bölge için uzun yıllar enverziyon verileri analiz edilerek bölge ile ilgili nihai kararların bu kapsamda verilmesi gerekir. İleride çok büyük hava kirliliği sorunlarıyla karşılaşmamak için ÇED (Çevre Etki Değerlendirme) raporlarının bir numaralı kriteri olarak bu durumun dikkate alınması gerekir.

Sağlıklı ve temiz bir çevrede yaşayabilmenin temel kuralı bilimin ışığında meteorolojik verileri kullanmaktan geçer. Bir proje baştan veri kullanılarak doğru bir şekilde yapılmazsa doğacak olumsuzlukları düzeltmek için onlarca proje yapılmak zorunda kalınır.

Kaynaklar:

Ali İhsan İlhan, Nizahat Öz, Cihan Dünder, Hülya Kılınç, [Hava Kirliliği ve Asit Yağmurlarının Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri](#)