

**HAVA KALİTESİ
VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN
EMİSYON AZALTIMI**

**EMISSION REDUCTION FROM AIR QUALITY AND
CLIMATE CHANGE PERSPECTIVE**

Mete TAYANÇ

HAVA KALİTESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN EMİSYON AZALTIMI

Mete TAYANÇ
Marmara Üniversitesi

Özet

Belirli kimyasalların atmosferde artan seviyeleri, soluduğumuz havanın kalitesini düşürmekte ve iklim değişikliğini tetiklemektedir. Küresel ortalama sıcaklıklarda artış, 1850-1900 ortalamasına göre kara yüzeylerinde 1,59 °C'ı, okyanus yüzeylerinde ise 0,88 °C'ı aşmıştır. Türkiye'de ise sıcaklıkların 1990'lı yılların ortalarına kadar net bir artış göstermediğini, esas artışın 2000'li yıllardan itibaren gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Sıcaklık artışı ile birlikte Akdeniz kuşağında son yıllarda yağışlar azalmış ve ülkemizde son üç yıl, 2020-2022 dönemi, normallerinin altında yağışlar almıştır. İnsan sağlığını tehdit eden hava kirletici gazların ve yeryüzünün yaydığı uzun dalga boylu ışınımı tutan sera gazlarının büyük bir kısmı ağırlıklı olarak elektrik ve ısı üretmek için fosil yakıtların yakılmasıyla üretilir. Hava kalitesi, emisyonlara ve meteorolojik koşullara bağlı olarak günden güne, saatten saate veya anlık olarak değişebilmektedir. Hava kalitesi sorunlarını azaltmak ve iklim değişikliğinin istenmeyen etkilerinden kaçınabilmek için emisyonların azaltılmasının gerekliliği mutlak bir gerçekliktir. Bunu başarmak için fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı azaltmalı ve temiz, erişilebilir, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve güvenilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmeliyiz. Emisyon azaltımı için alınabilecek tedbirleri ve geliştirilebilecek politika ve eylemleri genel olarak, enerji üretimi ve tasarrufu, ulaşım sistemleri, endüstri, atık ve atık su yönetimi, tarım ve ormancılık gibi başlıklarda sınıflandırabiliriz.

Anahtar Kelimeler

Hava kalitesi, İklim değişikliği, Emisyon kaynakları, Kirletici emisyon hızı, Nüfus, Emisyon azaltım önerileri

EMISSION REDUCTION FROM AIR QUALITY AND CLIMATE CHANGE PERSPECTIVE

Metin TAYANÇ
Marmara University

Abstract

Increasing levels of certain chemicals in the atmosphere reduce the quality of the air we breathe and trigger climate change. The increase in global average temperatures exceeded 1.59 °C on land surfaces and 0.88 °C on ocean surfaces compared to the 1850-1900 average. In Türkiye, on the other hand, the temperatures did not show a clear increase until the mid-1990s, and the main increase in temperatures took place since the 2000s. With the increase in temperature, precipitation has decreased in the Mediterranean belt during recent years and the last three years, the period of 2020-2022, was characterized as years having below-normal precipitation in Türkiye. Most of the air polluting gases that threaten human health and the greenhouse gases that trap the long wavelength terrestrial radiation are produced mainly by burning fossil fuels to produce electricity and heat. Air quality can change from day to day, hour to hour or instantaneously, depending on emissions and meteorological conditions. The necessity of reducing emissions is an absolute reality to reduce air quality problems and avoid the undesirable effects of climate change. To achieve this, we must reduce our dependence on fossil fuels and turn to alternative energy sources that are clean, accessible, affordable, sustainable and reliable. We can classify the measures that can be taken for emission reduction and the policies and actions that can be developed, in general, under the headings of energy production and conservation, transportation systems, industry, waste and wastewater management, agriculture and forestry.

Keywords

Air Quality, Climate Change, Emission Sources, Pollutant Emission Rate, Population, Recommendations for Emission Reduction

1. Giriş

İklim değışikliği ve hava kalitesi birbirleri ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilidirler. Atmosferde bazı kimyasallar hem kirletici hem de sera etkisi vasfına sahip olabildiği gibi, bazıları da atmosferde kolayca başka bir kimyasal yapıya dönüşerek rol değışimine uğrayabilmekte veya her iki rolü de üstlenebilmektedir. Hava kirletici rolünden sera gazı formuna dönüşüm için karbon monoksitten karbon dioksite dönüşümü örnek olarak verebiliriz. İklim değışikliği ve hava kalitesi ilişkisi zaman zaman oldukça karmaşık olabilmektedir. Kaynaklar açısından bakıldığında, yanma ürünü ve doğal emisyonlar içerisinde partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂), su buharı (H₂O), uçucu organik bileşikler (VOC) gibi kimyasalların mevcut olabileceğini ve bunların doğrudan veya dolaylı olarak hem hava kalitesini etkileyebildiklerini hem de iklim değışikliğine sebep olabildiklerini ifade edebiliriz.

Bireysel olarak incelediğimizde, küçük partiküllerin havada uzun sürede askıda kalabildiği ve hava kirliliği problemlerine sebep olduklarını biliyoruz. Özellikle 10 µm ve daha küçük olan partiküller (PM₁₀) ve 2.5 µm ve daha küçük olanlar (PM_{2.5}), ilerleyen bölümlerde göreceğimiz üzere, Dünya’da ve Türkiye’de önemli hava kalitesi problemlerine sebep olabilmektedirler. Bu partiküller aynı zamanda sera etkisinde önemli roller üstlenmektedirler; siyah karbon partikülleri ısıtıcı etki yaparlarken diğerleri gelen güneş radyasyonunu yansıtıcı ve saçıcı etkilerinden dolayı atmosferimizin soğumasına neden olabilmektedirler. Ayrıca, kükürt dioksit ve azot oksitler atmosferde amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ ve amonyum nitrat NH₄NO₃ gibi sülfat ve nitrat içerikli partiküller oluşturabildiğinden anti-sera etkisi dediğimiz soğutucu etkiye katkıda bulunurlar. Kükürt dioksit, amonyak ve nitrik oksit emisyonlarını içeren reaksiyonların ürünleri olarak oluşan bu partiküllere ikincil inorganik aerosoller (SIA) denir.

Diğer yandan atmosfere verilen karbon dioksit bir hava kirleticisi olmamasına rağmen atmosferde sera etkisine sebep olan en önemli kimyasaldır. Karbon monoksit, toksik özelliklere sahip önemli bir hava kirleticisi olmasının yanı sıra atmosferde hidroksil radikalleri ile okside edilerek küresel ısınmaya sebep olan karbon dioksit formuna hızlıca dönüşebilmektedir. Yanma ürünü olan su buharı bir sera gazıdır. Aynı zamanda, su buharı atmosferde kükürt dioksit ve azot oksitler ile birleşerek sülfürik asit H₂SO₄ ve nitrik asit HNO₃ gibi ciddi sağlık etkileri olabilen asit damlacıklarını oluşturabilirler. Bu damlacıklar solunan nemli havada askıda bulduklarında solunum yolu rahatsızlıklarının en önemli nedenlerinden olmaktadır. Ayrıca yağışla beraber yüzeye indiklerinde küresel çevre problemlerinden olan asit yağışlarını oluşturabilmektedirler.

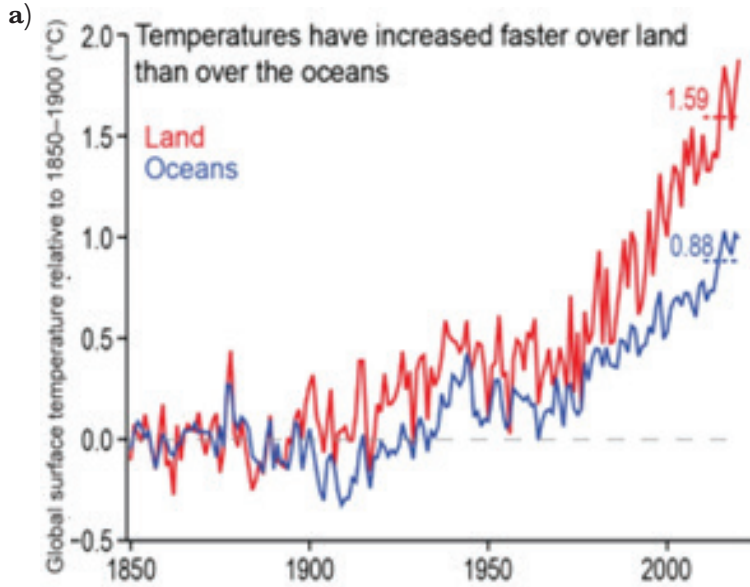
Uçucu organikler arasında doğrudan iklim değışikliğini veya hava kalitesi güdümlen türler bulunabildiği gibi, atmosferde güneşin varlığında oluşan fotokimyasal kirleticilerden bazılarının öncül kimyasalları olabilmektedirler. Örneğin, troposferde önemli bir kirletici olan ozonun (O₃) belirli bir emisyon kaynağı yoktur, sadece atmosferde azot oksitler ve uçucu organik bileşiklerin varlığında oluşurlar. Fotokimyasal reaksiyonlar aldehitler, peroksiasilnitratlar (PAN), ikincil organik aerosoller (SOA) gibi ilave kirleticiler oluşturabilir. Yine bu kimyasallardan bazıları atmosferi ısıtıcı veya soğutucu rollerde bulunup iklim değışikliğinde görevler üstlenebilir. Örneğin, ikincil organik aerosollerin atmosferi soğutucu etkileri iklim değışikliği ile ilgili çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (Liao, Unger & Zanis, 2021).

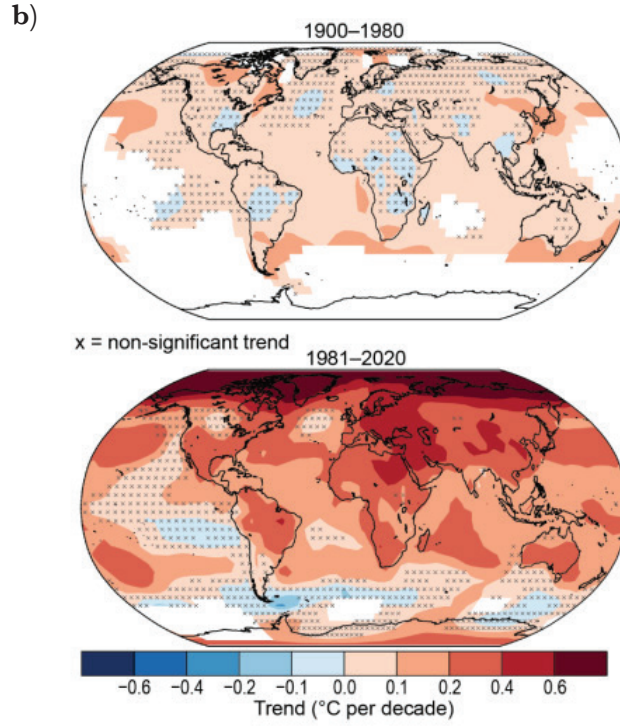
2. İklim Değişikliği

2.1. Sıcaklık

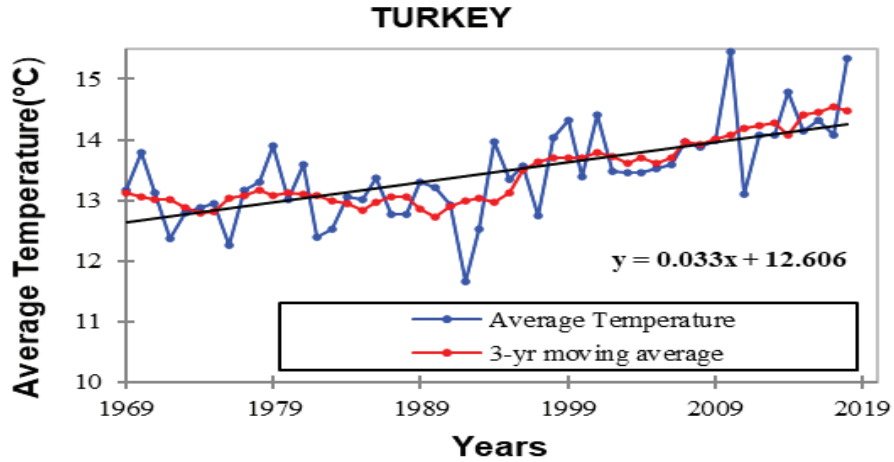
Küresel boyutta hava sıcaklıkları 1850'den bu yana belirgin bir şekilde artmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 6. Değerlendirme Raporunda bu sıcaklık artışının 1850-1900 ortalamasına göre kara yüzeylerinde 1,59 °C'ı, okyanus yüzeylerinde ise 0,88 °C'ı aştığı belirtilmektedir (IPCC, 2021). Şekil 1'de a) kısmında kara ve okyanus yüzeylerindeki küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin sanayi öncesi döneme (1850–1900) göre gösterimi ve b) kısmında küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin 1900-1980 ve 1981-2020 dönemleri için mekânsal gösterimi yer almaktadır. Sanayi devriminden bugüne küresel ortalama sıcaklık artışının 1,2 °C'a ulaştığını ve bu artışın özellikle 1970'li yıllardan itibaren gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Tuğba Çelebioğlu'nun yüksek lisans tez çalışmasında gerçekleştirdiği 1969-2018 dönemi analizlerinde sıcaklıkların Türkiye'de 1,65 °C/50 yıl arttığını görüyoruz (Şekil 2) (Çelebioğlu, 2021). Bu sıcaklık değişimi ortalama olarak yılda 0,033 °C ve 10 yılda 0,33 °C artma şeklinde gerçekleşmiştir. Sanayi devriminden bugüne gerçekleşen 1,2 °C'lık küresel sıcaklık artışını, Türkiye'de 50 yılda gerçekleşen 1,65 °C'lık artış ile kıyasladığımızda durumun ülkemiz açısından daha vahim olduğunu belirtebiliriz. Tabii burada birçok istasyonumuzun şehir etkisine girmiş olduğunu ve bu sebeple şehir ısı adasının sıcaklıkları artırıcı etkisinden bahsetmemiz gerekir. Hem küresel iklim değişikliği hem de şehirlerdeki ısı adası sıcaklık artışına pozitif katkı yapmaktadır. Artan nüfus ile betonarme yapıların sayısında ve yoğunluğunda artış olması, hava kalitesinin düşmesi, ısı tutucu malzemelerin daha yaygın olarak kullanılması, ısının daha büyük miktarlarda açığa çıkması gibi hususlar sıcaklığı artırabilen etmenler olarak verilebilir.





Şekil 1. a) Kara ve okyanus yüzeylerindeki küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin sanayi öncesi döneme (1850–1900) göre gösterimi, **b)** küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin 1900-1980 ve 1981-2020 dönemleri için mekansal gösterimi (IPCC, 2021).

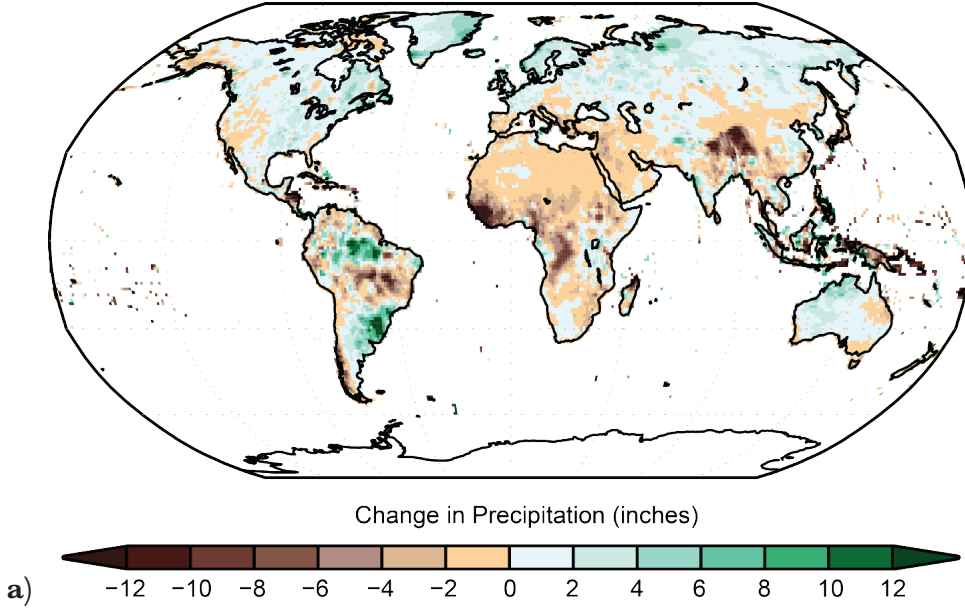


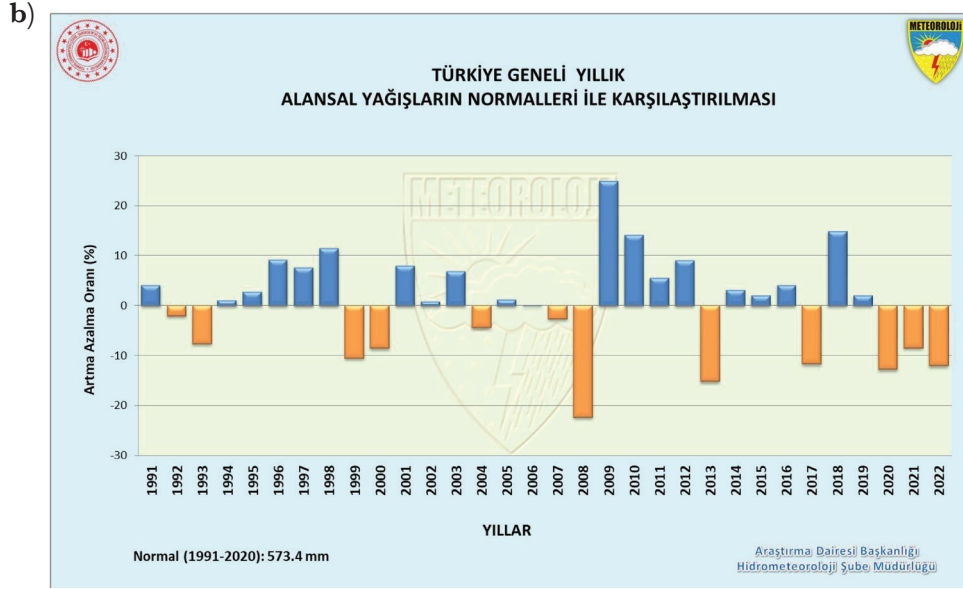
Şekil 2. 174 meteoroloji istasyonunun ortalama sıcaklık trendi; ülkemizde 1969-2018 döneminde sıcaklıklar ortalama olarak yılda 0.033 °C ve 10 yılda 0.33 °C artmıştır.

2.2. Yağış

İklim ve iklim değişikliği tanımında sıcaklıktan sonra dikkate alınması gerekli ikinci öneme haiz meteorolojik parametre yağıştır. Şekil 3a'da küresel boyutta 1986–2015 dönemi yıllık ortalama yağışların 1901–1960'a göre değişimi ve Şekil 3b'de Türkiye geneli yıllık yağışların normallerine göre yüzde olarak değişim oranları sunulmaktadır. Şekilde bazı bölgelerde yağışlar artarken, ülkemizin de bulunduğu Akdeniz kuşağında yağışların azaldığını ve bu duruma ilave olarak ülkemizde son 3 yılın (2020-2022) normalinden az yağışlı geçtiğini görmekteyiz. Önceki araştırmalar, ısınan Dünyada yağışlı alanların daha yağışlı ve kuru alanların daha kuru hale gelmesi şeklinde bir iklim değişikliği modeli önermiştir (ör. Greve vd., 2014). Hadley Hücresinin genişlemesi subtropiklerde daha fazla kuru koşullara sebebiyet verirken, alçak basınç sistemlerinin kutuplara doğru kayması yukarı enlemlerde yağışların artmasına yol açmaktadır. Bölgesel ortalama yağışta tespit edilen sinyal, subtropiklerde azalma ve yüksek enlemlerde artış ile Kuzey Yarımküre'de daha belirgindir. Dolayısıyla, 1950'lerden bu yana Arktik yağışlarında gözlemlenen yaklaşık %5'lik yıllık ortalama artış insan faaliyetleri ile ilişkilendirilmiştir (Wuebbles vd., 2017).

Annually-averaged Precipitation Trends



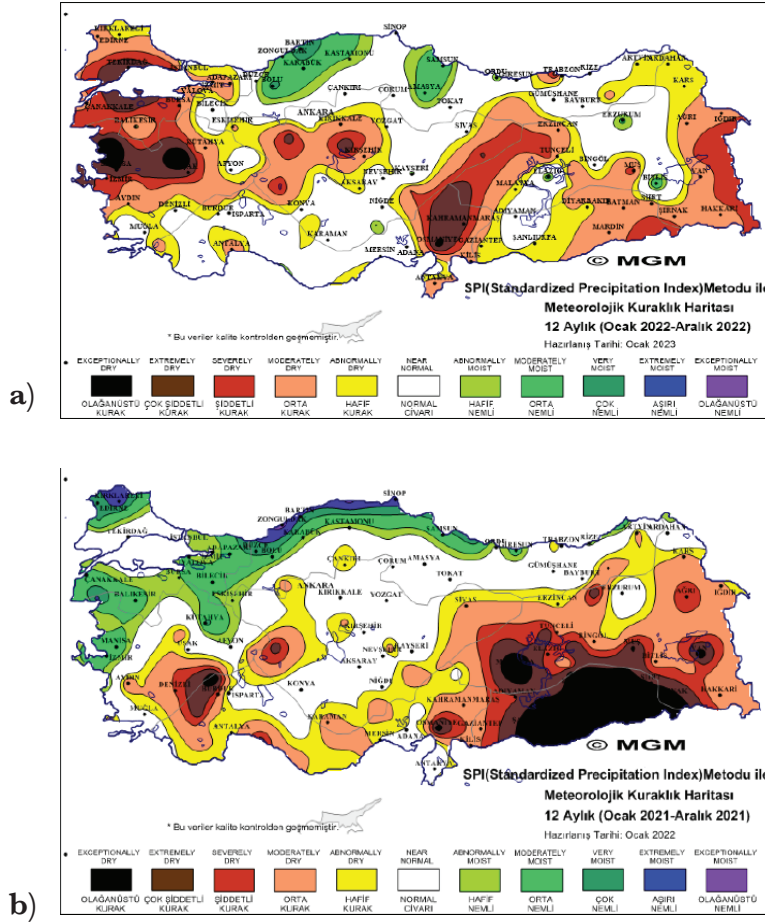


Şekil 3. a) 1901–1960’a göre 1986–2015 dönemi için yüzey yıllık ortalama yağış değişimi (inç olarak) (Wuebbles vd., 2017), b) Türkiye geneli yıllık yağışların normallerine göre yüzde olarak değişim oranları (MGM, 2023).

2.3. Ekstrem Hava Olayları ve Kuraklık

İklim değişikliğinin getirdiği beklenen etkilerden bir tanesi ekstrem hava olaylarıdır ve Türkiye’de de aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde artış yaşanmaktadır. Kar fırtınaları, seller, hortumlar, toz fırtınaları, orman yangınları, yıldırımlar ve hortumlar gibi olaylara daha sık maruz kalınmaktadır. 2022 yılı, 1030 ekstrem olay sayısı ile en fazla ekstrem olay yaşanan yıl olmuştur (MGM, 2023). Ekstrem olay trendlerinde özellikle son yirmi yılda artış eğilimi vardır. 2022 yılı içerisinde oluşan ekstrem olayların büyük çoğunluğunu %33,6 ile şiddetli yağışların oluşturduğu kaydedilmiştir. Bu değeri %21,4 ile fırtına, %18,5 ile dolu, %11,7 ile kar takip etmiştir. Diğer ekstrem olaylar %4,1 yıldırım düşmesi, %2,7 heyelan, %2,5 don, %2,1 çığ, %1,9 hortum, %0,9 orman yangını, %0,3 sis, %0,2 kum fırtınası şeklinde gerçekleşmiştir.

Doğal afetlerden meteorolojik olanların arasında kuraklık en önemlilerindedir. Isınan dünyamızda kuraklıkların şiddeti ve frekansı artmaktadır. Şekil 4’te Standardized Precipitation Index (SPI) yöntemine göre 2022 ve 2021 yılları için Türkiye geneli meteorolojik kuraklık haritaları verilmektedir (MGM, 2022 ve 2021). Hem 2021’in hem de 2022’nin normallerin altında yağışlar aldığı bilinmektedir. 2022’de Ege, Marmara, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin genelini kurak olduğunu, 2021’de ise kuraklığın güney bölgelerimizde etkili olduğunu ve özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinin olağanüstü kurak geçtiğini belirtebiliriz. Bu bölgede Fırat, Dicle gibi sınır aşan suların bulunması ve kuraklığın özellikle bu bölgede telaffuz edilmesi su kaynakları açısından ciddi bir probleme işaret etmektedir.



Şekil 4. a ve b sırasıyla 2022 ve 2021 yılları meteorolojik kuraklık haritaları (MGM, 2022 ve 2021).

3. Hava Kirliliği

Hava kirliliği, istenmeyen maddelerin zararlı etkiler üretebilecek seviyelerde ve sürelerde atmosferde bulunabilme durumudur. Bu istenmeyen maddelere hava kirleticileri denir ve etkileri insan sağlığı, bitki örtüsü, cansız varlıklar veya küresel çevre üzerinde gözlenir. Hava kirliliği, koku sorunları oluşturabildiği gibi kahverengi pus şeklinde, görüşün azalması gibi estetik etkilere de neden olabilir. Bu istenmeyen kimyasalların (kirleticilerin) atmosferde artan seviyeleri, soluduğumuz havanın kalitesini düşürür. Hava kalitesi, emisyonlara ve meteorolojik koşullara bağlı olarak günden güne, saatten saate veya anlık olarak değişebilir. Hava kirleticilerinin atmosferdeki seviyesi konsantrasyon olarak belirtilir ve bilinen bir konsantrasyona belirli bir süre boyunca maruz kalındığında, vücuda soluma yoluyla giren zararlı kimyasal miktarı doz olarak tanımlanır. Yani kısaca doz, konsantrasyonun, maruz kalınan süre (zaman) ile çarpımıdır.

Kirleticiler, insan kontrolü dışındaki volkanlar, ormanlar, çöller gibi birçok farklı doğal kaynaktan da atmosfere yayılmaktadır. Ancak kentsel alanlarda, özellikle İstanbul gibi metropol şehirlerde, bu kirleticilerin ana kaynağı insan faaliyetleridir. Bu faaliyetler yaşam standartlarımızla büyük ölçüde ilişkilidir, ancak bu faaliyetlerin ortadan kaldırılması yaşam standartlarında büyük düşüöşlere neden olabileceğinden bu seçenek hava kalitesinin iyileştirilmesinde genelde değerlendirmeye alınmaz. Kentsel alanlardaki hava kirliliğı emisyonunun azaltılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi, yaşam alışkanlıklarının değışmesi, alternatif faaliyetlerin devreye girmesi, sıkı kontrol tedbirlerinin alınması ve emisyon azaltım planlarının uygulanmasına bağılıdır.

3.1. Hava Kirliliğinin Sağlık Etkisi Boyutu

Canlı ve cansız varlıklar, buldukları ortamdaki hava kirleticilerinden olumsuz olarak etkilenebilmektedirler. Bununla ilgili olarak, ölkeler, Dünya Sağlık Örgütü gibi kuruluşlar, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avrupa Konseyi (EC) gibi ajanslar/konseyleler, konvansiyonel hava kirleticilerinin emisyon veya konsantrasyon limit değerleri için yasalar, düzenlemeler ve standartlar oluşturmuşlardır. ABD’de düzenlemeye tabi konvansiyonel kirleticiler arasında ozon (O_3), partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), azot dioksit (NO_2), kükürt dioksit (SO_2) ve kurşun (Pb) bulunur (EPA, 2014). Bu kirleticilerin solunum ve kardiyak semptomlardan nörolojik ve renal hasara kadar değışen ciddi sağlık etkileri vardır. Chalupka (2005) ABD’de düzenlemeye tabi konvansiyonel hava kirleticilerinin kaynakları ve sağlık etkileri üzerine kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın özü Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada, CO, NO_2 , O_3 , Pb, PM_{10} ve $PM_{2.5}$, SO_2 kirleticilerinin solunum ve kalple ilgili semptomlarından sinirler ve böbrekle ilgili rahatsızlıklarına kadar sağlık üzerindeki ciddi etkileri vurgulanmıştır.

Hava kirliliğine bağılı küresel hastalık yükü, dünya çapında insan sağlığına büyük bir zarar vermektedir: hava kirliliğine maruz kalmanın her yıl milyonlarca ölüme ve sağlıklı yaşam kaybına neden olduğu tahmin edilmektedir. Hava kirliliğine atfedilebilen hastalık yükünün, sağlıksız beslenme ve tütün kullanımı gibi diğere önemli küresel sağlık riskleriyle aynı düzeyde olduğu tahmin edilmektedir ve hava kirliliğı artık insan sağlığına yönelik en büyük çevresel tehdit olarak kabul edilmektedir (WHO, 2021).

Avrupa Birliğı, havada bulunan bir dizi kirletici için sağlık bazlı standartlar ve hedefler belirleyen kapsamlı bir mevzuat geliştirmiştir (EU, 2021). AB’nin hava kalitesi direktifleri (2008/50/EC Avrupa için Ortam Hava Kalitesi ve Daha Temiz Hava Direktifi ve ortam havasındaki ağır metaller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar hakkında 2004/107/EC Direktifi), bir ortamda belirli bir sürede aşılması gereken kirletici konsantrasyon eşiklerini belirler. Aşım olması durumunda, yetkililer hava kalitesi yönetim planları geliştirmeli ve uygulamalıdır. Bu planlar, hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını sınır ve hedef değerlerin altındaki seviyelere indirmeyi amaçlamalıdır.

Tablo 1. ABD’de düzenlemeye tabi konvansiyonel hava kirleticileri, kaynakları ve sağlık etkileri (Chalupka, 2005).

Kirletici	Kaynaklar	Sağlık üzerine başlıca etkileri
Karbon Monoksit (CO)	Motorlu araçlar, diğer motorlar (ör. inşaat araçları, tekneler), endüstriyel işlemler, konutlarda odun yakımı, doğal kaynaklar (ör. orman yangınları).	Kalp ve damar hastalığının şiddetlenmesi. Görme bozukluğu, konsantrasyon güçlüğü, azalan el becerisi ve karmaşık görevleri yerine getirme zorluğu gibi merkezi sinir sistemiyle ilgili etkileri bulunur.
Nitrojen Dioksit (NO ₂): Birçok kentsel alanın üzerinde görülen kırmızımsı kahverengi tabaka.	Motorlu taşıtlar, elektrik tesisleri. Yakıt kullanan sanayii, ticari ve konut gibi kaynaklar.	Solunum yollarını tahriş eder. KOAH, bronşit, kalp ve damar hastalıklarını şiddetlendirir.
Ozon (O ₃): “Yer seviyesi” veya “kötü” ozon olarak da adlandırılır.	Isı ve güneş ışığı varlığında nitrojen oksitler (NO _x) ve uçucu organik bileşikler (VOC) arasındaki reaksiyonla oluşur. Motorlu taşıt egzozu, endüstriyel emisyonlar, benzin buharları, kimyasal çözücüler başlıca NO _x ve VOC kaynaklarıdır.	Solunum yollarını tahriş eder, astımı şiddetlendirir, zatürre ve bronşite duyarlılığı artırır ve akciğer kapasitesini azaltır
Kurşun (Pb)	Metal işleme, atık yakma tesisleri, kurşun-asitli batarya üreticileri. Kurşunlu benzin yakıtının aşamalı olarak yanması sadece küçük bir kaynaktır.	Sinir sistemi, karaciğer ve böbrek sistemleri için zehirlidir. Hipertansiyon, kemik erimesi ve kalp damar hastalığına neden olabilir. Düşük kurşun seviyeleri, gelişen fetüsler ve küçük çocuklar için nörotoksiktir, bu da öğrenme güçlüğü ve zeka geriliğine neden olur.
Partikül Madde (PM ₁₀ veya PM _{2.5}): 10 veya 2.5 mikrometre ve daha küçük çapa sahip partiküller	Enerji santrallerinde, endüstriyel işlemlerde ve motorlu araçlarda yanan yakıt. Arabalar, kamyonlar, otobüsler, fabrikalar, inşaat faaliyetleri, işlenmiş tarlalar, asfaltsız yollar, taş kırma ve yanan odunlardan doğrudan yayılım.	Solunum yollarını tahriş eder, astım, kronik bronşit, düşük akciğer kapasitesi, genç ölümlerine neden olur.
Kükürt Dioksit (SO ₂)	Havaya verilen kükürtün %65’i elektrik tesislerinden gelmektedir. Diğer kaynaklar: petrol rafinerileri, çimento üretimi, metal işleme.	Astım, solunum ve kalp damar durumlarının şiddetlenmesine neden olur.

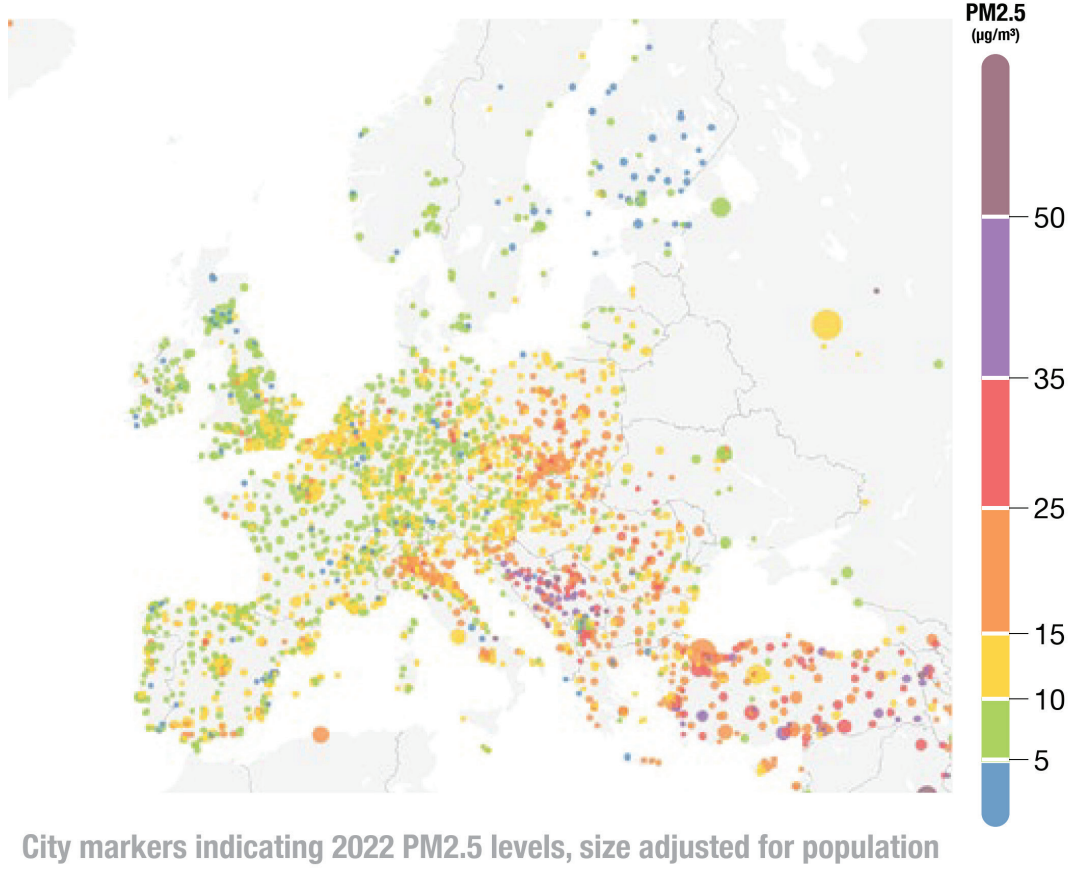
Dış ve iç ortam (özellikle evsel) hava kirliliğinin birleşik etkileri, genellikle inme, iskemik kalp hastalığı (İKH), kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), akciğer kanseri ve akut solunum yolu enfeksiyonlarından kaynaklanan artan ölümlerin bir sonucu olarak her yıl yaklaşık 7 milyon erken ölüme neden olmaktadır (WHO, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verileri, 10 kişiden 9'unun yüksek düzeyde kirleticilerle ilgili kılavuzlarda yer alan sınır değerleri aşan düzeyde kirli hava solduğunu ve bu durumdan en fazla, düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşayanların etkilendiğini göstermektedir. İç ortam hava kirliliğinden erken ölümlerin yılda 3,2 milyonu aştığı Şekil 5'ten görülmektedir (WHO, 2019). Bu ölümlerin esas nedeni evlerde hala açık ateşlerde ve verimsiz sobalarda yemek pişirme ve ısınma amaçlı odun, mahsul atıkları, odun kömürü, kömür ve tezek gibi katı yakıtların ve kerosen gibi gaz yağı türevlerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır (IEA vd., 2022).



Şekil 5. Dünya Sağlık Örgütü iç ortam hava kirliliği bilgi grafiği (WHO, 2019).

3.2. Dünya ve Avrupa'da Hava Kalitesinin Durumu

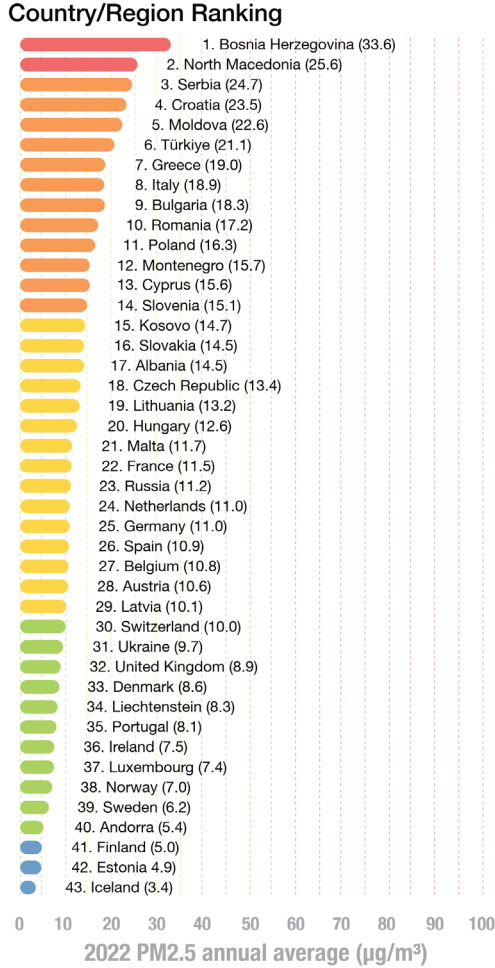
Bu yüzyılda emisyonlar ciddi oranda azalmasına rağmen artan $PM_{2.5}$ değerlerinin Avrupa'daki en ciddi çevresel sağlık riskini oluşturduğu hususu Avrupa Çevre Ajansı tarafından rapor edilmiştir (European Environmental Agency, 2020). Rüzgarlı ve soğuk kış aylarına sahip olan Avrupa'nın kuzey ve batı bölgelerinde ısınma için kömür ve biyokütle yakılması neticesinde güney ve doğu Avrupa'ya nazaran daha yüksek $PM_{2.5}$ seviyelerinin mevcut olduğu Şekil 6'dan açıkça görülmektedir.



Şekil 6. Avrupa şehirlerinin nüfus bazlı PM_{2.5} seviyeleri (IQAir, 2022).

IQAir tarafından yayımlanmış 2022 Dünya Hava Kalitesi Raporunda (2022 World Air Quality Report) küresel bazlı çalışmada hava kalitesinin PM_{2.5} açısından bölgesel ve şehir bazlı 2022 değerlendirmesi yapılmıştır (IQAir, 2022). Raporda, Avrupa bölgesi hava kalitesi açısından 43 ülke ve toplamda 1.713 şehir ile temsil edilmiştir (Şekil 6). Avrupa'daki ortalama PM_{2.5} konsantrasyonları küresel sıralamada 126. ve Avrupa sıralamasında da 43. sırada olan İzlanda'da 3,4 µg/m³'ten başlayıp, küresel sıralamada 19. ve Avrupa sıralamasında da 1. sırada olan Bosna Hersek'teki 33,6 µg/m³ seviyesine kadar yükselmektedir. Şekil 7'te ülkemizin 21,1 µg/m³ ile Avrupa sıralamasında 6. en kirli ülke olarak yer aldığı görülmektedir. Türkiye küresel sıralamada ise 45. sırada yer almaktadır.

a)



b)

Most Polluted Regional Cities

Rank	City	2022
1	İgdir, Türkiye	53.0
2	Krasnoyarsk, Russia	51.7
3	Tuzla, Bosnia Herzegovina	49.4
4	Zenica, Bosnia Herzegovina	48.6
5	Ilidza, Bosnia Herzegovina	43.1
6	Novi Pazar, Serbia	41.7
7	Gaziantep, Türkiye	40.2
8	Uzice, Serbia	40.0
9	Bijelo Polje, Montenegro	39.6
10	Banja Luka, Bosnia Herzegovina	37.1
11	Duzce, Türkiye	36.8
12	Cacak, Serbia	35.7
13	Mersin, Türkiye	35.3
14	Pljevlja, Montenegro	34.5
15	Konya, Türkiye	34.5

Şekil 7. PM_{2.5} seviyeleri açısından Avrupa a) ülke ve b) şehir sıralamaları (IQAir, 2022).

PM_{2.5} konsantrasyon verileri hem 2021 hem de 2022 yılı için olmak üzere toplamda 41 Avrupa ülkesi için incelenmiştir. 2022'de ılıman bir kış geçirilmesi nedeniyle enerji tüketimine olan talebin ve neticesinde emisyonların azalmasıyla Avrupa'daki hava kalitesinde genel bir iyileşme gözlemlendiği belirtilmektedir. 2021 ile karşılaştırıldığında, 2022'de hava kalitesinin 23 ülkede iyileştiği, 3 ülkede aynı kaldığı ve 15 ülkede ise gerilediği belirtilmektedir. Bölge genelindeki 1713 şehirden sadece %4,6'sı Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen PM_{2.5}'un yıllık hava kalitesi limit değeri olan 5 µg/m³'ü (WHO, 2021) sağlayabiliyor durumdadır. Finlandiya, toplam 20 şehirle limit değeri sağlayan en fazla şehre sahipken, onu 13 şehirle İngiltere ve sekiz şehirle İspanya izlemektedir. Maalesef, 2021'de olduğu gibi 2022'de de ülkemizden İğdir kötü hava kalitesi açısından birinci sırada yer almaktadır. Sevindirici olan ise, İğdir'da 2021'deki PM_{2.5} konsantrasyon değeri 66,2 µg/m³ iken bu rakam 2022'de 53 µg/m³'e düşmüştür.

Üzücü olan bir husus ise, 2021'de kötü hava kalitesine sahip Avrupa'daki ilk 15 şehir içerisinde 2 şehrimiz yer alırken bu rakam 2022'de 5'e çıkmıştır; 2021'de $66,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 1. sırada yer alan Iğdır ile birlikte Düzce $44,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lük yıllık ortalama $\text{PM}_{2,5}$ seviyesi ile 5. sırada yer almıştır, buna karşın 2022'de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 1. sırada yer alan Iğdır ile birlikte listede Gaziantep $40,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 7. sırada, Düzce $36,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 11. sırada, Mersin $35,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 13. sırada ve Konya $34,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 15. sırada yer almıştır. Hava kirliliği en çok savunması zayıf olanları etkilemektedir. 2021'de beş yaşın altındaki 40.000 çocuğun ölümünün doğrudan $\text{PM}_{2,5}$ hava kirliliğiyle bağlantılı olduğu tahmin edilmektedir. Araştırmacılar, yüksek $\text{PM}_{2,5}$ konsantrasyonlarının varlığında COVID-19'a yakalandığında hastalığın daha ağır seyrettiğini ve ölüm dahil daha ciddi semptomların riskinin arttığını göstermişlerdir (Harvard, 2023).

a)

Recommended AQG levels

Pollutant	Averaging time	AQG level
$\text{PM}_{2,5}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	5
	24-hour ^a	15
$\text{PM}_{10}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	15
	24-hour ^a	45
$\text{O}_3, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Peak season ^b	60
	8-hour ^a	100
$\text{NO}_2, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	10
	24-hour ^a	25
	1-hour	200
$\text{SO}_2, \mu\text{g}/\text{m}^3$	24-hour	40
	10-minute	500
$\text{CO}, \text{mg}/\text{m}^3$	24-hour ^a	4
	8-hour	10
	1-hour	35
	15-minute	100

^a 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).

^b Average of daily maximum 8-hour mean O_3 concentration in the six consecutive months with the highest six-month running average O_3 concentration.

b)

AQG levels for selected (indoor) air

Pollutant	Averaging time	AQG level
$\text{PM}_{2,5}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	5
	24-hour ^a	15
$\text{PM}_{10}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	15
	24-hour ^a	45
$\text{CO}, \text{mg}/\text{m}^3$	24-hour ^a	4
	8-hour	10
	1-hour	35
	15-minute	100

^a 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).

Şekil 8. Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi kılavuz (AQG) seviyeleri: a) dış ortam ve b) iç ortam (WHO, 2021 ve WHO, 2022).

Dünya Sağlık Örgütü, 2006'da yayımladığı son güncellemeden 15 yıl sonra, Eylül 2021'de küresel hava kalitesi yönergelerinde ciddi bir güncelleme yayımlamıştır. Milyonlarca ölümü önleme nihai hedefiyle yıllık $PM_{2.5}$ konsantrasyonu limit değeri $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e, günlük kılavuz değeri de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşürülmüştür (WHO, 2021 ve WHO, 2022). Şekil 8'de Dünya Sağlık Örgütü'nün hava kalitesi kılavuz (AQG) değerleri hem dış ortam hem de iç ortam için sunulmaktadır. $PM_{2.5}$ kılavuz değerlerindeki azaltıma ilaveten diğer konvansiyonel kirleticilerin limit değerlerinde de düşüşler olduğu görülebilir.

3.3. Türkiye'de İlk Hava Kalitesi Çalışmaları

Ülkemizdeki hava kirliliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından biridir. 1983 yılında çıkarılan Çevre Kanunu, Türkiye'de hava kirliliği ile ilgili ilk yasal düzenlemedir. Bundan sonra 1986 yılında Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği çıkmıştır. Şu anda Türkiye'de ortam hava kalitesini ve kirletici emisyon hızlarını düzenleyen dört temel mevzuat bulunmaktadır: Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2005), Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (2008), Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009) ve Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği (2017). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği doğrultusunda tüm Türkiye için hava kalitesi ön değerlendirme çalışmalarının tamamlanması, bölge ve alt bölgelerin belirlenmesi ve listelenmesi, ölçüm istasyonlarının kurulması, bölgesel ağ merkezlerinin oluşturulması, laboratuvar alt yapısının oluşturulması, güvenli ve kaliteli ölçüm verilerinin sürekliliğini sağlayarak raporlanacak düzeyde temininin sağlanması, yönetmelikteki kirletici emisyonlara ilişkin emisyon envanterlerinin elde edilmesine yönelik çalışmaların yapılarak hava kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimine ilişkin altyapının oluşturulması ve Avrupa Birliği hava kalitesi limit değerlerine uyum sürecinin başlatılması gerekmektedir.

Çevre Kanunu (1983) ve 1986 yılında uygulanan ilk Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ile düşük kaliteli kömür kullanımına kısıtlamalar getirilmişti. Ancak kısıtlamalar çok katı değildi ve izin verilen sınır değerleri bugünün değerlerinden çok daha yüksekti. Bu sıkı olmayan önlemler nedeniyle, İstanbul, Ankara ve diğer büyük şehirler, inanılmaz derecede yüksek düzeyde kirleticilere maruz kalmışlardır. 1970'lerde, enerji krizi ve petrol fiyatlarındaki ciddi artış, özellikle evsel ısınmada kömürün tercih edilmesine neden olmuştur. 1970'lerden başlayarak büyük şehirlerimiz, evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetlerde kömür yakılması sonucunda çok yüksek seviyelerde partikül madde ve kükürt dioksit vakaları yaşamıştır. Ülkemizde çıkarılan ve yaygın olarak kullanılan linyit yüksek kükürt ve kül içeriğinden ve düşük ısı değere sahip olmasından dolayı yüksek miktarlarda kirletici emisyonlarına yol açmış ve hava kalitesinde ciddi bozulmaya neden olmuştur. Şekil 9'da 1978 yılında çekilmiş fotoğraflarda Ankara'da hava kirliliği yoğun bir duman şeklinde görülmektedir (TRT, 2021). Kirlilik haberlere de konu olmuştur (Şekil 10).



Şekil 9. 1978 yılında Ankara'da hava kirliliği.



İşte Ankara'dan bir görünüş

Kirli havanın kapladığı Başkent'te yavaş yavaş zehirleniyorlar. Pis hava kara bir bulut gibi şehrin üzerini sarmış, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun düzenlediği "Hava Kirlenmesi" konulu konferansa katılan yabancı uzmanlar Türkiye Başkentinin bu halini görünce "Vah, vah, yazık bu şehirde yaşayanlara" dediler. Yukarıda Ankara'nın hali görülüyor. (Foto: GHA)

Ankara'ya davet edilen Amerikalı hava kirlenmesi uzmanı Dr. Howard E. Reigum hayretler içinde dedi ki.

BU ŞEHİRDE NASIL YAŞIYORSUNUZ?



ANKARA'DA HAVA KİRLENMESİ SORUNUNUN BİR KAÇ YIL İÇİNDE HALLEDİLMESİNİN MÜMKÜN OLMAYACAĞINI SÖYLEYEN UZMAN, ANKARALI LARA "KIRSAL HAYAT" YAŞAMALARINI TAVSİYE ETTİ.

ANKARA (GHA) - Hava kirlenmesi ve ulaşım sistemleri üzerine ihtisas yapmış olan dünyanın en ünlü bilim adamlarından Amerikalı Dr. Howard E. Reigum, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu uzmanlarının önüne sermiş oldukları raporları inceledikten sonra, gözlerini hayretle açmış ve "Sizler bu şehirde nasıl yaşıyorsunuz, hayret ettim" demiştir. Başkent hava kirlenmesi sorununun birkaç yıl içinde halledilmesinin mümkün olmadığını ifade eden Dr. Reigum, iş hayatı dışında daha fazla zehirlenme için Ankara'lılara "Kırsal Hayat" yaşamaları tavsiyesinde bulunmuştur. Uzmanların yaptıkları araştırmalara göre Ankara'nın zehirli yağana yeri Esenboğa Havalanı ve çevresidir.

Kamuran ÖZBİR

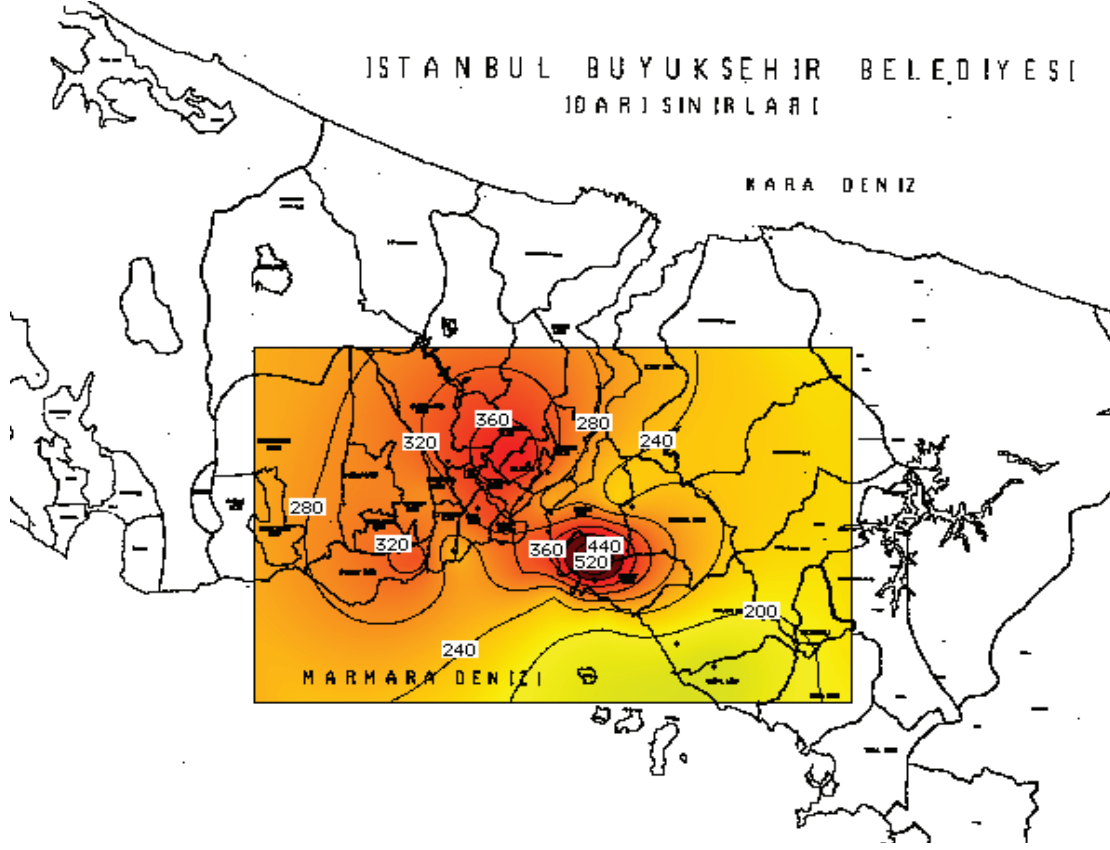
Hava kirlenmesi ile ilgili olarak Ankara'da yapılan toplantıya katılan Amerikalı uzman Howard E. Reigum (Solda) Ankara-

Şekil 10. Ankara'da hava kirliliği ile ilgili haber, 7 Ekim 1972 Günaydın Gazetesi

1980'lerin ısınma sezonlarında (kasım-mart) ve 1990'ların başlarında evsel ısınma için düşük kaliteli katı yakıtların ve ağırlıklı olarak yüksek kül ve kükürt içeren linyit kömürü tüketimi nedeniyle İstanbul'da SO₂ ve PM seviyeleri çok yüksek seviyelere ulaşmıştır (Tayanç vd., 1996; Tayanç, 2000).

1993-1995 döneminde İstanbul'un ilk hava kirliliği haritalarının üretilmesi ve doğalgaz kullanımına öncelik verilecek bölgelerin belirlenmesi amacıyla Prof. Dr. Ferruh Ertürk önderliğinde bir İstanbul Büyükşehir Belediyesi araştırma projesi gerçekleştirilmiştir (Ertürk vd., 1995). Bu projede Hıfzısıhha Enstitüsünün İstanbul'da 15 noktada gerçekleştirdiği SO₂ ve PM ölçüm verileri kullanılmış ve İstanbul için ilk hava kirliliği haritaları üretilmiştir. Şekil 11'de bu projede üretilmiş Ocak 1994'e ait İstanbul'un güneyindeki aylık ortalama SO₂ dağılımı gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, İstanbul'un en kirli bölgelerinin aylık ortalama 300 µg/m³'ü aşan SO₂ değerleri ile Avrupa yakasında Fatih, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa, Mecidiyeköy ve Asya yakasında Göztepe olduğu belirtilebilir. Özellikle Göztepe civarlarında 520 µg/m³'ün üzerindeki değerler o zamanki Fikirtepe civarlarındaki gecekonducularla ve ısınma sezonunda kullandıkları katı yakıtlarla doğrudan ilişkilendirilebilir. İstanbul Gaz ve Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (İGDAŞ) tarafından 1990'lı yılların ortalarına doğru şehre doğal gaz verilmesiyle hava kalitesi önemli ölçüde iyileşmiştir. İstanbul'un üzerine bir kâbus gibi çöken hava kirleticileri, doğalgazın yaygınlaşması, düşük kaliteli linyit kullanımının kısıtlanması ve İstanbul Büyükşehir Belediyesinin (İBB) aldığı etkili önlemlerle önemli ölçüde azaltılmıştır.

Büyük şehirlerde hava kirliliği ciddi bir çevre problemi olmaya başladıkça, sorunun kapsamını ve çözümlerini araştırmak için hava kalitesi ölçüm sistemleri kurma gerekliliği ortaya çıkmıştır. İstanbul'daki ilk hava kalitesi ölçümleri, 1985 yılında Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi tarafından yedi istasyonda SO₂ ve askıda partikül madde (TSP) için manuel olarak başlatılmıştır (Hıfzısıhha Enstitüsü, 2001).



Şekil 11. Ocak 1994'te İstanbul'da aylık ortalama SO_2 seviyeleri ($\mu g/m^3$) (Ertürk vd., 1995).

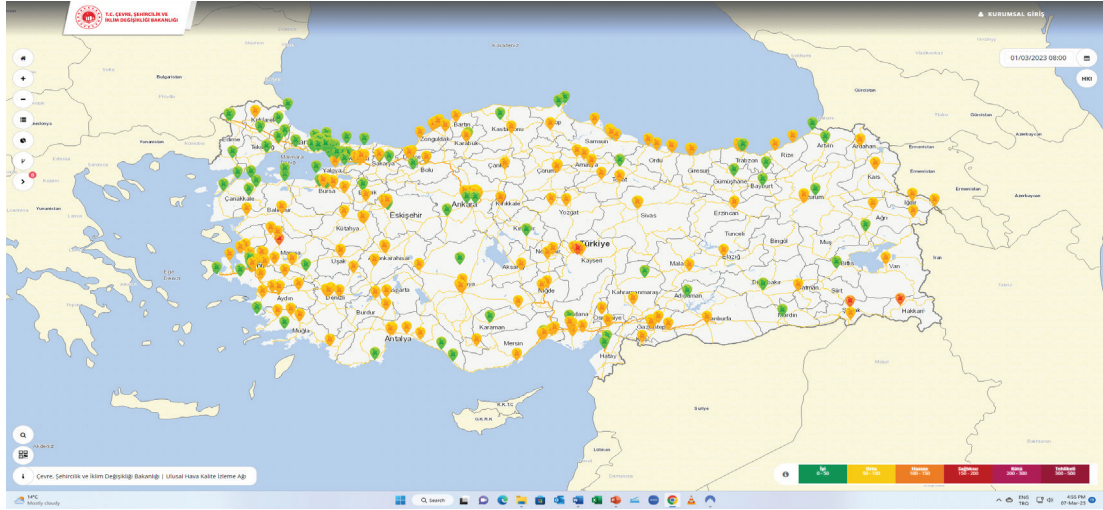
3.4. Ülkemizde Hava Kirliliği Ölçümü ve Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA)

Ülkemizde 1960'lı yıllar sonrası hava kirliliğine ilgi ve yaklaşımın arttığı gözlenmektedir. İlk olarak 1961 yılında Ankara'da Sağlık Bakanlığı'na bağlı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi (RSHM) tarafından kükürtdioksit ve partikül madde günlük ortalama konsantrasyon izlenmesi başlatılmıştır (UHKİA, 2023). Yarı otomatik cihazlar ile başlayan bu süreç 1984 yılından itibaren saatlik ortalamalar verebilen tam otomatik cihazlara dönüşmeye başlamıştır.

Ülkemizde temiz hava politikalarının oluşturulması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için hava kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi amacıyla, zamanındaki adı Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2005-2007 yılları arasında 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. Bu istasyonlara ek olarak, İstanbul ve İzmir Büyükşehir Belediyelerine, RSHM Başkanlığına ve Kocaeli Dilovası Organize Sanayi Bölgesine ait hava kalitesi ölçüm istasyonları sisteme entegre edilerek Türkiye genelinde Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) oluşturulmuştur. Ayrıca, Çevre ve Orman Bakanlığı ile Sağlık Bakanlığı arasında 2009 yılında imzalanan protokol kapsamında Ankara'da bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonları ve mobil hava kirliliği ölçüm aracı Çevre ve Orman Bakanlığına devredilmiştir. 2015 yılında Samsun ve Erzurum Temiz

Hava Merkezleri için kurulan istasyonlar ile 2016 yılında İzmir Temiz Hava Merkezi için kurulan istasyonlarla birlikte Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağına bağlı istasyon sayısı artmaya başlamıştır. 2023 başı itibariyle ülkemizdeki hava kalitesi izleme istasyonu sayısı 365'e ulaşmıştır. İlk olarak PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerinin ölçümü ile başlayan sürece daha sonra NO, NO₂, NO_x, CO, O₃, PM_{2,5}, BTEX ölçümleri ve gravimetrik yöntemle ağır metal örnekleme de ilave edilmiştir (UHKİA, 2023).

Ülkemizdeki hava kalitesi izleme istasyonları, ana emisyon türüne bağlı olarak evsel ısınma, trafik, sanayi ve kırsal (arka plan) olmak üzere genellikle dört farklı kategoride sınıflandırılmaktadır. Şekil 12'den görülebileceği üzere Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından işletilen Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağındaki anlık hava kalitesi durumu tüm Türkiye için izlenebilmektedir (Havaizleme, 2023).



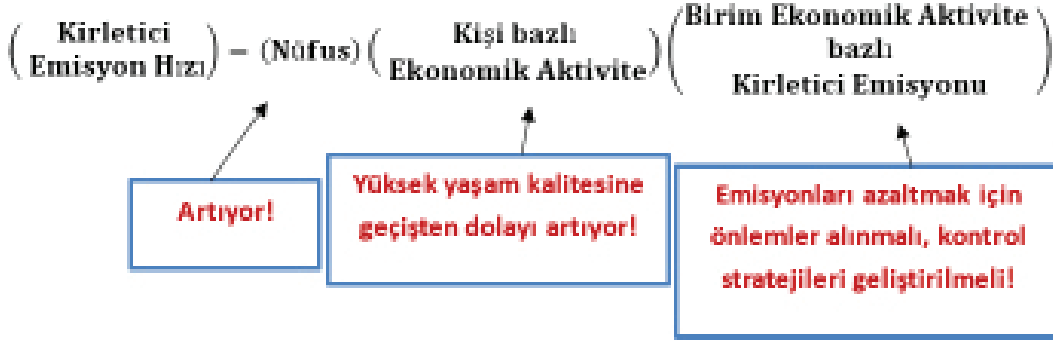
Şekil 12. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (Havaizleme, 2023).

3.5. Hava Kalitesi ve Emisyonlar

Kötü hava kalitesinin başlıca nedenleri arasında hızlı nüfus artışı, yoğun göç, sanayi için uygun olmayan yer seçimi, kalitesiz yakıt kullanımı, ısı yalıtımına yeterince önem verilmemesi, standart dışı yakım ocakları, sanayide verimsiz yanma teknolojilerinin kullanılması, baca gazı arıtmada başarısızlık, trafik emisyonlarını azaltma konusunda yetersiz çabalar, ciddiyetine rağmen çevresel konularda bilgi eksikliği ve konuya yeterince önem verilmemesi sayılabilir. Hava kalitesinin bozulmasında birinci etmen emisyondur. Birim zamanda gerçekleşen emisyon miktarlarına ilaveten topografik ve meteorolojik koşullar da kirliliğin taşınımını ve dağılımını engelleyerek hava kalitesini kötüleştirir.

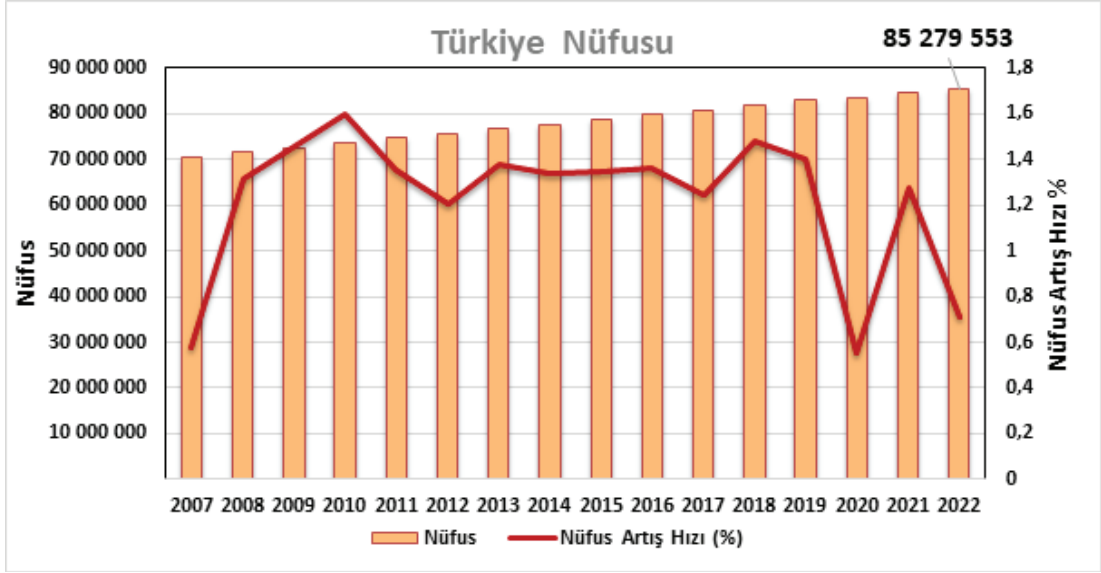
Kirletici emisyonları, kabaca, Şekil 13’de gösterilen denklemle ifade edilebilir; belirli bir kimyasalın emisyon hızı doğrudan nüfusa, kişi bazlı ekonomik aktiviteye ve birim ekonomik faaliyet başına düşen kirletici emisyonuna bağlıdır.

Türkiye’de ikamet eden nüfus, 31 Aralık 2022 tarihi itibarıyla bir önceki yıla göre 599 bin 280 kişi artarak 85 milyon 279 bin 553 kişiye ulaşmıştır (Şekil 14) (TUIK, 2023a). Bu demografik özellikler, ulaşım, sınai faaliyetler, gıda talebi gibi şehrin diğer yönleriyle de yakından ilişkilidir. Bu konulardaki artışlar; hava kalitesi, içme suyu miktarı ve kalitesi, katı atık, atıksu, iklim değişikliği gibi çevresel konularda baskı oluşturmaktadır. Kirletici emisyonunda 2. önemli faktör olan kişi bazlı ekonomik aktivite üretim bazlı Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYH) ile ifade edilebilir. Üretim yöntemine göre dört dönem toplamıyla elde edilen yıllık GSYH, zincirlenmiş hacim endeksi olarak (2009=100), 2022 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artmıştır (TUIK, 2023b). Bu artış bir önceki yıl %11 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla ülkemizde kişi bazlı ekonomik aktivitenin de sürekli arttığını belirtmeliyiz.



Şekil 13. Hava kirliliği emisyon hızının bağlı olduğu faktörler.

Sıkı emisyon kontrol programları ile atmosferdeki çoğu kirleticinin emisyonları veya öncül kimyasallarının salımları azaltılarak hava kalitesi istikrarlı bir şekilde iyileştirilebilir. Bununla birlikte, her zamankinden daha etkili atık gaz ve partikül kontrol ekipmanlarının kurulması, ölçülen hava kirletici konsantrasyonlarının ortalamalarını düşürebilecek ve nüfusumuz ve kişi başına düşen ekonomik faaliyet düzeyimiz artmasına rağmen hava kalitesi ortalamalarında iyileşme sağlanabilecektir.



Şekil 14. 2007-2022 dönemi Türkiye nüfusu ve nüfus artış hızı.

4. Sonuç ve Öneriler

İnsan sağlığını tehdit eden hava kirletici gazların ve yeryüzünün yaydığı uzun dalga boylu ışınımı tutan sera gazlarının büyük bir kısmı elektrik ve ısı üretmek için fosil yakıtların yakılmasıyla üretilir. Hava kalitesi sorunlarını azaltmak ve iklim değişikliğinin kötü etkilerinden kaçınmak için emisyonların azaltılmasının gerekliliği mutlak bir gerçekliktir. Bunu başarmak için fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı azaltmalı ve temiz, erişilebilir, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve güvenilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmeliyiz. Emisyon azaltımı için alınabilecek tedbirleri şu başlıklarda sıralayabiliriz:

Ulaşım sistemleri ile ilgili politikalar ve eylemler

- Toplu taşımacılığın teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Yürüme, bisiklet kullanımı gibi fiziksel hareketlilik uygulamalarının gerçekleştirilmesi,
- Daha düşük emisyonlu araçlara ve yakıtlara geçiş,
- İthal araçlar için yaş sınırları ve yaşa dayalı vergilendirme,
- Hibrit ve elektrikli araç kullanımını sübvans etmek.

Endüstri ile ilgili politikalar ve eylemler

- Endüstriler için enerji verimliliği standartlarının zorunlu kılınması, yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesi,
- Yeni teknoloji daha temiz yakma sistemlerinin, yakıtların ve endüstriyel süreçlerin teşvik edilmesi,

- Kirleticilerin atmosfere verilmeden yakalanabilmesi için kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması,
- Düşük solventli boyalar kullanarak ve solvent geri kazanımı yoluyla endüstriyel solvent emisyonlarının azaltılması.

Enerji üretimi ve tasarrufu ile ilgili politikalar ve eylemler

- Büyük ölçekli enerji üretiminde fosil yakıtlar yerine güneş veya rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi,
- Enerji tasarrufunun ve atık ısının enerji üretiminde tekrar kullanımının desteklenmesi,
- Münferit enerji üretiminin (örneğin, bina çatılarında güneş enerjisi üretimi) teşvik edilmesi,
- Binalarda ısı yalıtım sistemlerinin teşvik edilmesi.

Atık ve atıksu yönetimi ile ilgili politikalar ve eylemler

- Açıkta atık yakmayı durdurmak,
- Atık depo sahası gaz üretimi, toplanması ve kullanımının yaygınlaştırılması,
- Biyogaz geri kazanımı ile iki aşamalı atıksu arıtımının yaygınlaştırılması,
- Atık azaltma, atık ayırma, geri dönüşüm ve yeniden kullanımını desteklemek.

Tarım ve ormancılık ile ilgili politikalar ve eylemler

- Tarım alanlarının yakılmasını (anız yakma) ve atıkların açıkta yakılarak imha edilmesini yasaklamak.
- Atık işleme ve atık sahalarından çıkan metan gazının tutulması da dahil olmak üzere, tarımsal atık ve hayvan gübresi yönetiminin iyileştirilmesi.

5. Kaynaklar / References

Çelebioğlu, T. (2021). Türkiye’de iklim değişikliğinin incelenmesi ve Doğu ile Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki akarsu akımlarının analizi. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Chalupka, S. (2005). Environmental health: An opportunity for health promotion and disease prevention, AAOHN Journal, 53(1), 13-30.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2014). Air Quality Index (AQI): A Guide to Air Quality and Your Health, EPA-456/F-14-002, 11 pp.

Ertürk F., Karaca M., Tayanç M., & Saral A. (1995). İstanbul’un Hava Kirliliği Haritasının Çıkarılması ve Doğalgaz Kullanımına Öncelik Verilecek Bölgelerin Belirlenmesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Araştırma Projesi, 59 sayfa.

EU Air Quality Standards, last modified on 03 Dec 2021, regulated under 2008/50/EC Directive on

- Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe and 2004/107/EC Directive on heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- European Environmental Agency, (2020). Air pollution: How it affects our health. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023)
- Greve, P., Orłowski, B. Mueller, B. Sheffield, J. Reichstein, M. & Seneviratne, S. I. (2014). Global assessment of trends in wetting and drying over land. *Nature Geoscience*, 7, 716–721, doi:10.1038/ngeo2247.
- Harvard T.H. (2023). Coronavirus and air pollution. <https://www.hsph.harvard.edu/c-change/subtopics/coronavirus-and-pollution/> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- Havaizleme, (2023). <https://www.havaizleme.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- Hıfzısıhha Enstitüsü (Sağlık Bakanlığı - Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı) (2001). Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve Örneklem Kriterleri, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, ISBN 975-590-032-2, 179 sayfa.
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO (2022). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO). Available from: <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- IPCC, (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- IQAir (2021). 2021 World Air Quality Report - Region and City PM_{2.5} Ranking. Retrieved from <https://www.iqair.com/world-air-quality-report> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023)
- IQAir (2022). 2022 World Air Quality Report - Region and City PM_{2.5} Ranking. Retrieved from <https://www.iqair.com/world-air-quality-report> (Erişim Tarihi: 16 Mart 2023)
- Liao, H., Unger, N. & Zanis, P. (2021). Short-Lived Climate Forcers. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 817–922, doi:10.1017/9781009157896.008.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2021). Türkiye 2021 İklim Raporu, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-raporlari.aspx>
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2022). Türkiye 2022 İklim Raporu, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-raporlari.aspx>

- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2023). 2022 Yılı Yağış Değerlendirmesi <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/yagisdegerlendirme/2022yagisdegerlendirmesi.pdf>
- Tayanç M., Karaca M., Ertürk F., Ekinci B. M., & Pişkin C. (1996). 1994-1995 ile 1995-1996 Isınma Sezonlarında Hava Kirliliğinin Meteorolojik Açından İncelenmesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Araştırma Projesi, 31 sayfa.
- Tayanç, M. (2000). An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over İstanbul, Türkiye. *Environ. Pollut.*, 107, 61–69.
- Tayanç, M., Karaca, M. & Yenigün, O. (1997). Annual and Seasonal Air Temperature Trend Patterns of Climate Change and Urbanization Effects in Relation with Air Pollutants in Türkiye, *J. Geophys. Res.*, 102(D2),1909-1919.
- TRT, TRTHaber 2021. 1978'de Ankara'da hava kirliliği. <https://www.trthaber.com/foto-galeri/1978de-ankarada-hava-kirliligi/33361/sayfa-1.html> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- TUİK (2023a). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2022. Yayımlanma Tarihi: 06 Şubat 2023 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayal%C4%B1-N%C3%BCfus-Kay%C4%B1t-Sistemi-Sonu%C3%A7lar%C4%B1-2022-49685&dil=1> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023)
- TUİK (2023b). Dönemsel Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, IV. Çeyrek: Ekim - Aralık, 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Donemsel-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-IV.-Ceyrek:-Ekim---Aralik,-2022-49664#> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- UHKİA, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (2023). <https://sim.csb.gov.tr/Intro/Uhkia> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2019). Household air pollution. <https://www.who.int/multi-media/details/household-air-pollution-info> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2020). Air pollution. (https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2022). Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment, 2022 update. (WHO/HEP/ECH/EHD/22.01). Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Wuebbles, D.J., Easterling, D.R., Hayhoe, K., Knutson, T., Kopp, R.E., Kossin, J.P., Kunkel, K.E., LeGrande, A.N., Mears, C., Sweet, W.V., Taylor, P.C., Vose, R.S. & Wehner, M.F. (2017). Our globally changing climate. In: *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 35-72, doi: 10.7930/J08S4N35.

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Mete TAYANÇ | Marmara Üniversitesi |
mtayanc[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0003-4319-3757**

Lefkoşa, KKTC doğdu ve Türk Maarif Kolejinden 1984 yılında mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde 1988 yılında lisans, Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsünde 1991 yılında yüksek lisans ve 1995 yılında doktora yapmıştır. 1995'ten günümüze Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü kadrosunda görev yapmaktadır. 2004-2007 döneminde Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Bölüm Başkan Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2007-2010 yılları arasında Uluslararası Kıbrıs Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Dekanlığı yapmıştır. Prof. Dr. Mete Tayanç'ın, 2007-2013 yılları arasında TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) Yürütme Komitesi üyeliği, 2014-2016 döneminde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen SAN-TEZ programı üyeliği ve 2022'den bu yana da TÜBA Çevre, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu üyeliği bulunmaktadır. Bugüne kadar, SCI indeksli uluslararası hakemli dergilerde, konferans/sempozyumlarda ve kitap bölümlerinde çok sayıda çalışması yayımlanmıştır. Esas olarak Marmara Üniversitesi BAPKO ve TÜBİTAK olmak üzere çeşitli projelerde yürütücü ve araştırmacı olarak çalışmıştır. Halen hava kirliliği, atmosferik modelleme, iklim değişikliği gibi çevre ve atmosfer bilimleri alanlarında çalışmalar sürdürmektedir.

**Prof. Dr. Mete TAYANÇ | Marmara University |
mtayanc[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0003-4319-3757**

He was born in Nicosia, TRNC and graduated from the Turkish Maarif College in 1984. He completed his undergraduate studies in Istanbul Technical University Meteorological Engineering Department in 1988, his master's degree in 1991 and doctorate in 1995 at Boğaziçi University Environmental Sciences Institute. He has been working in Marmara University Environmental Engineering Department since 1995. Between 2004-2007, he served as the Deputy Head of the Department of Environmental Engineering at Marmara University. Between 2007-2010, he worked as the Dean of the Faculty of Engineering at Cyprus International University. Prof. Dr. Mete Tayanç was a member of the Executive Committee of the TÜBİTAK Environment, Atmosphere, Earth and Marine Sciences Research Group (ÇAYDAG) between 2007-2013, a member of the SAN-TEZ program directed by the Ministry of Science, Industry and Technology between 2014-2016. He has been a member of TÜBA Environment, Biodiversity and Climate Change Working Group since 2022. To date, many of his works have been published in SCI indexed international peer-reviewed journals, conferences/symposiums and book chapters. He worked as an executive and researcher in various projects, supported mainly by Marmara University BAPKO and TÜBİTAK. He still working on the fields of environmental and atmospheric sciences like air pollution, atmospheric modeling and climate change.

