YEŞİL AJANDA
Çevre, İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik

AKADEMİ SERİSİ



Hava Kirliliğinin Esasları

2 / 6

Hava Kalitesi Yönetimi ve Envanter

Hava kalitesi nasıl yönetilir? HKDYY sınır değerleri, WHO kıyası, HKİ hesabı, izleme ağı ve PM2.5'in %54,1'inin ısınmadan geldiği 2022 envanteri.

1 Temeller
2 Hava Kalitesi Yönetimi ve Envanter
3 Sanayi Kaynakları I
4 Sanayi Kaynakları II
5 Isınma Kaynakları
6 Hareketli Kaynaklar

2

Hava Kalitesi Yönetimi ve Envanter

BU BÖLÜMDE

2.1	Hava Kalitesi Standartları: HKDYY, AB ve WHO	3
2.2	Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Nasıl Hesaplanır?	12
2.3	Hava Kalitesi Nasıl İzlenir? Ağ, Uydu ve Sensörler	17
2.4	Emisyon Envanteri Nasıl Kurulur?	22
2.5	Türkiye'de Uygulama ve Mevzuat	29
2.6	Türkiye'nin Kaynak Haritası: Hangi Kirletici Nereden Geliyor?	33
2.7	Sonuç	43

Türkiye'de ince partikül kirliliğinin en büyük kaynağı sanayi bacası ya da egzoz değildir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Uzun Menzilli Sınırötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi kapsamında EMEP/CEIP'e sunduğu **2022 yılı ulusal emisyon envanterine** göre ülkenin toplam **223,35 kiloton** PM2.5 salımının **%54,1'i** küçük ölçekli yanmadan, yani ağırlıkla konutların ısınma bacalarından çıkar. Kaba partikülde (PM10) aynı kategorinin payı **%47,1**, karbon monoksitte **%45,5'tir**. Buna karşılık kükürt dioksidin **%69,8'i** enerji üretiminden, amonyağın **%97,0'ı** tarımdan gelir. Yani **hava kirliliği kaynakları** sorusunun tek bir yanıtı yoktur: yanıt hangi kirleticiyi sorduğunuza göre tamamen değişir ve politika önceliği de bu yüzden kirletici bazında kurulmak zorundadır.

Yeşil Ajanda olarak altı bölümlük bu teknik serinin ikinci bölümünde, kirliliğin nasıl ölçüldüğünü, nasıl düzenlendiğini ve kimin ne kadar ürettiğini ele alıyoruz. Serinin birinci bölümü[1] kirleticilerin kendisini, atmosfer kimyasını, dispersiyonu ve sağlık etkilerini kurmuştu; bu bölüm o zemin üzerine yönetim çerçevesini koyuyor. Serinin geri kalanı (sanayi, ısınma ve hareketli kaynaklar) kendi kaynak profilini buradaki tabloya atıfla açacak, çünkü ulusal kaynak haritasının kanonik yeri bu bölümdür.

Bu bölümde sırasıyla şunları bulacaksınız:

- ✓ Hava kalitesi standartları: HKDYY sınır değerleri, kademeli geçiş rejimi, AB'nin 2024 revizyonu ve WHO 2021 kılavuz değerleriyle arasındaki makas
- ✓ Hava kalitesi indeksi (HKİ): kesme noktaları, alt indeks formülü, çözümlü bir günlük hesap ve tek sayının sınırları
- ✓ İzleme: ulusal ağ, istasyon tipleri ve temsil ölçekleri, veri geçerlilik oranı, referans yöntemler, uydu ve düşük maliyetli sensörler
- ✓ Emisyon envanteri metodolojisi: E = A × EF denklemi, kademe (Tier) yaklaşımı, belirsizlik aritmetiği ve kaynak ayrıştırma
- ✓ Türkiye'de uygulama ve mevzuat: yetki dağılımı, veriye erişim yolu, temiz hava eylem planları ve uluslararası yükümlülükler
- ✓ Türkiye'nin kaynak haritası: sektör çarpı kirletici matrisi, il bazında baskın kaynaklar, tarım ve doğal kaynaklar

2.1 Hava Kalitesi Standartları: HKDYY, AB ve WHO

Hava kalitesi yönetiminin bütün aritmetiği tek bir soruyla başlar: hangi derişim "fazla" sayılır? Bu sorunun üç ayrı yanıtı vardır ve üçü de aynı havayı farklı adlandırır.

1. Serinin önceki cildi: Bölüm 1, Temeller.

Türkiye'nin yasal yanıtı **Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği**[2]**'dir** (HKDYY, Resmî Gazete 6 Haziran 2008, sayı 26898). Avrupa Birliği'nin yanıtı 2024'te yenilenen hava kalitesi direktifidir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yanıtı ise hukuken bağlayıcı olmayan, tamamen sağlık temelli kılavuz değerlerdir. Bu üç çerçeveyi ayırmadan okunan hiçbir hava kalitesi haberi doğru anlaşılmaz.

HKDYY Sınır Değerleri ve Geçiş Takvimi

HKDYY'nin EK-I'i, insan sağlığının korunması için kirletici başına **limit değeri**, ortalama süresini ve yıl içinde kaç kez aşılabileceğini birlikte verir. Bir sınır değeri ortalama süresi olmadan anmak, bu serinin birinci bölümünde kurulan kuralın ihlalidir: aynı kirleticinin saatlik ve yıllık eşiği farklı büyüklüklerdir.

TABLO 2.1

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	İzin verilen aşım	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği
SO_2	Saatlik	**350 µg/m³**	yılda 24 defa	tanımlanmamış	tanımlanmamış
SO_2	24 saatlik	**125 µg/m³**	yılda 3 defa	**75 µg/m³**	**50 µg/m³**
SO_2	Yıllık ve kış dönemi (ekosistem)	**20 µg/m³**	yok	**12 µg/m³**	**8 µg/m³**
NO_2	Saatlik	**200 µg/m³**	yılda 18 defa	**140 µg/m³**	limit değerin %50'si
NO_2	Yıllık	**40 µg/m³**	yok	**32 µg/m³**	**26 µg/m³**
NO_x	Yıllık (vejetasyon)	**30 µg/m³**	yok	**24 µg/m³**	**19,5 µg/m³**
PM10	24 saatlik	**50 µg/m³**	yılda 35 defa	**30 µg/m³** (yılda 7 defa)	**20 µg/m³** (yılda 7 defa)
PM10	Yıllık	**40 µg/m³**	yok	**14 µg/m³**	**10 µg/m³**
Kurşun (Pb)	Yıllık	**0,5 µg/m³**	yok	**0,35 µg/m³**	**0,25 µg/m³**
Benzen	Yıllık	**5 µg/m³**	yok	**3,5 µg/m³**	**2 µg/m³**
CO	Maksimum günlük 8 saatlik	**10 mg/m³**	yok	**7 mg/m³**	**5 mg/m³**

Yönetmelik, SO_2'nin saatlik kalemi için değerlendirme eşiği tanımlamaz; SO_2'de eşikler yalnız 24 saatlik limit değer üzerinden kurulmuştur.

2. Kaynak: mevzuat.gov.tr

Tabloda iki kavram daha vardır ve ikisi de ölçüm rejimini belirler: **üst değerlendirme eşiği** ile **alt değerlendirme eşiği**. Bir bölgede derişim üst eşiğin üzerindeyse sabit ölçüm zorunludur; iki eşik arasındaysa sabit ölçüm sürer ve modelleme ya da gösterge ölçümle desteklenebilir; alt eşiğin altındaysa modelleme ve kestirim teknikleri tek başına yeterli sayılabilir. Yani bu eşikler sağlık eşiği değil, **ölçüm yükümlülüğü eşikleridir**.

Ozon ayrı bir rejime tabidir ve yönetmelik burada "limit değer" değil **hedef değer** kullanır: insan sağlığının korunması için maksimum günlük 8 saatlik ortalamanın **120 µg/m³** düzeyinde kalması, üç yıllık ortalama alındığında yılda **25 günden fazla** aşılmaması hedeflenir. Uzun vadeli hedef aynı 120 µg/m³ değerinin hiç aşılmamasıdır. Vejetasyon için ölçüt AOT40'tır: beş yıllık ortalamada **18.000 µg/m³·saat** hedef değeri, uzun vadede **6.000 µg/m³·saat**. Arsenik **6 ng/m³**, kadmiyum **5 ng/m³**, nikel **20 ng/m³** ve benzo(a)piren **1 ng/m³** de hedef değerle düzenlenir ve bunlar PM10 fraksiyonu içinde ölçülür.

Bugünkü rejime bir anda gelinmedi. HKDYY'nin **EK-I A'sı** geçiş dönemini tanımlar ve mantığı şudur: eski ulusal değerler, hedef değere **her 12 ayda eşit miktarda azalarak** indirilmiştir. Kısa vadeli sınır değer (KVS) tarafında SO_2 **400 µg/m³**'ten başlayıp 1 Ocak 2014'te **250 µg/m³**'e, PM10'un kış sezonu ortalaması **200'den 90 µg/m³**'e, PM10 uzun vadeli sınır değeri (UVS) **150'den 60 µg/m³**'e, NO_2 UVS'si **100'den 60 µg/m³**'e, kurşun **2'den 1 µg/m³**'e, CO **30'dan 10 mg/m³**'e inmiştir. Hedef rejime geçiş tarihleri kirleticiye göre farklıdır: SO_2'nin insan sağlığı kalemlerinde, PM10'da ve kurşunda **1 Ocak 2019**, SO_2'nin ekosistem kaleminde ve NO_x'te **1 Ocak 2014**, NO_2'de **1 Ocak 2024**, benzende **1 Ocak 2021**, CO'da **1 Ocak 2017**.

Takvimin bir ayrıntısı da yönetmeliğin tek değişikliğindedir. 2008 metninde SO_2 kısa vadeli sınır değerinin 2014 hedefi **200 µg/m³** (sınır değerin %50'si) iken, 5 Mayıs 2009 tarihli değişiklik bunu **250 µg/m³**'e (%62,5) çekmiştir. Yani geçiş takvimi bir kalemde, uygulama koşullarına göre yeniden ayarlanmıştır.

Geçişin ikinci ve daha az bilinen mekanizması **tolerans payıdır**. Yönetmelik hedef rejimdeki limit değeri 2008'de koyar, ama o değerin üzerine yıllar içinde eriyen bir pay ekler. EK-I'deki kalıp her kirletici için aynıdır: tolerans payı belirli bir tarihte şu kadardır ve hedef tarihe kadar "**tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır**". Yani yönetmelikte yıl yıl bir tablo yoktur, bir azaltma formülü vardır ve uygulanan değer her yıl limit değer ile kalan tolerans payının toplamıdır.

Formülden türetilen basamaklar şöyledir:

TABLO 2.2

Kirletici ve ortalama süre	Limit değer	1.1.2014'te tolerans	2014'te uygulanan	Yıllık azalma	Tolerans sıfırlanma
SO_2, saatlik	350 µg/m³	150 µg/m³ (%43)	**500 µg/m³**	30 µg/m³	1 Ocak 2019
SO_2, 24 saatlik	125 µg/m³	125 µg/m³ (%100)	**250 µg/m³**	25 µg/m³	1 Ocak 2019
PM10, 24 saatlik	50 µg/m³	50 µg/m³ (%100)	**100 µg/m³**	10 µg/m³	1 Ocak 2019
PM10, yıllık	40 µg/m³	20 µg/m³ (%50)	**60 µg/m³**	4 µg/m³	1 Ocak 2019
NO_2, saatlik	200 µg/m³	100 µg/m³ (%50)	**300 µg/m³**	10 µg/m³	1 Ocak 2024
NO_2, yıllık	40 µg/m³	20 µg/m³ (%50)	**60 µg/m³**	2 µg/m³	1 Ocak 2024

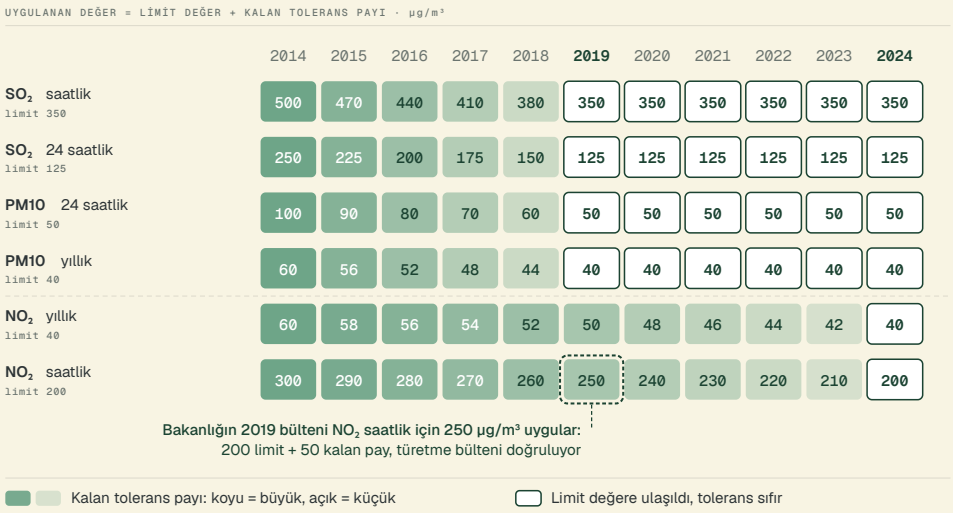
Türetmenin doğruluğu Bakanlığın kendi yayınıyla kontrol edilebilir: 2019 yılı hava kalitesi bülteninde NO_2 saatlik için "ülkemizde uygulanan" değer **250 µg/m³** olarak verilir ve bu, tam olarak 200 µg/m³ limit değer ile o yıl kalan 50 µg/m³ tolerans payının toplamıdır.

Bir terminoloji notu da gerekir: yürürlükteki EK-I rejiminin terimi **limit değerdir**; "sınır değer" terimi geçiş dönemi tablosunda (EK-I A) ve Çevre Kanunu'nun ek 6. maddesinde kullanılır. Günlük dilde ikisi aynı anlamda kullanılsa da mevzuat metni ayrımı korur.

ŞEKİL 2.1

HKDYY Geçiş Takvimi: Tolerans Payı Nasıl Eridi?

Limit değerler 2008'de konuldu, üzerlerine yıllar içinde eşit adımlarla eriyen bir pay eklendi. Partikül ve SO_2'de pay 2019'da, NO_2'de 2024'te sıfırlandı.



Kaynak: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (RG 6.6.2008, 26898), EK-I; yönetmelikte yıl yıl tablo yoktur, basamaklar "her 12 ayda bir eşit miktarda" azaltma formülünden türetilmiştir. Yönetmeliğe göre NO_2 saatlik limit değeri 1 Ocak 2024'ten beri 200 µg/m³'tür.

Sınır Değer, Hedef Değer, Uyarı Eşiği ve Bilgilendirme Eşiği

Kamuoyunda sürekli karıştırılan dört terim, yönetmelikte farklı hukuki sonuçlar doğurur. HKDYY'nin 5. maddesi ayrımı açık kurar: **limit değerlere** öngörülen sürede ulaşılması ve sonrasında aşılmaması **esastır**, yani bağlayıcı bir yükümlülüktür. **Hedef değerlere** ise "ulaşılmaya çalışılması" esastır, yani çaba yükümlülüğüdür. **Bilgilendirme ve uyarı eşikleri** bambaşka bir kategoridir: bunlar yıllık uyum ölçütü değil, **acil durum tetikleyicileridir**.

Ozon için bilgilendirme eşiği **180 µg/m³**, uyarı eşiği **240 µg/m³**'tür (her ikisi de 1 saatlik ortalama). Geçiş rejiminin uyarı eşikleri ise 24 saatlik ortalama üzerinden dört kademelidir: SO_2 için **500, 850, 1.100 ve 1.500 µg/m³**, PM10 için **260, 400, 520 ve 650 µg/m³**. Bilgilendirme eşiği aşıldığında halkın, özellikle hassas grupların uyarılması; uyarı eşiği aşıldığında ise kısa vadeli eylem planının devreye girmesi beklenir.

Pratikte ayrımın anlamı şudur: bir şehirde yıllık PM10 ortalamasının sınır değeri aşması **temiz hava planı** yükümlülüğü doğurur, tek bir günün uyarı eşiğini aşması ise **o gün alınacak önlemleri** tetikler. İkisi farklı araçlardır ve biri diğerinin yerine geçmez.

AB Hava Kalitesi Direktifi'nin 2024 Revizyonu ve 2030 Değerleri

Avrupa Birliği, hava kalitesi mevzuatını **(AB) 2024/2881 sayılı direktifle**[3] yeniledi. Direktif 23 Ekim 2024'te kabul edildi, 20 Kasım 2024'te Resmî Gazete'de (OJ) yayımlandı, 10 Aralık 2024'te yürürlüğe girdi; üye devletlerin ulusal mevzuata aktarma tarihi **11 Aralık 2026**, yeni sınır değerlere uyum tarihi ise **1 Ocak 2030'dur**.

TABLO 2.3

Kirletici	Ortalama süre	2030 sınır değeri	İzin verilen aşım
PM2.5	Takvim yılı	**10 µg/m³**	yok
PM2.5	24 saatlik	**25 µg/m³**	yılda 18 defa
PM10	Takvim yılı	**20 µg/m³**	yok
PM10	24 saatlik	**45 µg/m³**	yılda 18 defa
NO_2	Takvim yılı	**20 µg/m³**	yok
NO_2	24 saatlik	**50 µg/m³**	yılda 18 defa
NO_2	Saatlik	**200 µg/m³**	yılda 3 defa
SO_2	Takvim yılı	**20 µg/m³**	yok
SO_2	24 saatlik	**50 µg/m³**	yılda 18 defa
SO_2	Saatlik	**350 µg/m³**	yılda 3 defa
Benzen	Takvim yılı	**3,4 µg/m³**	yok
CO	Maksimum günlük 8 saatlik	**10 mg/m³**	yok
CO	24 saatlik	**4 mg/m³**	yılda 18 defa

Revizyonun üç yeniliği teknik okuyucu için önemlidir. Birincisi, direktif **ortalama maruziyet azaltma yükümlülüğü** getirir: bir bölgenin ortalama maruziyet göstergesi PM2.5 için 12 µg/m³ ya da üzerindeyse, 2030'a kadar **%25 düşüş** zorunludur ve ortalama maruziyet derişim hedefi PM2.5'te **5 µg/m³**, NO_2'de **10 µg/m³**'tür. İkincisi, uyum tarihi belirli koşullarda **2035 ya da 2040'a** ertelenebilir, ancak bunun için 31 Aralık 2028'e kadar bir hava kalitesi yol haritası sunulması gerekir. Üçüncüsü, direktifin **28. maddesi** ihlalden zarar gören kişilere **tazminat hakkı** tanır, yani hava kalitesi yükümlülüğü ilk kez doğrudan bireysel hak doğuran bir çerçeveye bağlanmıştır. Direktif ayrıca WHO kılavuz değerlerine hizalanma konusunu **31 Aralık 2030'a kadar ve sonrasında beş yılda bir**, revize WHO kılavuzları gibi önemli yeni bilimsel bulgular ortaya çıkarsa daha sık gözden geçirmeyi taahhüt eder.

3. Kaynak: eur-lex.europa.eu

Türkiye için bu çerçevenin statüsü abartılmadan yazılmalıdır: Türkiye AB üyesi olmadığı için 2024/2881 doğrudan yükümlülük doğurmaz. Ancak HKDYY'nin kendisi AB'nin **önceki nesil** direktiflerinden (96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC) uyarlanmıştır; yani Türkiye'nin yasal çerçevesi, AB'nin bugün yürürlükten kaldırdığı bir mevzuat ailesinin izini taşır. Uyum süreci ve ticaret ilişkileri üzerinden etki dolaylıdır ama gerçektir.

Kılavuz Değer ile Sınır Değer Neden Aynı Şey Değildir?

Dünya Sağlık Örgütü'nün **2021 tarihli Küresel Hava Kalitesi Kılavuzu**[4] sağlık temelli referans değerler yayımlar ve bunlar hiçbir ülkede doğrudan yasal yükümlülük değildir. Kılavuz, bu serinin birinci bölümünde ayrıntısıyla ele alınan doz-yanıt literatürüne dayanır ve her kirletici için hem nihai **kılavuz değeri (AQG)** hem de ona giden yolda **ara hedefleri (IT1-IT4)** tanımlar.

TABLO 2.4

Kirletici	Ortalama süre	WHO 2021 kılavuz değeri	Ara hedefler (IT1 → IT4)
PM2.5	Yıllık	**5 µg/m³**	35 · 25 · 15 · 10
PM2.5	24 saatlik	**15 µg/m³**	75 · 50 · 37,5 · 25
PM10	Yıllık	**15 µg/m³**	70 · 50 · 30 · 20
PM10	24 saatlik	**45 µg/m³**	150 · 100 · 75 · 50
NO_2	Yıllık	**10 µg/m³**	40 · 30 · 20
NO_2	24 saatlik	**25 µg/m³**	120 · 50
SO_2	24 saatlik	**40 µg/m³**	125 · 50
O_3	Pik sezon	**60 µg/m³**	100 · 70
O_3	8 saatlik	**100 µg/m³**	160 · 120
CO	24 saatlik	**4 mg/m³**	7

Ara hedefler bu tablonun en az anlaşılan kısmıdır. Bunlar "kabul edilebilir kirlilik" düzeyleri değil, yüksek kirlilikli ülkelerin kademeli iyileşme için kullanabileceği **ara duraklardır**; kılavuzun kendisi nihai hedefin AQG olduğunu açıkça söyler. İkinci incelik kısa süreli değerlerdedir: 24 saatlik kılavuz değerler **99. yüzdebirlik** olarak tanımlanır, yani yılda üç ya da dört günlük aşıma izin veren istatistiksel bir ölçüttür.

Bir uyarı da 2005 ile kıyas için gerekir. 2021 revizyonu çoğu kirleticide değerleri sertleştirmiştir (PM2.5 yıllık 10'dan 5'e, NO_2 yıllık 40'tan 10'a), ancak SO_2'nin 24 saatlik

4. Kaynak: who.int

değeri **20'den 40 µg/m³**'e çıkmıştır. Bu bir gevşeme değil, yöntem değişikliğinin sonucudur ve kıyas yapılırken belirtilmesi gerekir.

Üç Çerçevenin Karşılaştırması ve Makasın Büyüklüğü

Üç çerçeve yan yana konduğunda tablo nettir.

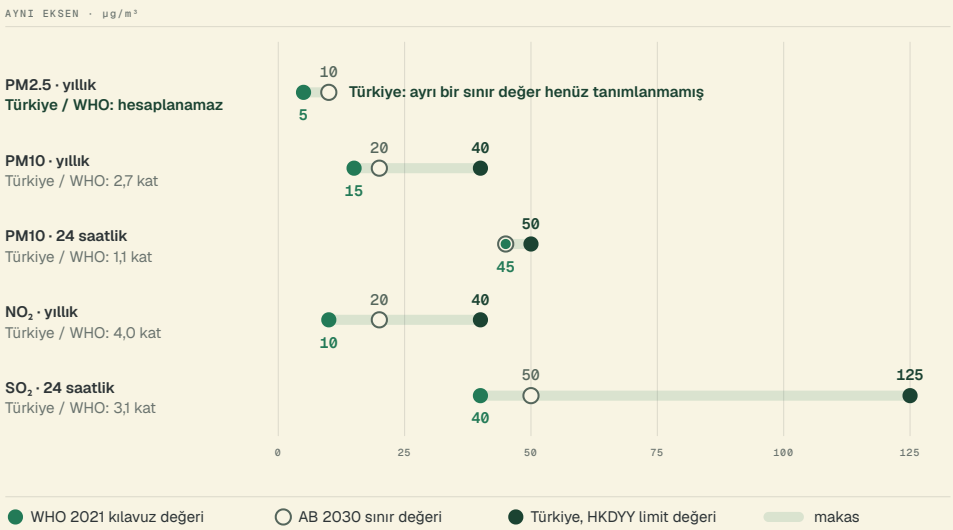
TABLO 2.5

Kirletici ve ortalama süre	WHO 2021 kılavuz değeri	Türkiye (HKDYY)	AB 2030	Makas (Türkiye / WHO)
PM2.5, yıllık	**5 µg/m³**	**henüz tanımlanmamış**	10 µg/m³	hesaplanamaz
PM10, yıllık	**15 µg/m³**	**40 µg/m³**	20 µg/m³	**2,7 kat**
PM10, 24 saatlik	**45 µg/m³**	**50 µg/m³**	45 µg/m³	1,1 kat
NO_2, yıllık	**10 µg/m³**	**40 µg/m³**	20 µg/m³	**4,0 kat**
SO_2, 24 saatlik	**40 µg/m³**	**125 µg/m³**	50 µg/m³	**3,1 kat**
CO, 24 saatlik	**4 mg/m³**	düzenlenmemiş (8 saatlik 10 mg/m³ var)	4 mg/m³	hesaplanamaz

ŞEKİL 2.2

Üç Çerçeve, Aynı Hava: WHO, AB ve Türkiye

Sağlık temelli kılavuz ile bağlayıcı sınır değer arasındaki makas yıllık değerlerde açılır, 24 saatlik değerlerde daralır. PM2.5 için Türkiye'de ayrı bir sınır değer henüz tanımlanmamıştır.



Kaynak: WHO Küresel Hava Kalitesi Kılavuzu 2021; (AB) 2024/2881 sayılı direktif, Ek I; HKDYY EK-I. PM10 24 saatlikte WHO ve AB değeri aynıdır (45). Değerler aşım toleranslarıyla birlikte okunmalıdır: PM10 24 saatlikte HKDYY yılda 35, AB 2030 yılda 18 aşıma izin verir; WHO değeri 99. yüzdebirliktir. CO farklı birimde (mg/m³) olduğu için grafiğe alınmamıştır.

Tablonun ilk satırı ayrıca ele alınmalıdır: **HKDYY'de PM2.5 için henüz ayrı bir sınır değer, hedef değer ya da değerlendirme eşiği tanımlanmamıştır.** Yönetmeliğin EK-I'inde "PM2,5" ibaresi hiç geçmez. PM2.5 yönetmelikte beş yerde anılır ve hiçbirinde sınır değer olarak geçmez: 4. maddedeki tanımda, 8. madde ile EK-II'deki **ölçüm yükümlülüğünde** (Bakanlık ve il müdürlükleri temsili PM2.5 verisi sağlayan istasyonları kurar ve işletir), 10. maddenin dokuzuncu fıkrasında ("PM10 planı PM2,5 derişimlerini azaltmayı da hedefler"), 14. maddedeki yıllık raporlama yükümlülüğünde ve EK-III'teki geçici referans metotta. EK-III'te PM2.5 için yalnızca **geçici referans metot** tanımlanmıştır: Bakanlıkça uygun görülen herhangi bir yöntem kullanılabilir, ölçümü yapan idare kullandığı yöntemi bildirmekle yükümlüdür.

Sonuç şudur: Türkiye'de PM2.5 ölçülür, raporlanır ve hava kalitesi değerlendirmelerinde anılır, ama temiz hava planını kendi başına tetikleyen ayrı bir **yasal eşiği henüz yoktur**. PM2.5 azaltımı bugün PM10 planlarının kapsamında ele alınır. Sağlık literatürünün en çok üzerinde durduğu fraksiyon olduğu için PM2.5'e özgü bir sınır değer, ulusal çerçevenin doğal güncelleme başlıklarından biridir.

Makası okurken bir tuzağa daha dikkat etmek gerekir: iki değerin oranı hikâyenin yarısıdır, diğer yarısı **aşım toleransıdır**. WHO'nun 24 saatlik değerleri yılda yaklaşık %1'lik bir aşıma izin veren 99. yüzdebirliktir; AB'nin 2030 rejiminde 24 saatlik değerler yılda 18 kez, yani yılın yaklaşık **%4,9'unda** aşılabilir; HKDYY'de PM10 için izin verilen aşım yılda **35 gün**, yani yılın **%9,6'sıdır**. Aynı sayısal eşik, farklı tolerans rejimleriyle çok farklı bir koruma düzeyi anlamına gelir.

KİLİT MESAJ

Bir hava kalitesi değerini okurken üç şeyi birlikte sormak gerekir: hangi çerçeveden geliyor (bağlayıcı sınır değer mi, sağlık temelli kılavuz mu), hangi ortalama süresine ait ve yılda kaç aşıma izin veriyor. Türkiye'nin yıllık sınır değerleri WHO kılavuz değerlerinin 2,7 ile 4 katı arasındadır (24 saatlik değerlerde makas daralır, PM10'da 1,1 kata iner), PM2.5 için ise yönetmelikte henüz ayrı bir sınır değer tanımlanmamıştır.

2.2 Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Nasıl Hesaplanır?

Sınır değerler uzmanın dilidir, indeks ise kamuoyunun. Hava kalitesi indeksi, farklı birimlerde ölçülen kirleticileri tek bir ölçeğe ve tek bir renge indirger. Bu indirgeme büyük bir iletişim kolaylığı sağlar ve aynı anda büyük bir bilgi kaybı yaratır; bu bölümün amacı ikisini birlikte göstermektir.

Kesme Noktaları ve Alt İndeks Mantığı

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın **Ulusal Hava Kalitesi İndeksi**, kendi belgesinin ifadesiyle "EPA Hava Kalitesi İndeksini ulusal mevzuatımız ve sınır değerlerimize uyarlayarak" oluşturulmuştur. İndeks **beş kirletici** için hesaplanır: PM10, CO, SO_2, NO_2 ve O_3. Listede **PM2.5 yer almaz**; bu, bir önceki bölümde anlatılan mevzuat çerçevesiyle tutarlıdır.

ŞEKİL 2.3

Hava Kalitesi İndeksi: Kesme Noktaları

Beş kirletici, altı kategori. Aynı indeks değeri, kirleticiye göre çok farklı derişimlere karşılık gelir; ortalama süreleri de farklıdır.

KESME NOKTALARI · µg/m³

Kategori ve sağlık mesajı		HKİ	SO_2 1 SAAT	NO_2 1 SAAT	CO 8 SAAT	O_3 8 SAAT	PM10 24 SAAT
İyi	Az riskli ya da risksiz	**0-50**	0-100	0-100	0-5.500	0-120	0-50
Orta	Hassas az sayıda kişi için orta düzeyde endişe	**51-100**	101-250	101-200	5.501-10.000	121-160	51-100
Hassas	Hassas gruplarda etki başlar, genel nüfus etkilenmez	**101-150**	251-500	201-500	10.001-16.000	161-180	101-260
Sağlıksız	Herkes etkilenmeye başlayabilir	**151-200**	501-850	501-1.000	16.001-24.000	181-240	261-400
Kötü	Acil durum: nüfusun tamamı etkilenebilir	**201-300**	851-1.100	1.001-2.000	24.001-32.000	241-700	401-520
Tehlikeli	Sağlık alarmı	**301-500**	> 1.101	> 2.001	> 32.001	> 701	> 521

Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalitesi İndeksi (US EPA indeksinin ulusal sınır değerlere uyarlanması). Her kirletici kendi bandına göre alt indekse çevrilir; günün indeksi en yüksek alt indekstir. PM2.5 indekste yer almaz. Renkler kategoriyi ayırt etmek içindir, resmî renk kodları değildir.

Derişim birimleri µg/m³'tür. Tablonun okunma mantığı şudur: her kirletici kendi bandına göre **0 ile 500 arasında bir alt indekse** çevrilir, sonra bu alt indeksler arasından biri genel indeks olarak seçilir.

Her bandın bir de sağlık mesajı vardır ve bu mesajlar indeksin asıl iletişim yükünü taşır. **İyi** bandı kirliliğin az riskli ya da risksiz olduğunu, **orta** bandı hassas olan az sayıda insan için orta düzeyde bir endişeyi, **hassas** bandı hassas gruplarda sağlık etkilerinin başladığını ama genel nüfusun etkilenmesinin beklenmediğini, **sağlıksız** bandı herkesin etkilenmeye başlayabileceğini, **kötü** bandı nüfusun tamamının etkilenme olasılığının yüksek olduğu bir acil durumu, **tehlikeli** bandı ise sağlık alarmını bildirir.

Doğrusal Enterpolasyon Formülü

Alt indeks, derişimin içine düştüğü bandın iki ucu arasında doğrusal enterpolasyonla bulunur. Formülün kanonik hâli, Türkiye indeksinin uyarlandığı US EPA teknik dokümanının[5] 1 numaralı denklemidir.

5. Kaynak: document.airnow.gov

DENKLEM 2.1 · HAVA KALİTESİ İNDEKSİ · ALT İNDEKS, DOĞRUSAL ENTERPOLASYON

$$I_{\mathrm{p}} = \frac{I_{\mathrm{Hi}} - I_{\mathrm{Lo}}}{BP_{\mathrm{Hi}} - BP_{\mathrm{Lo}}} \times (C_{\mathrm{p}} - BP_{\mathrm{Lo}}) + I_{\mathrm{Lo}} \qquad (2.1)$$

Genel indeks: ortalama değil, en yüksek alt indeks

$$\mathrm{HKİ} = \max\left(I_{\mathrm{PM10}}, I_{\mathrm{SO_2}}, I_{\mathrm{NO_2}}, I_{\mathrm{CO}}, I_{\mathrm{O_3}}\right)$$

Türkiye ulusal indeksi beş kirletici için hesaplanır; PM2.5 listede yoktur.

BURADA

- I_p p kirleticisinin alt indeksi (en yakın tam sayıya yuvarlanır)
- C_p kirleticinin kırpılmış derişimi
- BP_{Hi} C_p'den büyük ya da ona eşit kesme noktası
- BP_{Lo} C_p'den küçük ya da ona eşit kesme noktası
- I_{Hi} BP_{Hi}'ye karşılık gelen indeks değeri
- I_{Lo} BP_{Lo}'ya karşılık gelen indeks değeri

Kaynak: US EPA, Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality, Denklem 1. Türkiye'nin Ulusal Hava Kalitesi İndeksi aynı formülü kendi kesme noktalarıyla uygular; derişim önce kirleticiye özgü ondalık basamağa kırpılır, yuvarlanmaz.

Hesap adımları, EPA'nın kendi sırasıyla şöyledir. Önce ilgili alandaki en yüksek derişim seçilir ve kirleticiye özgü ondalık basamağa **kırpılır**, yuvarlanmaz. Ardından derişimi içine alan iki kesme noktası bulunur, denklem uygulanır ve çıkan alt indeks **en yakın tam sayıya yuvarlanır**. Son adım kritiktir: raporlanan genel indeks, kirletici başına hesaplanan alt indekslerin **en yükseğidir**, ortalaması değildir.

Çözümlü Örnek: Bir İstasyonun Günlük HKİ Değeri

ÖRNEK 2.1 Hava kalitesi indeksi

Bir istasyonun günlük HKİ değeri nasıl bulunur?

VERİLENLER PM10 118 µg/m³ (24 sa) SO_2 145 µg/m³ (1 sa) NO_2 210 µg/m³ (1 sa) CO 6.800 µg/m³ (8 sa) O_3 132 µg/m³ (8 sa)

1. PM10
bant 101-260 µg/m³ → indeks 101-150:
I = (150 − 101) / (260 − 101) × (118 − 101) + 101 ≈ 106,24 → **106**

2. SO_2
bant 101-250 µg/m³ → indeks 51-100:
I = (100 − 51) / (250 − 101) × (145 − 101) + 51 ≈ 65,47 → **65**

3. NO_2
bant 201-500 µg/m³ → indeks 101-150:
I = (150 − 101) / (500 − 201) × (210 − 201) + 101 ≈ 102,47 → **102**

4. CO
bant 5.501-10.000 µg/m³ → indeks 51-100:
I = (100 − 51) / (10.000 − 5.501) × (6.800 − 5.501) + 51 ≈ 65,15 → **65**

5. O_3
bant 121-160 µg/m³ → indeks 51-100:
I = (100 − 51) / (160 − 121) × (132 − 121) + 51 ≈ 64,82 → **65**

SONUÇ
HKİ = max(106, 65, 102, 65, 65) = 106 → Hassas (turuncu); ortalama alınsaydı 80,6 → Orta (sarı)

YORUM *Derişimler örnek amaçlıdır. Günü belirleyen PM10'dur; NO_2 da hassas bandın tabanındadır. Ortalama, baskın kirleticinin etkisini diğer dört kirleticiyle seyreltir ve günü bir kategori iyimser gösterir; indeksin maksimum kuralı tam da bunu engellemek için vardır.*

Örneğin sonucu, indeksin en çok yanlış anlaşılan özelliğini gösterir: beş alt indeksin ortalaması alınsaydı **80,6** çıkardı ve gün "orta" (sarı) görünürdü. Maksimum kuralı uygulandığında gün **106** ile "hassas" (turuncu) olur. İndeks bir ortalama değil, **en kötü kirleticinin fotoğrafıdır** ve bu tasarım bilinçlidir: sağlık riski, kirleticilerin ortalamasından değil, o gün baskın olan kirleticiden doğar.

İndeksin Sınırları: Tek Sayı Neyi Göstermez?

İndeksin bedeli üç başlıkta toplanır. **Birincisi, baskın kirleticiyi gizler.** 106'lık iki farklı gün, biri PM10 biri ozon kaynaklıysa, aynı rengi gösterir ama farklı önlem gerektirir; birinde ısınma ve trafik, diğerinde fotokimyasal etkinlik sorumludur. **İkincisi, ortalama sürelerini karıştırır.** Tabloda PM10 24 saatlik, SO_2 ve NO_2 1 saatlik, CO ve ozon 8 saatlik ortalamayla girer; yani tek bir sayı, farklı zaman pencerelerinden gelen

değerleri aynı ölçeğe koyar. **Üçüncüsü, kısa zirveleri yutar.** Bir saatlik keskin bir yükselme, 24 saatlik ortalamaya girdiğinde görünmez hâle gelebilir.

Türkiye indeksine özgü dördüncü bir sınır daha vardır: **PM2.5 indekste yer almadığı için**, ince partikülün baskın olduğu bir kış gününde indeks gerçek sağlık riskini olduğundan düşük gösterebilir. Bu serinin birinci bölümünde kurulan sağlık literatürü, ölüm ve hastalık yükünün ağırlıkla PM2.5 ile ilişkilendirildiğini söylüyordu; indeks ise o fraksiyonu hiç görmez.

Bu etki ölçülmüştür de. Temiz Hava Hakkı Platformu'nun 2025 derlemesi, mevcut indekse PM2.5 ölçümleri eklendiğinde hava kalitesi değerlendirmesinin **"orta" düzeyden "hassas" düzeye düştüğünü** saptamıştır. Bu yüzden kış aylarında indeks rengini okurken PM2.5 değerine de ayrıca bakmak yararlıdır.

> **UZMAN NOTU**
>
> İndeks tablosu, hazırlandığı dönemin değerlerini yansıtır. İndeks belgesindeki tablo NO_2 için 1 saatlik ulusal sınır değeri **250 µg/m³** olarak gösterir; HKDYY EK-I ise 1 Ocak 2024'ten itibaren geçerli değeri **200 µg/m³** olarak verir. 250 µg/m³, geçiş döneminde tolerans payıyla birlikte uygulanan değerdir. İki değeri aynı cümlede kıyaslarken hangi tarihe ve hangi belgeye ait olduğu belirtilmelidir.

Türkiye, AB ve ABD İndeksleri Neden Aynı Havaya Farklı Renk Verir?

Üç indeks sistemi de aynı mantığı kullanır (kesme noktası, alt indeks, maksimum kuralı) ama bantları farklıdır. Avrupa Çevre Ajansı'nın **European Air Quality Index**[6] (EAQI) sistemi altı bant kullanır ve "good" bandının üst sınırlarını doğrudan **WHO 2021 yıllık kılavuz değerlerine** eşitler: PM2.5 için 5, PM10 için 15, NO_2 için 10, SO_2 için 20, ozon için 60 µg/m³. US EPA ise gaz kirleticileri **hacimsel birimle** (ppm, ppb) indeksler.

Sonuç, pratikte şöyle görünür:

TABLO 2.6

Ölçülen değer	Türkiye HKİ	US EPA AQI	Avrupa EAQI
PM10 = 55 µg/m³ (24 sa.)	Orta	Moderate	Moderate
PM10 = 105 µg/m³ (24 sa.)	**Hassas**	**Moderate**	Moderate
PM10 = 200 µg/m³ (24 sa.)	Hassas	Unhealthy for Sensitive Groups	**Very poor**
NO_2 = 120 µg/m³ (1 sa.)	Orta	≈ 64 ppb, Moderate	**Very poor**

6. Kaynak: airindex.eea.europa.eu

Tabloda bir ayrıntı atlanmamalıdır: Avrupa indeksi bantlarını **1 saatlik** referansla tanımlar, Türkiye indeksi partikülde 24 saatlik ortalamayı kullanır; yani PM10 satırlarındaki kıyas tam eşdeğer değildir, büyüklük mertebesini gösterir.

Aynı 105 µg/m³'lük PM10 günü Türkiye'de turuncu, ABD'de sarı görünür. Fark havada değil, kesme noktasındadır. Bu yüzden uluslararası indeks kıyası, hangi sistemin kullanıldığı söylenmeden yapılamaz.

Bir birim uyarısı da gerekir: EPA tablolarını Türkiye ya da Avrupa tablolarıyla yan yana koymak için **ppb ile µg/m³ dönüşümü** yapılmalıdır ve dönüşüm katsayısı referans sıcaklığa bağlıdır. AB, gaz kirleticilerde hacmi **293 K (20 °C) ve 101,3 kPa**'ya standardize eder: NO_2 için 1 ppb = **1,91 µg/m³**, SO_2 için **2,66 µg/m³**, ozon için **2,00 µg/m³**, CO için 1 ppm = **1,16 mg/m³**. ABD literatüründe yaygın olan 298 K referansında bu katsayılar sırasıyla 1,88, 2,62, 1,96 ve 1,15'tir. Partikül maddede böyle bir standardizasyon yoktur; örnekleme hacmi ölçüm günündeki ortam koşullarına göre alınır.

Türkiye'de ayrıca aynı ülke içinde iki farklı tablo dolaşımdadır: İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin hava kalitesi portalı, ulusal uyarlamayı değil **ham EPA bantlarını** yayımlar (PM10 "iyi" bandı 0-54 µg/m³). İki tabloyu ayırt etmenin pratik işareti PM10'un "iyi" üst sınırıdır: ulusal indekste **50**, EPA indeksinde **54**.

2.3 Hava Kalitesi Nasıl İzlenir? Ağ, Uydu ve Sensörler

Ölçülmeyen kirlilik yönetilemez. Sınır değerin de indeksin de altında, bir ölçüm altyapısı ve o altyapının ürettiği verinin güvenilirliği sorunu vardır. Bu bölüm verinin nereden geldiğini, hangi koşulda geçerli sayıldığını ve uydu ile sensörlerin bu tabloya ne kattığını ele alır.

Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı ve İstasyon Tipleri

Türkiye'de düzenli hava kalitesi ölçümünün geçmişi **1961'de Ankara'da** başlar. Bugünkü ulusal ağın omurgası 2005 ile 2007 arasında 81 ilde kurulmuş, 2008'de Marmara Temiz Hava Merkezi, izleyen yıllarda diğer bölgesel merkezler devreye girmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Sürekli İzleme Merkezi, ağı **81 ilde 360 istasyon** olarak tanımlar. Yıl bazında yapılan derlemelerde istasyon sayısı 2022'de 340 ile 365, 2023'te 359 ile 380, 2024'te 380 civarında verilir; sayının kaynağa ve yıla göre değişmesi doğaldır, bu yüzden bir istasyon sayısı yazılırken **yılı ve kaynağı birlikte** yazılmalıdır. Ağda ölçülen ana kirleticiler PM10, CO, SO_2, NO_2 ve ozondur.

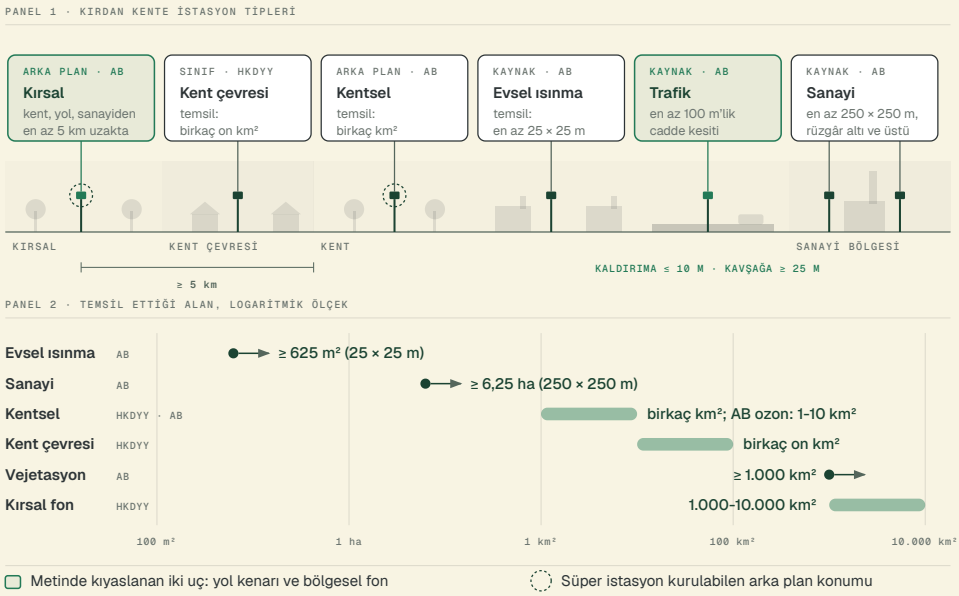
İstasyonlar birbirinin eşdeğeri değildir. HKDYY'nin EK-II'si, ozon örnekleme noktaları için istasyonları temsil ettikleri alana göre sınıflandırır: **kentsel** (birkaç km²), **kent çevresi** (birkaç on km²), **kırsal** (alt bölgesel) ve **kırsal fon** (1.000 ile 10.000 km²).

AB'nin 2024 direktifi sınıflandırmayı kaynak eksenine taşır ve altı tip tanımlar: kentsel arka plan, kırsal arka plan, trafik, sanayi (liman ve havaalanı dâhil), evsel ısınma ve **izleme süper istasyonu**. Direktif ayrıca kırsal arka plan istasyonunun kentlerden, ana yollardan ve sanayi bölgelerinden **5 kilometreden yakın olmamasını** şart koşar; sanayi istasyonlarının biri hâkim rüzgârın altında, biri üstünde konumlandırılır.

ŞEKİL 2.4

Bir İstasyon Neyi Temsil Eder?

Aynı ağdaki iki istasyonun değeri, temsil ettikleri alan bir milyon kattan fazla farklı olabildiği için doğrudan kıyaslanamaz: biri yol kenarındaki maruziyeti, öteki bölgesel fonu ölçer.



Kaynak: HKDYY EK-II (ozon örnekleme noktaları için temsil alanı sınıfları: kentsel birkaç km², kent çevresi birkaç on km², kırsal fon 1.000-10.000 km²); (AB) 2024/2881 sayılı direktif, Ek III-IV (istasyon tipleri, yer seçimi, süper istasyon: kentsel arka planda her 10 milyon kişi, kırsal arka planda her 100.000 km² için en az bir). Kesit ölçeksizdir. Trafik istasyonu alanla değil cadde kesitiyle tanımlandığı için alt ölçekte yer almaz.

İstasyon Yer Seçimi: Bir Ölçüm Neyi Temsil Eder?

Bir istasyonun verisi, şehrin ortalaması değildir. Mevzuat bunu **temsil ölçeği** kavramıyla düzenler ve her istasyon tipi için farklı bir alan tanımlar. AB direktifinin yer seçimi kuralları metrik düzeydedir: trafik istasyonu **en az 100 metrelik bir cadde kesitini**, evsel ısınma istasyonu **en az 25 × 25 metrelik** bir alanı, sanayi istasyonu **en az 250 × 250 metrelik** bir alanı temsil etmelidir. Vejetasyonun korunmasına yönelik istasyonlar **en az 1.000 km²**'yi temsil eder ve kentlerden 20, ana yollardan 5 kilometre uzakta kurulur; kentsel arka planda ozon ölçen bir istasyonun temsil ettiği alan ise 1 ile 10 km² arasındadır.

Mikro ölçekte de kurallar vardır ve ölçümün geçerliliğini doğrudan etkiler: numune alma girişinin çevresinde hava akışı **en az 270 derecelik** bir açıyla serbest olmalı (bina hattındaki istasyonlarda 180 derece), giriş en yakın engelden **1,5 metre** uzakta ve yerden **0,5 ile 4 metre** yükseklikte bulunmalı, trafik istasyonlarında kavşaklardan **en az 25 metre** uzakta ve kaldırım kenarından **en fazla 10 metre** mesafede konumlandırılmalıdır.

Bu kurallar pratik bir sonuç doğurur: bir trafik istasyonunun NO_2 değeri ile kırsal arka plan istasyonunun değeri aynı tabloda kıyaslanamaz. İki ölçüm farklı soruları yanıtlar, biri yol kenarındaki maruziyeti, diğeri bölgesel fonu gösterir.

AB'nin 2024 revizyonu ağ tasarımına iki yenilik getirmiştir ve ikisi de izlemenin kapsamını genişletir. Birincisi **izleme süper istasyonu** kavramıdır: kentsel arka planda her **10 milyon nüfus** için en az bir süper istasyon kurulur; kırsal arka planda ölçüt nüfus değil **yüzölçümüdür**, yüzölçümü 10.000 km²'yi aşan üye devlet en az bir, 100.000 km²'yi aşan her **100.000 km² için** bir kırsal süper istasyon kurar. Bu istasyonlar klasik beş kirleticinin ötesinde ölçüm yapar. İkincisi, bugüne kadar düzenli ağ ölçümünün dışında kalan kirleticilerin izlemeye alınmasıdır: **siyah karbon, amonyak ve ultra ince partikül** için ilk kez asgari veri yakalama oranı tanımlanmıştır. Bu iki yenilik, hava kalitesi ağının yalnız uyum denetimi için değil, kaynak analizi ve sağlık araştırması için de veri üretmesi yönünde bir kaymaya işaret eder; bu kirleticilerin rutin ölçümü, Türkiye ağı için de önümüzdeki dönemin gelişim başlıkları arasındadır.

Veri Geçerlilik (Yakalama) Oranı Neden Kritiktir?

Bir istasyonun yıl boyunca kaç saat geçerli veri ürettiği, o istasyonun yıllık ortalamasının anlamlı olup olmadığını belirler. HKDYY'nin EK-II'si sürekli sabit ölçüm için **asgari %90 veri alımı** şartı koyar ve ölçüm belirsizliği için kirletici bazında tavanlar tanımlar: SO_2, NO_2 ve NO_x ile CO ve ozonda **%15**, partikül madde ve kurşunda **%25**, benzende **%25**.

İstatistiklerin geçerliliği ayrı bir ekte düzenlenir: bir saatlik ortalamanın geçerli sayılması için o saatin **%75'inde (45 dakika)**, sekiz saatlik ortalama için sekiz saatin **%75'inde**, maksimum günlük sekiz saatlik ortalama için günün **18 adet** sekiz saatlik diliminde veri bulunmalıdır. Yıllık ortalamanın geçerliliği ise iki ayrı mevsim için ayrı ayrı aranır: **yaz dönemi (Nisan-Eylül) ve kış dönemi (Ocak-Mart ile Ekim-Aralık) için ayrı ayrı %75**. AB'nin 2024 direktifi sabit ölçümlerde asgari veri yakalamayı **%85**, gösterge ölçümlerde yıllık **%13** olarak belirler ve siyah karbon, amonyak ile ultra ince partikül için ilk kez **%80**'lik bir eşik getirir.

Bu eşikler kâğıt üzerinde teknik görünür, ama değerlendirmenin kapsamını doğrudan belirler. Temiz Hava Hakkı Platformu'nun Bakanlık ham verisine dayanan

endirmeye yetecek veriyi üretmiştir; 2023'te altyapı **359** istasyona çıkarken bu sayı **216** olmuştur. Ağ genişledikçe veri sürekliliği de öne çıkan bir konu hâline gelmektedir. Parametre bazında 2022 tablosu şöyledir: yeterli veri oranı PM10'da **%61**, SO_2'de **%54**, NO_2'de **%43** ve PM2.5'te **%25**'tir. Bu yüzdelerin paydası ağdaki toplam istasyon sayısıdır (365), bir önceki cümledeki 225 ise yalnız PM10 ölçüm altyapısı bulunan 340 istasyon içindeki paydır. 2024 verisinde NO_2 **319** istasyonda ölçülmekte ve **150'sinde (%47)** değerlendirilebilir veri elde edilmekte, PM2.5 ölçen **189** istasyonun **113'ü** eşiği geçmektedir. Aynı yıl uzun dönemli trend analizine **11 istasyon** dâhil edilebilmiştir.

> **UZMAN NOTU**
>
> Düşük yakalama oranı, bir istasyonu sessizce "temiz" gösterebilir. Isınma sezonunda bakım ya da arıza nedeniyle uzun süre veri üretmeyen bir cihazın yıllık ortalaması, kirliliğin en yüksek olduğu dönemi dışarıda bıraktığı için olduğundan düşük çıkar. Bu yüzden yıllık ortalamanın yanında **veri yakalama oranının** da verilmesi tabloyu güçlendirir; mevzuatın mevsim bazlı %75 kuralı da bu etkiyi dengelemek için vardır.

Referans Yöntem, Eşdeğerlik ve Kalibrasyon

Bir ölçümün karşılaştırılabilir olması için yöntemin standart olması gerekir. AB direktifi kirletici başına referans yöntemi standart numarasıyla belirler: SO_2 için **EN 14212** (ultraviyole floresans), NO_2 ve NO_x için **EN 14211** (kemilüminesans), PM10 ve PM2.5 için **EN 12341:2023** (gravimetrik), CO için **EN 14626** (kızılötesi), ozon için **EN 14625** (ultraviyole fotometri), benzen için **EN 14662** serisi, arsenik, kadmiyum, kurşun ve nikel için **EN 14902**, benzo(a)piren için **EN 15549**.

Türkiye'nin EK-III'ü aynı mantığı kurar ama bir yerde ayrılır: SO_2 için **ISO/FDIS 10498** referans alınırken, **PM2.5 için yalnız geçici bir referans metot** tanımlanmıştır, yani Bakanlıkça uygun görülen herhangi bir yöntem kullanılabilir. Ölçüm yapan idare kullandığı yöntemi bildirmekle yükümlüdür. Bu, PM2.5'in yasal statüsündeki boşluğun ölçüm tarafındaki karşılığıdır.

Referans yöntem dışında bir cihaz kullanılacaksa **eşdeğerlik** gösterilmesi gerekir: cihazın referans yöntemle karşılaştırmalı olarak çalıştırılması ve belirsizliğinin mevzuattaki tavanın altında kaldığının kanıtlanması. Eşdeğerliği gösterilmemiş bir cihazın verisi uyum değerlendirmesinde kullanılamaz, yalnız **gösterge ölçüm** sayılır ve gösterge ölçümler için belirsizlik tavanı daha geniştir.

Uydu Verisi ve Düşük Maliyetli Sensörlerin Tamamlayıcı Rolü

Son on yılda iki teknoloji ağın yanına yerleşti ve ikisi de referans ölçümün yerine geçmez.

Uydu gözlemi yer seviyesi derişimini değil, atmosfer **sütunundaki** toplam miktarı ölçer. Sentinel-5P uydusundaki TROPOMI[7] aracı troposferik NO_2 sütun yoğunluğunu molekül/cm² biriminde verir ve yatay çözünürlüğü **3,5 × 5,5 km²**'dir. Doğruluk tarafında misyonun kendi gereksinimi **%50 yanlılık** sınırıdır; 34 yer istasyonuyla yapılan karşılaştırmada medyan yanlılık **−%27,7** ölçülmüştür. Daha önemlisi, yanlılık kirlilik düzeyine bağlıdır: temiz koşullarda yaklaşık **+%12**, yüksek kirlilikte **−%40**. Yani uydu, en çok işe yarayacağı kirli koşullarda en çok yanılma eğilimindedir. Uydu verisi buna rağmen değerlidir, çünkü istasyon bulunmayan alanlarda **uzamsal dağılımı** gösterir; Copernicus'un CAMS sistemi 11 modelli topluluk tahminini yaklaşık **10 kilometrelik** çözünürlükte sunar, MAIAC algoritması aerosol optik derinliğini **1 × 1 km**'ye indirir.

Düşük maliyetli sensörler uzamsal yoğunluk sağlar, doğruluk sağlamaz. Optik partikül sayıcılarının en bilinen zayıflığı nem duyarlılığıdır: bağıl nem **%50'nin** üzerine çıktığında higroskopik büyüme nedeniyle okuma şişer. Nem ve sıcaklığı yordayıcı olarak alan düzeltme modelleri hata metriklerini **%16 ile %23** arasında iyileştirir, ancak bazı sensör modellerinin düzeltme sonrası hatası bile EPA'nın **7 µg/m³**'lük kök ortalama kare hata ölçütünü aşar. Kalibrasyonun her ortam için ayrı yapılması gerekir; bir şehirde kalibre edilmiş bir sensör, başka bir iklimde aynı doğrulukta çalışmaz. Avrupa'da sensörlerin performans sınıflandırması **CEN/TS 17660-1:2021** ve **CEN/TS 17660-2:2024** teknik şartnameleriyle yapılır ve sensörler sınıf 1, 2 ve 3 olarak derecelendirilir.



7. Kaynak: mpc-vdaf.tropomi.eu

Türkiye için uydu tabanlı bir uzun dönem kestirimi tabloyu tamamlar: 1998-2019 dönemini kapsayan bir çalışmada ülke genelinde yıllık ortalama PM2.5 **13,0 ile 18,0 µg/m³** arasında, dönem ortalaması **15,2 µg/m³** bulunmuş, ülkenin yaklaşık **%90'ında artış eğilimi** saptanmıştır; en yüksek değerler Bursa ve Kütahya çevresindedir. Bakanlık ayrıca mahalle ölçeğinde modelleme için **NEFES** adlı yerli yazılımı temiz hava eylem planlarında kullanmaktadır.

KİLİT MESAJ

Hava kalitesi verisi üç katmanlıdır ve katmanlar birbirinin yerine geçmez. Referans istasyonlar hukuken geçerli, noktasal ve pahalıdır; uydu geniş alanı tarar ama yer seviyesini dolaylı kestirir; düşük maliyetli sensörler yoğun ağ kurar ama kalibrasyona bağımlıdır. Bir veri setini okurken sorulacak ilk soru hangi katmandan geldiği, ikincisi veri yakalama oranının ne olduğudur.

2.4 Emisyon Envanteri Nasıl Kurulur?

Ölçüm, havada **ne olduğunu** söyler; envanter, o havaya **kimin ne kadar verdiğini**. İkisi farklı disiplinlerdir ve birbirinin yerine geçmez: bir istasyon kirliliği görür ama kaynağını bilmez, bir envanter kaynağı hesaplar ama havada ne olduğunu ölçmez. Bu bölüm envanterin nasıl kurulduğunu, hangi belirsizlikle taşındığını ve ölçümle nasıl çapraz doğrulandığını anlatır. Serinin beşinci ve altıncı bölümleri kendi sektörlerinin faktörlerini uygularken yöntemi yeniden kurmayacak, buraya geri referans verecektir.

Kanonik Denklem: E = A × EF

Emisyon envanterinin tamamı tek bir çarpmaya dayanır: bir faaliyetin büyüklüğü, o faaliyetin birim başına ne kadar kirletici saldığıyla çarpılır.

DENKLEM 2.2 · EMİSYON ENVANTERİ · KANONİK DENKLEM

$$E = A \times EF \tag{2.2}$$

AP-42 genişletmesi: kontrol teknolojisi hesaba katıldığında

$$E = A \times EF \times \left(1 - ER / 100\right)$$

EMEP/EEA Kılavuzu'nda Tier 1 azaltım etkisini taşımaz; azaltım hesaba katılacaksa Tier 2 ya da Tier 3 gerekir.

BURADA

- E emisyon (tipik olarak ton/yıl ya da kiloton/yıl)
- A aktivite verisi: GJ yakıt, ton ürün, araç-km, hayvan sayısı
- EF emisyon faktörü, aktivite biriminin tersine bağlı: g/GJ, kg/ton ürün, g/araç-km
- ER azaltım verimi (%): yakalama ve yok etme veriminin birleşimi

Kaynak: EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyon Envanteri Kılavuzu 2023 (Tier 1 algoritması); US EPA AP-42 giriş bölümü. Faktörün birimi her kullanımda açıkça yazılır: birim karıştırılırsa sonuç büyüklük mertebesi kadar sapar.

Denklemde **E** emisyonu (tipik olarak ton/yıl ya da kiloton/yıl), **A** aktivite verisini, **EF** ise emisyon faktörünü gösterir. Aktivite verisi faaliyetin doğasına göre değişir: yakılan yakıtın enerji içeriği (GJ), yakıt kütlesi (ton), katedilen mesafe (araç-km), üretilen ürün miktarı (ton), hayvan sayısı ya da hane sayısı. Emisyon faktörü de aynı mantıkla aktivite biriminin tersine bağlanır: g/GJ, g/kg yakıt, g/araç-km, kg/ton ürün. **Emisyon faktörünün birimi her kullanımda açıkça yazılmalıdır**, çünkü aynı kirletici için farklı birimlerde faktörler dolaşımdadır ve birim karıştırıldığında sonuç büyüklük mertebesi kadar sapar.

Avrupa'nın yöntem kılavuzu **EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyon Envanteri Kılavuzu**[8]**'dur** (2023 sürümü, 2024 ve 2025 güncellemeleriyle). ABD tarafında US EPA'nın **AP-42**[9] derlemesi kullanılır ve AP-42 denklemi kontrol teknolojisini de hesaba katacak biçimde genişletir: emisyon, aktivite ile faktörün çarpımının **(1 − ER/100)** ile ölçeklenmesidir; burada ER, yakalama verimi ile yok etme veriminin birleşik azaltım yüzdesidir.

Aktivite Verisi Nereden Gelir?

Türkiye'de ulusal envanterin aktivite verisi birkaç kaynaktan toplanır: Türkiye İstatistik Kurumu'nun enerji dengesi tabloları (yakıt tüketimi), motorlu kara taşıtları istatistikleri (araç sayısı ve tipi), sanayi üretim istatistikleri (ürün miktarı), tarımsal yapı istatistikleri (hayvan sayısı ve gübre kullanımı) ve tesis bazlı bildirimler. Bu sonuncusu

8. Kaynak: eea.europa.eu
9. Kaynak: epa.gov
10. Yeşil Ajanda'da: yesilajanda.com/kirletici-salim-ve-tasima-kaydi-kstk-nedir

indeki tesisler salımlarını bildirir ve bu bildirimler envanterin en ayrıntılı girdisini oluşturur.

Aktivite verisinin kalitesi, envanterin kalitesinin tabanıdır. Kılavuzun kendi değerlendirmesine göre ulusal istatistik kurumlarından gelen enerji verisinin belirsizliği **%0 ile %2**, Uluslararası Enerji Ajansı'nın OECD ülkeleri verisininki **%2 ile %3**, OECD dışı ülkeler verisininki **%5 ile %10**, varsayılan değerlere dayanan tahminlerinki ise **%30 ile %100** arasındadır.

EMEP/EEA Kılavuzu, AP-42 ve Kademe (Tier) Yaklaşımı

Envanter hesabı tek bir ayrıntı düzeyinde yapılmaz. Kılavuz üç kademe tanımlar ve bir ülke aynı envanterin farklı kategorilerinde farklı kademeler kullanır.

Tier 1, geniş bir NFR kategorisi için tek bir ortalama varsayılan faktör kullanır. Hızlıdır ve az veri ister, ama iki sınırı vardır: anahtar kategorilerde yetersiz kalır ve **azaltım seçeneklerinin etkisi hesaba katılacaksa uygulanamaz**, çünkü varsayılan faktör teknoloji ayrımı taşımaz. **Tier 2**, aktivite verisini teknolojiye göre katmanlara ayırır ve her katmana kendi faktörünü uygular; örneğin konut ısınmasını yakıt ve soba tipine göre bölmek bu kademedir. **Tier 3**, tesis düzeyinde ölçüm verisine ya da cihaz popülasyonunun modellenmesine dayanır ve en yüksek doğruluğu verir.

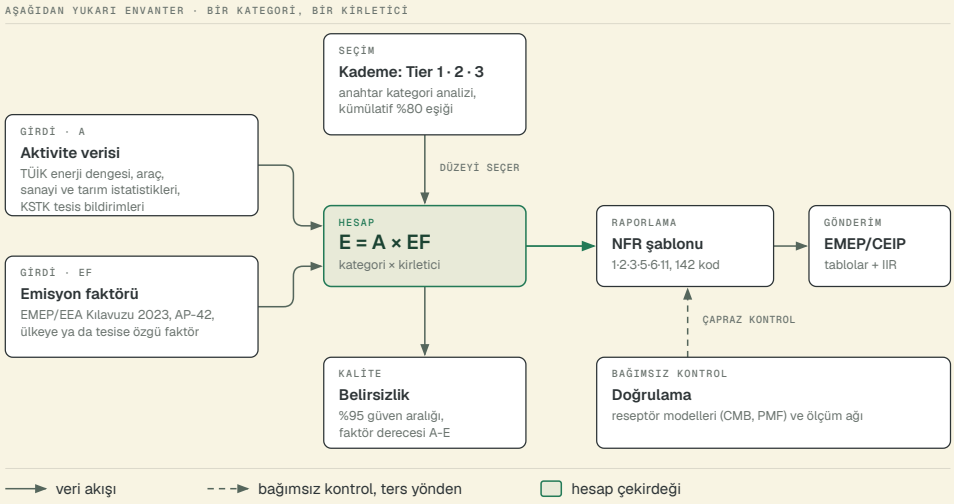
Kılavuzun küçük ölçekli yanma bölümündeki açıklaması kayda değerdir: birçok ülke Tier 2 için gereken teknoloji kırılımlı veriye sahip olmadığından o kategoride **Tier 1 uygulamak zorunda kalmaktadır**. Bu yüzden ulusal envanterler pratikte bir **kademe karışımıdır** ve bir envanteri değerlendirirken hangi kategorinin hangi kademeyle hesaplandığı, toplam sayıdan daha bilgilendiricidir.

Kademe seçimi keyfi değildir, **anahtar kategori** analizine bağlanır: bir kategori ulusal toplama kümülatif olarak büyük katkı veriyorsa (tipik eşik toplamın %80'ini oluşturan kategoriler) o kategori için daha yüksek kademe beklenir. Türkiye'nin envanterinde anahtar kategoriler kirletici bazında farklıdır; örneğin partikül tarafında konutların sabit yakma tesisleri, kükürt tarafında kamu elektrik ve ısı üretimi anahtar kategoridir.

ŞEKİL 2.5

Emisyon Envanteri Nasıl Kurulur?

Envanter bir ölçüm değil, bir hesaptır: iki girdi, bir kademe seçimi ve bir çarpım. Doğruluğu ise ters yönden, havada ölçülenle kontrol edilir.



Kaynak: EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyon Envanteri Kılavuzu 2023, Bölüm A (kademe yaklaşımı, anahtar kategori, belirsizlik); CEIP raporlama talimatları (NFR şablonu, bilgilendirici envanter raporu); US EPA AP-42 ve PMF 5.0. Boş görünen NFR hücreleri IE (başka yerde dâhil), NE (tahmin edilmemiş), NA (uygulanamaz) ya da NO (gerçekleşmiyor) işaretlidir, sıfır emisyon anlamına gelmez.

AP-42 ise faktörlerini bir **kalite derecesiyle** birlikte yayımlar. Derece A, çok sayıda rastgele seçilmiş tesisten alınan ölçümlere dayanan mükemmel faktörü; derece E ise zayıf veriye dayanan faktörü gösterir. Aynı tabloda çok farklı dereceler bir arada bulunabilir: doğalgazlı büyük duvar ateşlemeli kazanlar için NO_x faktörü **A** derecesindeyken, aynı sayfadaki N_2O faktörü **E** derecesindedir. EPA'nın kendi uyarısı da nettir: faktör dereceleri **istatistiksel hata sınırı ya da güven aralığı ima etmez** ve AP-42 faktörleri tek başına tesise özgü uyum belirlemesinde kullanılmamalıdır.

Çözümlü Örnek: Bir Kaynağın Yıllık Emisyonu

ÖRNEK 2.2 Emisyon envanteri, Tier 1

Kömürle ısınan bir yerleşimin yıllık emisyonu

VERİLENLER konutlarda yakılan kömür 20.000 t/yıl (varsayımsal)
alt ısıl değer 25 GJ/t (varsayımsal) EF PM2.5 398 g/GJ (%95 GA 72-480)
EF SO_2 900 g/GJ (%95 GA 300-1.000)

1. Aktiviteyi enerji birimine çevir
A = 20.000 t × 25 GJ/t = **500.000 GJ**

2. PM2.5
E = 500.000 GJ × 398 g/GJ = 199.000.000 g = **199 t/yıl**

3. SO_2
E = 500.000 GJ × 900 g/GJ = 450.000.000 g = **450 t/yıl**

4. Güven aralığını taşı
PM2.5: 500.000 × (72…480) g → **36…240 t/yıl**; SO_2: 500.000 × (300…1.000) g → **150…500 t/yıl**

SONUÇ PM2.5 ≈ **199 t/yıl** (36-240) · SO_2 ≈ **450 t/yıl** (150-500)

YORUM *Aktivite verisi varsayımsaldır; faktörler EMEP/EEA Kılavuzu 2023, küçük ölçekli yanma bölümü, NFR 1.A.4.b.i, Tablo 3-3 (taş kömürü ve linyit, Tier 1) değerleridir. Sonuç tek bir sayı değil bir banttır: PM2.5'te alt ve üst uç arasında yaklaşık 6,7 kat fark vardır.*

Örnekteki iki ayrıntı yöntemin tamamını özetler. Birincisi, aktivite verisi **enerji birimine** çevrilmeden faktör uygulanamaz: kömürün kütlesi ile alt ısıl değeri çarpılmadan g/GJ cinsinden bir faktör kullanılamaz. İkincisi, sonucun kendisi bir aralıktır; aynı hesap kılavuzun verdiği %95 güven aralığıyla tekrarlandığında yıllık PM2.5 emisyonu tek bir sayı değil, geniş bir bant olarak çıkar.

Belirsizlik: Bir Envanter Ne Kadar Doğrudur?

Envanter bir ölçüm değil, bir hesaptır; dolayısıyla her hücresi bir belirsizlik taşır. Kılavuz belirsizliği **%95 güven aralığı** olarak, yani dağılımın 2,5. ve 97,5. yüzdebirlikleri arasındaki bant olarak tanımlar ve faktör kalite derecelerini sayısal aralıklara bağlar: derece **A** için tipik hata **%10 ile %30**, **B** için **%20 ile %60**, **C** için **%50 ile %200**, **D** için **%100 ile %300**, **E** için ise **büyüklük mertebesi** düzeyinde.

Belirsizlik kirleticiye ve sektöre göre dramatik biçimde değişir. Enerji üretimi ve sanayi yakmada SO_2 faktörleri **A**, NO_x **B**, partikül madde **C**, amonyak ise **E** derecesindedir; tarımda amonyak **D**, partikül madde **E**; doğal kaynaklarda neredeyse her şey D ile E arasındadır. Bunun pratik anlamı şudur: Türkiye'nin SO_2 envanterine yaklaşık **%10-30** bantla güvenilebilirken, amonyak envanteri büyüklük mertebesi belirsizliği taşır ve bu iki sayı aynı kesinlikte sunulamaz.

Kılavuzun kendi verdiği sayısal örnekler bandın genişliğini gösterir: evsel kömür yakmada SO_2 faktörü **900 g/GJ** ve %95 aralığı **300 ile 1.000**; aynı kaynakta PM2.5 faktörü **398 g/GJ** ve aralığı **72 ile 480**; biyokütle yakmada NMVOC faktörü **600 g/GJ** ve aralığı **20 ile 3.000**; aynı kaynakta benzo(a)piren faktörü **121 mg/GJ** ve aralığı **12 ile 1.210**.

Belirsizlikler çarpıldığında ve toplandığında nasıl birleşir?

DENKLEM 2.3 · ENVANTER BELİRSİZLİĞİ · HATA YAYILIMI, ÇARPMA KURALI

$$U_{\text{toplam}} = \sqrt{U_1^{\,2} + U_2^{\,2} + \ldots + U_n^{\,2}} \tag{2.3}$$

Toplama kuralı: sektörler toplanırken

$$U_{\text{toplam}} = \sqrt{[\,(U_1 \cdot x_1)^2 + \ldots + (U_n \cdot x_n)^2\,]} \;/\; |\,x_1 + \ldots + x_n\,|$$

Üstteki çarpma kuralı A × EF gibi çarpımlarda kullanılır. Örnek: aktivite %5, faktör %60 ise $\sqrt{(5^2 + 60^2)}$ = **%60,2**; aktivite %2'ye inse bile sonuç **%60,0** olur.

BURADA

- U_i yüzde belirsizlik: %95 güven aralığının yarısı, ortalamaya bölünmüş
- x_i toplanan büyüklük (ör. bir sektörün emisyonu)
- U_{toplam} birleşik yüzde belirsizlik

Kaynak: EMEP/EEA Kılavuzu 2023, Part A, belirsizlik bölümü; IPCC 2006 Kılavuzu hata yayılımı denklemleri. Kurallar belirsizliklerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayar ve yalnız nicelenebilen hatayı taşır; sistematik hatalar bu aritmetiğe girmez.

Birleştirme kuralının sezgiye aykırı bir sonucu vardır. Aktivite verisinin belirsizliği %5, emisyon faktörününki %60 ise, çarpım kuralı toplam belirsizliği **%60,2** verir. Aktivite verisi iyileştirilip belirsizliği %2'ye indirilse sonuç **%60,0** olur, yani pratikte hiç değişmez. Envanterin doğruluğunu artırmanın yolu, baskın belirsizliği taşıyan bileşeni (burada emisyon faktörünü) iyileştirmekten geçer; zaten iyi olan bileşeni daha da iyileştirmek kaynak israfıdır.

UZMAN NOTU

Hesaplanan belirsizlik, gerçek belirsizliğin alt sınırıdır. Kılavuzun kendi ifadesiyle bu hesaplar yalnız bilinen ve nicelenebilen kaynakları kapsar; aktivite verisindeki eksik kapsama, yanlış kategori ataması ya da faktörün ülke koşullarına uymaması gibi **sistematik hatalar** bu aritmetiğe girmez. Bu yüzden iki envanterin belirsizlik yüzdelerini kıyaslamak, hangisinin daha doğru olduğunu söylemez; yalnız hangisinin belirsizliğini daha iyi belgelediğini söyler.

Kaynak Ayrıştırma ve Envanterin Doğrulanması

Envanter aşağıdan yukarı çalışır: kaynakları sayar ve toplar. Bunun bağımsız bir doğrulaması gerekir ve doğrulama ters yönden gelir. **Reseptör modelleri**, ölçüm noktasında toplanan partikülün kimyasal bileşimine bakarak hangi kaynak tipinin ne kadar

katkı verdiğini çözer. Temel denklem, ölçülen her kimyasal türün kaynak katkılarının toplamı olduğunu söyler: her kaynağın kütle katkısı, o kaynağın kimyasal parmak izi profiliyle çarpılır ve toplanır.

İki yöntem ailesi vardır. **Kimyasal kütle dengesi (CMB)** kaynak profillerinin bilindiğini varsayar ve yalnız katkıları çözer. **Pozitif matris ayrıştırma (PMF)**[11] ise hem profilleri hem katkıları bilinmeyen kabul eder ve her ikisinin de negatif olamayacağı kısıtı altında ağırlıklı en küçük kareler çözümü arar. EPA'nın PMF yazılımı hata tahmini için üç yöntem sunar: önyükleme, yer değiştirme ve ikisinin birleşimi.

Türkiye'de yapılmış çalışmalar yöntemin ne verdiğini somutlaştırır. İstanbul Beşiktaş'ta bir trafik istasyonunda 2017-2018 döneminde toplanan PM2.5 örnekleri, temel bileşen analiziyle **ikincil aerosol %43,9**, **evsel ısınma %34,6**, gemi kaynaklı **%8,7** ve araç kaynaklı **%6,7** biçiminde ayrıştırılmıştır. Çanakkale Biga'da 2021 örneklemesine dayanan bir PMF çalışması ise PM10 için **kabuk ve kireçtaşı tozu %64,9**, **kömürlü termik santral %11,2**, metal sanayi **%9,0**, deniz tuzu ve gemicilik **%8,5**, trafik ve yol tozu **%6,3** dağılımını bulmuştur. İzmir'de aynı veri setine hem PMF hem CMB uygulanan bir karşılaştırmada iki yöntem belirgin biçimde farklı sonuçlar vermiş, PMF'te belirlenemeyen pay **%40'ın üzerinde** kalırken CMB trafik payını **%70'in üzerinde** bulmuştur.

Bu son örnek, kaynak ayrıştırma sonuçlarının nasıl okunacağını da gösterir: yöntem seçimi sonucu değiştirir, bu yüzden tek bir çalışmanın yüzdeleri ulusal gerçek gibi sunulamaz. Reseptör modelleri envanteri doğrulamak ve kaba hataları yakalamak için değerlidir; envanterin yerine geçmez.

NFR Kategorileri ve Raporlama Biçimi

Ulusal envanterler serbest biçimde değil, ortak bir kategori ağacıyla raporlanır. Bu ağacın adı **NFR'dir** (Nomenclature For Reporting); literatürde yaygın olarak NFR14 diye anılsa da güncel resmî raporlama şablonunun kendi başlığı **NFR 2019'dur**. Üst düzeyde kategoriler enerji (1), sanayi prosesleri ve ürün kullanımı (2), tarım (3), atık (5), diğer (6) ve doğal kaynaklar (11) olarak ayrılır; her biri harf ve rakamlarla alt kırılımlara iner ve şablon 142 kod satırı içerir. Arazi kullanımı bu şemada yoktur, o iklim raporlamasının kategorisidir.

Enerji kategorisinin kırılımı, bu bölümün kaynak haritasını okumak için yeterlidir: **1.A.1** enerji endüstrilerini (1.A.1.a kamu elektrik ve ısı üretimi, 1.A.1.b petrol rafinasyonu, 1.A.1.c katı yakıt imalatı), **1.A.2** imalat sanayii ve inşaattaki yakmayı, **1.A.3** ulaştırmayı (1.A.3.a havacılık, 1.A.3.b karayolu, 1.A.3.c demiryolu, 1.A.3.d denizcilik), **1.A.4** küçük ölçekli yakmayı (1.A.4.a ticari ve kurumsal, 1.A.4.b konut, 1.A.4.c tarım ve ormancılık), **1.B** ise yakıtlardan kaçak emisyonları kapsar.

11. Kaynak: epa.gov

Diğer üst kategorilerin yapısı da aynı mantıkla iner. Sanayi prosesleri ve ürün kullanımı (2) mineral endüstrisi (2.A), kimya endüstrisi (2.B), metal üretimi (2.C), çözücü ve ürün kullanımı (2.D), kâğıt ve gıda sanayii gibi diğer prosesler (2.H) başlıklarına; tarım (3) hayvansal gübre yönetimi (3.B, hayvan türüne göre alt kodlarla), tarımsal topraklar (3.D, inorganik gübre ve otlatılan gübre ayrı kodlarla) ve tarımsal artık yakma (3.F) kalemlerine; atık (5) katı atık depolama (5.A), atıksu arıtma[12] (5.D) ve atık yakma kalemlerine ayrılır. Atık yakmada bir ayrım özellikle önemlidir: tıbbi atık yakma (5.C.1.b.iii) ile **açık yakma (5.C.2)** farklı kodlardır ve ikisi karıştırılmamalıdır.

Şablonda ayrıca "ulusal toplama dâhil edilmeyecek" bir **memo kalemleri** bloğu vardır: uluslararası havacılık ve denizcilik ile çok taraflı operasyonlar buraya girer. Bu ayrım, aşağıdaki kaynak haritasında sektör paylarının toplamının neden ulusal toplamı biraz aşabildiğini açıklar.

Bu yapı akademik bir ayrıntı değil, doğrulama aracıdır: aşağıdaki kaynak haritasının her satırı bir NFR kategorisidir ve okur, aynı kodu EMEP/CEIP veri tabanında arayarak sayıyı birincil kaynaktan kontrol edebilir.

Bir kapsam sınırı da burada çizilmelidir. Hava kirletici envanteri ile sera gazı emisyonları[13] envanteri ayrı rejimlerdir: farklı sözleşmelere, farklı kılavuzlara ve farklı raporlama tablolarına tabidir; Türkiye'de sera gazı tarafının piyasa aracı olan emisyon ticaret sistemi[14] de bu ayrı rejimin parçasıdır. Bu serideki her sayı hava kalitesi kirleticilerine aittir; sera gazı hesabı ve doğrulaması serinin kapsamı dışındadır.

KİLİT MESAJ

Bir envanter sayısı üç bilgiyle birlikte anlam taşır: hangi envanter yılına ait olduğu, hangi kademeyle (Tier) hesaplandığı ve hangi belirsizlik bandını taşıdığı. Bu üçü yazılmadan sunulan bir emisyon payı, ölçülmüş bir gerçek gibi görünen bir tahmindir.

2.5 Türkiye'de Uygulama ve Mevzuat

Standart, indeks, ölçüm ve envanter birer araçtır; bunları kimin işlettiği, verinin nereye aktığı ve aşım hâlinde ne olduğu ayrı bir sorudur. Bu bölüm Türkiye'deki kurumsal çerçeveyi ve okurun veriye ulaşma yolunu anlatır.

12. Yeşil Ajanda'da: yesilajanda.com/atiksu-aritimi-esaslari-temeller-ve-fiziksel-aritma
13. Yeşil Ajanda'da: yesilajanda.com/sera-gazi-emisyonlari-nedir-nedenleri-etkileri-azaltimi
14. Yeşil Ajanda'da: yesilajanda.com/tr-ets-yonetmeligi-rehberi-2026

HKDYY ve Yetkili Kurumlar

Hava kalitesi yönetiminin yasal dayanağı **2872 sayılı Çevre Kanunu'nun Ek 6. maddesidir**; HKDYY bu yetkiye dayanarak çıkarılmış ve 1986 tarihli Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nin yerine geçmiştir. Yönetmelik, AB'nin 2008 öncesi direktif ailesinden (96/62/EC çerçeve direktifi ile 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC kardeş direktifleri) uyarlanmıştır.

Yetki iki düzeyde dağıtılmıştır. **Bakanlık** hava kalitesi bölgelerini ve alt bölgelerini belirler, sınıflandırmayı **her beş yılda bir** gözden geçirir, ölçüm ağını işletir ve verinin kamuya açılmasını sağlar. **İl müdürlükleri** kendi bölgelerinde değerlendirme yapar ve sınır değer aşımı durumunda temiz hava planını hazırlar. Yönetmelik ayrıca PM2.5 için özel bir raporlama yükümlülüğü getirir: yıl sonundan itibaren **en geç yedi ay** içinde aritmetik ortalama, medyan, **98. yüzdebirlik** ve maksimum değerin bildirilmesi gerekir.

Ulusal İzleme Ağı ve Veriye Erişim

Türkiye'de hava kalitesi verisi kamuya açıktır ve bu, bölgedeki birçok ülkeye göre güçlü bir yandır. Veriye iki adresten ulaşılır: Bakanlığın **Sürekli İzleme Merkezi** portalı (sim.csb.gov.tr[15]) ve **havaizleme.gov.tr**. Portal istasyon bazında saatlik ve günlük değerleri, indeks karşılıklarını ve geçmiş veriyi sunar.

Yönetmeliğin 13. maddesi güncelleme sıklığını da bağlar: kükürt dioksit, azot dioksit, partikül madde, karbon monoksit ve ozon bilgileri **en az günlük** olarak güncellenir; uyarı eşiğinin aşıldığı durumlarda radyo ve televizyon yoluyla halkın bilgilendirilmesi zorunludur ve bilgilendirmenin asgari içeriği yönetmeliğin ekinde sayılmıştır.

Pratik bir uyarı: portaldan alınan ham veri, doğrudan yıllık ortalamaya çevrilmemelidir. Bu bölümün başında anlatılan **veri yakalama oranı** kuralı burada devreye girer; bir istasyonun yılın yarısında veri üretmediği durumda hesaplanan ortalama, mevzuat anlamında geçerli bir yıllık ortalama değildir.

Temiz Hava Eylem Planları

Sınır değer ve tolerans payı aşıldığında yönetmeliğin 10. maddesi **temiz hava planı** hazırlanmasını zorunlu kılar. Planın asgari içeriği yönetmeliğin ekinde belirlenmiştir: aşımın yeri ve nedeni, kaynak analizi, alınacak önlemler, takvim ve beklenen iyileşme. Yönetmelik planlama için iki ilke daha koyar: önlemlerin **orantılılık** ilkesine uygun olması ve plan hazırlanırken **halkın katılımının** sağlanması.

Bundan ayrı bir araç daha vardır: 11. maddeye göre uyarı eşiğinin ya da sınır değerin aşılma **riski** bulunduğunda **kısa vadeli eylem planı** devreye girer ve bu plan, gerektiğ

15. Kaynak: sim.csb.gov.tr

inde trafik dâhil belirli faaliyetlerin kısıtlanmasını ya da askıya alınmasını kapsayabilir. İki planı ayırt etmek gerekir: biri yapısal ve yıllık, diğeri anlık ve olaya bağlıdır.

Uygulamada planlar il il hazırlanmakta ve Bakanlık merkezî bir **hazırlama şablonu** yayımlayarak planların karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır. Planın hangi illerde zorunlu olduğu sık yanlış anlaşılır. Yönetmeliğin 10. maddesinin üçüncü fıkrası yükümlülüğü **koşula bağlar**: plan, ekte belirtilen "bir veya daha fazla limit değer artı tolerans payının aşılması" hâlinde hazırlanır. Yani temiz hava planı 81 ilin tamamı için otomatik bir belge değil, aşımın tespit edildiği yerler için doğan bir yükümlülüktür. Beş yıllık dönemler hâlinde hazırlanması ise yönetmelikten değil, Bakanlığın 2013 tarihli genelgesinden gelir.

2025-2029 dönemi planlarının hazırlık çalışmaları sürmektedir; Bakanlığın 2025 yılı idare faaliyet raporu da konuyu "planların çalışmaları devam etmektedir" ifadesiyle aktarır. Bu derlemede en az **25 ilin** 2025-2029 planı belge düzeyinde doğrulanabilmiştir (Adana, Ağrı, Bartın, Bayburt, Bitlis, Bolu, Diyarbakır, Düzce, Gaziantep, Gümüşhane, Hakkâri, Iğdır, İstanbul, Karaman, Kastamonu, Kırklareli, Kütahya, Sakarya, Samsun, Sinop, Şırnak, Tekirdağ, Trabzon, Tunceli, Van); gerçek sayı bundan yüksek olabilir.

Plan dönemleri illere göre farklı takvimlerde yenilenir; yeni dönem planı hazırlanana kadar bazı illerde önceki dönem planları yürürlükte kalmaktadır.

CLRTAP ve Gothenburg Protokolü Yükümlülükleri

Türkiye'nin ulusal emisyon envanterini neden her yıl hazırladığı sorusunun yanıtı uluslararası bir sözleşmededir. Türkiye, **Uzun Menzilli Sınırötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi'ne (CLRTAP) taraftır**: sözleşmeyi imzaya açıldığı gün, 13 Kasım 1979'da imzalamış, 18 Nisan 1983'te onaylamıştır. Sözleşmenin bugün 51 tarafı vardır. Taraf olmanın doğurduğu yükümlülük raporlamadır: ulusal emisyon envanteri her yıl hazırlanır ve sözleşmenin veri merkezine sunulur. Bu yazının kaynak haritası da tam olarak bu yükümlülüğün ürünüdür.

Sözleşmenin altındaki protokoller ise ayrı ayrı onaylanır ve burada tablo değişir. Kirletici azaltım taahhütlerini sayısallaştıran **Gothenburg Protokolü'ne (1999) Türkiye taraf değildir**; protokolün bugün 33 tarafı bulunmaktadır. Protokolü güncelleyen ve ilk kez PM2.5 için bağlayıcı azaltım taahhüdü getiren **2012 değişikliğine** de (7 Ekim 2019'da yürürlüğe girdi, 32 taraf) Türkiye taraf değildir. Bakanlık, protokole taraf olmadan önce teknik altyapının ve emisyon envanteri çalışmalarının güçlendirilmesini esas almaktadır.

Bu ayrımın pratik sonucu şudur: Türkiye **envanter raporlar ama sayısal azaltım taahhüdü taşımaz**. Karşılaştırma için Avrupa Birliği'nin Ulusal Emisyon Tavanları Direktifi (2016/2284), 2005 bazlı 2030 azaltım taahhütleri belirler; birlik toplamı için

bu taahhütler SO_2'de **%79**, NO_x'te **%63**, NMVOC'de **%40**, amonyakta **%19** ve PM2.5'te **%49**'dur. Türkiye için bu tür bir ulusal tavan henüz tanımlanmamıştır.

Aşım Hâlinde Ne Oluyor? İdari Sonuçlar ve İki Rejim

Yönetmelik aşımı iki araçla karşılar: temiz hava planı ve kısa vadeli eylem planı. Ayrıca 12. madde bir istisna rejimi tanımlar ve bu rejim pratikte önemlidir. Doğal kaynaklardan (örneğin çöl tozu taşınımı) kaynaklanan SO_2 ve PM10 aşımları, kış aylarında yollara serpilen kum ve tuzun yol açtığı PM10 aşımları, belirli koşullarda benzen aşımları ve kontamine alan yakınındaki kurşun değerleri için ayrı değerlendirme yapılabilir.

Buradan sonrası, kamuoyunda en çok yanlış bilinen noktadır: **ortam havasındaki bir sınır değer aşımı, doğrudan idari para cezası doğurmaz.** HKDYY'nin tam metninde "ceza", "yaptırım" ve "idari para cezası" ifadeleri hiç geçmez. Yönetmeliğin aşıma bağladığı sonuç idareye düşen bir **planlama yükümlülüğüdür**: gerçekleşmiş aşımda temiz hava planı, aşım riskinde kısa vadeli eylem planı.

Para cezaları ayrı bir rejimden, Çevre Kanunu'nun 20. maddesinden gelir ve bu maddenin bentleri **tesis ya da kişi fiiline** bağlıdır, ortam derişimine değil. Maddenin (b) bendi bunu açıkça gösterir: ceza, tesisin **emisyon miktarlarının** yönetmelikle belirlenen sınırları aşması hâlinde uygulanır, yani bacadan çıkan değerin aşımında. Dış ortam hava kalitesi aşımı ile tesis emisyonu aşımı farklı iki ölçüm ve farklı iki rejimdir; bu serinin üçüncü ve dördüncü bölümleri ikincisini ele alacaktır.

İki rejim arasındaki tek köprü dolaylıdır. Çevre Kanunu'nun 20. maddesinin (d) bendi, hava kirliliği bakımından **kirli bölge** sayılan yerlerde ya da **kritik meteorolojik şartların** oluştuğu dönemlerde işlenen fiillerde cezaların bir kat artırılmasını öngörür. Yani ortam kirliliği cezayı doğurmaz, ama cezayı ağırlaştırır. Zincir şöyle işler: ortam aşımı plan ya da mahallî çevre kurulu kararı doğurur, o karara aykırı davranış bir fiil oluşturur ve ceza o fiile kesilir.

2026 yılı için geçerli tutarlar, 30 Aralık 2025 tarihli ve 33123 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan tebliğle belirlenmiştir (yeniden değerleme oranı **%25,49**). Hava kirliliğiyle ilgili başlıca kalemler şunlardır:

TABLO 2.7

Fiil (2872 sayılı Kanun, madde 20)	2026 idari para cezası
İzin almaksızın emisyon doğuran tesis kurmak ya da işletmek	839.122 TL
İzne tâbi tesiste emisyon sınır değerlerinin aşılması	1.678.359 TL
Aynı fiilin kirli bölgede ya da kritik meteorolojik koşullarda işlenmesi	3.356.865 TL
İzne tâbi olmayan tesiste standart dışı emisyon	209.624 TL
Konutlarda standart dışı yakıt kullanımı (bağımsız bölüm başına)	10.354 TL
Araç egzoz ölçümünü süresinde yaptırmamak	17.957 TL

Özel çevre koruma bölgelerinde cezalar iki katı uygulanır, tekrarında artırım öngörülür ve Cumhurbaşkanı tutarları on katına kadar artırma yetkisine sahiptir. Para cezasının yanında daha ağır bir araç daha vardır: Çevre Kanunu'nun 15. maddesi, yükümlülüğünü yerine getirmeyen tesisin **faaliyetini durdurma** yetkisi verir.

Planlama yükümlülüğünün kapsamını veri gösterir: 2022'de yeterli veri üreten 225 istasyonun **198'inde (%88)** günlük PM10 sınır değeri yılda izin verilen 35 günden fazla aşılmıştır. Bu yaygınlık, temiz hava planlarını il düzeyinde hava kalitesi yönetiminin temel aracı yapar; plan uygulamalarının sonuçlarının düzenli olarak izlenip paylaşılması, bu aracın etkisini daha da artıracak bir adımdır. Teknik bir ayrıntı da önemlidir: aşımın değerlendirilebilmesi için veri yakalama eşiğinin sağlanması gerekir; eşiği sağlamayan istasyon aşım istatistiğine girmez.

Yaptırım tarafında kapsamlı bir çerçeve Çevre Kanunu[16] rehberimizde ele alınmıştır; buradaki konu ortam hava kalitesi yönetimidir, tesis bazlı emisyon izni ve denetimi serinin üçüncü ve dördüncü bölümlerinin kapsamına girer.

2.6 Türkiye'nin Kaynak Haritası: Hangi Kirletici Nereden Geliyor?

Bu bölüm, serinin ilk yarısının varış noktasıdır. Buraya kadar kirleticilerin ne olduğu, nasıl ölçüldüğü, nasıl düzenlendiği ve nasıl hesaplandığı kuruldu; şimdi Türkiye'nin hava kirliliği kaynakları sayılarla konur: hangi kirletici hangi sektörden geliyor? Serinin kalan dört bölümü kendi sektörünün payını bu tabloya atıfla açacaktır.

16. Yeşil Ajanda'da: yesilajanda.com/cevre-kanunu-rehberi-2026-kapsamli-klavuz

Hava Kirliliği Kaynakları: Ulusal Envanterde Sektör Payları

Tablonun kaynağı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Uzun Menzilli Sınırötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi kapsamında EMEP/CEIP veri tabanına[17] sunduğu **ulusal emisyon envanteridir**; envanter yılı **2022**, raporlama şeması **NFR (NFR14/NFR19)**. Yüzdeler ulusal toplama orandır ve bir sonraki alt başlıkta açıklanan nedenle **yaklaşık pay** olarak okunmalıdır.

TABLO 2.8

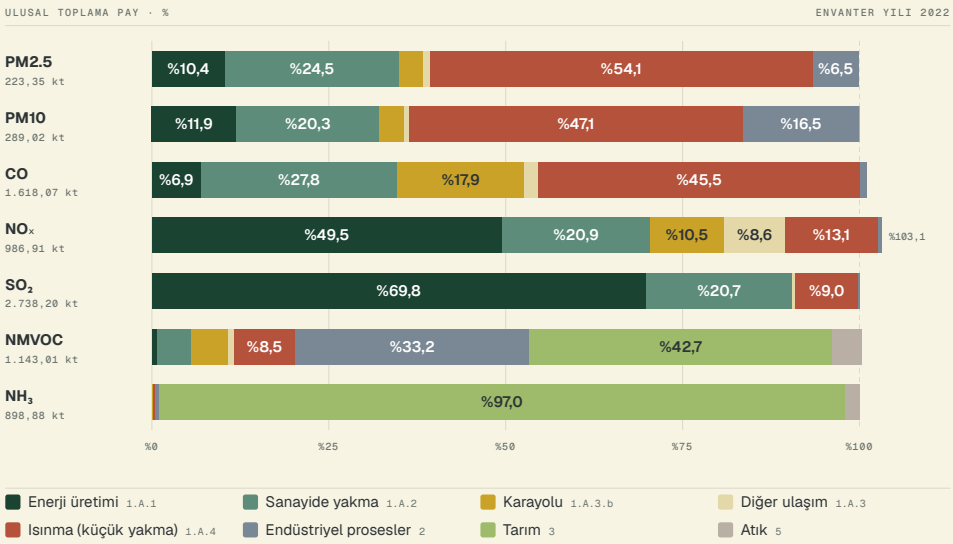
Sektör (NFR)	PM2.5	PM10	NO_x	SO_2	NMVOC	NH_3	CO
1.A.1 Enerji üretimi ve dönüşümü	%10,4	%11,9	**%49,5**	**%69,8**	%0,7	%0,0	%6,9
1.A.2 Sanayide yakma	%24,5	%20,3	%20,9	%20,7	%4,8	%0,0	%27,8
1.A.3.b Karayolu taşımacılığı	%3,5	%3,4	%10,5	%0,0	%5,3	%0,1	%17,9
1.A.3 Diğer ulaşım (hava, demiryolu, deniz)	%0,9	%0,8	%8,6	%0,4	%0,9	%0,0	%2,0
1.A.4 Küçük ölçekli yakma (ısınma)	**%54,1**	**%47,1**	%13,1	%9,0	%8,5	%0,4	**%45,5**
2 Endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı	%6,5	%16,5	%0,5	%0,2	%33,2	%0,5	%0,9
3 Tarım	%0,0	%0,0	%0,0	%0,0	**%42,7**	**%97,0**	%0,0
5 Atık	%0,0	%0,1	%0,0	%0,0	%4,1	%2,0	%0,0
Ulusal toplam (kiloton/yıl)	**223,35**	**289,02**	**986,91**	**2.738,20**	**1.143,01**	**898,88**	**1.618,07**

17. Kaynak: ceip.at

ŞEKİL 2.6

Türkiye'nin Kaynak Haritası: Hangi Kirletici Nereden Geliyor?

Aynı sektör farklı kirleticilerde çok farklı paya sahiptir: ince partikülde ve CO'da ısınma, SO_2 ve NO_x'te enerji üretimi, amonyakta tarım baskındır.



Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, CLRTAP kapsamında EMEP/CEIP'e sunulan ulusal emisyon envanteri, envanter yılı 2022, NFR (NFR14/NFR19); toplamlar resmî ulusal toplamdır (NT). Paylar yaklaşıktır: uluslararası havacılık ve denizcilik sektör satırında görünür ama ulusal toplama girmez, bu yüzden NO_x çubuğu %100'ü aşar. %6,5'in altındaki paylar etiketlenmemiştir. Karayolu dışı hareketli makineler ayrı tahmin edilmez, sanayi ve tarım satırlarının içindedir.

Tabloyu okumadan önce üç teknik not gerekir. **Birincisi, toplamlar yaklaşıktır.** Alt kategoriler toplandığında NO_x'te yaklaşık %3, CO'da yaklaşık %1 oranında ulusal toplamın üzerine çıkan bir fark oluşur; farkın iki kaynağı vardır: uluslararası havacılık ve denizcilik kalemleri sözleşme kuralı gereği ulusal toplama girmez ama sektör satırında görünür, ayrıca ham veride iç hat havacılığı için diğer alt kalemlere göre orantısız yüksek bir NO_x değeri bulunmaktadır. **İkincisi, boş görünen hücreler sıfır emisyon anlamına gelmez**, raporlama biçiminin sonucudur: kategori "dahil edilmiş", "tahmin edilmemiş" ya da "uygulanamaz" işaretlendiğinde tabloya sayısal katkı olarak yansımaz. **Üçüncüsü, matriste görünmeyen bir kategori vardır.** İnşaat, tarım ve sanayide kullanılan **karayolu dışı hareketli makineler** (iş makineleri, traktörler, jeneratörler) uluslararası raporlama şemasında kendi kodlarını taşır, ama Türkiye'nin gönderiminde bu kodların tamamı boştur: altı NRMM kategorisinin yedi kirletici ve beş envanter yılı boyunca tüm hücreleri "dâhil edilmiş", "tahmin edilmemiş" ya da "uygulanamaz" işaretlidir. Nedeni Bakanlığın kendi bilgilendirici envanter raporunda

yazılıdır: ulusal enerji denge tabloları, bu sektörlerde hareketli makinelerin kullandığı yakıtı diğer kullanımlardan **ayırmamaktadır**, bu yüzden emisyonlar sabit yakma kategorilerinin içinde görünmez biçimde durmaktadır. Dolayısıyla yukarıdaki tabloda iş makineleri ayrı bir satır olarak yer almaz ve sanayi ile tarım satırlarının bir bölümü aslında hareketli kaynaklardır.

Dördüncüsü, toplulaştırma düzeyi yüzdeyi değiştirir. Bakanlığın bilgilendirici envanter raporundaki anahtar kategori tablosu, kümülatif %80 eşiğine giren kategorileri listeler ve bu nedenle aynı kirletici için biraz farklı bir pay verir: örneğin amonyakta tarımın payı anahtar kategori tablosunda **%89,69**, tam NFR dökümünde **%97,0**; uçucu organik bileşiklerde aynı fark **%36,7** ile **%42,7** arasındadır. Bu çelişki değil, iki farklı toplulaştırmadır; burada tam NFR dökümü esas alınmıştır ve serinin birinci bölümünde anılan bazı paylar anahtar kategori tablosundan geldiği için birkaç puan farklı görünebilir.

Kirletici Kirletici Okuma

Matrisin asıl değeri, satırları değil sütunları okumaktır.

PM2.5 ve PM10: ısınma baskın. İnce partikülün **%54,1'i**, kaba partikülün **%47,1'i** küçük ölçekli yanmadan gelir ve bu kategorinin içinde en büyük kalem konutların sabit yakma tesisleridir. Sanayide yanma PM2.5'te **%24,5** ile ikinci sıradadır; karayolu taşımacılığının payı **%3,5** gibi şaşırtıcı biçimde düşüktür. Bu sonuç, kamuoyundaki trafik odaklı algıyla çelişir ve politika önceliğini doğrudan etkiler: Türkiye'de ince partikül sorunu birincil olarak bir **ısınma** sorunudur.

SO_2: enerji üretimi baskın. Kükürt dioksidin **%69,8'i** enerji üretimi ve dönüşümünden, **%20,7'si** sanayide yakmadan gelir; ikisi birlikte toplamın onda dokuzunu oluşturur. Bu dağılım yakıt kükürt içeriğinin doğrudan sonucudur ve serinin dördüncü bölümünde ele alınacak baca gazı kükürt giderimi teknolojilerinin neden büyük yakma tesislerine odaklandığını açıklar.

NO_x: enerji ve sanayi, sonra trafik. Azot oksitlerin **%49,5'i** enerji üretiminden, **%20,9'u** sanayide yakmadan, **%10,5'i** karayolu taşımacılığından gelir. Diğer ulaşım kategorisinin **%8,6'lık** payı da dikkate değerdir. NO_x, yüksek sıcaklıkta yanmanın kaçınılmaz ürünü olduğu için kaynak profili yakma faaliyetlerinin coğrafyasını izler.

NMVOC: tarım ve sanayi prosesleri. Metan dışı uçucu organik bileşiklerin **%42,7'si** tarımdan, **%33,2'si** endüstriyel proseslerden ve ürün kullanımından gelir. Yanma kaynaklarının toplam payı ise %20,2'dir. Bu, uçucu organik bileşiklerin neden çözücü kullanımı ve tarımsal faaliyet üzerinden ele alınması gerektiğini gösterir.

NH_3: neredeyse tamamen tarım. Amonyağın **%97,0'ı** tarımdan gelir. Bu, matristeki en yoğunlaşmış dağılımdır ve serinin birinci bölümünde anlatılan ikincil inorganik

aerosol mekanizması nedeniyle doğrudan bir PM2.5 meselesidir: tarımsal amonyak, atmosferde nitrat ve sülfatla birleşerek ince partikül kütlesine katkı verir.

CO: ısınma ve sanayi. Karbon monoksidin **%45,5'i** küçük ölçekli yakmadan, **%27,8'i** sanayide yakmadan, **%17,9'u** karayolu taşımacılığından gelir. CO eksik yanmanın göstergesi olduğu için bu dağılım, verimsiz yakma ekipmanının nerede yoğunlaştığını da gösterir.

Hava kirliliği kaynakları için tek cümlelik özet şudur: **aynı sektör farklı kirleticilerde çok farklı paya sahiptir**, bu yüzden "en kirletici sektör" sorusu kirletici belirtilmeden yanıtlanamaz. Enerji üretimi SO_2'de birinci, PM2.5'te dördüncüdür; tarım amonyakta neredeyse tek kaynak, partikülde sıfır görünür.

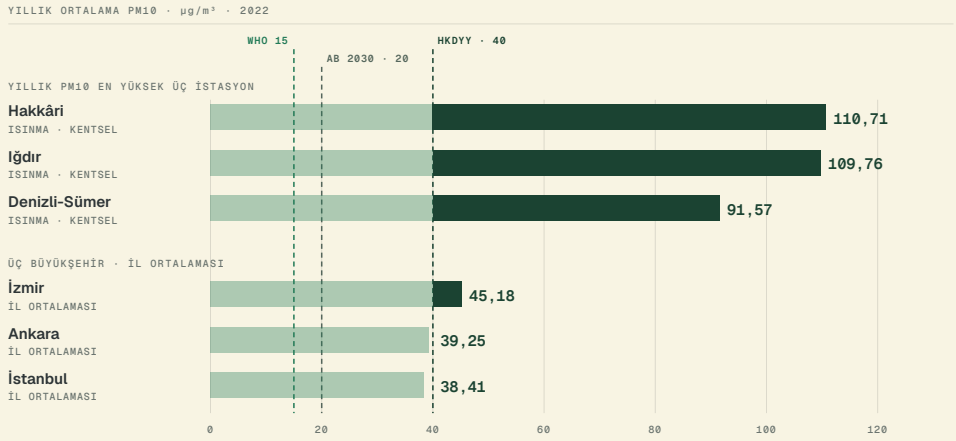
İl Bazında Baskın Kaynak ve En Yüksek Değerler

Ulusal ortalama, yaşanan havayı anlatmaz. İl bazında tablo çok daha çeşitlidir.

ŞEKİL 2.7

Yıllık PM10: En Yüksek Değerler ve Büyükşehirler

Sıralamanın üst sırası, kış ısınmasının izlendiği istasyonlardan oluşur. Büyükşehirler ulusal sınırın çevresinde, WHO kılavuz değerinin 2,6 ile 3 katı düzeyindedir.



Kaynak: Temiz Hava Hakkı Platformu, Kara Rapor (Bakanlık ham verisine dayalı derleme), 2022 verisi; istasyon tipleri Bakanlık Sürekli İzleme Merkezi. Koyu bölüm HKDYY yıllık limit değerini (40 µg/m³) aşan kısımdır. Üst satırlar tek istasyon, alt satırlar il ortalamasıdır; ikisi doğrudan kıyaslanmaz. Aynı yıl Adana-Meteoroloji istasyonunda günlük sınır değer 338 gün aşılmıştır (izin verilen 35).

Temiz Hava Hakkı Platformu'nun Bakanlık ham verisine dayanan derlemelerine göre 2022'de yıllık ortalama PM10 değeri en yüksek istasyonlar **Hakkâri (110,71 µg/m³)**, **Iğdır (109,76 µg/m³)** ve **Denizli-Sümer (91,57 µg/m³)** olmuştur; üçü de ulusal sınır

değerin iki katının üzerindedir. Üç büyükşehrin 2022 yıllık ortalamaları ise İstanbul'da **38,41**, Ankara'da **39,25**, İzmir'de **45,18 µg/m³**'tür: İstanbul ve Ankara ulusal sınır değerin hemen altında kalırken İzmir sınırı aşmıştır, ancak üçü de WHO'nun 15 µg/m³'lük kılavuz değerinin **2,6 ile 3 katı** düzeyindedir.

Aşım günü sayısı tabloyu daha da netleştirir: 2022'de **Adana-Meteoroloji** istasyonunda günlük sınır değer **338 gün** aşılmıştır, yani izin verilen 35 günün yaklaşık on katı. Aynı yıl yeterli veri üreten 225 istasyonun **198'inde (%88)** 35 günlük aşım sınırı aşılmıştır. 2023'te en yüksek il ortalamaları **Iğdır (86,96)** ve **Malatya (85,76 µg/m³)**; 2024 değerlendirmesinde ise hava kalitesi "iyi" sınıfında **yer alan il bulunmamaktadır**, 81 ilin 41'i "orta", 40'ı "hassas" kategorisindedir ve yıllık değerlerin en yüksek olduğu üç il Iğdır, Erzincan ve Kütahya'dır.

Coğrafya burada belirleyicidir. Hakkâri, Iğdır, Erzincan ve Kütahya gibi iller çanak topografyasında yer alır ve kış aylarında serinin birinci bölümünde anlatılan **radyasyon inversiyonu** bu illerde günlerce sürebilir: kirletici salımı artmasa bile karışım hacmi daraldığı için derişim yükselir. Dolayısıyla bir ilin bu sıralamadaki yeri, yalnız oradaki emisyonun değil, oranın meteorolojisinin de sonucudur.

Bir okuma uyarısı gerekir: il sıralamaları istasyon verisine dayanır ve istasyon tipi sonucu etkiler. Türkiye'nin ulusal ağı istasyonları **iki eksenli** sınıflandırır: kaynak tipine göre ısınma, trafik, sanayi ve arka plan; alan tipine göre kentsel ve kırsal. Yukarıda sayılan, en yüksek değerlerin ölçüldüğü istasyonların neredeyse tamamı (Hakkâri, Iğdır, Malatya, Osmaniye, Adana-Meteoroloji, Denizli-Sümer, Erzincan ve Kütahya merkez istasyonları) **ısınma kaynak tipinde ve kentsel alanda** sınıflandırılmıştır; birkaç istasyonun tipi ise bu derlemede etiketlenmemiştir. Yani sıralamanın üst sırası, kış ısınmasının izlendiği istasyonlardan oluşur ve bu, listenin neden ağırlıkla iç ve doğu illerinden kurulduğunu da açıklar.

İllerin kendi planlarındaki açıklamalar bu tabloyu doğrular. Hakkâri'nin temiz hava eylem planı kirliliğin "başlıca kaynağı ısınma amaçlı kullanılan katı yakıtlardır" der ve ilin "çukur bir alana sahip" olmasına bağlı olarak hava sirkülasyonunun yetersiz kaldığını ekler. Iğdır'ın planı ili "etrafı dağlarla çevrili, çanak görünümlü" diye tarif eder ve inversiyonun sık görüldüğünü belirtir. Osmaniye'nin çevre durum raporu mekanizmayı en açık yazan metindir: güneybatıda dik yükselen Amanos dağları ısınarak kent üzerinde sıcak bir hava tabakası oluşturmakta, bu tabaka kent üzerinde asılı kalarak inversiyonu kurmaktadır. Denizli'de ise tabloya sanayi girer: planda konut alanlarıyla iç içe geçmiş tekstil haşıl ve boyahane tesislerinin on iki ay boyunca kömür kullandığı kayıtlıdır.



Ulusal Ortalama İl Gerçeğini Anlatmaz

İki ilin kendi emisyon envanteri yan yana konduğunda, ulusal matrisin neden il düzeyinde yol gösterici olmadığı görünür. **Kütahya'nın 2025-2029 temiz hava eylem planına göre** ildeki PM10 emisyonunun **%78'i evsel ısınmadan**, SO_2'nin **%76'sı** ve azot oksitlerin **%74'ü enerji santrallerinden**, karbon monoksitin **%89'u** ısınmadan gelmektedir; ilde Seyitömer ve Tunçbilek termik santralleri bulunur. **Samsun'un aynı dönem planında** ise azot oksitlerin **%73,9'u trafikten**, PM10'un **%64,6'sı ısınmadan** kaynaklanır.

Aynı ulusal şablonla hazırlanmış iki plan, aynı kirletici için tamamen farklı baskın kaynak gösterir: azot oksitte Kütahya'da santraller, Samsun'da trafik. Ulusal matris bu iki gerçeği tek bir ortalamada eritir. Politika aracı ise ilde seçilir, bu yüzden il envanteri ulusal envanterin yerine geçmez, onu tamamlar.



Ağ mimarisi de il tablosunu okurken dikkate alınmalıdır: en yüksek değerlerin ölçüldüğü illerin birçoğunda **tek bir istasyon** bulunur ve o istasyon ısınma istasyonudur. Ege'deki 46 istasyonun 10'u sanayi, 6'sı arka plan istasyonudur; Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu ağlarında ise sanayi tipi istasyon, Güneydoğu'da arka plan istasyonu yer almamaktadır. Bu bölgelerde ağın sanayi ve arka plan istasyonlarıyla çeşitlendirilmesi, kirliliğin ne kadarının yerel ısınmadan, sanayiden ya da uzun mesafe taşınımdan geldiğini ayırt etmeyi kolaylaştıracaktır.

Tarım ve Doğal Kaynaklar: Amonyak, Anız Yakma, Toz ve Deniz Tuzu

Hava kirliliği kaynakları tartışması sanayi ve trafikte yoğunlaşır, oysa matrisin iki sütunu başka bir yere işaret eder.

Amonyak ve tarım. Amonyağın **%97,0'ı** tarımdan gelir ve kaynağın içi de ayrıştırılmıştır: anahtar kategori tablosuna göre süt sığırı gübre yönetimi **%21,39**, koyun **%18,81**, inorganik azotlu gübre kullanımı **%15,99**, diğer sığır **%14,27**, kümes hayvanları **%11,48**; bu beş kalem toplamın %81,9'unu oluşturur, kalan pay daha küçük kategorilere dağılır. Ulusal amonyak toplamı 2022'de **898,88 kiloton**'dur ve 1990'dan bu yana yaklaşık **%43** artmıştır; ancak bu artışın önemli bölümü gerçek emisyon artışından değil, emisyon faktörlerinin ve kılavuz yönteminin revizyonundan kaynaklanır. Amonyağın önemi doğrudan solunum etkisinden çok, ikincil partikül oluşumundaki rolünden gelir.

Anız ve tarımsal artık yakma. Bu başlıkta ulusal bir sayı verilemez: tarımsal artık yakma kategorisi (NFR 3F), Türkiye'nin sunduğu envanterde yedi kirleticinin **yedisinde de "tahmin edilmemiş" (NE) işaretlidir**. Yani ulusal envanterde bu kalem

için henüz bir tahmin yer almaz. Bu, emisyonun olmadığı anlamına gelmez; envanterin bu kalemi hesaplamadığı anlamına gelir. Mevsimsel partikül ve polisiklik aromatik hidrokarbon katkısı literatürde bilinen bir olgudur, ancak ulusal ölçekte nicelenmemiştir.



Envanter tablolarındaki bu işaretleri ayırt etmek, tabloyu doğru okumanın anahtarıdır: **"NO" o faaliyetin ülkede gerçekleşmediğini**, **"NE" faaliyetin var olduğu ama emisyonunun tahmin edilmediğini**, **"IE" emisyonun başka bir kategoriye dâhil edildiğini** gösterir. Üçü de tabloda boş bir hücre gibi görünür, üçü de bambaşka şey söyler.

Çöl tozu taşınımı. Sahra ve Orta Doğu kaynaklı toz taşınımı, Türkiye'de özellikle ilkbahar, sonbahar ve yaz aylarında PM10 değerlerini yükseltir; Basra alçak basıncının etkili olduğu dönemlerde Güneydoğu Anadolu en çok etkilenen bölgedir. Mevzuat bu katkıyı tanır: HKDYY'nin 12. maddesi, doğal olaylardan kaynaklanan aşımların temiz hava planı yükümlülüğü dışında tutulabileceğini düzenler. Katkının nasıl düşüleceği ise yöntemsel bir sorundur; Avrupa uygulamasında kimyasal analizle doğrulama yoksa ihtiyatlı yaklaşım kullanılır: olaydan önceki ve sonraki **15 günlük** PM10 serisinin **50. yüzdebirliği** bölgesel arka plan kabul edilip ölçülen değerden düşülür. Türkiye'de toz taşınımının PM10 aşımlarına yüzde katkısını veren birincil bir ulusal çalışma bu derlemede bulunamamıştır ve Türkiye'nin bu istisnayı fiilen ne ölçüde kullandığına dair veri de yoktur.

Deniz tuzu aerosolü. Kıyı bölgelerinde partikül kütlesine katkı verir ve doğal kaynak olduğu için antropojenik envantere girmez; bu da envanter ile ölçüm arasındaki farkın nedenlerinden biridir. Ölçek için tek nokta verisi mevcuttur: Çanakkale Biga'daki kaynak ayrıştırma çalışmasında deniz tuzu ve gemicilik birlikte PM10'un **%8,5'ini** oluşturmuştur. Ulusal ya da bölgesel ölçekte bir deniz tuzu payı bulunamamıştır.

Envanter ile Ölçüm Neden Aynı Şeyi Söylemez?

Hava kirliliği kaynakları haritası ile istasyon verisi yan yana konduğunda ilk bakışta bir tutarsızlık görünür: envanter ısınmayı ince partikülün baskın kaynağı sayarken, bazı illerde en yüksek değerler trafik istasyonlarında ölçülür. Çelişki görünürdedir ve dört nedeni vardır.

Birincisi, envanter yükü, ölçüm derişimi verir. Envanter yılda kaç ton salındığını söyler; istasyon o salımın meteoroloji, topografya ve kimyasal dönüşümden sonra havada bıraktığı derişimi ölçer. Serinin birinci bölümünde kurulan dispersiyon mekanizması tam olarak bu dönüşümün kurallarıdır: aynı emisyon, karışım yüksekliği daraldığında kat kat yüksek derişim üretir.

İkincisi, ikincil oluşum envanterde görünmez. Tarımdan salınan amonyak envanterde "tarım" satırına yazılır, ama havada nitrat ve sülfatla birleşip ince partikül kütlesine döner ve istasyonda PM2.5 olarak ölçülür. İstanbul'daki kaynak ayrıştırma çalışmasının ikincil aerosolü **%43,9** ile en büyük bileşen bulması bu yüzden şaşırtıcı değildir.

Üçüncüsü, doğal katkı envantere girmez. Çöl tozu ve deniz tuzu antropojenik envanterin dışındadır ama ölçülen kütlenin içindedir.

Dördüncüsü, envanterde henüz tahmin edilmeyen kalemler vardır. Yukarıda sayılan "tahmin edilmemiş" kalemler (iş makineleri, tarımsal artık yakma) salımı sıfır göstermez, yalnız hesaplanmamış bırakır; ölçüm ise onları da görür.

Bu dört neden, kaynak ayrıştırma çalışmalarının neden envanterin bağımsız doğrulaması sayıldığını da açıklar: iki yöntem aynı sayıyı vermez, ama sistematik biçimde ayrışıyorlarsa envanterde bir kalem eksik demektir.

Bu Harita Serinin Geri Kalanını Nasıl Belirliyor?

Matris, serinin kalan dört bölümünün sırasını da gerekçesini de verir.

Sanayi ve enerji üretimi SO_2'nin **%90,5'ini**, NO_x'in **%70,4'ünü** ve PM2.5'in **%34,9'unu** üretir; bu yüzden serinin üçüncü bölümü yanma temelleri ile partikül kontrolüne, dördüncü bölümü gaz kirleticilerin kontrolü ve sürekli emisyon ölçümüne ayrılmıştır. **Küçük ölçekli yanma**, yani ağırlıkla konut ısınması, PM2.5'in **%54,1'i** ve CO'nun **%45,5'i** ile tek başına en büyük partikül kaynağıdır; beşinci bölüm bu yüzden tamamen ısınma kaynaklarına ayrılmıştır. **Karayolu taşımacılığı** partikülde düşük (%3,5), NO_x'te orta (%10,5), CO'da yüksek (%17,9) paya sahiptir ve kentsel maruziyette payından fazla ağırlık taşır, çünkü emisyon solunum seviyesinde

ve nüfusun yoğun olduğu yerde gerçekleşir; altıncı bölüm hareketli kaynakları ve bu arada düşük emisyon bölgeleri[18] gibi kentsel araçları ele alacaktır.

KİLİT MESAJ

Türkiye'nin hava kirliliği kaynakları haritasında üç baskın eksen vardır ve üçü farklı kirleticilere aittir: ince partikül ve karbon monoksitte ısınma, kükürt dioksit ve azot oksitlerde enerji üretimi ile sanayi, amonyak ve uçucu organik bileşiklerde tarım. Tek bir sektöre odaklanan bir politika, en fazla bir kirleticide sonuç verir.

2.7 Sonuç

Türkiye'nin hava kalitesi yönetimi, ölçümden plana uzanan kapsamlı bir altyapıya dayanır ve bu altyapının önümüzdeki dönemde güçlenecek alanları veride açıkça okunur. Ölçüm tarafında ağ genişlemeye devam ederken veri sürekliliği öne çıkan konu olmuştur: 2022'de PM10 ölçen 340 istasyonun 225'i, 2023'te 359 istasyonun 216'sı değerlendirmeye yetecek veriyi üretmiştir. Hava kalitesi tarafında aşım yaygındır: yeterli veri üreten istasyonların **%88'inde** günlük sınır değer izin verilenden fazla aşılmıştır. Mevzuat tarafında HKDYY, AB'nin önceki nesil direktif ailesinden uyarlanmıştır; AB'nin 2024 revizyonu ve PM2.5'e özgü bir sınır değer, ulusal çerçevenin doğal güncelleme başlıklarıdır.

Buna karşılık tablonun güçlü yanları da sayılmalıdır. Türkiye ulusal emisyon envanterini düzenli olarak hazırlayıp uluslararası veri tabanına sunmaktadır ve bu envanter, NFR kategorileri düzeyinde dışarıdan doğrulanabilir durumdadır. Hava kalitesi verisi kamuya açıktır ve istasyon bazında erişilebilir. Temiz hava eylem planları merkezî bir şablonla hazırlanmakta, bu da planların karşılaştırılabilirliğini artırmaktadır. Bu sağlam zemin, verinin karar süreçlerinde daha da etkin kullanılmasına imkân vermektedir.

Yeşil Ajanda olarak bu tablodan üç noktaya dikkat çekiyoruz:

- **Veri geçerliliği, sınır değerden önce gelir.** Yakalama oranı eşiğin altında kalan bir istasyonun verisi değerlendirmeye girmez. İzleme ağının büyütülmesi kadar, mevcut istasyonların kesintisiz çalıştırılması da bir hava kalitesi politikasıdır ve ölçülebilir bir hedefe bağlanabilir.
- **PM2.5'e özgü bir sınır değer, çerçevenin doğal bir sonraki adımıdır.** Ölçülen ve raporlanan, sağlık literatürünün merkezinde duran bu kirletici için ayrı bir eşik, azaltım hedeflerini doğrudan ölçülebilir kılar.

18. Yeşil Ajanda'da: yesilajanda.com/emisyon-bolgesi-caz-lez-ulez-zez-hakkinda-kapsamli-rehber

- **Kaynak haritası, politika önceliğini kirletici bazında kurmayı zorunlu kılar.** İnce partikülün yarısından fazlası ısınmadan, kükürt dioksidin yaklaşık yüzde yetmişi enerji üretiminden, amonyağın neredeyse tamamı tarımdan gelirken tek bir sektöre odaklanan bir program en fazla bir kirleticide sonuç verir.

Serinin bir sonraki bölümünde sanayi kaynakları ele alınacak: yanma temelleri, baca gazı derişiminin emisyon yüküne çevrilmesi ve partikül kontrol teknolojileri (siklon, torba filtre, elektrostatik çöktürücü) tasarım parametreleriyle birlikte işlenecektir.

Sıkça Sorulan Sorular

Türkiye'de hava kirliliğinin en büyük kaynağı nedir?

Hava kirliliği kaynakları kirleticiye göre değiştiği için soru, kirletici belirtilmeden yanıtlanamaz. 2022 ulusal envanterine göre ince partikülün (PM2.5) **%54,1'i** ve karbon monoksidin **%45,5'i** küçük ölçekli yanmadan, yani ağırlıkla konut ısınmasından gelir. Kükürt dioksidin **%69,8'i** enerji üretiminden, azot oksitlerin **%49,5'i** yine enerji üretiminden, amonyağın **%97,0'ı** tarımdan kaynaklanır.

WHO kılavuz değeri ile yasal sınır değer aynı şey midir?

Hayır. Dünya Sağlık Örgütü'nün kılavuz değerleri sağlık temelli referanslardır ve hukuken bağlayıcı değildir; yasal sınır değerler ise ulusal mevzuatla konur ve aşımı idari sonuç doğurur. Türkiye'nin HKDYY yıllık sınır değerleri, WHO'nun 2021 kılavuz değerlerinin kirleticiye göre **2,7 ile 4 katı** arasındadır; 24 saatlik değerlerde makas daralır (PM10'da 1,1 kat). PM2.5 için ise yönetmelikte henüz ayrı bir sınır değer tanımlanmamıştır.

Hava kalitesi indeksi nasıl hesaplanır?

Her kirleticinin derişimi, kendi kesme noktası bandı içinde doğrusal enterpolasyonla 0 ile 500 arasında bir alt indekse çevrilir. Günün indeksi, bu alt indekslerin **en yükseğidir**, ortalaması değildir. Türkiye'nin ulusal indeksi beş kirletici için hesaplanır (PM10, CO, SO_2, NO_2, O_3) ve PM2.5'i içermez.

Hava kalitesi nerede ölçülüyor, veriye nasıl ulaşırım?

Ulusal ağ Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından işletilir ve 81 ilde yaklaşık 360 istasyondan oluşur. Veriye sim.csb.gov.tr ve havaizleme.gov.tr adreslerinden istasyon bazında ulaşılabilir; yönetmelik verinin en az günlük güncellenmesini zorunlu kılar. Bir istasyonun yıllık ortalamasını kullanmadan önce o istasyonun veri yakalama oranının mevzuattaki eşiği sağlayıp sağlamadığına bakılmalıdır.

Emisyon envanteri nasıl hesaplanır?

Temel denklem, aktivite verisi ile emisyon faktörünün çarpımıdır: E = A × EF. Aktivite verisi yakılan yakıtın enerji içeriği, katedilen mesafe ya da hayvan sayısı gibi bir büyüklüktür; emisyon faktörü ise birim aktivite başına salınan kirletici miktarıdır. Hesap üç ayrıntı düzeyinde (Tier 1, 2 ve 3) yapılabilir ve sonucun belirsizliği, kullanılan faktörün kalite derecesine göre **%10 ile büyüklük mertebesi** arasında değişir.

Türkiye'de hava kirliliği değerlerinin en yüksek olduğu iller hangileridir?

2022'de yıllık ortalama PM10 değeri en yüksek istasyonlar Hakkâri (**110,71 µg/m³**), Iğdır (**109,76 µg/m³**) ve Denizli-Sümer (**91,57 µg/m³**) olmuştur; 2023'te il bazında en yüksek ortalamalar Iğdır (86,96) ve Malatya'dadır (85,76). 2024 değerlendirmesinde hava kalitesi "iyi" sınıfında hiçbir il bulunmamaktadır. Bu illerin ortak özelliği yalnız emisyon yoğunluğu değil, kış aylarında inversiyonu güçlendiren çanak topografyasıdır.

BÖLÜM SONU

Bölüm özeti

Bölümdeki Kilit Mesaj kutularının birebir derlemesi.

§2.1 Bir hava kalitesi değerini okurken üç şeyi birlikte sormak gerekir: hangi çerçeveden geliyor (bağlayıcı sınır değer mi, sağlık temelli kılavuz mu), hangi ortalama süresine ait ve yılda kaç aşıma izin veriyor. Türkiye'nin yıllık sınır değerleri WHO kılavuz değerlerinin 2,7 ile 4 katı arasındadır (24 saatlik değerlerde makas daralır, PM10'da 1,1 kata iner), PM2.5 için ise yönetmelikte henüz ayrı bir sınır değer tanımlanmamıştır.

§2.3 Hava kalitesi verisi üç katmanlıdır ve katmanlar birbirinin yerine geçmez. Referans istasyonlar hukuken geçerli, noktasal ve pahalıdır; uydu geniş alanı tarar ama yer seviyesini dolaylı kestirir; düşük maliyetli sensörler yoğun ağ kurar ama kalibrasyona bağımlıdır. Bir veri setini okurken sorulacak ilk soru hangi katmandan geldiği, ikincisi veri yakalama oranının ne olduğudur.

§2.4 Bir envanter sayısı üç bilgiyle birlikte anlam taşır: hangi envanter yılına ait olduğu, hangi kademeyle (Tier) hesaplandığı ve hangi belirsizlik bandını taşıdığı. Bu üçü yazılmadan sunulan bir emisyon payı, ölçülmüş bir gerçek gibi görünen bir tahmindir.

§2.6 Türkiye'nin hava kirliliği kaynakları haritasında üç baskın eksen vardır ve üçü farklı kirleticilere aittir: ince partikül ve karbon monoksitte **ısınma**, kükürt dioksit ve azot oksitlerde **enerji üretimi ile sanayi**, amonyak ve uçucu organik bileşiklerde **tarım**. Tek bir sektöre odaklanan bir politika, en fazla bir kirleticide sonuç verir.

BAŞVURU

Semboller ve birimler

Bölümün denklemlerindeki değişkenler; tanımlar denklem kartlarından birebir.

SEMBOL	TANIM VE BİRİM	İLK GEÇTİĞİ
A	aktivite verisi: GJ yakıt, ton ürün, araç-km, hayvan sayısı	(2.2)
BP_{Hi}	C_p'den büyük ya da ona eşit kesme noktası	(2.1)
BP_{Lo}	C_p'den küçük ya da ona eşit kesme noktası	(2.1)
C_p	kirleticinin kırpılmış derişimi	(2.1)
E	emisyon (tipik olarak ton/yıl ya da kiloton/yıl)	(2.2)
EF	emisyon faktörü, aktivite biriminin tersine bağlı: g/GJ, kg/ton ürün, g/araç-km	(2.2)
ER	azaltım verimi (%): yakalama ve yok etme veriminin birleşimi	(2.2)
I_{Hi}	BP_{Hi}'ye karşılık gelen indeks değeri	(2.1)
I_{Lo}	BP_{Lo}'ya karşılık gelen indeks değeri	(2.1)
I_p	p kirleticisinin alt indeksi (en yakın tam sayıya yuvarlanır)	(2.1)
U_i	yüzde belirsizlik: %95 güven aralığının yarısı, ortalamaya bölünmüş	(2.3)
U_{toplam}	birleşik yüzde belirsizlik	(2.3)
x_i	toplanan büyüklük (ör. bir sektörün emisyonu)	(2.3)

BAŞVURU

Denklem dizini

Bölümün tüm denklemleri tek yerde. Sayfa numarası denklemin açıklandığı yeri gösterir.

(2.1) **Hava kalitesi indeksi · alt indeks, doğrusal enterpolasyon** s. 14

$$I_{\mathrm{p}} = \frac{I_{\mathrm{Hi}} - I_{\mathrm{Lo}}}{BP_{\mathrm{Hi}} - BP_{\mathrm{Lo}}} \times (C_{\mathrm{p}} - BP_{\mathrm{Lo}}) + I_{\mathrm{Lo}}$$

(2.2) **Emisyon envanteri · kanonik denklem** s. 23

$$E = A \times EF$$

(2.3) **Envanter belirsizliği · hata yayılımı, çarpma kuralı** s. 27

$$U_{\mathrm{toplam}} = \sqrt{U_1^{\,2} + U_2^{\,2} + \ldots + U_{\mathrm{n}}^{\,2}}$$

Kaynaklar

1. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY), Resmî Gazete 6 Haziran 2008, sayı 26898 (değişik: RG 5 Mayıs 2009, sayı 27219). https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5
2. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – Ulusal Hava Kalitesi İndeksi ve kesme noktaları tablosu. https://sim.csb.gov.tr/
3. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – Sürekli İzleme Merkezi, ulusal hava kalitesi izleme ağı verisi. https://sim.csb.gov.tr/Intro/Uhkia
4. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – Türkiye Bilgilendirici Envanter Raporu (Informative Inventory Report, IIR 2024), CLRTAP kapsamında sunulan ulusal emisyon envanteri, 1990-2022 serisi.
5. EMEP Emisyon Veri Merkezi (CEIP) – WebDab emisyon veri tabanı, Türkiye 2022 gönderimi, NFR raporlama tabloları. https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata
6. EMEP Emisyon Veri Merkezi (CEIP) – Annex I resmî raporlama şablonu (NFR kategori yapısı), 2023 Kılavuzları ekleri. https://www.ceip.at/reporting-instructions
7. Avrupa Çevre Ajansı ve EMEP – EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyon Envanteri Kılavuzu 2023 (2024 ve 2025 güncellemeleriyle), Bölüm A: Genel Kılavuz. https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023
8. Avrupa Birliği – Hava kalitesi ve Avrupa için daha temiz hava hakkında (AB) 2024/2881 sayılı Direktif, Ek I ve Ek IV-VI. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj
9. Avrupa Birliği – Ulusal Emisyon Tavanları Direktifi (AB) 2016/2284, Ek II azaltım taahhütleri. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj
10. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) – WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, 2021. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228
11. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) – European Air Quality Index ve bant revizyonu. https://airindex.eea.europa.eu/AQI/index.html
12. US EPA – Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality: the Air Quality Index (AQI), EPA-403/B-26-003, Mayıs 2026. https://document.airnow.gov/technical-assistance-document-for-the-reporting-of-daily-air-quailty.pdf
13. US EPA – AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Volume I, Beşinci Baskı, Giriş bölümü ve faktör kalite dereceleri. https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors
14. US EPA – Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide, EPA/600/R-14/108, 2014. https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses
15. Birleşmiş Milletler Antlaşma Koleksiyonu – Uzun Menzilli Sınırötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi (XXVII-1) ve Gothenburg Protokolü (XXVII-1-h, XXVII-1-k) taraf listeleri. https://treaties.un.org
16. BM Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) – Gothenburg Protokolü ve 2012 değişikliği. https://unece.org/environment-policy/air
17. Türkiye Cumhuriyeti – 2872 sayılı Çevre Kanunu, madde 8, 12, 15 ve 20 ile ek madde 6. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2872&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5
18. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – 2872 Sayılı Çevre Kanunu Uyarınca Verilecek İdari Para Cezalarına İlişkin Tebliğ (2026/1), Resmî Gazete 30 Aralık 2025, sayı 33123. https://www.resmigazete.gov.tr/
19. Temiz Hava Hakkı Platformu – Kara Rapor 2024 ve Kara Rapor 2025 (ham veri: ÇŞİDB ulusal hava kalitesi izleme ağı). https://www.temizhavahakki.org/
20. Zeydan, Ö. (2021) – Türkiye'de PM10 kirliliğinin değerlendirilmesi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 11(1), 106-118. https://doi.org/10.21597/jist.745539
21. Copernicus Sentinel-5P Mission Performance Centre – TROPOMI NO_2 veri kalitesi ve doğrulama raporları. https://mpc-vdaf.tropomi.eu/index.php/nitrogen-dioxide
22. Avrupa Standardizasyon Komitesi – CEN/TS 17660-1:2021 ve CEN/TS 17660-2:2024, hava kalitesi sensörlerinin performans değerlendirmesi.
23. Samsun Valiliği ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü – Samsun Temiz Hava Eylem Planı 2025-2029.

AKADEMİ SERİSİ

Hava Kirliliğinin Esasları: serideki ciltler

Her cilt bir önceki cildin terminolojisi ve sembolleri üzerine kurulur.

1 Temeller

2 Hava Kalitesi Yönetimi ve Envanter

3 Sanayi Kaynakları I

4 Sanayi Kaynakları II

5 Isınma Kaynakları

6 Hareketli Kaynaklar

ÖNERİLEN ATIF

Yeşil Ajanda (2026). *Hava Kirliliğinin Esasları, Bölüm 2: Hava Kalitesi Yönetimi ve Envanter* (Yeşil Ajanda Akademi Serisi, Sürüm 1.0). yesilajanda.com/hava-kirliliginin-esaslari-hava-kalitesi-yonetimi-ve-envanter

YEŞİL AJANDA

Çevre, İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik

AKADEMİ SERİSİ

Hava Kirliliğinin Esasları · Bölüm 2 / 6

> Bu doküman bilgilendirme amaçlıdır ve hukuki görüş niteliği taşımaz. İçerik, yayımlandığı tarihteki mevzuat ve kaynaklara dayanır; zamanla güncelliğini yitirebilir. Kesin değerlendirme için ilgili mevzuata ve konunun uzmanına başvurunuz.

Kaynak yazı: https://yesilajanda.com/hava-kirliliginin-esaslari-hava-kalitesi-yonetimi-ve-envanter/

Yayın tarihi: 3 Kasım 2026

Sürüm: 1.0

İletişim: yesilajanda.com

BİZİ TAKİP EDİN

LinkedIn · linkedin.com/company/yesilajandacom

Instagram · @yesilajandacom

X · @yesilajandacom

Facebook · @yesilajandacom

Bu yayın yesilajanda.com'da yayımlanan içerikten üretilmiştir. Tüm hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek alıntılanabilir.