

Hava Kirliliği Kanserli Sayısını Artırıyor

Ama İklimi Koruyor!

Bu İkilem Nasıl Çözülür?

Sera Gazlarının Daha da Azaltılması ve Nükleer Enerjinin Olumlu Rolü!

WMO · IPCC · UNEP · EEA · NASA · WHO · IMO Kurumsal Verilerine Dayalı Akademik İnceleme

Hazırlayan: Yüksel Atakan Dr.Radyasyon Fizikçisi
ybatakan@gmail.com, YZ destekli 18.05.2026 //

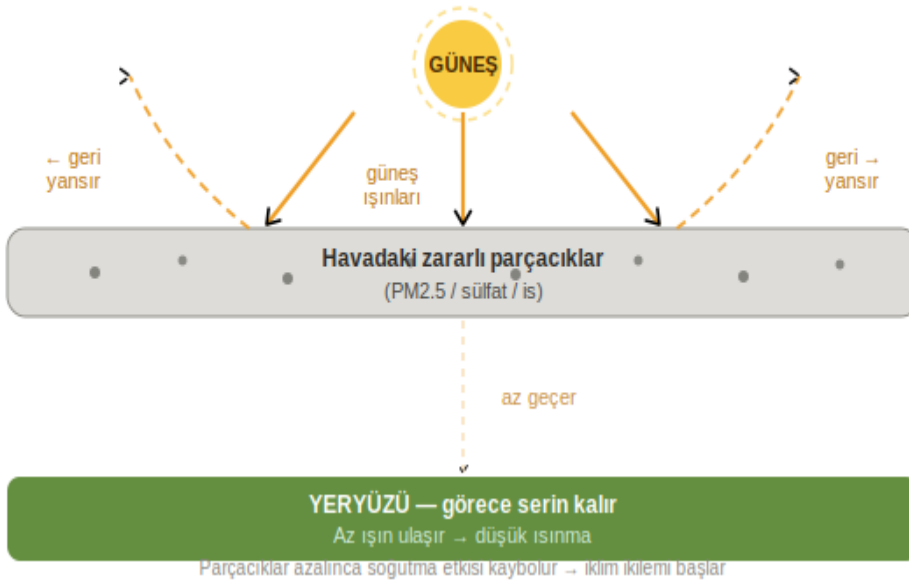
YÖNETİCİ ÖZETİ

Bu yazımız, havadaki zararlı taneciklerin (PM2.5/PM10, SO₂, NO_x türevleri) insan sağlığına ve iklime etkilerini; bu kirleticilerin azaltılmasıyla ortaya çıkan iklim ikilemini; ve ikilemden çıkışın tek bilimsel yolunu —sera gazı derişiminin eş zamanlı ve hızlı biçimde azaltılmasını— uluslararası kurumsal veriler ışığında incelemektedir (PM2.5: Çapları 2,5mikrometreden küçük parçacıklar)

Temel Bulgu: Avrupa'da 1980'lerden itibaren uygulanan hava kalitesi politikaları, PM2.5 kaynaklı erken ölümleri %45 azaltmış; ancak sülfat aerosollerinin 'güneş şemsiyesi' işlevini zayıflatarak bölgesel ısınmayı hızlandırmıştır. Bu ikilem, yalnızca sera gazı —özellikle metan ve CO₂— derişiminin agresif biçimde düşürülmesiyle çözülebilir.

Anahtar Kavramlar: Havadaki zararlı tanecikler (aerosol) • İklim ikilemi • Sera gazı derişimi • Eş zamanlı azaltım stratejisi

Şekil 1 — Havadaki zararlı parçacıklar: güneş ışınlarını yansıtır, yeryüzünü serinletir



1. GİRİŞ: Havadaki Zararlı Tanecikler ve İklim İkilemi

1.1 Havadaki Zararlı Tanecikler Nedir?

Atmosferde asılı kalan katı veya sıvı parçacıklar, bilim literatüründe 'aerosol' olarak adlandırılmaktadır. Halk dilinde 'havadaki zararlı tanecikler' ya da 'partikül madde' olarak bilinen bu bileşenler; boyutlarına (PM10, PM2.5, PM1.0), kimyasal yapılarına ve kaynaklarına göre sınıflandırılır. PM2.5 (çapı 2.5 mikrondan küçük ince tanecikler) akciğer dokusuna ve kan dolaşımına nüfuz edebildiğinden en tehlikeli kategoriye oluşturmaktadır [1,7].

Tanecikler hem doğal hem de insan kaynaklı süreçlerden oluşur. Volkanlar, kumul fırtınaları ve orman yangınları doğal kaynaklara örnek gösterilirken; fosil yakıt yakımı, sanayi tesisleri, kara ve deniz taşımacılığı ile tarımsal faaliyetler başlıca antropojenik kaynaklardır [2,3].

Tablo 1 — Başlıca Aerosol Türleri, Kaynakları ve İklim Etkileri

Aerosol Türü	Kaynaklar	Atmosferik Ömür	İklim Etkisi
Sülfat (SO_4^{2-})	Fosil yakıt, volkan	3–14 gün	Soğutucu (–)
Siyah Karbon (BC)	Dizel, odun yakımı	4–10 gün	Isıtıcı (+)
Nitrat (NO_3^-)	Tarım, taşıt egzozu	1–7 gün	Soğutucu (–)
Mineral Toz	Çöl yüzeyleri, tarım	1–10 gün	Karma ($\pm$)
Organik Karbon	Orman yangını, biyokütle	5–14 gün	Ağırlıklı soğutucu (–)

Kaynak: IPCC AR6 WGI (2021) [3], WMO Bülten No.5 (2025) [5]. GWP = Küresel Isınma Potansiyeli.

1.2 İklim İkilemi: Zararlı Taneciklerin Soğutucu Paradoksu

Havadaki zararlı tanecikler sağlık açısından zararlı olmasına karşın, sülfat ve nitrat gibi belirli aerosol türleri güneş ışınlarını yansıtarak yeryüzünün soğumasına katkı sağlamaktadır. Bu 'güneş şemsiyesi' etkisi, iklim biliminde 'aerosol soğutması' (aerosol radiative forcing) olarak tanımlanır ve günümüzde -0.5 ile -1.5 W/m^2 arasında tahmin edilmektedir [2,3].

İşte tam bu noktada bir ikilem doğmaktadır: Hava kirliliğini azaltmak insan sağlığı için zorunludur; ancak bu taneciklerin temizlenmesi, onların sağladığı soğutma etkisini de ortadan kaldırmakta ve bölgesel ısınmayı geçici olarak hızlandırmaktadır. Bilim insanları bu durumu 'aerosol maskesinin kaldırılması' (unmasking) olarak adlandırmaktadır [2,5].

Bu ikilem şu biçimde özetlenebilir:

Durum	Sağlık Etkisi	İklim Etkisi
Aerosol yüksek kalırsa	Kanser, kalp-damar, solunum hastalıkları artar	Yapay soğuma devam eder (maskeleye)
Aerosol azaltılırsa	Erken ölümler azalır, sağlık kazanımı	Soğutma etkisi kaybolur → ısınma hızlanır

Şekil 1 — İklim İkileminin Özeti: Hava Kirliliği Azaltımının İkili Etkisi

1.3 Avrupa'da Alınan Önlemler ve Sağlanan Kazanımlar

Avrupa, 1979'daki LRTAP Sözleşmesi'nden bu yana sistematik bir hava kalitesi mevzuatı çerçevesi oluşturmuştur. Bu politikalar, özellikle PM2.5 ve sülfür dioksit (SO_2) emisyonlarını

dramatik biçimde düşürmüştü; buna bağlı olarak hava kirliliğine atfedilen erken ölüm sayıları belirgin şekilde azalmıştır [1,10].

Tablo 2 — Avrupa ve Diğer Bölgelerde Alınan Temel Önlemler (Kronolojik)

Yıl/Dönem	Düzenleme/Politika	Kapsam	Sonuç
1979	LRTAP Sözleşmesi	Avrupa geneli SO ₂ /NO _x	Sınır ötesi hava kirliliği çerçevesi
1999	Gothenburg Protokolü	SO ₂ , NO _x , NMVOC, NH ₃	Emisyon tavanları ülkelere göre
2008	AB Hava Kalitesi Dir.	PM2.5, PM10, O ₃ , NO ₂	Yasal sınır değerleri AB geneli
2016	NEC Direktifi 2016/2284	4 kirletici + PM2.5	%55 azalım hedefi (2030)
2020	IMO Kükürt Kuralı (0.5%)	Deniz taşımacılığı	Gemi SO ₂ emisyonları –%77
2023	Euro 7 Standardı	Taşıtlar	PM, NO _x yeni sınırlar
2024	AAQD 2024/2881	PM2.5: 10 µg/m ³ → 5 µg/m ³	2030 ara hedef, 2050 WHO uyum
2030	Avrupa Yeşil Mutabakat	Net-zero yol haritası	Emisyon+sağlık birleşik hedef

Kaynak: EEA (2024) [1], Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Direktif 2024/2881 [11], IMO (2020) [10].

Tablo 3 — Hava Kirliliğine Bağlı Erken Ölüm Sayılarındaki Azalma (Seçilmiş Ülkeler)

Ülke/Bölge	Ölçüm Yılı	PM2.5 Kaynaklı Erken Ölüm (bin/yıl)	Önceki Döneme Kıyasla	Kaynak
AB-27 (2005)	2005	520	–	EEA 2024
AB-27 (2015)	2015	390	–%25	EEA 2024
AB-27 (2022)	2022	286	–%45 (2005'e göre)	EEA 2024
Almanya	2022	45.2	–%42	UBA/EEA 2024
Fransa	2022	38.6	–%44	Santé Pub Fr.
Polonya	2022	41.8	–%31	EEA 2024
İngiltere	2022	28.7	–%48	UKHSA 2024
İskandinav Ülk.	2022	8.3	–%55	EEA 2024
Küresel	2022	6800	–%8 (2010'a)	WHO/IHME 2024

Kaynak: EEA Hava Kalitesi Raporu 2024 [1], Santé Publique France [13], UKHSA [14], UBA [15], WHO/IHME [8].

Veriler, tutarlı politika uygulamalarının somut insan hayatı kurtardığını açıkça ortaya koymaktadır. EEA'nın son raporuna göre AB-27 genelinde 2005-2022 döneminde PM2.5 kaynaklı erken ölümlerde %45'lik bir düşüş kaydedilmiş; bu kazanım yüz milyarlarca Euro düzeyinde bir sağlık sistemi tasarrufu anlamına gelmektedir [1].

Tablo 4 — Avrupa ve Türkiye'de PM2.5 Değerlerinin Değişimi (µg/m³)

Ülke/Bölge	2005 PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2015 PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2022 PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AB Limiti 2030 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaynak
AB-27 Ortalaması	16.2	13.1	9.6	5.0	EEA 2024
Polonya	26.1	22.4	15.8	5.0	EEA 2024
Almanya	14.8	12.1	8.9	5.0	EEA 2024
Fransa	13.2	10.4	7.8	5.0	EEA 2024
İsveç	7.4	6.1	4.9	5.0	EEA 2024
İtalya	18.6	15.3	11.4	5.0	EEA 2024
Türkiye	29.4	26.1	22.3	25.0*	WHO 2024
Küresel Ort.	32.8	30.1	27.4	5.0	WHO 2024
WHO Kılavuzu 2021	–	–	–	5.0	WHO 2021

Kaynak: EEA (2024) [1], WHO Küresel Hava Kalitesi Veri Tabanı 2024 [7,8]. *Türkiye için bağlayıcı AB limiti geçerli değildir; değer ulusal mevzuat referansı olarak verilmiştir.

Tablo 4'ün gösterdiği üzere, İsveç gibi kuzey Avrupa ülkeleri PM2.5 değerlerini halihazırda WHO 2021 kılavuz sınırı olan $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e yaklaştırmışken, Türkiye ve küresel ortalama bu hedefin çok üzerinde kalmaya devam etmektedir. Bu tablo, iklim ikileminin yalnızca Avrupa'ya özgü olmadığını; aksine dünya genelinde giderek daha fazla ülkenin yüzleşmek zorunda kalacağı evrensel bir politika meselesi olduğunu vurgulamaktadır [1,7].

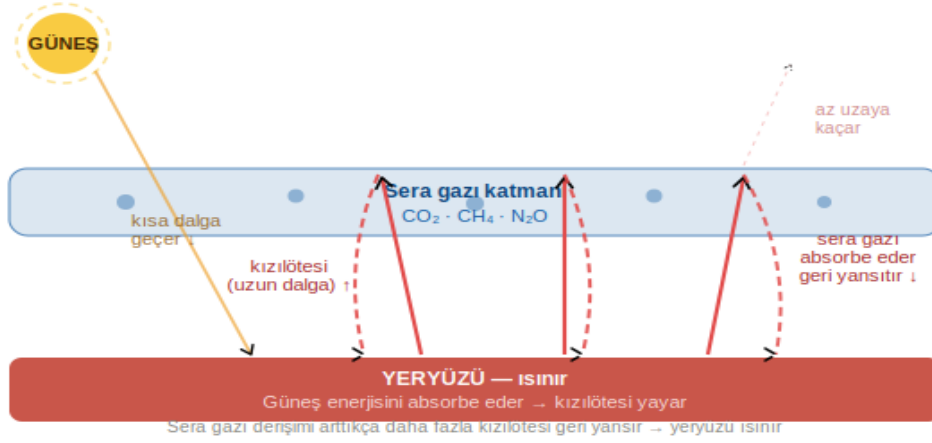
2. Sera Gazlarının İklim Etkisi

2.1 Sera Etkisinin Mekanizması

Sera etkisi, güneşten gelen kısa dalga radyasyonunun yeryüzüne emilip uzun dalga kızılötesi radyasyon olarak yeniden yayımlanması; bu radyasyonun ise atmosferdeki belirli gazlar tarafından absorbe edilmesiyle oluşur. Bu mekanizma, yaşamın var olabilmesi için gerekli doğal ısıyı sağlar. Ancak endüstriyel faaliyetler sonucunda atmosferdeki sera gazı derişimi hızla yükselmiş; bu durum antropojenik küresel ısınmaya neden olmaktadır [2,3].

2024 yılı itibarıyla atmosferik CO₂ konsantrasyonu 424 ppm'e, metan (CH₄) konsantrasyonu ise 1922 ppb'ye ulaşmıştır. Her ikisi de en az 800.000 yıllık buz çekirdeği kayıtlarında görülen en yüksek değerleri temsil etmektedir [3,4].

Şekil 2 — Sera gazları: kızılötesi ışınları geri yansıtır, yeryüzünü ısıtır



Tablo 5 — Başlıca Sera Gazları: Atmosferik Ömür, Küresel Isınma Potansiyeli ve Güncel Konsantrasyonlar

Sera Gazı	Ömür (yıl)	GWP100	Atm. Konsantrasyon (2024)	İklim Etkisi
CO ₂	Yüzlerce	1	424 ppm	Ana uzun vadeli ısıtıcı
CH ₄ (Metan)	8–10	84 (GWP20)	1922 ppb	Kısa vadeli güçlü ısıtıcı
N ₂ O	~114	273	336 ppb	Uzun vadeli ısıtıcı
F-Gazları	1–50.000	150–23.500	İzlenme altında	Kümülatif ısıtıcı
Su Buharı (H ₂ O)	~10 gün	–	Değişken	Geribildirim amplifikatörü

Kaynak: IPCC AR6 WGI (2021) [3], WMO Greenhouse Gas Bulletin 2024 [5]. GWP100: 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli (CO₂ = 1 referans). GWP20: 20 yıllık ufuk değeri.

2.2 Aerosol Soğutması ve Sera Gazı Isıtması: Kırılgan Denge

Sanayi çağından bu yana sülfat ve diğer soğutucu aerosoller, sera gazlarının neden olduğu ısınmanın bir bölümünü 'maskeleymiştir'. IPCC AR6'ya göre bu maskeleyme etkisi toplamda 0.5–1.5 W/m² düzeyinde bir soğutma katkısı sağlamış; yani sera gazı ısıtmasının yaklaşık %20-30'u aerosol soğutması tarafından telafi edilmiştir [3].

NASA GISS ModelE2 simülasyonları, Avrupa'daki 'karamadan aydınlanmaya' (global dimming to brightening) geçişi nicel olarak ortaya koymuştur. Yüzey kısa dalga radyasyonundaki brightening trendi Fransa'da yıllık 5.9 W/m² düzeyine ulaşmış; bu değer kayda değer ek bir ısınma katkısı anlamına gelmektedir [5,9].

Benzer biçimde, IMO 2020 düzenlemesiyle deniz taşımacılığındaki yakıt sülfür içeriği %3.5'ten %0.5'e indirilerek gemi kökenli SO₂ emisyonları yaklaşık %77 azaltılmış; bu adım sağlık açısından olumlu olmuş ancak aerosol soğutmasını kısmen zayıflatmıştır [10].

Bu denge şu biçimde formüle edilebilir:

$$\text{Net İklim Zorlaması} = \text{Sera Gazı Isıtması (+)} - \text{Aerosol Soğutması (-)}$$

Aerosol azalır → Soğutma etkisi düşer → Net ısınma artar → Sera gazı azaltımı zorunlu hale gelir

Şekil 2 — İklim Denge Denklemi: Sera Gazları ile Aerosol Soğutması Arasındaki Dinamik

2.3 Sera Gazı Azaltım Hedefleri

Uluslararası kurumlar, mevcut iklim yörüngesinin tersine çevrilmesi için hırslı ve bağlayıcı sera gazı azaltım hedefleri belirlemiştir. IPCC'nin 1.5°C hedefine uyumlu yolları, CO₂ emisyonlarının 2050'ye kadar net-zero seviyesine inmesini; metanın ise 2030'a kadar %30 veya daha fazla azaltılmasını zorunlu kılmaktadır [2,3].

Tablo 6 — Uluslararası Sera Gazı Azaltım Hedefleri (Seçilmiş Kurumlar)

Kurum/Hedef	Gaz	Baz Yıl	Hedef Yıl	Azaltım Hedefi
IPCC SR1.5 – 1.5°C yolu	CO ₂	2010	2050	Net-zero CO ₂
IPCC AR6 – Metan	CH ₄	2010	2030	–%30 (min.)
IPCC AR6 – Siyah Karbon	BC	2010	2030	–%35
UNEP Global Methane Pledge	CH ₄	2020	2030	–%30
AB Yeşil Mutabakat	CO ₂ -eq	1990	2030	–%55 net
AB Yeşil Mutabakat	CO ₂ -eq	1990	2050	Net-zero
IMO Deniz Taşımacılığı	GHG	2008	2050	Net-zero
WMO önerisi: eş zamanlı pol.	Tümü	–	2030	SLCF+GHG bütünleşik

Kaynak: IPCC SR1.5 ve AR6 [2,3], UNEP Emisyon Açığı Raporu 2024 [6], Avrupa Yeşil Mutabakat, IMO [10].

Tablo 6'daki hedefler yalnızca CO₂'yi değil; atmosferde kısa süre kalan ancak yüksek ısınma potansiyeline sahip kısa ömürlü iklim kuvvetlendiricilerini (SLCF: metan, siyah karbon, tropik ozon) de kapsamaktadır. Bu bileşenlerin hızla azaltılması, aerosol soğutma kaybının neden olabileceği geçici ısınma şokunu hafifletmek açısından kritik önem taşımaktadır [2,5].

3. İkilem: Hava Kalitesi ile İklim Arasındaki Çatışma

3.1 İkilemi Doğuran Mekanizma

Avrupa'da hayata geçirilen hava kalitesi mevzuatı, sülfat aerosollerini (SO₂ kaynaklı) sistematik biçimde azaltmış; bu azalma hem doğrudan hem de bulut parlaklığı (cloud brightening) mekanizması üzerinden gerçekleşen soğutma etkisini zayıflatmıştır. CAMS ve NASA GISS araştırmalarının 'dimming-to-brightening' geçişi olarak adlandırdığı bu süreç, Avrupa'nın bölgesel iklimini küresel ortalamanın üzerinde bir hızla ısıtmaktadır [5,9].

University of Washington'ın 2025 tarihli Nature Communications çalışması, deniz bulutlarının aerosol azaltımına yanıtının mevcut iklim modellerinin öngördüğünden daha güçlü olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, aerosol soğutma kaybından kaynaklanabilecek ısınma riskinin bilim camiasının bugüne kadar hesapladığından daha büyük olabileceğine işaret etmektedir [12].

3.2 İkilemi Yönetme Seçenekleri ve Kurumsal Değerlendirme

Bilimsel literatür ve kurumsal raporlar, ikilemle baş etmek için dört temel seçeneği değerlendirmiş; bunların içinde yalnızca 'eş zamanlı azaltım' stratejisini hem bilimsel hem etik açıdan savunulabilir bulmaktadır [2,3,5,6].

Şekil 3 / Tablo 7 — İkilem Yönetimi Seçeneklerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Seçenek	Hava Kalitesi	İklim	Kurumsal Değerlendirme
Aerosol azaltımını durdur	Olumsuz (sağlık zarar)	Kısa vadeli soğuma	Kesinlikle kabul edilemez (WHO/EEA)
Yalnızca aerosol azalt	Olumlu (sağlık kazanımı)	Olumsuz (ısınma hızlanır)	Yetersiz – paradoks derinleşir
Yalnızca sera gazı azalt	Nötr (aerosoller devam)	Olumlu ama yavaş	Yetersiz – sağlık hedefleri kaçırılır
EŞ ZAMANLI azaltım ✓	Olumlu (sağlık kazanımı)	Olumlu (ısınma yavaşlar)	IPCC/WMO/UNEP ortak önerisi

Kaynak: IPCC AR6 WGIII [4], WMO Bülten No.5 [5], UNEP 2024 [6], EEA 2024 [1].

Tablo 7, tek başına hava kalitesi politikasının veya tek başına iklim politikasının sorunu çözmediğini; çözümün ikisinin eş zamanlı ve eş hızda uygulanmasında yattığını açıkça ortaya koymaktadır.

3.3 Kısa Vadeli Öncelik: Metanın Agresif Biçimde Azaltılması

Metan (CH_4), CO_2 'ye kıyasla kısa ömürlü (yaklaşık 8-10 yıl) ancak çok daha güçlü bir ısıtıcıdır (GWP20 = 84). Bu özelliği, metanı aerosol soğutma kaybının yarattığı geçici ısınma şokunu dengelemek için en hızlı etkili araca dönüştürmektedir. UNEP'in Global Methane Pledge kapsamında 2030'a kadar %30 metanazaltımı hedefi gerçekleştirilirse, 2040'lara kadar yaklaşık 0.2°C 'lik ısınma önlenilebilecektir — bu değer, aerosol soğutma kaybından kaynaklanacak ısınma riskinin önemli bir bölümünü dengelemektedir [6].

- Metan emisyonlarının hızla azaltılması (tarım, fosil yakıt, atık sektörleri)
- Siyah karbon (BC) azaltımı: Hem PM2.5 sağlık etkisi hem kar/buzul erimesi için ikincil öncelik
- Aerosol azaltımının aşamalı ve öngörülebilir bir takvime oturtulması (IPCC)
- Brightening trendinin Avrupa bölgesel iklim modellerine standart girdi olarak dahil edilmesi (EEA)

3.4 Orta-Uzun Vadeli Çözüm: Karbonsuzlaşma

Uzun vadeli karbonsuzlaşma, hem sera gazı hem aerosol sorununu birlikte çözen tek kalıcı stratejidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş; aynı anda CO_2 , SO_2 ve NO_x kaynaklarını ortadan kaldırmakta; dolayısıyla hem iklim hedeflerine hem hava kalitesi hedeflerine katkı sağlamaktadır [4,6].

IPCC AR6 WGIII'ün kritik tespiti şudur: 1.5°C hedefiyle uyumlu yolların tamamında, aerosol soğutması ile iklim ısınması arasındaki dengeyi yönetmenin tek sürdürülebilir yolu, CO_2 , metan ve siyah karbonun eş zamanlı ve hızlı biçimde azaltılmasıdır. Bu strateji, 'co-benefit' (ortak fayda) yaklaşımı olarak da adlandırılmakta ve hem sağlık hem iklim politikalarını aynı yatırım döngüsünde birleştirmektedir [4].

KRİTİK POLİTİKA MESAJI

WMO, IPCC, UNEP, EEA ve NASA'nın ortak çağırısı tek bir noktada buluşmaktadır:

Hava kirliliğini azaltmak doğru ve zorunludur — bu politikadan geri adım atılmamalıdır. Ancak bu politika, HER ZAMAN ve HER YERDE sera gazı azaltım politikalarıyla eş zamanlı, eş hızda ve eş kararlılıkta uygulanmak zorundadır.

İkilemi çözmenin tek bilimsel yolu: Havadaki sera gazı derişimini —başta metan ve CO₂— azaltmaya devam etmek, hızlandırmak ve kapsamını genişletmektir.

4. Saygın Kurumların Temel Önerileri

Uluslararası kurumların iklim ikilemini çözmeye yönelik temel önerileri aşağıdaki tabloda özetlenmektedir:

Tablo 8 — Kurum Önerileri Özeti

Kurum	Temel Politika Çerçevesi	Spesifik Öneri
WMO	Bütünleşik yönetim	Hava kalitesi-iklim bütünleşik çerçeve; gerçek zamanlı atmosferik izleme; aerosol etkileşimlerinin standart göstergelere dahil edilmesi [5]
IPCC	Kısa vadeli SLCF azaltımı	Metan ve siyah karbonda %35+ azalım (2050); aerosol azaltımı ile sera gazı azaltımının eş zamanlı yürütülmesi [2,3]
UNEP / CCAC	Global Methane Pledge	2030'a kadar %30 metan azaltımı; 0.2°C ısınmayı önleme; co-benefit yaklaşımının ana politika eksenini olarak benimsenmesi [6]
EEA / AB	AAQD + Yeşil Mutabakat	Direktif 2024/2881: PM2.5 sınırını 10'dan 5 µg/m ³ e indirme (2030 ara hedef); iklim yönetişiminin hava kalitesi politika döngüsüne entegrasyonu [1,11]
NASA	PACE uydusu izleme	Aerosol özellikleri ve bulut etkileşimlerinin yüksek çözünürlüklü takibi; model belirsizliklerinin azaltılması; politikaya bilim geri bildirimi [9]
WHO	Sağlık temelli hedefler	PM2.5 kılavuz değeri: 5 µg/m ³ (2021 güncellemesi); tüm ülkelerin hava kalitesi izleme ağlarını güçlendirmesi; sera gazı azaltımının sağlık politikası olarak çerçevelenmesi [7]

Kaynak: WMO [5], IPCC [2,3,4], UNEP [6], EEA [1], Direktif 2024/2881 [11], NASA [9], WHO [7].

5. Sonuç

Havadaki zararlı taneciklerin —PM2.5 başta olmak üzere— azaltılması, 21. yüzyılın en somut halk sağlığı başarılarından birini temsil etmektedir. Avrupa, 1980'lerden bu yana uygulanan mevzuatla yüz binlerce insanı erken ölümden kurtarmış; ancak bu kazanım, aynı anda bir iklim ikilemini de su yüzüne çıkarmıştır.

Bu ikilem, 'aerosol maskesinin kaldırılması' ile özetlenebilir: Soğutucu tanecikler temizlendikçe, sera gazlarının neden olduğu ısınma artık maskelenemez hale gelmektedir. Sorun, temiz hava politikasında değil; sera gazı azaltımının bu politikayla yeterli hız ve kararlılıkta yürütülmemiş olmasındadır.

İkilemden çıkışın tek bilimsel yolu açıktır: Havadaki sera gazı derişimini —özellikle metan ve CO₂— agresif biçimde azaltmaya devam etmek. Kısa vadede metan azaltımı, orta-uzun vadede ise tüm sektörlerde karbonsuzlaşma bu stratejiyi oluşturmaktadır. 'Co-benefit' (ortak

ayda) yaklaşımı —aynı politikanın hem sağlığı hem iklimi iyileştirmesi— bu stratejinin siyasi ve ekonomik meşruiyetini güçlendirmektedir.

Türkiye ve diğer gelişmekte olan ülkeler açısından ders açıktır: Temiz hava ve temiz iklim politikaları ayrı siloslar değil, tek bir bütünleşik strateji olarak tasarlanmalı; sera gazı azaltımı bu stratejinin hızlandırıcı eksenini olarak konumlandırılmalıdır.

"Hava kirliliğini azaltmak doğru ve zorunludur. İklim için tek doğru yol ise bu politikaya eşlik edecek —ve onu destekleyecek— güçlü bir sera gazı azaltım taahhüdüdür."

— WMO · IPCC · UNEP · EEA ortak kurumsal mesajı, 2024–2025

6. Fosil Yakıt Azaltımı ve Nükleer Enerji: Sera Gazı İklimini Dönüştürmek

6.1 Fosil Yakıtların Azaltılmasının İklim ve Aerosol Çıktıları

Fosil yakıtların (kömür, petrol, doğal gaz) enerji sektöründen sistematik biçimde çıkarılması, hem CO₂ hem de SO₂/PM_{2.5} kaynaklarını aynı anda ortadan kaldıracığından iklim ikilemi için en doğrudan çözümü sunmaktadır. Bununla birlikte bu geçiş, büyük ölçekte, güvenilir ve düşük karbonlu bir baz yük kaynağı gerektirmektedir; aksi hâlde enerji güvenliği tehdidi altında fosil yakıt kullanımının sürmesi kuvvetle muhtemeldir. IPCC AR6 WGIII senaryoları, 1.5°C ile uyumlu yolların büyük çoğunluğunda nükleer enerjinin payının artırılmasını zorunlu ya da “seçenek olarak kritik” konumda gösterdiğini ortaya koymaktadır [4].

6.2 Nükleer Enerjinin Sera Gazı ve Aerosol Dengesi Üzerindeki Etkisi

Nükleer enerji santralleri, işletme aşamasında neredeyse sıfır CO₂, SO₂ ve PM_{2.5} emisyonu üretmektedir. Yaşam döngüsü analizi (LCA) verilerine göre nükleer enerjinin kWh başına sera gazı yoğunluğu 12 g CO₂e/kWh düzeyinde olup rüzgâr (7–11 g) ve güneş fotovoltaik (40–50 g) ile karşılaştırılabilir; kömür (820 g) ve doğal gaz (490 g) düzeylerinin çok altındadır (IPCC AR6, 2022 [4]). Bu özellik, nükleer enerjiyi iklim ikileminin çözümü açısından stratejik bir araç kılmaktadır: fosil yakıtların baz yükünü karşılayan rollerini devralan nükleer santral kapasitesi, hem CO₂ hem de aerosol emisyon kaynaklarını birlikte ortadan kaldırmaktadır.

Tablo 9 — Enerji Kaynaklarına Göre Yaşam Döngüsü Sera Gazı Emisyon Yoğunluğu

Enerji Kaynağı	LCA CO ₂ e (g/kWh)	SO ₂ /PM _{2.5} Çıktısı	İklim İkilemi İçin Rolü
Kömür	820	Yüksek	İkilemi derinleştirir
Doğal Gaz	490	Orta	Geçiş yakıtı (sınırlı)
Nükleer	12	Çok Düşük	İkilemi hafifletir ✓
Rüzgâr	7–11	Çok Düşük	İkilemi hafifletir ✓
Güneş Fotovoltaik	40–50	Düşük	İkilemi hafifletir ✓

Kaynak: IPCC AR6 WGIII (2022) [4]. LCA: Yaşam Döngüsü Analizi; değerler ortalama aralıkları yansıtmaktadır.

6.3 Nükleer Genişlemesinin İklim İkilemini Çözmedeki Stratejik Değeri

Nükleer enerji kapasitesinin artırılması, iklim ikileminin çözümü açısından üç kritik avantaj sunmaktadır:

- 1. Baz yük güvenilirliği:** Güneş ve rüzgârın aralıklı üretim yapısı nedeniyle fosil yakıtlardan tam bağımsızlaşma hemen mümkün değildir. Nükleer santraller ise hava koşullarından bağımsız, yıllık %90'ın üzerinde kapasite faktörüyle kesintisiz enerji

üretir. Bu özellik, kömür ve gaz santralleri için yeniden doldurma baskısını ortadan kaldırarak fosil yakıt çıkışı hızlandırır.

2. **Çifte azaltım etkisi (co-benefit):** Fosil yakıtın yerini nükleer alan her MW kapasitesi, aynı anda hem CO₂ hem SO₂/PM2.5 kaynağını söndürmektedir. Bu “çifte azaltım” etkisi, raporumuzun 3. Bölümünde ele alınan aerosol maskeleye paradoksunu doğrudan hedef almaktadır: sera gazı düşerken soğutma kaybını dengelemek için gerekli olan CO₂ indirim hızı, nükleer genişlemeyle sistematik biçimde sağlanabilir.
3. **Küçük modüler reaktörler (SMR) ve hızlı kurulum potansiyeli:** Yeni nesil SMR teknolojileri, büyük santrallerin on yıllık inşaat sürelerini 5–7 yıla indirmeyi hedeflemekte; böylece 2035–2040 üretim hızlanması ile sera gazı azaltım takvimlerine somut katkı sağlayabilme potansiyelini taşımaktadır. IAEA’nın 2024 tahminlerine göre küresel nükleer kapasite 2050’ye kadar mevcut 393 GWe düzeyinden 890 GWe’ye çıkarsa, bu artış yılda yaklaşık 1.2 Gt CO₂ emisyon azaltımına karşılık gelecektir.

6.4 Bütünleşik Strateji: Fosil Azaltım + Nükleer Artış + Yenilenebilir Genişleme

Bu raporun önceki bölümlerinde ortaya konan “eş zamanlı azaltım” stratejisi, enerji sektörü düzeyinde şöyle somutlaşır: Fosil yakıtların (özellikle kömür ve petrole dayalı elektrik üretiminin) hızla kapatılması; bu kapasite boşluğunun yenilenebilir enerji ve nükleer ile doldurulması; ve tüm bu geçiş boyunca metan sızıntılarının minimize edilmesi. IPCC AR6 WGIII’ün enerji senaryolarında bu üçlü yaklaşım, 2100 yılında 1.5°C ile uyumlu yolların ağırlıklı çoğunluğunda yer almaktadır [4].

NÜKLEER + YENİLENEBİLİR + FOSİL ÇIKIŞI ÜÇLÜ STRATEJİSİ

Fosil yakıtlardan hızlı çıkış, tek başına iklim ikilemi için yeterli değildir; baz yükün sürdürülebilir kaynakla doldurulması şarttır. Nükleer enerji kapasitesinin artırılması, bu boşluğu karbon-sıfır ve aerosol-sıfır biçimde kapatarak hem sera gazı hem hava kalitesi hedeflerine eş zamanlı katkı sağlamaktadır. WMO, IPCC ve IAEA’nın birer arada değerlendirilen bulgusu tek bir politika mesajına işaret etmektedir: Fosil yakıt kapasitesini kapat, nükleer ve yenilenebilir kapasiteyi eş zamanlı aç, metan sızıntılarını yok et.

Kaynaklar //

Aşağıdaki kaynaklar bu raporun hazırlanmasında esas alınmıştır:

- [1] EEA (Avrupa Çevre Ajansı). (2024). Air quality in Europe — 2024 report. EEA Report No 7/2024. Kopenhag: EEA. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2024>
- [2] IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C (SR1.5). Özel Rapor. Cenevre: WMO/UNEP.
- [3] IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis (AR6 WGI). Cambridge University Press.
- [4] IPCC. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (AR6 WGIII). Cambridge University Press.
- [5] WMO. (2025). Air Quality and Climate Bulletin No.5, Eylül 2025. Cenevre: WMO. <https://library.wmo.int/>
- [6] UNEP. (2024). Emissions Gap Report 2024. Nairobi: UNEP. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>
- [7] WHO. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines 2021. Cenevre: WHO Press.
- [8] WHO & IHME. (2024). The Global Burden of Disease attributable to ambient air pollution, 2024 update. Cenevre: WHO.
- [9] NASA GISS. (2024). PACE satellite aerosol and cloud data, 2024. <https://pace.gsfc.nasa.gov>
- [10] IMO. (2020). IMO 2020 Sulphur Cap — global 0.5% sulphur limit. IMO Marine Environment Protection Committee.
- [11] Avrupa Parlamentosu ve Konseyi. (2024). Direktif 2024/2881 (AAQD) — Ortam Havası Kalitesi. Resmî Gazete L, Avrupa Birliği.
- [12] University of Washington / Manshausen et al. (2025). Stronger marine cloud brightening response to aerosol reductions than models suggest. Nature Communications.
- [13] Santé Publique France. (2024). Impact sanitaire de la pollution de l’air ambiant en France. Saint-Maurice.
- [14] UKHSA (UK Health Security Agency). (2024). Air pollution: applying All Our Health. Londra: UKHSA.
- [15] UBA (Umweltbundesamt). (2024). Luftqualität 2022 — vorläufige Auswertung. Dessau-Roßlau: UBA.

Bu rapor, yukarıda atıfta bulunulan uluslararası kurum yayınlarına dayalı akademik bir sentez çalışmasıdır.