

Daha az hava kirliliği, daha az kanserli sayısı ama daha sıcak iklim!

Bu ikilem nasıl çözülür? Bu yazının konusu..

Bu analiz, Yüksel Atakan'ın yönetim, düzeltme ve düzenlemeleriyle, saygın kaynaklardan YZ bulgularıyla hazırlanmıştır (ybatakan4@gmail.com) 22.05.2026 //

ÖZET

Artan hava kirliliği şemsiyesi, Güneş ışınlarını kısmen perdeleyerek yeryüzünün sıcaklığının artmamasına ve iklimin korunmasına katkı sağlıyor; hava kirliliği azaldığında ise Dünya yeryüzü daha çok ısınıyor. Bu ikilemden çıkışın tek yolu CO₂ emisyonlarını yoğun olarak azaltmaktır. CO₂ artımına en büyük katkı ise fosil yakıtlardan geliyor. Dünyadaki çok sayıda fosil yakıtlı santralin yerini alabilecek, taban elektrik yük güvenilirliği kanıtlanmış yegâne düşük karbonlu kaynak ise nükleer enerjidir. Yenilenebilir kaynakların her zaman olmayışı (düşük kapasite faktörleri) elektrik baz yük gereksinimini karşılamaktan uzaktır; bu nedenle fosil yakıt çıkışında nükleer enerji CO₂ azaltımında çok önemli bir katkı sağlayabilir.

1. Neden Fosil Yakıtları Azaltmak Tek Başına Yetmez?

Hava kirliliğine yol açan başta sülfat ve nitrat tanecikleri ve diğerleri (PM2.5/SO₂), güneş ışınlarını emip yansıtarak yeryüzünün ısınmasını önlemeye katkı sunan bir "güneş şemsiyesi" işlevi görmektedir. Bu azaltıma katkısı -0,5 ile -1,5 W/m² arasında kestirilmektedir; ya da sera gazı ısıtmasının %20–30'u hava kirliliğiyle zırhlanmaktadır (IPCC AR6, 2021). Avrupa'nın 1980'lerden bu yana uyguladığı hava kalitesi yönetmelikleri PM2.5 ve diğer kaynaklı erken ölümleri %45 azaltmış; ancak bu "şemsiyenin" incelenmesi yeryüzündeki ısınmayı hızlandırmıştır.

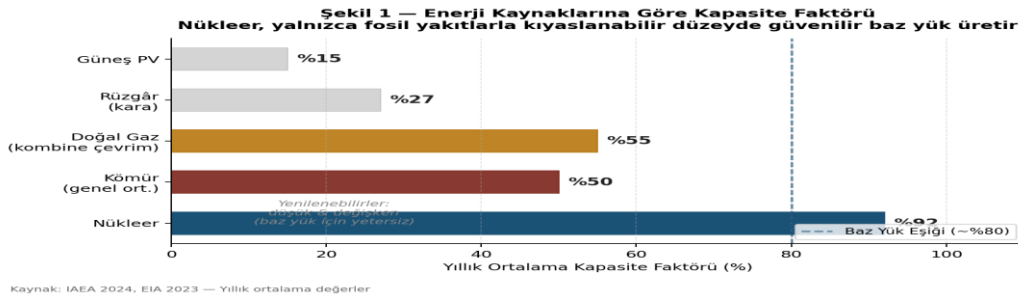
Çözüm yalnızca tektir: Hava temizliği politikasına eşlik eden, yoğun bir CO₂ azaltımının uygulanması. Bunun için fosil yakıtların yerini kapasite güvenilirliği açısından alabilecek yegâne kaynak ise **nükleer enerjidir**.

Avrupa PM2.5 Azaltma Oranı Tüm Dünyaya Uygulanırsa Ne Olur?

Avrupa, 2000–2022 döneminde PM2.5 konsantrasyonunu enerji, sanayi ve ulaşım politikalarıyla ortalama **%41** azaltmıştır (EEA 2024). Bu oranın tüm küreye uygulanması halinde şu sonuçlar çıkar:

Küresel PM2.5'in yaklaşık %60'ı politikayla azaltılabilir enerji+sanayi kaynaklıdır. Bu kesim %41 azaltılırsa aerosol şemsiyesi **%24,6** oranında inceler. Mevcut aerosol soğutma -1,0 W/m² (IPCC AR6, aralık: -0,5—-1,5). Bu kazanımın %24,6'sının yitirilmesi **+0,25 W/m²** ek ısıtma zorlaması demektir; iklim duyarlılığı ($\lambda \approx 0,8$ °C/W/m²) ile bu **+0,20 °C** ek ısınmaya karşılık gelir.

Bu ısınma açığını kapatmak için gereken kümülatif CO₂ azaltımı yaklaşık **154 GtCO₂**. 2050 hedefine 25 yıla yayılması durumunda yılda ek **~6.200 MtCO₂** azaltım gerekmektedir; bu küresel enerji emisyonlarının (~37 Gt/yıl) %17'si kadar ek azaltımdır. Hava temizlendikçe şemsiye inceliyor; bu açığı kapatmada tek kanıtlanmış araç nükleer enerji aracılığıyla sağlanacak CO₂ azaltımıdır.



Şekil 1 — Enerji kaynaklarına göre yıllık ortalama kapasite faktörü. Yalnızca nükleer, fosil yakıtlarla karşılaştırılabilir düzeyde güvenilir baz yük sağlar; yenilenebilir enerjiler (YE) baz yük eşiğinin çok altında kalır (IAEA 2024, EIA 2023).

TANIMLAR

Kapasite Faktörü: Bir enerji santralinin belirli bir dönemde (genellikle bir yıl) gerçekte ürettiği elektrik enerjisinin, sürekli tam kapasite çalışsaydı üretebileceği kuramsal en fazla enerjiye oranıdır. Santralin hiç durmadan tam güçte %100 çalıştığı anlamına gelir. Nükleerin %90+ değeri, sürekli ve öngörülebilir enerji üretimi demektir; bu da onu fosil yakıtların baz yük rolünün birebir yerini alabilecek tek düşük karbonlu kaynak yapar.

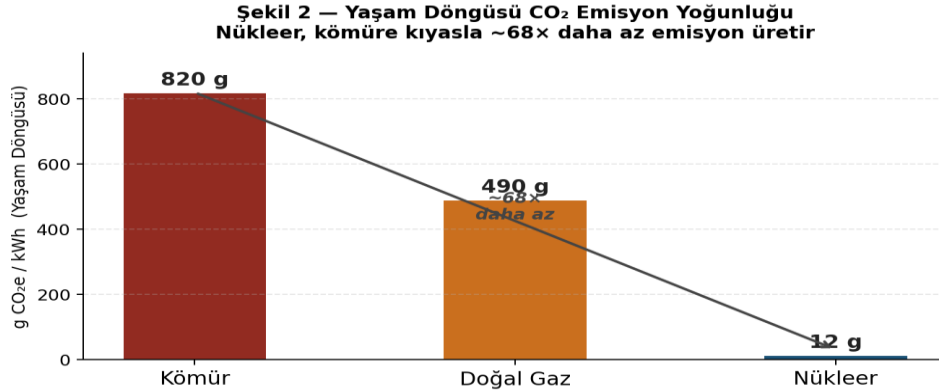
Baz Yük: Bir elektrik şebekesinden günün 24 saati, yılın 365 günü karşılanması gereken en az ve sabit elektrik çekim düzeyi. Fosil yakıtlar bugüne kadar bu rolü üstlenmiştir; nükleer enerji bu rolü, hatta fazlasıyla, devralabilecek tek kanıtlanmış düşük karbonlu teknolojidir.

PM 2,5 / PM10: Havada bulunan, çapları 2,5 ve 10 mikrometreden daha küçük olan, insan sağlığı için zararlı tanecikler (Bkz.Not: Yazının sonunda).

2. Nükleer Enerji: Fosil Yakıtların Yerine Geçebilecek Tek Baz Yük Kaynağı

Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar, hava koşullarına bağlı değişken yapıları nedeniyle baz yük gereksinimini karşılayamamaktadır. Kara rüzgârının ortalama kapasite faktörü %27, güneş PV'nin ise %15 düzeyindedir. Bu değerler, baz yük eşiğinin (%80+) çok altında kalmaktadır. Nükleer santraller ise %90'ın üzerinde kapasite faktörüyle hava koşullarından tümüyle bağımsız, yıl boyunca kesintisiz enerji üretir.

Bu kritik fark, nükleer enerjiyi şu konuma taşır: **Kömür ve doğal gazın kapattığı baz yük boşluğunu, karbon sıfır ve aerosol sıfır biçimde doldurabilen yegâne mevcut teknolojidir.**



Kaynak: IPCC AR6 WGIII (2022) — LCA ortalamaları; yakıt çıkarımından bertarafı kadar tüm zincir

Şekil 2 — Yaşam döngüsü CO₂ emisyon yoğunluğu (g CO₂e/kWh). Nükleer enerji, kömüre kıyasla ~68 kat, doğal gaza kıyasla ~41 kat daha az emisyon üretmektedir (IPCC AR6 WGIII, 2022).

IAEA'nın 2024 projeksiyon senaryosuna göre küresel nükleer kapasite 2050'ye kadar mevcut 393 GWe'den 890 GWe'ye çıkarılabilirse, bu artış yılda yaklaşık 1,2 GTON CO₂ azaltımına karşılık gelmektedir. Küçük modüler reaktörler (SMR) 5–7 yıllık inşaat süreleriyle fosil kapasitesinin hızla yerini alabilme potansiyeli taşımaktadır.

3. Hava Kalitesi İyileşmesi ve Kanseri: 1980'den Bu Yana Ne Değişti?

Avrupa ve diğer gelişmiş ülkelerde uygulanan hava kalitesi yönetmelikleri, PM2.5 kaynaklı —başta akciğer kanseri olmak üzere— çeşitli kanser türlerinin ölüm oranlarını belirgin biçimde düşürmüştür. Aşağıdaki tablo, akciğer kanseri ölümlerindeki değişimi ve PM2.5 azalmasıyla korelasyonunu; ayrıca her ülke için tahmini mutlak akciğer kanseri ölüm sayılarını 1980 ve ~2024 yılları için karşılaştırmalı olarak özetlemektedir.

Ülke / Bölge	Akciğer Kanseri Ölüm 1980 (100.000'de)	Akciğer Kanseri Ölüm 2020 (100.000'de)	Oran Azalması	PM2.5 Azalması (2000–2022)	Tahmini Yıllık Akciğer Kanseri Ölümü 1980	Tahmini Yıllık Akciğer Kanseri Ölümü ~2024
AB-27 Ortalaması	52	28	-46 %	-41 %	184.600	125.160
İngiltere	72	31	-57 %	-48 %	40.320	21.080
Almanya	55	26	-53 %	-40 %	42.900	21.840
Fransa	40	22	-45 %	-41 %	21.600	14.960
İsveç	22	13	-41 %	-34 %	1.760	1.430
Polonya	70	44	-37 %	-30 %	25.200	16.720
ABD	58	27	-53 %	-42 %	132.240	90.450
Japonya	30	18	-40 %	-28 %	35.100	22.320
Küresel Ort.*	38	30	-21 %	-16 %	1.683.400	2.430.000

Kaynak: GLOBOCAN 2020 (IARC/WHO) [9], EEA Hava Kalitesi Raporu 2024 [1], OECD/EU Health at a Glance 2022 [10]. Oranlar yaşa standardize edilmiştir; PM2.5 azalması 2000–2022 dönemini kapsar. * Küresel satırında akciğer kanseri ölüm oranı 1980–2020 arasında %21 azalmış olmakla birlikte, dünya nüfusunun aynı dönemde 4,4 milyardan 8,1 milyara çıkması nedeniyle tahmini mutlak ölüm sayısı artmıştır. Bu durum bir çelişki değil; gelişmekte olan ülkelerde kömür kullanımının sürmesinin ve nüfus artışının kaçınılmaz bir sonucudur.

EEA verilerine göre Avrupa'da PM2.5 kaynaklı toplam erken ölümler 2005–2022 arasında %45 azalmıştır (520.000'den 286.000'e). Ancak hava kirliliğini yaratan fosil yakıt kaynaklı SO₂ ve PM2.5 aynı zamanda yeryüzünü sıcaktan korumaktadır. Tek etkin çözüm: fosil yakıtların, tümüyle nükleer enerjiyle değiştirilmesi ve havaya fosil kaynaklar yoluyla salınan CO₂ miktarından tasarruftur.

KRİTİK POLİTİKA MESAJI

Fosil yakıtlı santralleri kapat — nükleer santralleri eş zamanlı aç. Yenilenebilir Enerjiler elektrik taban yük gereksinimini karşılayamaz; dolayısıyla fosil yakıt çıkışında, nükleer enerji merkezi rolü üstlenmek durumundadır. Fosil yakıtların nükleer ile değiştirilmesi; CO₂, metan ve aerosol emisyonlarını tek seferde ve kalıcı biçimde ortadan kaldıran yegâne çözümdür.

4. Dünya'nın En Fazla Kömür Santrali Bulunan 10 Ülkesi: Kömür—Nükleer Karşılaştırma Tablosu

Aşağıdaki tablo; kurulu kömür kapasitesi en yüksek 10 ülkenin güncel verilerini özetlemekte ve bu ülkelerin fosil yakıt kapasitelerinin yerine nükleer enerjiyle değiştirilmesi durumunda sağlanacak CO₂ azalımını karşılaştırmalı biçimde göstermektedir. Her ülke için son Finlandiya reaktör modeli olan 1.600 MWe'lik nükleer reaktörler örnek alınmıştır (reaktörler için %90 kapasite faktörü ile yılda üretilebilecek elektrik: ~12,6 TWh). CO₂ tasarrufu hesabında kömür santrallerinin ortalama emisyon yoğunluğu 850 gCO₂/kWh (IEA, 2024), Nükleer reaktörler için ise 12 g/kWh kullanılmıştır (Bkz Şekil 2)

Ülke	Kurulu Kömür Gücü (MW)	Yıllık Üretim (TWh)	Yıllık CO ₂ Salımı (Mt/yıl)	Eşdeğer 1.600 MW Kömür Santrali (%50 KF)	Gerekli EPR Reaktör Sayısı (×1.600 MW)	Nükleer Toplam Güç (MW)	CO ₂ Tasarrufu (Mt/yıl)
Çin	1.060.000	5.100	4.250	728	405	648.000	4.335
Hindistan	236.000	1.060	890	152	85	136.000	901
ABD	207.000	780	660	112	62	99.200	663
Rusya	55.000	195	165	28	16	25.600	166
Japonya	34.000	105	90	15	9	14.400	89
G. Afrika	42.000	210	195	30	17	27.200	178
Almanya	14.000	80	58	12	7	11.200	68
Polonya	28.000	130	120	19	11	17.600	110
G. Kore	24.000	115	100	17	10	16.000	98
Avustralya	23.000	97	90	14	8	12.800	82
TOPLAM	1.723.000	7.872	6.618	1.127	630	1.008.000	6.690

Kaynak: Global Energy Monitor — Global Coal Plant Tracker (2024); IEA World Energy Outlook 2023; IPCC AR6 WGIII (2022). Reaktör başına 1.600 MWe, kapasite faktörü %90, Kömür emisyon yoğunluğu 850 g CO₂/kWh esas alınarak hesaplanmıştır. Rakamlar yuvarlatılmış tahminlerdir.

Toplam CO₂ Tasarrufu: Bu 10 ülkedeki kömür santrallerinin tümüyle nükleer reaktörlerle değiştirilmesi durumunda, yıllık toplam **~6,69 milyar ton (Gt) CO₂** atmosfere salınmaktan kurtarılabilecektir. Bu rakam, küresel enerji kaynaklı toplam CO₂ emisyonlarının (~37 Gt/yıl) **yaklaşık %18'ine** karşılık gelmekte; bu nedenle söz konusu değişiklik iklim hedeflerine ulaşmak için kritik önem taşımaktadır. Büyük 1.600 MWe'lik EPR reaktörü yerine Küçük Modüler Reaktörler (SMR) seçildiğinde, daha kısa inşaat süreleri sonucu bu dönüşüm önemli ölçüde hızlanabilecektir.

5. Sonuç

İklim ikileminin çözümü iki temel yaklaşıma dayanmaktadır: (1) Fosil yakıt kapasitesinin hızla kapatılması; (2) Baz yük boşluğunun nükleer enerjiyle doldurulması. Bu değiştirme, CO₂, metan ve aerosol emisyonlarını tek seferde ve kalıcı biçimde ortadan kaldıran yegâne kanıtlanmış yaklaşım olacaktır.

Kömür ile Nükleer: Kapasite Karşılaştırması — Bu rapordaki 10 ülkedeki 7.872 TWh kömür elektriğini, %50 kapasite faktörüyle çalışan 1.600 MW'lık kömür santrallerinden **1.127 adet** sağlar (toplam kurulu güç ~1.803.200 MW). Aynı üretimi %90 kapasite faktörüyle çalışan 1.600 MWe EPR reaktörleri yalnızca **630 reaktörle** karşılayabilir (toplam 1.008.000 MW). Her bir EPR, **ortalama 1,79 kömür santraline eşdeğer** üretim sunar. Bu farkın tek nedeni kapasite faktörüdür: nükleer %90, kömür yalnızca %50.

Hava Temizliği ve CO₂ Denklemi — Avrupa'nın PM2.5 başarısı tüm dünyaya uygulandığında küresel aerosol şemsiyesi %24,6 inceliyor ve **+0,20 °C ek ısınma** gündeme geliyor. Bunu karşılamak için yılda ek **~6.200 MtCO₂** azaltım zorunludur. Bu rapordaki kömür–nükleer dönüşümü tek başına 6.690 MtCO₂/yıl tasarruf sağlar; bu rakam hem aerosol kaplı açığı kapatmaya hem de 1,5 °C iklim hedefine ulaşmaya yetecek büyüklüktedir.

IPCC AR6 WGIII'ün 1,5°C ile uyumlu senaryolarının büyük çoğunluğu nükleer kapasite artışını zorunlu ya da kritik öneme sahip olarak tanımlamaktadır. Nükleer enerji, yüksek kapasite faktörü nedeniyle, fosil yakıtların tek gerçek ve kanıtlanmış seçeneğidir.

Not: Hava kirliliğinde etkin olan PM2.5 içindeki kimyasal bileşenler bilimsel olarak şunlardır (Çapları 2.5 Mikrometre'den küçük tanecikler):

İnorganik tuzlar (genellikle en büyük pay, %30-50)

- Sülfat (SO₄²⁻) — kömür ve mazottan SO₂'nin atmosferde oksidasyonu ile oluşur
- Nitrat (NO₃⁻) — araç ve sanayi NO_x emisyonlarından
- Amonyum (NH₄⁺) — tarımsal amonyakla sülfat/nitratın birleşmesinden

Karbon bileşikler

- Elementel karbon / is (EC) — yanma artığı, dizel egzozu
- Organik karbon (OC) — birincil yanma ürünleri + ikincil organik aerosoller (VOC'lerin atmosferde dönüşümü)

Ağır metaller ve metal oksitler

- Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As), nikel (Ni), krom (Cr), mangan (Mn)
- Demir oksitler — sanayi ve fren aşınmasından
- Çinko — lastik ve endüstriyel kaynaklardan

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)

- Benzopiren, naftalin, antrasen gibi bileşikler — kömür ve biyokütle yanmasından
- Bunlar güçlü kanserojenler; akciğer kanseri ile doğrudan ilişkisi en güçlü bileşenler

Biyolojik partiküller

- Polen parçacıkları, küf sporları, bakteri fragmanları
- Bunlar Avrupa'da özellikle mevsimsel pik oluşturur

Diğer

- Tuz (NaCl) — kıyı bölgelerinde deniz spreyi
- Silika ve alüminasilikatlar — toprak kaynaklı mineral tozlar (Sahra kumu Güney Avrupa'ya ulaşır)
- Klorür bileşikler

Kaynaklar // YZ

[1] EEA. Air Quality in Europe — 2024 Report. EEA Report 7/2024.

[2] IPCC AR6 WGI (2021). The Physical Science Basis. Cambridge University Press.

[3] IPCC AR6 WGIII (2022). Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press.

[4] IAEA. Nuclear Power and Climate Change. IAEA Nuclear Energy Series, 2024. [5] WMO. Air Quality and Climate Bulletin No.5, 2025.

[6] UNEP. Emissions Gap Report 2024. Nairobi. [7] WHO. Global Air Quality Guidelines 2021. Geneva.

[8] WHO/IHME. Global Burden of Disease — Air Pollution, 2024 Update.[9] Ferlay J. et al. GLOBOCAN 2020 — Cancer incidence and mortality worldwide. Int J Cancer.[10] OECD/EU. Health at a Glance: Europe 2022. OECD Publishing.