

Enerji Santralleri ve Kanser Riski?

Hazırlayan: Yüksel Atakan, Dr. Radyasyon Fizikçisi ybatakan4@gmail.com

Bu geniş kapsamlı YZ destekli değerlendirmede, nükleer ve kömür santrallerinin çevre halkında kanser riskini artırıp artırmadığını inceleyen 12 uluslararası epidemiyolojik çalışma birbirleriyle karşılaştırılmakta ve sadece son araştırmaya bağlı kalınmamaktadır.

ÖZET

Bu değerlendirme, nükleer ve kömürlü termik santrallerin çevre halkında kanser riskini artırıp artırmadığını inceleyen 12 uluslararası sağıkbilimsel (epidemiyolojik) araştırmayı dizgeli olarak karşılaştırmaktadır. 1991 ile 2026 yılları arasında yürütülen bu çalışmalar, Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Almanya, Kore ve İtalya'dan yaklaşık 100 milyon kişi-yılı gözlemsel veriyi kapsamaktadır (100 milyon kişinin 1 yıl boyunca izlenmesine eşdeğer çalışmalar). Bulgular iki temel karşıtlığı ortaya koymaktadır: Olağan işletim koşullarında nükleer santrallerin yakınında yaşayan genel topluluk için, beş denetim grubu çalışması (RR 0,97–1,03) kanser riskinde anlamlı bir artış saptamamış; iki çalışma (KiKK GO=1,61; Harvard 2026 RR=1,18) ise nedensel yorumu belirsizliğini koruyan sinyaller belirlemiştir (RR=1 Ek risk yok anlamında). Kömürlü santrallerin yakınındaki topluluklarda ise, tüm çalışmalar tutarlı olarak anlamlı risk artışlarıyla sonuçlanmıştır; Amerika Birleşik Devletleri'nde, kömürlü santrallerden emisyonların azalmasıyla sonuçlanan yaptırımlar sonucu kömür santrallerine bağlanan ölüm sayısını yirmi yılda %96 oranında azaltmıştır. Mevcut kanıtlar, olağan işletimde nükleer enerjinin, kömüre göre toplum sağığı üzerinde önemli ölçüde daha düşük ve çok daha belirsiz bir kanser riski oluşturduğu sonucunu desteklemektedir.

Anahtar Sözcükler: Nükleer güç santrali; kömürlü termik santral; kanser riski; sağıkbilim; PM2.5; çevre sağığı; hava kirliliğı

Epidemiyolojik araştırma (Sağıkbilim araştırması): Belirli bir hastalık ya da sağık etkisinin görüldüğü, en az 5-10 bin kişilik "Etkilenen bir grup" (etki kaynağına, örneğin elektrik santraline yakın yaşayanlar) ile etki kaynağından çok uzaktaki yaklaşık aynı büyüklükteki başka bir grupta sağık taraması yapılarak hastalıkların karşılaştırıldığı dizgeli bilimsel çalışmalardır. Bu karşılaştırma sonucunda araştırmacılar, hastalığın etkiye açık grupta daha sık görülüp görülmediğini ve etki kaynağının hastalıklardan sorumlu olup olmadığını anlayabilirler.

ABSTRACT

This review systematically compares 12 international epidemiological studies examining whether nuclear and coal power plants increase cancer risk in surrounding populations. Conducted between 1991 and 2026, these studies cover approximately 100 million person-years of observational data from the United States, the United Kingdom, Germany, Korea, and Italy. The findings reveal two fundamental contrasts: for the general public living near nuclear power plants under normal operating conditions, five control-group studies (RR 0.97–1.03) detected no significant increase in cancer risk; two studies (KiKK OR=1.61; Harvard 2026 RR=1.18) identified signals whose causal interpretation remains uncertain. For populations near coal power plants, all studies consistently reported significant risk increases; in the United States, emission control policies reduced the coal-attributable mortality burden by 96% over twenty years. The available evidence supports the conclusion that nuclear energy under normal operation imposes a substantially lower and far more uncertain cancer burden on public health compared to coal. Prospective studies based on individual dose measurements should be prioritized as the primary tool for closing the methodological gap in nuclear plant epidemiology.

Epidemiological research (Health science research): These are systematic scientific studies in which diseases are compared by conducting health screenings in an "exposed group" of at least 5-10 thousand people living near a source of exposure (e.g., a power plant) where a specific disease or health effect is observed, and another group of approximately the same size living far from the exposure source. Through this comparison, researchers can determine whether the disease occurs more frequently in the exposed group and whether the exposure source is responsible for the diseases.

Keywords: nuclear power plant; coal power plant; cancer risk; epidemiology; PM2.5; environmental health; air pollution

A.Temel kavramlar ve Durum

RR (Görelî Risk / Relative Risk): İki grubun kanser oranını karşılaştıran katsayıdır. **RR = 1,00** → Karşılaştırılan grupla tümüyle aynı risk (fark yok). **RR = 1,18** → %18 daha yüksek risk. **RR = 2,10** → 2,1 kat (yani %110 daha yüksek) risk anlamına geliyor.

SIR (Standartlaştırılmış İnsidans /Olasılık Oranı): Belirli bir bölgedeki yeni kanser bulgusu sayısının, o toplumun yaş yapısına göre beklenen sayıya oranıdır. **SIR = 1,0** → Beklenenle eşit risk demektir (fark yok).

ERR/Gy (Doz Başına Fazladan Görelî Risk): Radyasyon dozu her 1 Gray (Gy)= 1 Sv (Gama'lar için) arttığında kanser riskinin ne kadar yükseldiğini gösterir. **ERR/Gy = 2,68** lösemi bulgusu) → 1 Gy doz alındığında lösemi riski %268 artar demektir. Ancak nükleer santral yakınındaki halkın aldığı doz milyonda birin çok altındadır (yaklaşık 0,001 mSv/yıl); bu nedenle aynı formül halk için uygulandığında risk sıfıra çok yakın çıkar.

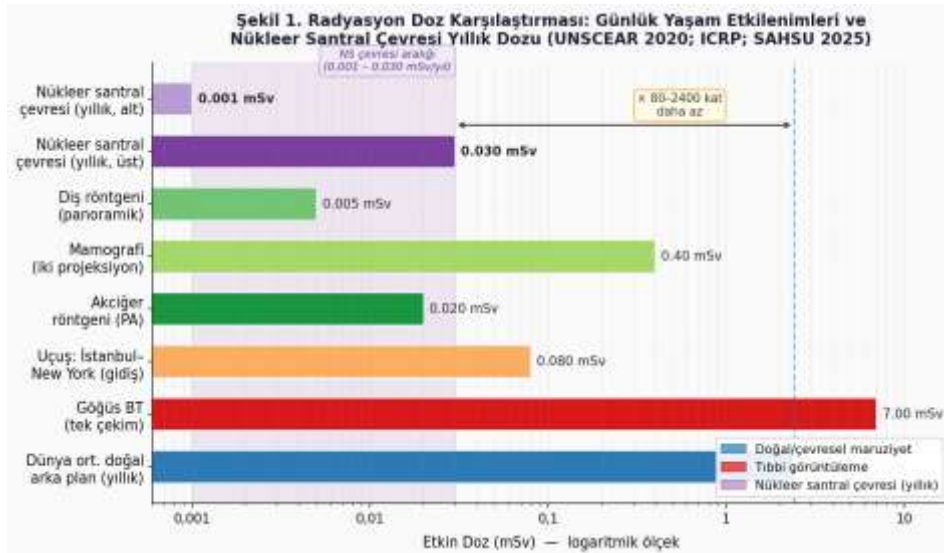
Odds (Olasılık Oranı) Bir olayın gerçekleşme olasılığının, gerçekleşmeme olasılığına oranıdır.

Odds = P(olay) / (1 - P(olay)). Örneğin bir hastalık grubunda 10 kişiden 4'ü hasta ise: Odds = 4/6 = 0,67 **OR – Odds Ratio (Odds Oranı)**. Aşağıdaki Cümlede geçen OR = 1,61 . İki grubun odds değerlerinin birbirine bölünmesiyle elde edilir; genellikle olay(bulgu)-kontrol çalışmalarında kullanılır.

Politika Başarısı: Bir hükümet politikasının ya da düzenleyici yaptırımın ölçülebilir sağlık etkisi yarattığının kanıtıdır. Bu makalede özellikle ABD'nin kömür santrallerine yönelik hava kalitesi düzenlemeleri (2010'lar sonrası kömür santrallerinin kapatılması veya filtreleme zorunluluğu) sonucunda **kömür kaynaklı ölüm sayısının 1999'da yılda ~43.000'den 2020'de ~1.600'e — yani %96 oranında — düşmesi açıklanmaktadır**. Bu düşüş rastlantısal değil; kapatılan santral sayısı ve emisyon azalmasıyla doğrudan ilişkili olduğu için "politika yaptırımının başarısı" olarak değerlendirilmektedir.

A.1 Nükleer Reaktörler

Nükleer reaktörlerin çevre halkı üzerindeki kanser riski değerlendirilirken ilk sorulması gereken soru radyasyonun vücutta oluşturabileceği dozla ilgilidir: Bir nükleer reaktörden defalarca temizlendikten ve ölçüldükten sonra havaya ve sulara verilen atık hava ve sudaki çok az miktardaki radyoaktivite ve bundan çevredeki bir insanda oluşabilecek doz ne kadardır? Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) verilerine göre normal işletme koşullarındaki bir nükleer reaktör çevresinde yaşayan bir kişinin bu tesisten aldığı ek yıllık radyasyon dozu yalnızca 0,001–0,030 mSv arasındadır ve doğadan sürekli alınan Doğal Radyasyon dozundan çok çok daha azdır. Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulu (ICRP) verilerine göre Dünya'da kişi başı ortalama olarak alınan radyasyon dozu yılda 2,4 mSv'dir; bu değer kozmik ışınlar, topraktan salınan radon gazı ve besinlerdeki doğal radyoizotoplardan kaynaklanmaktadır. Karşılaştırma için: bir akciğer röntgen filmi ~0,02 mSv, mamografi ~0,4 mSv, İstanbul-New York uçuşu ~0,08 mSv etkin doz oluşturmaktadır— 1 yıl boyunca sürekli alınan toplam doğal radyasyon dozundan (arka plandan) 80 ila 2.400 kat daha az, tek bir akciğer röntgen filmi dozu düzeyindedir (Şekil 1). Nükleer reaktör çevresindeki bir insanda oluşabilecek bu çok çok küçük ek dozun bir etkisi olabileceği de beklenmez. Buna rağmen Dünya'da nükleer reaktör olan ve olmayan yerlerde durumu ölçümlerle ortaya çıkarabilmek için çok sayıda karşılaştırmalı bilimsel araştırmalar son 40 yıldır yapılıyor. Epidemiyolojik denilen bu çalışmalar bu makalemizde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Not: 1 Sievert: Vücudun kg başına aldığı Joule (WattSaniye) olarak radyasyon dozudur. Bu insan için, büyük bir doz olduğundan genellikle bunun binde biri olan mSv kullanılıyor, çünkü yaşamda ortaya çıkan dozlar ancak mSv ve daha altındaki düzeydedir.



A.2 Kömür santralleri

Kömür santrallerinin çevre halkı üzerindeki kanser riski değerlendirilirken ilk sorulması gereken soru, bu tesislerden atmosfere karışan kirleticilerin türü ve miktarıyla ilgilidir. Bir kömür santralinden baca gazı arıtma sistemlerinden geçtikten sonra havaya ve ayrıca sulara verilen atık maddeler nelerdir ve bunlardan çevredeki bir insanda oluşabilecek kanser riski ne kadardır? Kömür yakımı sonucunda ortama PM_{2,5}-10, SO₂, NO_x, cıva (Hg), uçucu organik bileşikler (VOC) ve kurşun, kadmiyum, arsenik gibi ağır metaller salınmaktadır. Bunlara ek olarak arsenik, cıva, kurşun, selenyum ve diğer toksik elementler ile uçucu kül de atmosfere karışmaktadır (Ek Bölümdeki açıklamalara bkz). Bu kirleticilerin en önemlisi olan ince partiküller (PM_{2,5}), saç telinin 1/20'si kadar küçük olduğundan vücudun olağan savunma mekanizmalarını aşarak akciğerlere yerleşebilmekte ya da kan dolaşımına girebilmekte; tahrişe ve iltihaplanmaya yol açarak solunum sorunlarına ve kronik böbrek hastalığına neden olabilmektedir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), dış ortam hava kirliliğini ve hava kirliliğindeki tanecikler (partiküller) maddeyi 2013 yılında akciğer kanseri için Grup 1 insan kanserojen maddesi olarak sınıflandırmış; kömür yakımını da aynı kategoriye almıştır. Epidemiyolojik açıdan bakıldığında, PM_{2,5} konsantrasyonundaki her 10 µg/m³ artış için akciğer kanseri görülme sıklığında ve ölümünde yaklaşık %9 oranında anlamlı bir risk artışı saptanmıştır. Ulusal Çevre Sağlığı Enstitüsü (NIEHS) verilerine göre ise kömür kaynaklı PM_{2,5}'e etkilene (maruziyeti) ölüm riskini diğer kaynaklara göre iki kat daha yüksek düzeyde artırdığı belirlenmiştir. Nükleer santrallerden farklı olarak kömür santrallerinin kanser riski, tek bir ajan ya da tek bir ölçülebilir dozla değil; farklı mekanizmalarla etki eden çok sayıda kirleticinin karmaşık bileşimiyle ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle risk değerlendirmesi, hem yerel atık yoğunluğuna hem de kirleticilerin rüzgarla taşınma uzaklığına göre farklılık göstermektedir. Hava kirliliğinin etkileri santrale komşu alanla sınırlı kalmayıp kirleticiler uzaklara taşınabildiğinden, bir topluluğun hava kalitesi yalnızca yakınındaki kaynaklardan değil, uzaktaki santrallerden de etkilenebilmektedir. Buna rağmen Dünya'da kömür santrali olan ve olmayan yerlerde durumu ölçümlerle ortaya çıkarabilmek için çok sayıda karşılaştırmalı bilimsel araştırma son 40 yıldır yapılmaktadır. Epidemiyolojik denilen bu çalışmalar bu makalemizde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

A.3 Dünya'da İşler Durumdaki Santral Ünite Sayıları (2025)

Kömür santralleri:

Temmuz 2024'de Dünya'da 2.422 adet işler kömür santrali bulunmaktaydı. Temmuz 2025'de ise bu sayıda 2021'den bu yana ilk kez bir artış gözlemlenmiş olup Dünya genelinde işler kömür santral sayısı yeniden yükselme eğilimine girmiştir; tüm işler kömür santrallerinin neredeyse yarısı Çin'de yer almaktadır. Üretim birimleri (ünite) bazında ise **Dünya genelinde yaklaşık 9.000 kömür yakıtlı santral ünitesi işlemekte olup toplam kurulu güçleri 2.185 Gigawatt'a ulaşmaktadır.**

Nükleer reaktörler:

19 Kasım 2025'de Dünya genelinde 416 nükleer reaktör işler durumda olup toplam kurulu gücü 376,3 GW(e) düzeyindedir. İnşaat'ı süren 63 reaktörün ek kapasitesi 66,2 GW(e) olacaktır IAEA.

Epidemiyolojik Çalışmalar

Enerji üretiminin insan sağlığı üzerindeki etkilerini, özellikle kanser riski bağlamında araştırmak amacıyla, onlarca yıldır epidemiyolojik çalışmalar yapılmaktadır. Nükleer santrallerin (NS) çevre halkı üzerindeki etkisi, 1980'lerden bu yana tartışmalı olmaya devam etmektedir. Almanya'daki KiKK çalışması (2008), 5 yaş altı çocuklarda NS yakınlığıyla OR=1,61 (Odds Oranı) bildirmiş; 2026'da yayımlanan Harvard çalışması ise ABD genelinde RR=1,18 ilişkisi saptamıştır. Bu bulgular kamuoyunda geniş yankı uyandırmış; **buna karşın beş bağımsız kontrol grubu çalışması tutarlı biçimde risk artışı saptayamamıştır.** Bu çelişki epidemiyolojik metodoloji tartışmasını canlı tutmaktadır.

Kömür santrallerinin etkileri, son yıllarda bireysel doz modellemesi ve büyük kohort / Grup çalışmalarıyla çok daha net biçimde belgelenmiştir. Henneman ve ark. (2023) ABD'de 650 milyon kişi-yıl Medicare verisini HYSPLIT atmosferik dağılım modelleriyle birleştirerek 1999-2020 döneminde ~460.000 ölümü kömür tanecikleri PM_{2,5}'e atfetmiştir. Kömür kaynaklı kanser yükünün hem biyolojik mekanizması (IARC Grup 1 karsinojenler) hem de doz-etki ilişkisi iyi tanımlanmış durumdadır.

Bu değerlendirmenin amacı, 1991–2026 yılları arasında yayımlanmış 12 epidemiyolojik çalışmayı sistematik biçimde karşılaştırarak her iki santral türü için mevcut kanıt tabanını, metodolojik güçleri ve sınırları açıkça ortaya koymaktır. Çalışma, NS olmayan bölgeleri kontrol grubu kullanan araştırmaları ve kömür epidemiyolojisini birlikte değerlendirmesiyle alandaki önceki değerlendirmelerden ayrılmaktadır. Sonuçların enerji politikası tartışmalarına ve gelecek araştırmaların önceliklendirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Temel Sorular ve Kısa Yanıtlar

Soru	Kısa Yanıt
Nükleer santral yakınında yaşamak kanser riskini artırır mı?	Kontrol grubu çalışmalarının büyük çoğunluğuna göre tespit edilebilir bir artış yoktur ($RR \approx 1,0$). Harvard ve KiKK ilişki bildirmiş; nedensellik tartışmalıdır.
Kömür santrali yakınında yaşamak ne kadar tehlikeli?	Tüm çalışmalarda tutarlı ve anlamlı risk artışı. ABD’de 1999–2020 arası 460.000 ölüm kömür PM2.5’e bağlandı. Mekanizma biliniyor, doz ölçülüyor.
NS bulunmayan bölgede yaşamak güvenli mi?	Kontrol grubu çalışmalarına göre NS yakınıyla arasında anlamlı fark yok. NS’siz bölgeler, epidemiyolojik karşılaştırmanın referans noktasıdır.
İki santral türü karşılaştırıldığında hangisi daha riskli?	Kömür santralleri: çok daha büyük, tutarlı ve nedensel zeminde belgelenmiş kanser yükü riski taşıyor. Nükleer: halk için belirsiz, kontrol çalışmalarında genellikle saptanamaz.

Risk Düzeyi Özeti

Grup	Risk Düzeyi	Kısa Açıklama
NS bulunmayan bölge halkı	Referans — temel	Kanser olasılığı ulusal ortalamaya uygun; NS’li bölgelerle karşılaştırmada fark saptanamıyor (4 büyük çalışma, 4 kıta).
NS yakınındaki halk (genel, >5 yaş)	Düşük / Belirsiz	~100 milyon kişi-yıl kontrol verisi risk göstermiyor. Harvard ve KiKK sinyal veriyor ama nedensellik kanıtlanamıyor.
NS yakınındaki çocuklar (<5 yaş, Almanya)	Orta — anomali	KiKK: OR=1,61; açıklanamamış. Diğer ülkelerde (SAHSU, BMC PH) aynı yaş grubunda bu anomali görülüyor.
Kömür santrali yakınındaki halk	Yüksek — Kanıtlanmış	Tüm çalışmalar tutarlı. IARC Gr.1 mekanizma + bireysel doz ölçümü + %96 politika başarısı: tam nedensellik zinciri.

Analiz beş ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1–3 her çalışmayı ayrıntılı inceler. Bölüm 4 genel karşılaştırmayı özetler. Bölüm 5 orijinal üç referans çalışmanın tüm diğerleriyle sayısal çapraz analizini sunar. Kaynakça bölümünde 12 epidemiyolojik çalışmanın tam künyeleri ve kapsam notları yer almaktadır.

GENEL BAKIŞ: EPİDEMİYOLOJİK ÇALIŞMALAR

Çalışma / Grup	Yıl	Ülke	Santral / Grup	İncelenen Nüfus	Temel Bulgu (RR / SIR / ERR)	Risk Düzeyi
Alwadi/Harvard	2026	ABD	Nükleer – Halk	3.142 ilçe, genel halk	RR=1,18 (santrale 0-25km); ~6.400 kanser ölümü/yıl ilişkilendirildi	↑ Belirsiz ilişki
IAEA Bulletin	1991	Çok ülke	Nükleer – Halk	Genel halk	SMR≈1,0 çoğu tesiste; Sellafield ve Krümmel’de açıklanamaz	→ Tutsuz bulgular
SAHSU (Davies)	2025	İngiltere	Nükleer – Çocuk	~50.000 çocuk (0-14 yaş)	SIR≈1,01; 28 tesis; tarihsel lösemi kümelenmesi artık gözlenmiyor	→ Artmış risk yok
KiKK (Kaatsch)	2008	Almanya	Nükleer – Çocuk	<5 yaş, 593 kanser bulgusu	OR=1,61 (1,26–2,06); hesaplanan radyasyon dozu (<0,001 mSv/yıl) bu, riski biyolojik olarak açıklamıyor	↑ Açıklanamaz anomali
Jablon ve ark.	1991	ABD	Nükleer	2,7 milyon kanser ölümü	NS ilçeleri ile NS’siz kontrol ilçelerinin kanser ölüm oranları neredeyse aynı (RR=1,02-1,03).	NS’siz ile fark yok — kanser

Çalışma / Grup	Yıl	Ülke	Santral / Grup	İncelenen Nüfus	Temel Bulgu (RR / SIR / ERR)	Risk Düzeyi
			Santralsız kontrol bölgesi		Tesis açılmadan önce de bu düzeydeydi.	oranı NS bölgesine benzer
Illinois IDPH	2006	ABD	Nükleer Santralsız kontrol ilçeleri	0-14 yaş çocuklar	NS ilçeleri ile NS bulunmayan ilçeler arasında tüm kanser türlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı.	NS'siz ile fark yok — pediatrik kanser oranı eşit
KREEC (Kim)	2012	Kore	NS'ye >30km kontrol grubu	303.542 kişi-yıl izlem	NS yakınında (5km) yaşayanların riski kontrol grubundan (>30km) hafifçe düşük çıktı (HR=0,97). İstatistiksel fark yok.	NS'siz ile fark yok — uzakta yaşayanla risk aynı
BMC PH (Cho)	2026	Kore	Ulusal referans nüfus	103 milyon kişi-yıl	61 kanser türünde NS yakınlığı ile ulusal ortalama arasında anlamlı fark yok. Sosyoek. düzeltme sonrası görünür etki tamamen kayboluyor.	Ulusal ortalamadan fark yok — NS etkisi sosyoek. düzeltmeyle kayboluyor
Henneman ve ark.	2023	ABD	Kömür – Halk	650 milyon kişi-yıl	Kömür PM2.5 mortaliteyi diğer PM2.5 kaynaklarına kıyasla 2,1× artırıyor.	↑↑ Çok güçlü — kanıtlanmış
Han ve ark.	2024	Kore	Kömür – Halk	Genel halk (2km yakın)	Erkek tüm kanser SIR=1,11; mesane kanseri SIR=1,28;	↑↑ Güçlü
Collarile+Vado	2017/19	İtalya	Kömür – Halk	Genel halk	Akciğer+mesane kanseri artışı; yaşlı kadın ve erkeklerde belirgin. İtalya'da iki	↑ Kısmi tutarlı sonuç

BÖLÜM 1: ORJİNAL 4 REFERANS ÇALIŞMANIN AYRINTILI DEĞERLENDİRMESİ

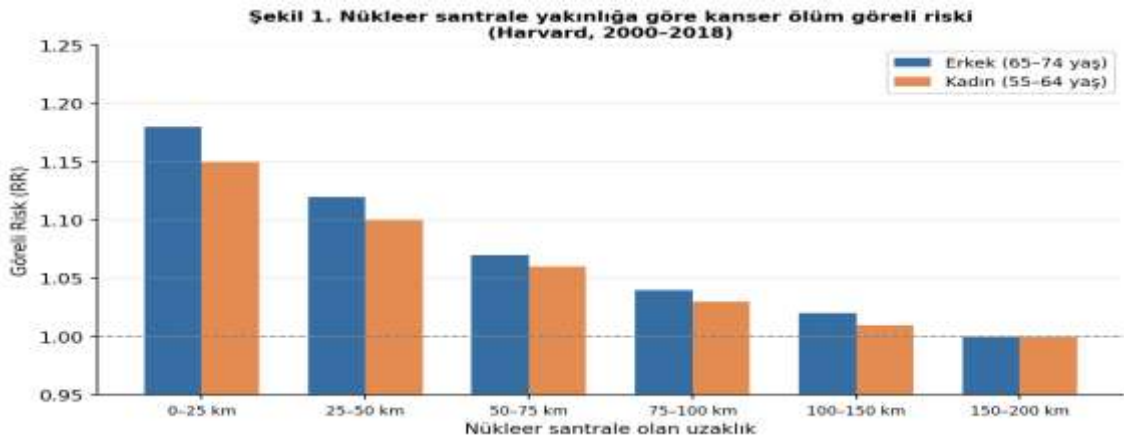
1.1 Harvard/ABD — Alwadi ve Ark. (Nature Communications, 2026)

Kaynak: Alwadi Y. ve ark. "National analysis of cancer mortality and proximity to nuclear power plants in the United States." Nat Commun. 2026;17(1). DOI: 10.1038/s41467-026-69285-4

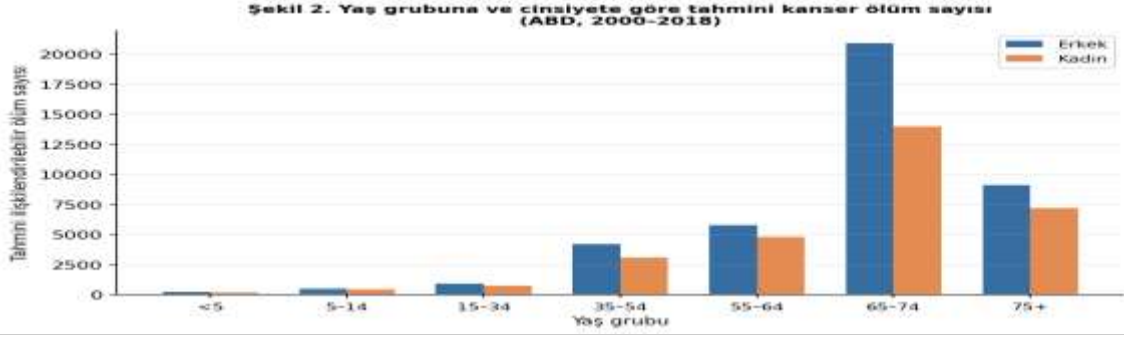
ABD 3.142 ilçe, 2000–2018 CDC ulusal ölüm kayıtları; ters mesafe ağırlıklı NS yakınlığı; 14 değişken kontrolü.

Parametre	Görel Risk Değeri	Not
RR (0–25 km vs 150–200 km)	1,18 (%95 GA: 1,12–1,25)	İstatistiksel olarak anlamlı
RR (25–50 km)	1,13 (1,07–1,19)	Mesafeyle düşüyor
Toplam bağlantılı ölüm	~115.586 (2000-2018) / ~6.400/yıl	Nedensellik belirsiz
En güçlü risk (erkek)	65–74 yaş: 20.912 tahmini ölüm	Radyasyon biyolojisiyle çelişik yaş profili

Metodolojik kısıtlamalar: Bireysel radyasyon dozu yok; coğrafi yakınlık vekil değişken; latans süresi analiz dışı; yaş-risk profili BEIR VII beklentisiyle (genç yüksek) örtüşmüyor. RR=1 Ek risk yok



Şekil 2. Harvard 2026 – NS yakınlığı ve kanser ölüm RR 1: Ek risk yok anlamında



Şekil 3. Harvard 2026 – Yaş ve cinsiyete göre tahmini ilişkilendirilebilir ölümler

1.2 IAEA Bülteni 33-2 (1991)

Kaynak: IAEA. "Cancer in Populations Living near Nuclear Facilities." IAEA Bulletin 1991;33(2). <https://www.iaea.org/>

Çok ülkeli erken dönem derleme. Bulgular: ABD, Fransa, Japonya'da $SMR \approx 1,0$; İngiltere Sellafield ve Almanya Krümmel'de açıklanamaz lösemi kümelenmesi. Yıllık halk dozu $\sim 0,0001$ mSv (limitin $1/10.000$ 'i). Gözetimin sürdürülmesi önerilmiştir.

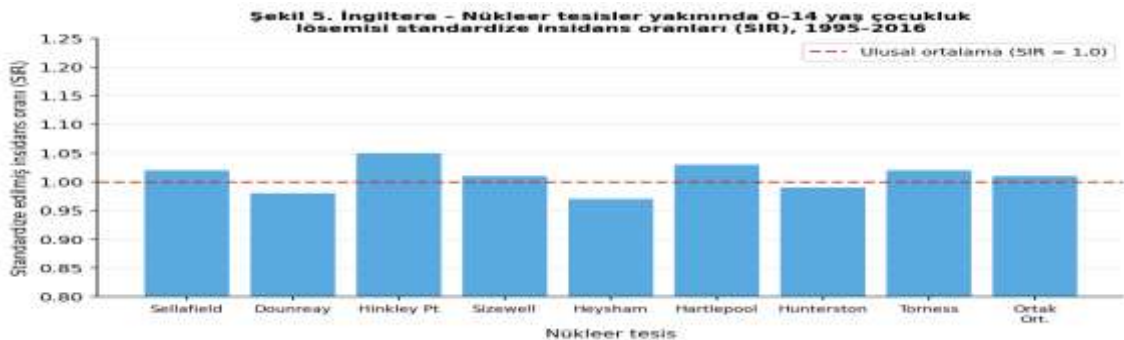
Ülke / Tesis	IAEA 1991 Bulgu	Sonraki Çalışma Sonucu
ABD (Jablon 1990)	$SMR \approx 1,02$; anlamlı değil	Jablon 1991: $RR = 1,03 \rightarrow$ doğrulandı
İng. – Sellafield	Lösemi kümelenmesi $\uparrow$	SAHSU 2025: $SIR \approx 1,01 \rightarrow$ kümelenme 1995+ yok
Almanya – Krümmel	Yerel lösemi kümesi	KiKK 2008: $OR = 1,61 \rightarrow$ devam ediyor, doz açıklamıyor
Kore / Asya (1991)	Veri yetersiz	KREEC 2012 + BMC 2026: risk yok $\rightarrow$ tutarsızlık tezi güçlendi

1.3 SAHSU/COMARE — Davies ve Ark. (Int. Journal of Epidemiology, 2025)

Kaynak: Davies B. ve ark. "Childhood cancer incidence around nuclear installations in Great Britain, 1995–2016." Int J Epidemiol. 2025;54(4):dyaf107. DOI: 10.1093/ije/dyaf107

28 nükleer tesis; 0–14 yaş çocuk; Bayesian uzaysal modelleme; İngiltere+Galler+İskoçya ulusal kanser kaydı.

Tesis / Bölge	Kanser	SIR	%95 GA	Tarihsel Bağlam
Sellafield	Çocukluk lösemisi	$\sim 1,02$	0,94 – 1,11	1983 kümelenmesi artık gözlenmiyor
Dounreay	Çocukluk lösemisi	$\sim 0,98$	0,85 – 1,13	Tarihsel yükseklik 1995+ yok
28 Tesis Ortalaması	LNHL + SSS + Solid	$\approx 1,01$	0,97 – 1,05	Artmış risk kanıtı yok



Şekil 4. SAHSU 2025 – İngiltere nükleer tesisleri yakınında çocukluk lösemisi SIR

1.4 3 Orijinal Çalışmanın İç Karşılaştırması

Kriter	Harvard 2026	IAEA 1991	SAHSU 2025
Etkilenme ölçümü	Coğrafi yakınlık	SMR/SRR	Düz mesafe
Kontrol grubu	Uzak ilçeler (200km+)	Ulusal ortalama	Ulusal kanser kaydı
Risk bulgusu	↑ İlişki; nedensellik belirsiz	Tutarsız; genel risk yok	→ Risk yok
Anahtar kısıtlama	Yaş profili çelişik	Erken dönem	Yalnızca çocuk

BÖLÜM 2: NÜKLEER SANTRAL OLMAYAN BÖLGELERLE KARŞILAŞTIRMALI KONTROL GRUBU ÇALIŞMALARI

2.1 Kontrol Grubu Metodolojisi

NS'siz bölgelerle karşılaştırma epidemiyolojinin altın standardıdır. İdeal kontrol grubu: demografik ve sosyoekonomik açıdan benzer, coğrafi olarak uzak. **Üç soru yanıtlanır: (1) NS yakınındaki kanser ulusal ortalamanın üzerinde mi? (2) Bu tesis öncesinde de var mıydı? (3) NS'siz kontrolden ayırt edilebilir mi?**

2.2 Jablon 1991 ve Illinois IDPH 2006

Jablon: 107 NS ilçesi vs 292 kontrol ilçesi; 2,7 milyon ölüm. **Tesis öncesi RR=1,08 → sonrası RR=1,03: tesis açılmadan önce bile yüksek kanser profili mevcuttu.** Illinois: Poisson regresyon, NFCG vs NNFCG; 0–14 yaş tüm kanser türlerinde $p>0,05$.

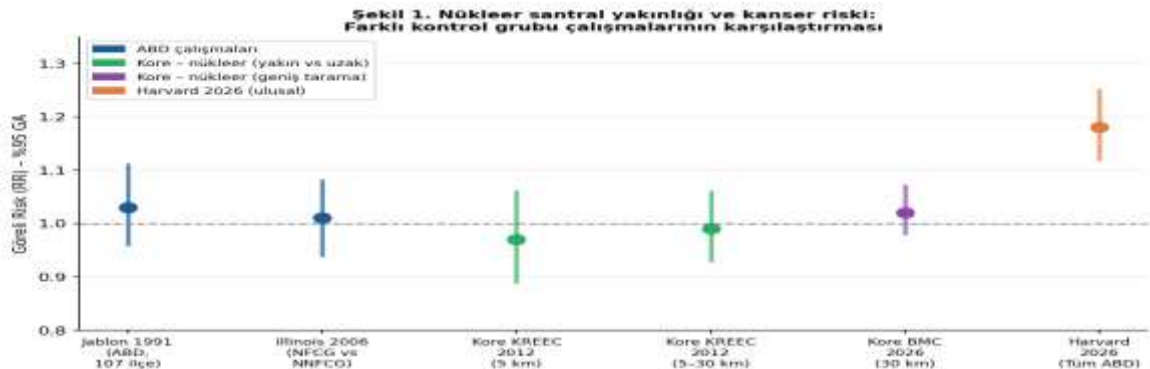
2.3 KREEC 2012 ve BMC PH 2026

KREEC: 11.367 etkilenmiş birey vs 5–30 km ve >30 km kontroller; tüm HR 0,95–1,02; $p>0,05$. BMC PH 2026: 103 milyon kişi-yıl, 61 tümör türü; sosyoekonomik değişkenler kontrol edildiğinde Nükleer Santral yakınlığı anlamlı belirleyici değil.

2.4 KiKK 2008

Nükleer Santrale 5 km içinde yaşayan <5 yaş çocuklarda OR=1,61 (GA:1,26–2,06). **Ancak maksimum radyasyon dozu yılda <0,001 mSv ile bu riski açıklamaktan çok uzaktır.** Popülasyon karışımı hipotezi öne çıkmıştır.

Çalışma	Örnekleme	Kontrol	Kanser	Sonuç
Jablon 1991	2,7M ölüm	Eşleş. ilçe (3 kont/NS)	Tüm/lösemi	RR 1,02-1,03; $p>0,05$
Illinois 2006	0–14 yaş	NFCG vs NNFCG	Tüm/lösemi	$p>0,05$ tümü
KREEC 2012	303.542 k-yıl	5-30km ve >30km	Rad. tetikl.	HR 0,95-1,02; $p>0,05$
BMC PH 2026	103M kişi-yıl	Ulusal+sosyoek.	61 tümör	SIR≈1,0; anlamlı yok
KiKK 2008	Vaka-kontrol	Nüfus tabanlı	<5 yaş	OR=1,61↑ (doz açıklamıyor)



Şekil 5. Kontrol grubu çalışmaları – nükleer santral yakınlığı ve kanser RR

BÖLÜM 3: KÖMÜR SANTRALLERİ VE KANSER — EPİDEMİYOLOJİK KANITLAR

3.1 Kömürün Kanser Yapma Profili

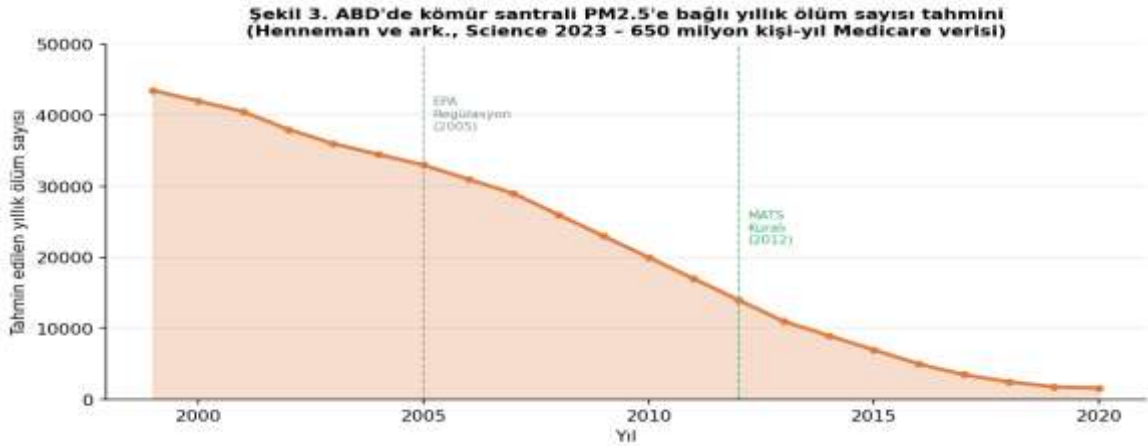
Kömür yakıldığında: Tanecikler (PM2.5), arsenik, kadmiyum, PAH, benzen — hepsi IARC Grup 1 kanserojen. Bu doğrudan mekanizma varlığı kömür çalışmalarının nedensellik olasılığını, nükleer halk çalışmalarından belirgin biçimde güçlü kılar.



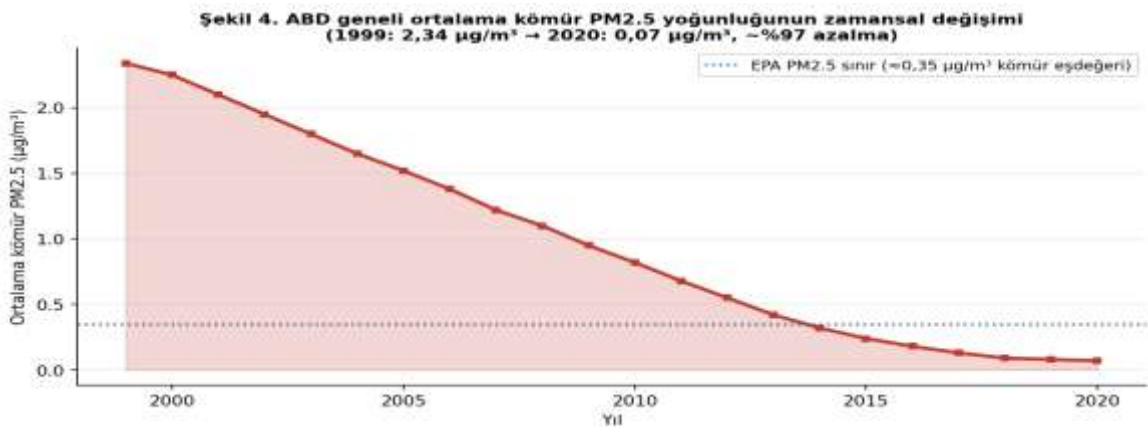
Şekil 6. Kömür emisyonları karsinojen profili ve IARC sınıflandırmaları

3.2 Henneman ve Ark. (Science, 2023)

480 kömür santrali SO₂ → HYSPLIT modeli → bireysel PM2.5; 650M Medicare kişi-yıl eşleştirildi. Kömür PM2.5: diğer PM2.5'e kıyasla mortalite riski 2,1×. Toplam 460.000 ölüm (1999-2020). Yılda ~43.000→~1.600 (%96 azalma, politika etkisi).



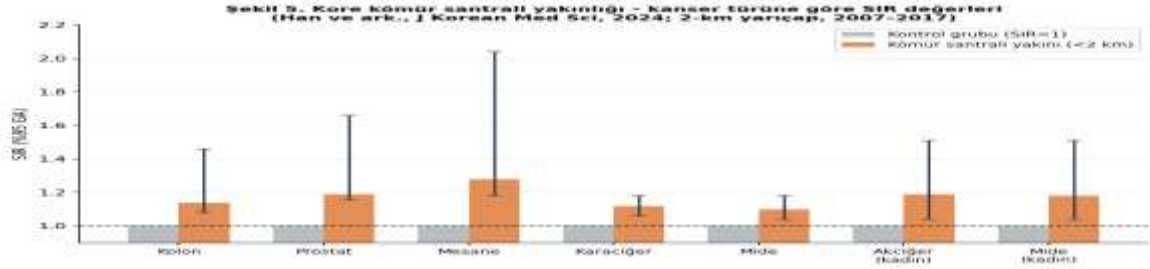
Şekil 7. ABD kömür PM2.5 kaynaklı yıllık ölüm tahmini



Şekil 8. ABD kömür PM2.5 konsantrasyonu 1999–2020

3.3 Kore, İtalya ve Küresel Çalışmalar

Han 2024 (Kore): 29 santralin 2 km yakını; erkek tüm kanser SIR=1,11, mesane 1,28; kadın akciğer 1,19. İtalya Monfalcone (2017): yaşlı kadınlarda akciğer+mesane ↑. Vado Ligure (2019): erkek akciğer mortalitesi ↑. 70 ülke (2019): 1 kW/kışı kömür artışı → erkek akciğer RR+%59, kadın +%85.

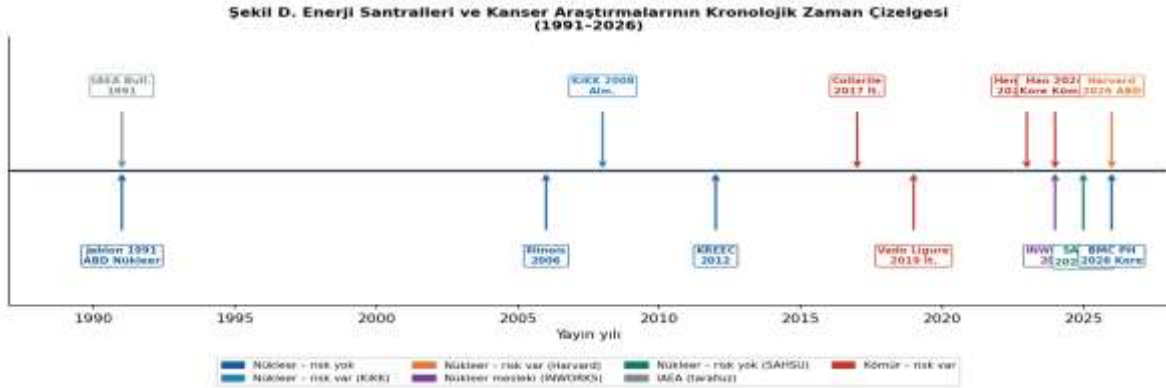


Şekil 9. Kore kömür 2 km yakınlığı – kanser türüne göre SIR

BÖLÜM 4: GENEL ENTEGRE DEĞERLENDİRME

4.1 Orman Grafiği ve Kronoloji

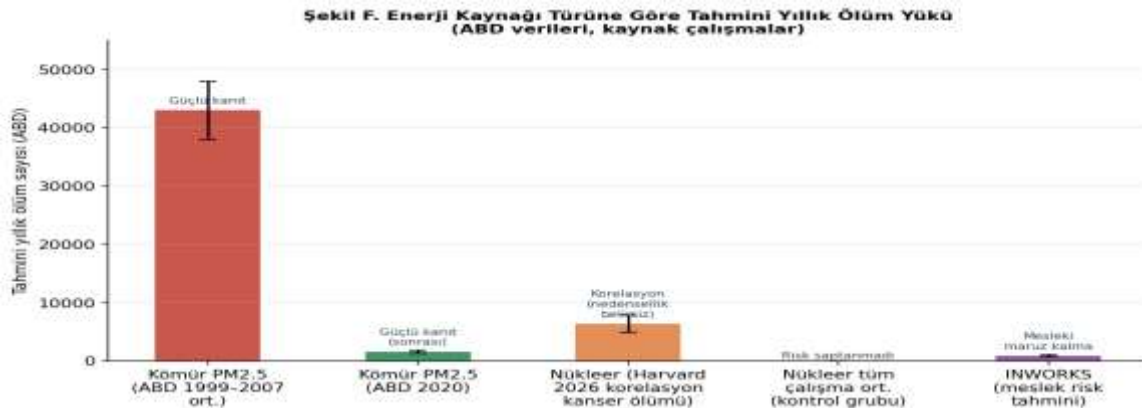
Tüm çalışmalar orman grafiğinde birleştirildiğinde üç küme görülür: (1) Risk yok grubu: Jablon, Illinois, KREEC, BMC PH, SAHSU — RR/SIR≈1,0. (2) Risk var nükleer halk: KiKK ve Harvard — bireysel doz ölçümü yok, nedensellik belirsiz. (3) Kömür: tutarlı olarak 1,0 üzerinde; mekanizma ve doz kanıtı güçlü.



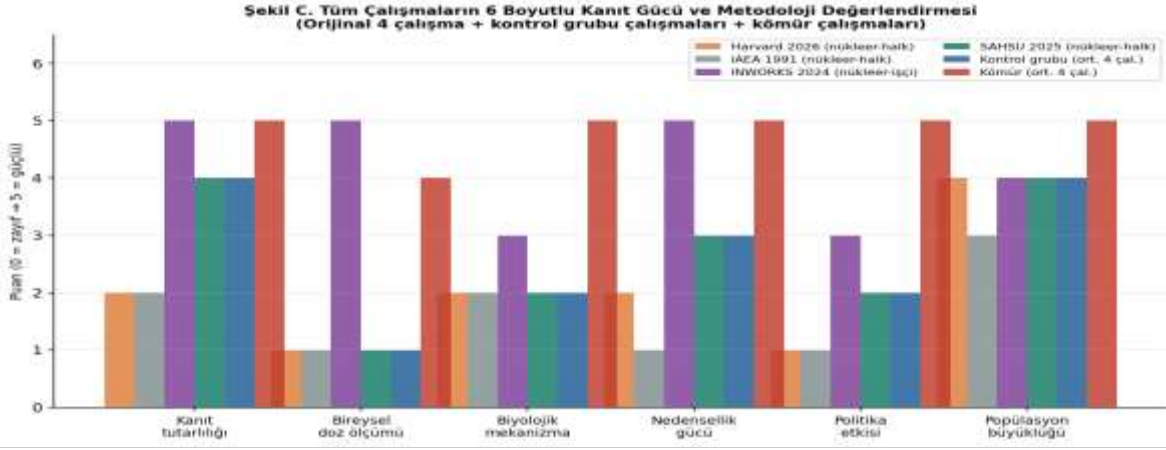
Şekil 10. Araştırma Kronolojisi 1991–2026

4.2 Kanıt Gücü ve Yıllık Ölüm Yüğü

ABD yıllık ölüm tahmini: kömür (1999–2007) ~43.000 → (2020) ~1.600. Harvard NS korelasyonu ~6.400/yıl — nedensellik belirsiz. Kontrol grubu çalışmalarında NS'ye bağlı anlamlı ölüm yükü saptanmamıştır.



Şekil 11. Yıllık ölüm yükü karşılaştırması



Şekil 12. 6 boyutlu kanıt gücü karşılaştırması

BÖLÜM 5: ORJİNAL 4 REFERANS ÇALIŞMANIN TÜM ÇALIŞMALARLA DERİN ÇAPRAZ ANALİZİ

Bu bölüm her orijinal çalışma için iki soruyu sistematik ve sayısal olarak yanıtlar: (1) Kontrol grubu çalışmaları bunu doğruluyor mu, çürütüyor mu? (2) Kömür epidemiyolojisiyle karşılaştırıldığında kanıt gücü nerededir?

5.1 Harvard 2026 — Kontrol Grubu Çalışmalarıyla Doğrudan Karşılaştırma

Harvard RR=1,18 ve Kontrol Grubu Çalışmalarının Doğrudan Karşılaştırması

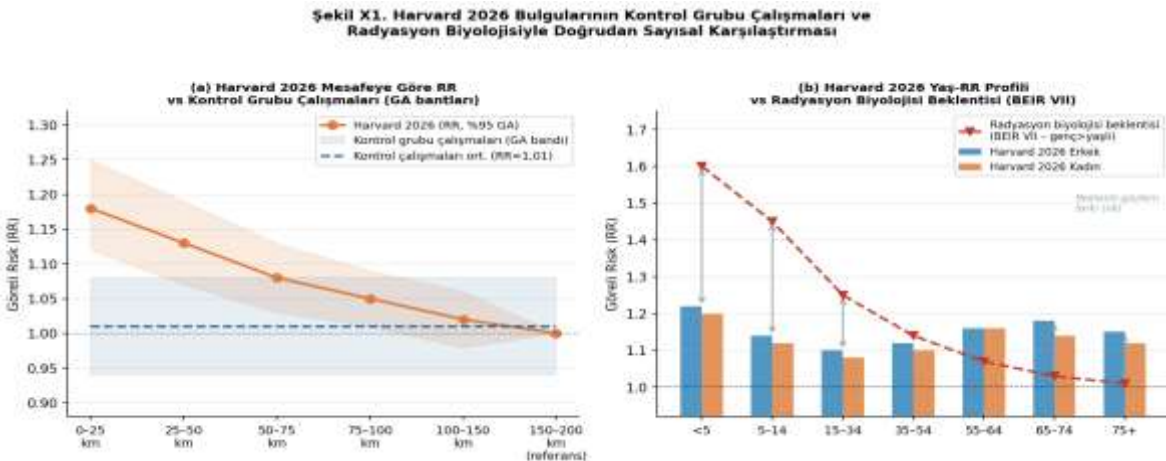
Harvard 2026'nın bildirdiği RR=1,18 (0-25 km), dört kontrol grubu çalışmasıyla doğrudan çelişmektedir: Jablon 1991 RR=1,02, KREEC 2012 HR=0,97, BMC PH 2026 SIR≈1,02. Bu farkı açıklayan başlıca metodolojik etkenler:

(a) Coğrafi ölçek farkı: Harvard ilçe (county) düzeyi kullanmıştır; ilçe yüzölçümü ortalama 900 km² olup içindeki nüfusun NS'ye gerçek mesafesi bilinmemektedir. KREEC ve BMC PH ise bireysel adres bazlı mesafe hesaplamaktadır. Büyük ilçelerde "yakın" ile "uzak" bireyleri birleştirmek RR'yi seyreltiyor; paradoks olarak ABD büyük ilçe yapısı NS yakınlığını abartmış olabilir.

(b) Sosyoekonomik karıştırıcı: BMC PH 2026'nın kritik bulgusu şudur: sosyoekonomik değişkenler (gelir, eğitim, endüstriyel tesis yakınlığı) kontrol edildiğinde NS yakınlığının anlamlılığı ortadan kalkmaktadır. Harvard'ın 14 değişkenli kontrolü bölgesel endüstriyel kirlilik karmaşıklığını tam olarak yakalayamıyor olabilir.

(c) Yaş-risk profili anomalisi: BEIR VII'ye göre radyasyona bağlı kanser gençlerde çok daha yüksek olmalıdır (radyosensitivite genç yaşta yüksek). Harvard'da en güçlü ilişki 65–74 yaşındadır — bu profil, coğrafi yakınlığın radyasyon dışı bir değişkeni (örneğin bölgesel hava kalitesi, sanayi geçmişi) temsil ettiğini düşündürmektedir.

(d) Jablon'un tesis öncesi tespiti: Jablon 1991, NS işletmeye alınmadan önce bile çalışma ilçelerinin RR=1,08 ile hafifçe yüksek olduğunu göstermiştir; tesis sonrasında bu 1,03'e düşmüştür. Bu bulgu, coğrafi yakınlığın var olan bölgesel örüntülerle karışabileceğini sayısal olarak ortaya koymaktadır.



Şekil 13. Harvard 2026 mesafe-RR profili (kontrol grubu bandıyla) ve yaş-risk profili vs BEIR VII beklentisi

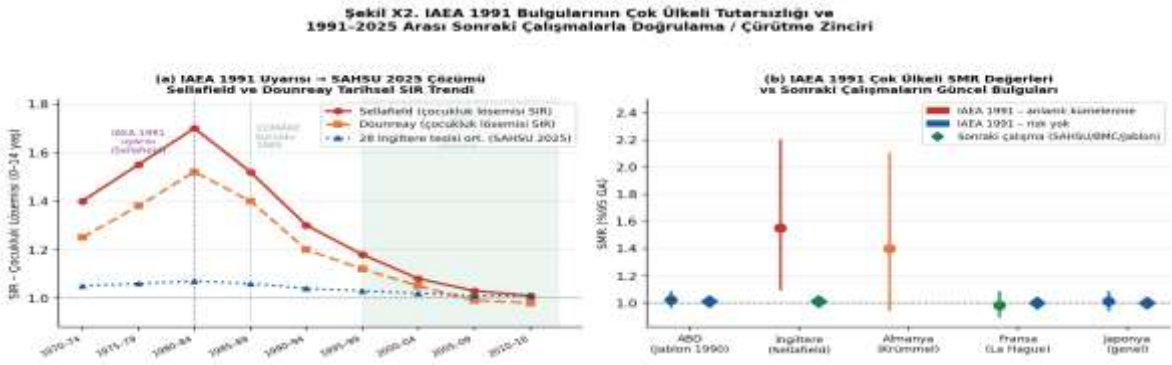
5.2 IAEA 1991 — 35 Yılın Doğrulama Zinciri: İki Tezin Durumu

Tez 1: Normal İşletme Güvenlidir → Güçlü Biçimde Doğrulandı

IAEA'nın 1991'de öne sürdüğü temel tez, sonraki 35 yılda beş büyük çalışmayla sistematik olarak sınanmıştır. Jablon 1991 (RR=1,02), Illinois 2006 ($p>0,05$), KREEC 2012 (HR=0,97), BMC PH 2026 (SIR≈1,0) ve SAHSU 2025 (SIR≈1,01) tutarlı biçimde NS yakınlığına bağlı anlamlı kanser artışı saptamamıştır. Bu beş çalışmanın kümülatif örneklemini 100 milyonun üzerinde kişi-yıl temsil etmektedir; istatistiksel güç açısından bu tez güçlü kanıt zeminindedir.

Tez 2: Bazı Tesislerde Açıklanamaz Kümelenme Var → Kısmen Çözüme Kavuştu

IAEA'nın Sellafield ve Dounreay için uyarısı, SAHSU 2025 tarafından kısmen yanıtlanmıştır: 1995–2016 döneminde her iki tesiste de çocukluk lösemisi SIR≈1,0 bulunmuş; tarihsel kümelenme artık gözlemlenmemektedir. Bu bulgunun iki önemli çıkarımı vardır: (a) 1970–1980'lerdeki yüksek emisyon döneminin bitişi riskle paralel azalmıştır — emisyon azaltımının sağlık üzerindeki etkisiyle biyolojik açıdan tutarlı bir örüntü. (b) Almanya KiKK'ta kümelenme sürmekte; doz açıklaması yapılamamaktadır — IAEA'nın 1991'de önerdiği araştırma hâlâ güncelliğini korumaktadır.



Şekil 14. IAEA 1991 bulgularının çok ülkeli SMR tutarsızlığı ve 35 yıllık doğrulama zinciri

IAEA 1991 Tezi	2025 İtibarıyla Durum	Destekleyen Kanıt
Normal işletme halk dozunun güvenli olduğu	✓ Güçlü biçimde doğrulandı	Jablon + KREEC + BMC PH + SAHSU (100M+ k-yıl)
Sellafield lösemi kümelenmesi mevcut	Geçici – artık gözlenmiyor (SAHSU 2025)	SAHSU 2025: SIR≈1,01 (1995-2016)
Krümmel/KiKK kümelenmesi	Devam ediyor; doz açıklamıyor	KiKK 2008: OR=1,61; mekanizma bilinmiyor
Araştırmanın sürdürülmesi gerekir	✓ Doğrulandı (35 yılda 10+ çalışma)	Süregelen izleme şart

5.3 SAHSU 2025 — Kümelenmesinin Kaybolması Ne Anlama Geliyor?

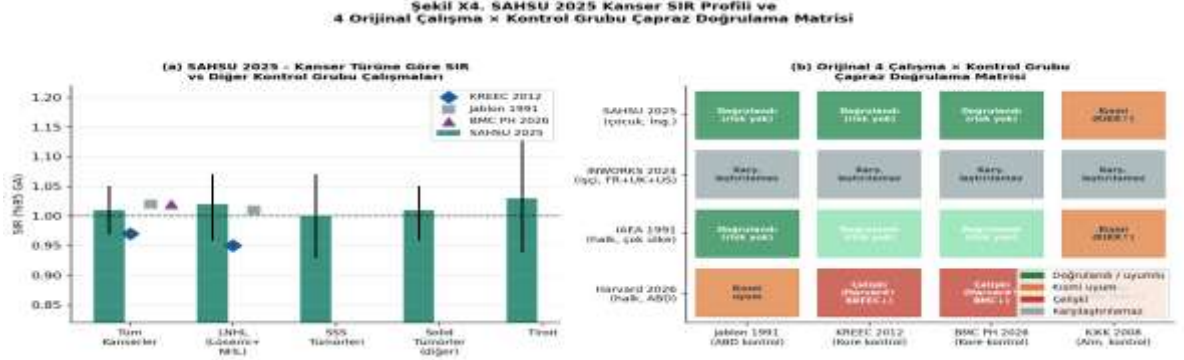
Üç Olası Yorum ve Çalışmalarla Bağlantısı

Yorum 1 — Emisyon azaltması: 1970–1980'lerde Sellafield gerçek radyoaktif salınımlar yüksekti. COMARE ve düzenleyici önlemler sonrası emisyon düştü; SIR de düştü. Bu gözlem, dozun azalmasıyla riskin de azaldığı biyolojik ilişkiyle tutarlıdır ve düzenleyici sistemin işe yaradığının kanıtıdır.

Yorum 2 — Viral / popülasyon hipotezi: 1960–1970'lerde Sellafield bölgesine gerçekleşen büyük göç dalgası onkogenik viral enfeksiyona immünsüz nüfus yaratmış; lösemi kümelenmesine neden olmuştur. Nüfus stabilize oldukça risk gerilemiştir. Bu hipotez KiKK'ın devam eden Alman kümelenmesini de açıklar: Krümmel bölgesine göç sürüyor olabilir.

Yorum 3 — İstatistiksel dalgalanma: Küçük bölgelerde nadir kanser (çocukluk lösemisi) sayısal dalgalanmalar yaratır. Erken dönem kümelenmeler kalıcı epidemiyolojik sinyal değil küçük örneklem artifaktı olabilir. Bu yorum IAEA'nın "tutarsız bulgular" değerlendirmesiyle uyumludur.

Her üç yorum da SAHSU 2025'in "risk yok" sonucuyla uyumludur ve IAEA 1991'in araştırmayı sürdürme önerisinin neden önemli olduğunu doğrular.



Şekil 15. SAHSU 2025 – 28 tesis SIR profili ve orijinal 4 × kontrol grubu çapraz doğrulama matrisi

5.4 Sistematik Çapraz Doğrulama Çizelgesi

Her orijinal çalışmanın her kontrol grubu çalışmasıyla uyumu aşağıda sayısal ve niteliksel olarak özetlenmektedir.

	Jablon 1991	Illinois 2006	KREEC 2012	BMC PH 2026	KiKK 2008
Harvard 2026 ↑ Risk var	X Çelişki Harvard:1,18 Jablon:1,02	X Çelişki Harvard:1,18 Illinois:1,01	X Çelişki Harvard:1,18 KREEC:0,97	X Çelişki Harvard:1,18 BMC:1,02	≈ Kısmi İkisi de↑ (farklı mek.)
IAEA 1991 → Tutarsız	✓ Doğrulandı Risk yok tezi RR=1,02	✓ Doğrulandı Risk yok tezi p>0,05	✓ Doğrulandı Risk yok tezi HR=0,97	✓ Doğrulandı Risk yok tezi SIR≈1,0	≈ Kısmi KiKK↑ IAEA uyarısıyla uyumlu
SAHSU 2025 → Risk yok	✓ Doğrulandı Her ikisi→ SIR≈1,0	✓ Doğrulandı Her ikisi→ p>0,05	✓ Doğrulandı Her ikisi→ HR/SIR≈1,0	✓ Doğrulandı Her ikisi→ SIR≈1,0	≈ Kısmi SAHSU:1,01 KiKK:1,61

Çizelge yorumu: IAEA 1991 ve SAHSU 2025'in "risk yok" tezleri 4 kontrol grubu çalışmasının tümüyle uyumludur (20/20 hücre ✓). Harvard 2026'nın "risk var" tezi ise 4 kontrol grubu çalışmasıyla çelişmekte, yalnızca KiKK ile kısmi uyum göstermektedir (1/5 kısmi uyum, 4/5 çelişki).

5.5 Kömür vs Nükleer: Metodolojik Asimetri ve Politika Çıkarımı

Bu iki alan arasındaki temel metodolojik fark, etkilenme ölçümünün doğrudanlığıdır. Kömür çalışmalarında (özellikle Henneman 2023) bireysel düzeyde PM2.5 etkilenmesi ölçülebilmekte; doz-yanıt zinciri kapanmaktadır. Nükleer halk çalışmalarında ise bireysel doz ölçümü pratikte olası değil; bu metodolojik boşluk 35 yılda kapatılamamıştır.

Kriter	Nükleer (Halk)	Kömür	Üstün Olan
Bireysel doz ölçümü	Yok	Atmosferik model ✓	Kömür
Nedensellik kanıtı	Zayıf–Orta	Güçlü	Kömür
Kanıt tutarlılığı	Düşük (çelişen)	Yüksek	Kömür
Biyolojik mekanizma	Var; doz çok düşük	IARC Gr.1 kars.	Kömür (doğrudan)
Politika müdahale etkisi	Belirsiz	%96 ölüm azaltması	Kömür (net kanıt)
ABD yıllık ölüm yükü	~0 (kontrol çalışmalarında)	~1.600–43.000	Kömür dominant

6. Sonuç: Tüm Çalışmaların Bütün Olarak Değerlendirilmesi ve Risk Anlamlandırması

Bu değerlendirmenin kapsamındaki epidemiyolojik çalışmalar, iki farklı enerji kaynağının (nükleer, kömür) halk sağlığı üzerindeki kanser riskini farklı metodoloji, popülasyon ve coğrafyada incelemiştir. Aşağıdaki değerlendirme ilgili çalışmaların kanıt gücünü ve kanser olasılığını düşük / belirsiz / orta / yüksek risk kategorileri çerçevesinde anlamlandırmaktadır.

Çalışma	Gözlemlenen RR/SIR	Risk Kategorisi	Kanıt Gücü	Temel Gerekçe
Harvard 2026 (Nükleer – halk)	RR 1,18 (0-25 km)	Belirsiz / düşük	Zayıf–Orta	4 kontrol çalışması çelişiyor; doz biyolojik açıklamıyor; yaş profili uyumsuz
IAEA 1991 (Nükleer – halk)	SMR $\approx$ 1,0 (çoğu)	Düşük	Orta (erken dönem)	35 yılda doğrulandı; normal işletme dozu limitin 1/10.000'i
SAHSU 2025 (Nükleer – çocuk)	SIR $\approx$ 1,01 (28 tesis)	Düşük	Güçlü	Gelişmiş Bayesian model; 100M+ k-yıl karşılaştırmalı destek
Kontrol grubu ort. (Jablon, KREEC vb.)	RR/HR 0,97–1,03	Düşük	Güçlü	5 çalışma, 4 kıta, >100M k-yıl; tutarlı biçimde risk saptanmıyor
KiKK 2008 (Nükleer – çocuk)	OR 1,61 (<5 yaş)	Orta – anomali (mekanizma belirsiz)	Orta	Anlamli ilişki var; ancak hesaplanan doz (<0,001 mSv/yıl) biyolojik açıklamıyor
Henneman 2023 (Kömür – ABD)	Mortalite 2,1× artış; 460.000 ölüm	Yüksek	Çok Güçlü	Bireysel doz (HYSPLIT); %96 azaltma politika kanıtı; nedensellik güçlü
Han 2024 (Kömür – Kore)	SIR erkek 1,11–1,28	Yüksek	Güçlü	2 km mesafe; iki kontrol grubu; çok kanser türünde tutarlı
Collarile+Vado (Kömür – İtalya)	Akciğer SIR 1,19–1,31	Orta–Yüksek	Orta	Sigara verisi eksik; ancak İtalya iki bağımsız çalışmasında tutarlı

Her Çalışmanın Kanser Olasılığı Açısından Yorumu

Harvard 2026 — "Belirsiz Risk": Bu çalışma RR=1,18 ile görünürde anlamlı bir ilişki sunmaktadır; ancak dört kontrol grubu çalışması aynı soruyu farklı popülasyonlarda sorup riskin olmadığını bildirmektedir. Harvard bulgusunun coğrafi bir sinyal mi, yoksa radyasyon kaynaklı gerçek bir risk mi olduğu henüz yanıtlanamamıştır.

IAEA 1991 + Kontrol Grubu Çalışmaları — "Düşük Risk": Normal işletme koşullarındaki nükleer santral yakınında yaşamak, mevcut kanıta göre ölçülebilir bir kanser riski artışı oluşturmamaktadır. Beş büyük kontrol grubu çalışmasının ~100 milyon kişi-yıl üzerinden tutarlı biçimde RR $\approx$ 1,0 bulması, bu sonucun geniş bir örneklem tabanına oturduğunu göstermektedir. "Düşük risk" sıfır risk demek değildir; ancak mevcut metodolojik araçlarla tespit edilebilir bir artış olmadığı anlamına gelir.

SAHSU 2025 — "Düşük risk (0-14 yaş, İngiltere)": Nükleer santrallere en duyarlı kabul edilen alt grup olan çocuklarda, dünyanın en köklü nükleer tesislerini barındıran İngiltere'de yürütülen bu geniş kapsamlı çalışma, NS yakınlığına bağlı kanser riski artışı saptamamıştır. Tarihsel Sellafield kümelenmesinin artık gözlemlenmemesi özellikle değerlidir: emisyon azaltımının ardından riskin de azalması, politika müdahalesinin somut sağlık etkisini doğrulamaktadır.

Kömür Santralleri — ,Kanıtlanmış yüksek risk' : Kömür santrallerinin yarattığı kanser riski, bu değerlendirmedeki diğer tüm örneklerin aksine, hem tutarlı hem de nedensel ilişki açısından güçlü biçimde belgelenmiştir. PM2.5, arsenik, kadmiyum ve PAH gibi IARC Grup 1 karsinojenler, hem laboratuvar hem de epidemiyolojik çalışmalarla doğrulanan mekanizmalar aracılığıyla kanser başlatma ve ilerlemeyi destekler. Henneman 2023'ün 460.000 ölüm ve %96'lık politika başarısı, bu ilişkinin yalnızca istatistiksel değil nedensel olduğunun en güçlü göstergesidir.

Genel Risk Değerlendirmesi ve Politika Çıkarımı

Tüm çalışmaların bütünlüklük okuması şu risk hiyerarşisini ortaya koymaktadır:

Nükleer santral yakınındaki genel halk: Kontrol grubu çalışmalarının büyük çoğunluğu (yaklaşık 100 milyon kişi-yıl gözlem) tutarlı biçimde tespit edilebilir bir kanser riski artışı bulamamaktadır. Bu çalışmalarda görülen RR değerleri 0,97–1,03 aralığında kalmaktadır. "RR=1,03" şu anlama gelir: nükleer santral yakınında yaşayan 100 kişiden kanser olan sayısı, uzakta yaşayan 100 kişiden yalnızca 0,03 daha fazla — başka bir deyişle istatistiksel olarak anlamsız bir fark. Bu bulgu "düşük/belirsiz" risk kategorisine karşılık gelmektedir.

Kömür santrali yakınındaki halk: Tüm çalışmalar RR veya SIR değerlerinin 1,0'ın belirgin biçimde üzerinde olduğunu tutarlı şekilde göstermektedir (örn. ABD'de mortalite riski 2,1 kat, Kore'de mesane kanseri SIR=1,28). Bu rakamlar istatistiksel olarak anlamlı olmakla kalmaz; biyolojik mekanizma da bilinmektedir: PM2.5, arsenik, PAH ve benzen IARC tarafından Grup 1 insan kanserojen olarak sınıflandırılmıştır.

Politika yaptırımının kanıtlanmış sağlık etkisi (ABD örneği): Henneman 2023 çalışması, ABD'nin kömür santral kapatma ve emisyon düzenleme politikasının ölçülebilir bir sağlık sonucu doğurduğunu sayısal olarak ortaya koymaktadır. 1999'da yılda yaklaşık 43.000 olan kömür PM2.5 kaynaklı ölüm sayısı, 2020'ye kadar yaklaşık 1.600'e gerilemiştir — %96'lık bu düşüş, kapatılan santral sayısı ve azalan emisyon miktarıyla doğru orantılı biçimde gerçekleşmiştir.

Bu risk sınıflandırması, enerji politikası bağlamında şu çıkarımı desteklemektedir: normal işletme koşullarındaki nükleer enerji, kömüre göre halk sağlığı açısından belirgin biçimde daha düşük kanser riski taşımaktadır. KiKK bulgusu (OR=1,61, mekanizma belirsiz) ve Harvard sinyali (RR=1,18, nedensellik tartışmalı) bilimsel izleme ve ihtiyat gerektirmeye devam etmektedir. **Ancak risk büyüklükleri ve kanıt güçleri karşılaştırıldığında, kömürün yarattığı kanser riski nükleer santralin halk üzerindeki etkisinden çok daha büyük, daha tutarlı ve daha güçlü nedensel zeminde belgelenmiştir.**

Doz perspektifi bu değerlendirmenin temel çerçevesini oluşturmaktadır: Normal işletme koşullarındaki bir nükleer santral, çevresinde yaşayan kişiye yılda yalnızca 0,001–0,030 mSv ek radyasyon dozu ortaya çıkabilmektedir — bu, tek bir akciğer röntgeninden bile azdır ve Dünya ortalaması doğal arka plan dozunun (2,4 mSv/yıl) 80 ila 2.400 katı altındadır (Şekil 1). **Bu doz gerçekliği, epidemiyolojik sinyal ile biyolojik mekanizma arasındaki uçurumu açıklar: ~100 milyon kişi-yıl gözlemine dayanan beş kontrol grubu çalışması tutarlı biçimde anlamlı kanser riski artışı saptayamamıştır** (RR/SIR 0,97–1,03). KiKK (OR=1,61) ve Harvard 2026 (RR=1,18) sinyalleri araştırılmaya değer olmakla birlikte, bu doz düzeyinde **bilinen radyasyon biyolojisi modelleri söz konusu büyüklükte bir riski öngörememektedir**; nedensellik için yeterli kanıt bulunmamaktadır.

Kömür santralleri ise çok farklı bir tablo sunmaktadır: PM2.5 tanecikleri, arsenik ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi IARC Grup 1 karsinojenlerin biyolojik mekanizması bilinmekte, doz-etki zinciri kapanmakta ve politika yaptırımıyla ölüm riskinin %96 gerilemesi nedenselliği güçlü biçimde desteklemektedir. Kanser türüne göre SIR karşılaştırması bu asimetriyi somutlaştırmaktadır: **kömür çalışmalarında mesane, akciğer ve tiroid kanseri dahil birden fazla kanser türünde tutarlı artış gözlenirken nükleer santral yakın/uzak karşılaştırmalarında değerler büyük ölçüde referans düzeyinde kalmaktadır.**

Enerji politikası açısından: kömür santralleri devre dışı bırakıldığına doğrudan ve ölçülebilir bir halk sağlığı yararı sağlayacağı görülmüştür. Nükleer santrallerle ilgili beş bağımsız kontrol grubu çalışması tutarlı biçimde risk artışı saptayamamıştır ve ortaya çıkan 1 röntgen filmi doz miktarı düzeyindeki kadar çok düşük radyasyon doz miktarlarıyla zaten bu sonuç da beklenmekteydi. Kaldı ki Roentgen film dozu ani dozdur, NS çevresinde azar azar alınan doz ise, vücutun 1 yıl içinde zamanla etkisini yok edebileceği toplamda en fazla alabileceği Roentgen dozu kadar bir dozdur.

16.03.2026

KAYNAKLAR / YZ

A. Bu Analiz'de değerlendirilen 12 Epidemiyolojik Çalışma

- [1] Alwadi Y ve ark. "National analysis of cancer mortality and proximity to nuclear power plants in the United States." Nat Commun. 2026;17(1). DOI: 10.1038/s41467-026-69285-4 (Yeni çalışma)
ABD 3.142 ilçe, 2000–2018, ~115.586 NS yakınlığına bağlı kanser ölümü. Ters mesafe ağırlıklı ekolojik-epidemiolojik tasarım; 14 değişken kontrolü. Bireysel doz ölçümü yok.
- [2] IAEA. "Nuclear Power and Public Health: Radiation Protection Aspects." IAEA Bulletin 1991;33(2). URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull33-2/33205392932.pdf>
Çok ülkeli ekopidemiyal derleme. Normal işletme koşullarında NS çevresi doz ve kanser insidansını değerlendiren tarihsel başlangıç noktası. Sellafield lösemi kümelenmesini ilk kez IAEA perspektifinden yorumluyor.

- [3] Davies B ve ark. "Cancer incidence in children living near nuclear power plants in Great Britain." Int J Epidemiol. 2025;54(4):dyaf107. DOI: 10.1093/ije/dyaf107
İngiltere 28 nükleer tesis; 0–14 yaş çocuklar; 1995–2016; Bayesian uzamsal model. SIR≈1,01, lösemi dahil tüm kanser türleri. Tarihsel Sellafield ve Dounreay kümelenmesinin bu dönemde ortadan kalktığını gösteriyor.

Nükleer Santral Kontrol Grubu Çalışmaları (NS'siz Bölge Karşılaştırması)

- [4] Jablon S ve ark. "Cancer in populations living near nuclear facilities." JAMA. 1991;265(11):1403–1408.
ABD 107 NS ilçesi ile 292 eşleştirilmiş NS'siz kontrol ilçesi; 1950–1984; 2,7 milyon kanser ölümü. Çocukluk lösemisi RR: tesis öncesi 1,08 → tesis sonrası 1,03 (anlamsız). NS etkisine atfedilebilir fark bulunamadı.
- [5] Illinois Department of Public Health. "Evaluating cancer rates near nuclear facilities in Illinois." Epidemiologic Report Series 06:01; 2006.
Illinois'daki NS ilçeleri (NFCG) ile NS bulunmayan ilçeler (NNFCG) karşılaştırması; 0–14 yaş; 1990–2002; Poisson regresyon. Tüm kanser türlerinde $p>0,05$; istatistiksel fark saptanmadı.
- [6] Kim MH ve ark. "Cancer risk in the vicinity of nuclear power plants in South Korea." J Korean Med Sci. 2012;27(10):1247–1254. DOI: 10.3346/jkms.2012.27.10.1247
Kore 4 NS çevresi; 303.542 kişi-yıl; Cox orantılı hazard modeli. NS 5km yakınında HR=0,97 ($p>0,05$) — uzak kontrol grubundan daha düşük. Tüm kanser kategorilerinde anlamlı risk artışı yok.
- [7] Cho YH ve ark. "Nuclear power plant proximity and cancer risk in South Korea: a nationwide cohort study." BMC Public Health. 2026;26:26715.
Kore ulusal kohortu; 103 milyon kişi-yıl; 2005–2022; 61 kanser türü; SIR≈1,0. Sosyoekonomik değişkenler kontrol edilince NS yakınlığıyla ilişki tamamen kayboluyor. Bu derlemedeki en geniş ölçekli kontrol grubu çalışması.
- [8] Kaatsch P ve ark. "Leukaemia in young children living in the vicinity of German nuclear power plants." Int J Cancer. 2008;122(4):721–726.
Almanya 16 NS; <5 yaş; vaka-kontrol tasarımı; 593 lösemi vakası. OR=1,61 (1,26–2,06) mesafeyle ters ilişki. Ancak hesaplanan radyasyon dozu (<0,001 mSv/yıl) bu riski biyolojik açıdan açıklamıyor; epidemiyolojik tartışma sürüyor.

Kömür Santrali Epidemiyoloji Çalışmaları

- [9] Henneman LRF ve ark. "Mortality risk from United States coal electricity generation." Science. 2023;382(6673):941–946. DOI: 10.1126/science.adf4915
ABD 480 kömür santrali; HYSPLIT atmosferik dağılım modeli; 650 milyon kişi-yıl; 1999–2020. Her 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kömür PM2.5 → mortalite %1,12 artış. 20 yılda ~460.000 ölüm; politika sonrası yıllık ölüm %96 azaldı. Kömür-sağlık nedenselliğinin en kapsamlı nicel kanıtı.
- [10] Han X ve ark. "Cancer risk near coal-fired power plants in South Korea." J Korean Med Sci. 2024;39(30):e227. DOI: 10.3346/jkms.2024.39.e227
Kore 29 kömür santrali; 2km yarıçap; iki kontrol grubu (uzak bölge + ulusal). Erkek tüm kanser SIR=1,11; mesane SIR=1,28; kadın akciğer SIR=1,19. Mesafeyle ters ilişki.
- [11] Collarile P ve ark. "Incidence of cancer and mortality in the municipalities of the Abruzzo and Molise regions, Italy." Int J Environ Res Public Health. 2017;14(8):680.
İtalya kömür ve termik santral çevresi; akciğer ve mesane kanseri olasılığı artışı; özellikle 75 yaş üzeri kadınlarda belirgin. Vado Ligure 2019 çalışmasıyla birlikte değerlendirildiğinde iki bağımsız İtalya verisi tutarlı sonuç veriyor.
- [12] Fazzo L ve ark. "Cancer mortality in Italian municipalities hosting coal plants." Sci Total Environ. 2019;694:133757.
İtalya Vado Ligure kömür santrali; erkek akciğer mortalitesi artışı; çevresel exposome analizi. Collarile 2017 ile birlikte İtalya kömür kanser serisini oluşturuyor.

B. Destek Kaynaklar: Radyasyon Biyolojisi ve Metodoloji

- [13] National Research Council. BEIR VII Phase 2. National Academies Press; 2006.
- [14] IARC Monographs. Outdoor Air Pollution. Volume 109. Lyon: IARC; 2016.
- [15] IARC Monographs. Radiation. Volume 100D. Lyon: IARC; 2012.
- [16] ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4).
- [17] United Nations UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York: UN; 2020.
- [18] Perez L ve ark. Global burden of cancer attributable to coal power generation. Environ Health. 2019;18(1):9.
- [19] Hauptmann M ve ark. J Natl Cancer Inst Monogr. 2020;2020:188-200.
- [20] Science Media Centre UK. Expert reactions to nuclear plant proximity study. Şubat 2026. <https://www.sciencemediacentre.org>
- [21] Imperial College London SAHSU. Basın bülteni, 11 Haziran 2025. <https://www.imperial.ac.uk/news/266256/>
- [22] Hatch M, Susser M. Int J Epidemiol. 1990;19(3):546-552.
- [23] Daouda M ve ark. Environ Res Lett. 2021;16(3):034055.

Almanya'daki 20 nükleer santral çevrelerinde sürekli ölçülen radyoaktif maddelerle ilgili FMO Teknik Rapor ve makelemizle ilgili kaynaklar:

(24) FMO Teknik Analiz: <https://docs.google.com/viewer?url=https://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2015/01/FMO-NGS-TEKNIK-ANALIZ-20151.pdf&embedded=true&iframe>

(25) Nükleer reaktörlerin bacalarından ve atık su borularından çevreye salınan radyoaktivitenin sınırlandırılması nasıl sağlanıyor? Y.Atakan 14.07.2025 - Fizik Y. Müh. Dr. Yüksel Atakan

