



temizhavahakkı  
P L A T F O R M U



**KÖMÜR YAKITLI AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİ GENİŞLETME  
PROJESİNİN HALK SAĞLIĞI ETKİLERİ VE EKONOMİK MALİYETİ**

## Temiz Hava Hakkı Platformu Hakkında

Temiz Hava Hakkı Platformu (THHP) sağlık, doğa koruma ve iklim alanlarında çalışan 15 sivil toplum kuruluşu ve meslek örgütünün bir araya gelmesiyle 2015 yılında çalışmalarına başlamıştır. Platformun amacı, başta enerji ve sanayi kaynaklı çevresel kirleticilere bağlı olarak ortaya çıkan hava kirliliğinin azaltılması, halk sağlığının korunması ve temiz hava hakkının savunulmasıdır için çalışmalar yapmaktır.

### Platform Bileřenleri

evre için Hekimler Derneđi  
Dođal Hayatı Koruma Vakfı  
Greenpeace Akdeniz  
Halk Sağlığı Uzmanları Derneđi  
İklim için 350 Derneđi  
İř ve Meslek Hastalıkları Uzmanları Derneđi  
Temiz Hava Hakkı Derneđi  
Türk Nöroloji Derneđi  
Türkiye Solunum Araştırmaları Derneđi  
Türk Tabipleri Birliđi  
Yeřil Barıř Hukuk Derneđi  
Yeřil Düřünce Derneđi  
Yuva Derneđi  
Avrupa İklım Eylem Ağı  
Sağlık ve evre Birliđi

Bu çalışmanın kirletici dağılım modellemesi bölümünde kullanılan veriler için Greenpeace'e teşekkür ederiz.

Yayımlanma Tarihi: Eylül 2024.

© Temiz Hava Hakkı Platformu. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.



**temizhava**hakki  
P L A T F O R M U

**KÖMÜR YAKITLI  
AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİ  
GENİŞLETME PROJESİNİN  
HALK SAĞLIĞI ETKİLERİ VE  
EKONOMİK MALİYETİ**

**Eylül 2024**

# İçindekiler

<b>Yönetici Özeti</b> .....	<b>1</b>
<b>Giriş</b> .....	<b>2</b>
<b>Sonuçlar</b> .....	<b>4</b>
Sağlık etkilerinin ekonomik maliyetinin karşılaştırması .....	8
<b>Metodoloji</b> .....	<b>9</b>
Kirlenici emisyonlar .....	9
Hava dağılım modeli .....	9
Sağlık etkilerinin ve ekonomik maliyetin değerlendirilmesi .....	9
<b>Kaynaklar</b> .....	<b>12</b>

# Yönetici Özeti

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin Kahramanmaraş ilindeki Afşin Elbistan A Termik Santrali'nde planlanan iki yeni üretim ünitesi ile 688 MW'lık kapasite arttırımı projesinin hava kirliliği, halk sağlığı ve ekonomi üzerindeki etkilerini hesaplanmıştır.

- Afşin Elbistan A Termik Santrali'ne eklenmesi planlanan toplam 688 MW kapasiteli iki ünite, ilk işletme yılı olacağı tahmin edilen 2028'de, tahmini olarak 42 ölüme, 43 astım şikâyeti ile acil servis başvurusuna, 87 çocuğun astım hastası olmasına, 27 erken doğuma, 15 düşük doğum ağırlıklı doğuma ve 16.917 iş günü kaybına yol açacaktır.
- Bu sağlık etkilerinin bir sonucu olarak, Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin ilave kapasitesinden kaynaklanan hava kirliliğinin, ilk işletme yılında ekonomiye tahmini maliyeti 58,1 milyon ABD doları olacaktır.
- Yeni eklenecek ünitenin 2028'den 2063'e kadar 35 yıl boyunca faaliyette olacağı varsayıldığında, sebep olacağı kümülatif sağlık etkileri 2.268 ölüm, 1.714 astım şikâyeti ile acil servis başvurusu, 626 çocukta yeni astım vakası, 2.896 hasta çocukta astım atağı, 907 erken doğum, 514 düşük doğum ağırlıklı doğum ve 755.904 hastalık izni gününe eşit olacaktır.
- Sonuç olarak, Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin ilave kapasitesinden kaynaklanan hava kirliliği, 2028'den 2063'e kadar sürecek tüm işletme dönemi boyunca ekonomiye 2,6 milyar ABD doları ek maliyete sebep olacaktır.
- Bu, toplum için önemli bir ekonomik maliyettir ve her biri 500'er yataklı 29 hastanenin yapım maliyetine (toplam 14.500 hastane yatağına) eşdeğerdir.



# Giriş

Hava kirliliği tüm dünyada çevreye, halk sağlığına ve ekonomiye önemli ölçüde zarar vermektedir. Partikül madde (PM<sub>2.5</sub>), azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ve sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) gibi hava kirlleticilerine maruz kalmak, solunum, kalp-damar ve üreme sistemlerinin yanı sıra beyin, kalp ve akciğerler de dahil olmak üzere insan vücudunun neredeyse tüm ana organlarını da olumsuz etkilemektedir. Sağlık etkileri arasında yetişkinlerde ve çocuklarda astım, erken ve düşük kilolu doğumlar, işe devamsızlık ve iskemik kalp hastalığı, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, akciğer kanseri, alt solunum yolu enfeksiyonları ve diyabet gibi hastalıklara bağlı ölüm yer almaktadır (Lelieveld ve diğ. 2019; Di ve diğ. 2017; WHO, 2021). Hava kirliliğine maruz kalma, küresel olarak her yıl iki milyon pediyatrik astım vakasına (Annenberg ve diğ. 2022), bir milyar gün işe devamsızlığa (OECD, 2016) ve altı milyondan fazla ölüme (Lelieveld ve diğ. 2019) yol açmaktadır. Hava kirliliğinin büyük bir kısmı, kömürle çalışan elektrik santrallerinde olduğu gibi fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmaktadır (McDuffie ve diğ. 2021).

Türkiye'nin Kahramanmaraş ilinde bulunan Afşin-Elbistan termik santralleri 2.460 MW'ın üzerinde bir kapasiteye sahip olup (GEM, 2024), ülkedeki en büyük kömür yakıtlı termik santral komplekslerinden biridir. Kompleks, Afşin Elbistan A ve Afşin Elbistan B termik santrallerinden oluşmaktadır. Bölgede, bu santrallerin işletilmesiyle bağlantılı çevre ve halk sağlığı sorunları uzun bir geçmişe sahiptir. Kompleksteki ilk santralin 1984 yılında faaliyete geçmesinden bu yana, Elbistan Ovası'nda ciddi çevresel bozulma ve önemli halk sağlığı etkileri görülmüştür (GEM, 2024).

Var olan termik santrallere ek olarak Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin 2028 yılına kadar 688 MW'lık iki üretim ünitesi ilave edilerek genişletilmesi planlanmaktadır (GEM, 2024). Afşin Elbistan termik santral kompleksi, özellikle Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin genişletilmesine yönelik çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporuna ilişkin yasal itirazlara konu olmuştur (Myllyvirta ve diğ. 2022). Partikül madde (PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) ve cıva (Hg) dahil olmak üzere hava kirleticilerindeki önemli artışla ilgili endişeler dile getirilmiştir. Bu kirleticiler atmosferde uzun mesafeler kat ederek çevre ve sağlık üzerinde yaygın olumsuz etkilere neden olabilir.

Yakın tarihli bir rapor, Afşin Elbistan A Termik Santrali'ni genişletme projesinin hayata geçirilmesi halinde ortaya çıkacak sağlık etkilerini belgelemiştir (Myllyvirta ve diğ. 2022). Bu çalışma, Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin kapasite arttırımından kaynaklanan hava kirliliğinin halk sağlığını kötüleştireceğini ve 1.900 (1.200-2.500) kişinin hayatını kaybetmesine yol açacağını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, kirliliğin halk sağlığı üzerindeki etkileri, ekonomiyi de olumsuz yönde etkileyecektir.



Dünya genelinde her yıl, hava kirliliğine maruz kalmaktan kaynaklanan sağlık etkilerinin küresel ekonomiye maliyeti 8 trilyon ABD dolarını bulmaktadır (Dünya Bankası, 2022). 2019 yılında Türkiye'nin gayri safi yurtiçi hasılası (GSYH) 761 milyar ABD doları iken, hava kirliliğinin maliyetinin 27,61 milyar ABD doları<sup>1</sup> (24,65 milyar Avro) olduğu tahmin edilmektedir. Bu da hava kirliliğinin Türkiye'ye yıllık maliyetinin ülkenin GSYH'sinin %3'üne kadar çıkabildiği anlamına gelmektedir (Büke ve Köne, 2022). Bu durum, hava kirliliğinin hem halk sağlığını hem de ekonomiyi etkileyerek ülke üzerinde nasıl bir ekonomik yük oluşturduğunu vurgulamaktadır.

Termik santrallerin neden olduğu hava kirliliğinin olumsuz etkileriyle ilişkili doğrudan ve dolaylı ekonomik maliyetler ile sosyal maliyetler önemli boyutlardadır. Uygulamada, hesaplanan ölümlerin parasal maliyetleri, hastane başvurularından kaynaklanan sağlık harcamalarını ve diğer tıbbi harcamaları içerebilir. Sağlık sorunları üretkenlik kaybına ve işe devamsızlığa yol açar, dolayısıyla işyerlerini ve ekonomiyi etkiler. Hava kirliliğine bağlı sağlık etkilerinin neden olduğu ekonomik maliyetlerin tahmini, istatistiksel yaşam değerinin (VSL) tahminini de içerir. İstatistiksel yaşam değeri, insanların olumsuz sağlık koşullarından ötürü ölme riskini azaltmak için maddi olarak ne kadar ödemeye istekli olduklarına dayanan bir hasar maliyeti tahminidir. Endüstriyel kirliliğin insan sağlığı, ekosistemler, altyapı ve iklim üzerindeki etkileriyle ilişkili hasar veya 'dış' maliyetleri tahmin etme yöntemleri gelişmeye devam etmektedir ve bu yöntemler daha kesin sonuçlar vermeye başlamıştır.

Bu çalışmada, Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin genişlemesinden kaynaklanan hava kirliliğinin sağlık etkileri ve ekonomik etkileri analiz edilmektedir. Bu etkileri yaklaşık olarak belirlemek üzere, hava kirliliği dağılım simülasyonu için dünya genelinde kabul görmüş bir model olan CALPUFF hava dağılım modeli kullanıldı. Bu modelleme için Greenpeace'in 2022 tarihli "Planlanan Afşin A Santrali Genişletme Projesinin Gelecekteki Hava Kalitesi ve Sağlık Etkileri" raporunun çıktılarından yararlanıldı. Bu modelle, kapasite arttırımından kaynaklanan emisyonların atmosferdeki ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>), sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) kirlleticilerinin yoğunluklarını nasıl etkilediği belirlendi. Daha sonra, ortaya çıkan hava kirliliği haritaları ve diğer harici veri kaynakları Myllyvirta ve diğ. (2020) çalışmasında verilen metodoloji ile birlikte kullanılarak insan sağlığı ve ekonomi üzerindeki etkiler hesaplandı.

---

<sup>1</sup> 2019 EUR/USD döviz kuru ortalaması olan 1,1199 baz alınmıştır.



# Sonuçlar

Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin genişlemesinden kaynaklanan hava kirliliğinin ilk işletme yılı için halk sağlığı ve ekonomi üzerindeki etkileri Tablo 1'de gösterilmektedir. Öngörülen ilk işletme yılı olan 2028'de, hava kirliliği çeşitli hastalıkları tetiklemek suretiyle 42 ölüme neden olacaktır. Ölümlere ek olarak, yeni ünitelerden kaynaklanan hava kirliliği ölümcül olmayan hastalıklara da yol açacaktır. Söz konusu hastalıklara astım şikâyeti ile 43 acil servis başvurusu, 87 astım hastası çocuk ve 27 erken doğum yapan kadın dahildir. Bu kirliliğe maruz kalmak çeşitli hastalıklara neden olacak ve sonuç olarak yaklaşık 17.000 gün hastalık izni alınmasına yol açacaktır. Bu da işverenlerin ve işletmelerin ekonomik verimlilik kayıplarıyla karşılaşmasına neden olacaktır. Tesisten kaynaklanan kirlilik toplamda engelli yaşanan 41 yıla ve 226 yıla eşdeğer yaşam kaybına neden olacaktır. Genel olarak, işletmenin ilk yılında Afşin Elbistan A Termik Santrali'ne eklenen ilave kapasiteden kaynaklanan kirliliğin sağlık üzerindeki etkilerinin maliyeti 58,1 milyon ABD dolarını bulacak, hem yerel hem de ulusal ekonomi üzerinde önemli bir yük oluşturacaktır.

**Tablo 1 - Afşin Elbistan A Termik Santrali İki Ek Ünitesinin ilk işletme yılında (2028) öngörülen yıllık sağlık etkileri**

Sağlık sonuçları	Kirletici	Vaka Sayısı (merkezi değer ve %95 güven aralığı)
<b>Ölüm ve hastalık vakaları</b>		
Ölüm	Tümü	42 (26-66)
Astım şikâyeti ile acil servis başvurusu	PM <sub>2.5</sub>	43 (25-60)
Astım hastası çocuk sayısı	NO <sub>2</sub>	87 (23-182)
Çocuklarda yeni astım vakası	NO <sub>2</sub>	19 (4-41)
Düşük doğum ağırlıklı doğum	PM <sub>2.5</sub>	15 (5-27)
Erken doğum	PM <sub>2.5</sub>	27 (13-28)
İşte devamsızlık (hastalık izni günleri)	PM <sub>2.5</sub>	16.917 (14.391-19.426)



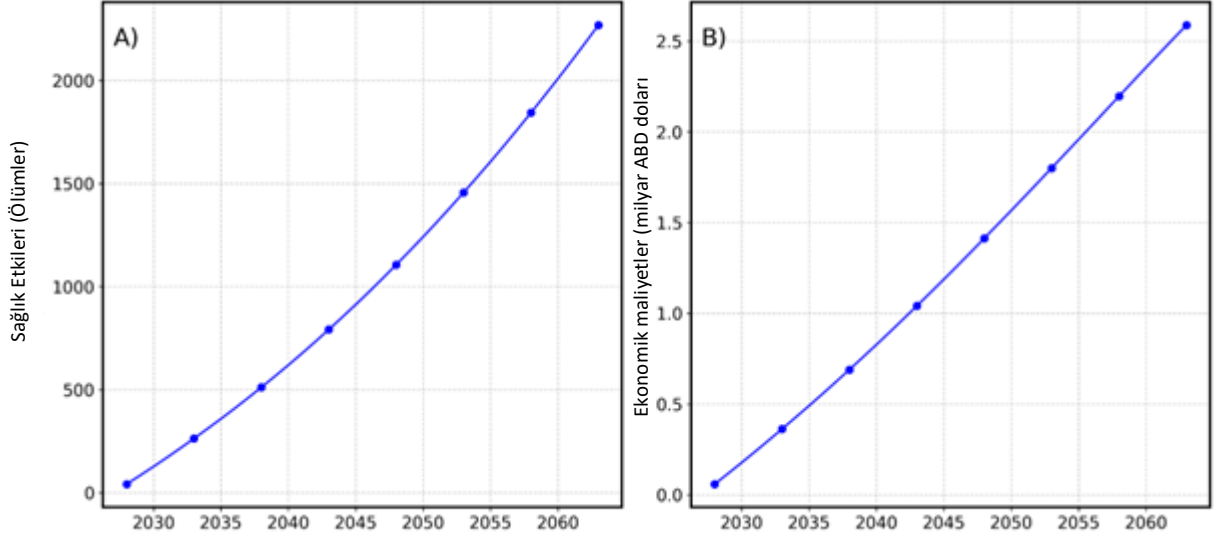


Sağlık sonuçları	Kirletici	Yıl (merkezi değer ve %95 güven aralığı)
<b>Yaşam yılı kaybı</b>		
NO <sub>2</sub> maruziyetine bağlı tüm sebeplerden kaynaklanan yaşam yılı kaybı	NO <sub>2</sub>	129 (53-312)
SO <sub>2</sub> maruziyetine bağlı tüm sebeplerden kaynaklanan yaşam yılı kaybı	SO <sub>2</sub>	97 (55-153)
<b>Engelli yaşanan yıl sayısı</b>		
Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH)	PM <sub>2.5</sub>	23 (8-41)
Diyabet	PM <sub>2.5</sub>	0 (0-0)
İnme	PM <sub>2.5</sub>	18 (6-37)
<b>Toplam ekonomik maliyet</b>		
Milyon ABD doları	Tümü	58,1 (35,7-92,0) \$
Milyon Türk lirası*	Tümü	1.975,4 (1.213,8-3.128) TL

\* ABD doları/Türk lirası = 34,00 (Eylül, 2024)

Şekil 1'de tahmini 35 yıllık işletme süresi boyunca Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin ek kapasitesinden kaynaklanan kirliliğin sebep olacağı kümülatif ölümler ve sağlık maliyetleri gösterilmektedir. Tahmin edilen her bir sağlık etkisi, özellikle nüfusta öngörülen hızlı artışlar nedeniyle zaman içinde artmaktadır. İşletme döneminin sonuna doğru, 2063 yılında, yıllık ölümlerin 88'e yükseleceği ve toplam ekonomik maliyetin yıllık 77,2 (47,5-123) milyon ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir.





**Şekil 1 - Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin genişletilmesinin neden olacağı öngörülen kümülatif yıllık ölümler (a) ve toplam ekonomik maliyet (b) (merkezi değerler)**

Tablo 2'de Afşin Elbistan A Termik Santrali'ne eklenen kapasitenin, tesisin tüm ömrü boyunca halk sağlığı ve ekonomi üzerinde nasıl bir etkiye sahip olacağını göstermektedir. 35 yıllık bu süre zarfında, tesisten kaynaklanan kirlilik 2.000'den fazla ölüme, 1.700'den fazla astım şikâyeti ile acil servis başvurusuna, 907 erken doğuma, 514 düşük doğum ağırlıklı doğuma, 755.904 hastalık izni gününe ve 2.256 engelli yaşam yılına yol açacaktır.

**Tablo 2 - Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin genişletilmesinin kümülatif sağlık etkileri**

Sağlık sonuçları	Kirletici	Vaka sayısı (merkezi değer ve 95 güven aralığı)
<b>Ölüm ve hastalık vakaları</b>		
Ölüm	Tümü	2.268 (1.410-3.605)
Astım şikâyeti ile acil servis başvurusu	PM <sub>2.5</sub>	1.714 (1.028-2.393)
Astım hastası çocuk sayısı	NO <sub>2</sub>	2.896 (764-6.035)
Çocuklarda yeni astım vakası	NO <sub>2</sub>	626 (140-1.363)
Düşük doğum ağırlıklı doğum	PM <sub>2.5</sub>	514 (159-893)
Erken doğum	PM <sub>2.5</sub>	907 (439-963)
İşe devamsızlık (hastalık izni günleri)	PM <sub>2.5</sub>	755.904 (643.048-868.005)
<b>Yaşam yılı kaybı</b>		
NO <sub>2</sub> maruziyetine bağlı tüm sebepler	NO <sub>2</sub>	6.944 (2.856-16.803)
SO <sub>2</sub> maruziyetine bağlı tüm sebepler	SO <sub>2</sub>	5.247 (2.994-8.323)
Engelli yaşanan yıl sayısı		
Kronik obstrüktif akciğer hastalığı	PM <sub>2.5</sub>	1.225 (449-2.246)
Diyabet	PM <sub>2.5</sub>	0 (0-0)
İnme	PM <sub>2.5</sub>	1.032 (344-2.064)
<b>Toplam ekonomik maliyet</b>		
Milyar ABD doları	Tümü	2,6 (1,6-4,1) \$
Milyar Türk lirası*	Tümü	88,4 (54,4-139,4) TL

\* ABD doları/Türk lirası = 34,00 (Eylül, 2024)



## Sağlık etkilerinin ekonomik maliyetinin karşılaştırması

Bu çalışma, Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin öngörülen 688 MW'lık iki ünite ile genişletilmesi durumunda bu ek ünitelerin hava kalitesi üzerindeki etkilerini hesaplamaktadır. Bu tesisten kaynaklanan hava kirliliği, yöre halkına, işletmelere ve devlete maliyet getirerek ekonomiye zarar verecek çok çeşitli sağlık etkilerine yol açacaktır. Bu zararların toplamda 2,6 milyar milyar ABD dolarına mal olacağını tahmin ediyoruz ki bu, özellikle yerelde yapılan kamu yatırımlarıyla karşılaştırıldığında toplum için önemli bir yüküdür.

Kahramanmaraş İli 2024 Yılı Yatırım Programı'na göre Kahramanmaraş ilinde toplam yatırım tutarı 15.268.444.506 TL (rapor yayınlanma tarihi itibarıyla 443 milyon ABD doları) olan beş hastanenin inşası devam etmektedir: Kahramanmaraş Devlet Hastanesi, Kahramanmaraş Afşin Devlet Hastanesi, Kahramanmaraş Türkoğlu Acil Durum Hastanesi, Kahramanmaraş Yörükselim Şehir Hastanesi ve Kahramanmaraş Acil Durum Hastanesi. Bu tesisler toplamda 2.120 hastane yatağı sağlamakta olup, hastane başına ortalama 89 milyon ABD doları ve hastane yatağı başına yaklaşık 0,18 milyon ABD doları maliyete karşılık gelmektedir. Bu verilerden yola çıkarak 2,6 milyar ABD dolarının her biri 500'er yataklı 29 hastanenin yapım (toplam 14.500 hastane yatağı) maliyetine eşdeğer olduğunu tahmin ediyoruz. Dolayısıyla Afşin Elbistan A Termik Santrali'nin genişletilmesi halk sağlığına ve ekonomiye çifte darbe vurmaktadır; yalnızca halk sağlığı yükünü ve topluma ekonomik maliyetleri arttırmakla kalmamakta, aynı zamanda sağlık sistemlerini güçlendirmek için mevcut kamu fonlarını da azaltmaktadır.



# Metodoloji

## Kirletici emisyonları

Bu çalışmada, Greenpeace tarafından yayınlanmış 2022 tarihli “Planlanan Afşin A Santrali Genişletme Projesinin Gelecekteki Hava Kalitesi ve Sağlık Etkileri” başlıklı, Myllyvirta ve diğ. (2022) çalışmasındaki kirletici emisyon tahminlerinin aynıları kullanıldı. Bunun için, Afşin Elbistan A Termik Santrali’ndeki yeni ünitelerin Türkiye’de yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olacağını ve SO<sub>x</sub> için 200 mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> için 200 mg/m<sup>3</sup> ve PM için 30 mg/m<sup>3</sup> baca gazı konsantrasyonlarına ulaşacağını varsaydık. Bunun sonucunda SO<sub>x</sub> emisyonları 665 kg/saat, NO<sub>x</sub> emisyonları 665 kg/saat ve PM emisyonları 99,8 kg/saat olacaktır.

## Hava dağılım modeli

Hava kirletici konsantrasyonları CALPUFF hava dağılım modelinin yedinci sürümünü (Scire ve diğ. 2000; Exponent, 2015) kullanılarak simüle edildi. CALPUFF, noktasal kaynakların uzun menzilli hava kalitesi etkilerini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir modeldir ve hem ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) (US EPA, 2023) gibi düzenleyici kurumlar tarafından hem de akademik araştırmalarda kullanılmaktadır (Zhang ve diğ. 2020). Atmosferdeki karmaşık kimyasal süreçleri ve kirleticilerin atmosferik taşınımını yakalama kabiliyeti nedeniyle CALPUFF modelinin bir emisyon kaynağından çıkan kirliliğin uzun mesafelere taşınmasının beklendiği durumları araştırmak için kullanımı, EPA tarafından resmi olarak onaylanmıştır (US EPA, 2023). EPA tarafından kapsamlı bir şekilde değerlendirilen model, açık kaynaklıdır ve tamamen belgelenmiştir. CALPUFF modeli, Amerika Birleşik Devletleri (Rzeszutek, 2019), Avrupa (Holnicki ve diğ., 2016), Orta Amerika (Hernández-Garcés ve diğ., 2021), Güney Amerika (Arregocés ve Rojano, 2023), Orta Doğu (Ghannam ve El-Fadel, 2013), Asya (Zhou ve diğ., 2003; Jittra ve diğ., 2015) ve Afrika (Affum ve diğ., 2016) dahil olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde uygulanmıştır.

## Sağlık etkilerinin ve ekonomik maliyetin değerlendirilmesi

CALPUFF’ta canlandırılan kirletici dağılımına (PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub>) dayanarak, 2028 yılı için halk sağlığı etkileri ve ekonomik etkileri ile 2063 yılına kadar kümülatif etki hesaplandı. Bu hesaplama için Myllyvirta ve diğ. (2020) çalışmasında açıklanan yöntemin aynısı kullanıldı. Bu yöntemsel çerçeve, hava kirliliğinin sebep olduğu sağlık ile ilgili sonuçları hesaplamak için epidemiyolojik çalışmaları (örneğin hava kirliliği konsantrasyon-tepki fonksiyonları) ve güvenilir kamu kaynaklarından elde edilen verileri (örneğin vaka oranı, nüfus, ulusal GSYH) kullanmaktadır.



Genel olarak, sağlık ile ilgili sonuçlar, hakemli bilimsel çalışmalardan alınan nitelikli konsantrasyon-tepki fonksiyonları kullanılarak değerlendirilir. Bu yöntem yaygın olarak kabul görmekte ve farklı coğrafyalarda hava kirliliğiyle ilgili sağlık araştırmalarında ve farklı maruz kalma düzeylerinde uygulanmaktadır. Bu çalışmada da ilgili tüm hastalıklara bağlı yetişkin ölümleri, 5 yaş altı çocuk ölümleri, düşük doğum ağırlıklı doğumlar, astım (acil servis başvuruları ve çocuklarda yeni vakalar), erken doğumlar, hastalık nedeniyle iş günü kayıpları, engellilikle yaşanan yıllar (KOA, diyabet ve felç) ve kaybedilen yaşam yılı süresi dahil olmak üzere ilgili sağlık etkilerini tahmin etmek için konsantrasyon-tepki fonksiyonlarını kullandık. Bu fonksiyonların ve veri kaynaklarının ayrıntılarına bilimsel araştırma makalelerinden ve açık veri kaynaklarından ulaşılabilir (Burnett ve diğ., 2018; Lelieveld ve diğ., 2019; IHME, 2020). Sağlık etkileri, standart bir epidemiyolojik formül takip edilerek hesaplanmıştır:

$$\Delta cases = Pop \times \sum_{age} \left[ Frac_{age} \times Incidence_{age} \times \frac{RR_{c,age} - 1}{RR_{c,age}} \right]$$

Burada:

Nüfus (*pop*), çalışılan alandaki toplam nüfustur;

Yaş (*age*), analiz edilen yaş grubudur; yaşa bağlı konsantrasyon-tepki fonksiyonları söz konusu olduğunda, 5 yıllık bir yaş kesimi; diğer durumlarda, fonksiyonun uygulanabileceği toplam yaş aralığı;

*Frac<sub>age</sub>* analiz edilen yaş grubuna ait nüfusun oranıdır;

İnsidans (*incidence*), analiz edilen sağlık durumunun başlangıçtaki sıklığıdır;

*c* kirlenici konsantrasyondur ve *c<sub>base</sub>* başlangıç konsantrasyonunu veya mevcut ortam konsantrasyonunu ifade eder;

*RR<sub>conc, yaş</sub>*, temiz hava ile karşılaştırıldığında verilen yaş grubu için verilen konsantrasyonda analiz edilen sağlık sonucunun risk oranını veren fonksiyondur. Log-lineer, yaşa özgü olmayan konsantrasyon-tepki fonksiyonu durumunda, RR fonksiyonu :

$$RR(c) = RR_0 c - c_0 \Delta c_0, c > c_0 \text{ iken, aksi halde } 1$$

Burada:

*RR<sub>0</sub>* epidemiyolojik araştırmalarda bulunan risk oranıdır;

$\Delta c_0$ , *RR<sub>0</sub>*'nin ifade ettiği konsantrasyon değişimidir;

*c<sub>0</sub>* varsayılan zararsız konsantrasyondur - genel olarak çalışma verilerinde bulunan en düşük konsantrasyon.



Sağlık Ölçümleri ve Değerlendirme Enstitüsü (IHME, 2020) tarafından derlenen toplam nüfus ve nüfusun yaş yapısına ilişkin veriler, 2019 Küresel Hastalık Yüğü sonuçlarından (Murray ve diğ. 2020) alınmıştır. Her şehir ve ülkedeki nüfusun 2020 için öngörülen mekânsal dağılımı, Uluslararası Yer Bilimleri Bilgi Ağı Merkezi'nin (CIESIN, 2018) Gridded Population of the World (Dünya Nüfusu Haritası) çalışmasının dördüncü sürümüne (GPWv4) dayanmaktadır. Hava kirliliğinden kaynaklanan olumsuz etkiler, etkilenen insanların yaşam kalitesini düşürür, ekonomik üretkenliği azaltır ve sağlık hizmetlerinin maliyetini artırır. Hava kirliliğinin yol açtığı ekonomik maliyetler, Myllyvirta ve diğ. (2020) çalışmasında özetlenen yöntemler kullanılarak tahmin edilmiştir. Ölümün değerlendirilmesi Viscusi & Masterman (2017) tarafından türetilen değerlere göre güncellenmiştir. Küresel Hastalık Yüğü projesi, her bir hastalığın neden olduğu engellilik derecesini, farklı hastalıkların maliyetlerini karşılaştırmak için kullanılabilir bir 'engellilik ağırlığı' olarak ölçmüştür. Bu hastalıkların ve engellerin neden olduğu engelliliğin ve yaşam kalitesindeki düşüşün ekonomik maliyeti, Birleşik Krallık'ın çevre alanındaki düzenleyici kurumu DEFRA tarafından kullanılan engelliliğin ekonomik değerlendirilmesi ile birlikte engellilik ağırlıklarına göre değerlendirilmiştir (Birchby ve diğ. 2019). Ekonomik koşullar ülkeler arasında farklılık gösterdiğinden, değerlendirmeler Türkiye'ye özgü Satın Alma Gücü Paritesine (PPP) göre uyarlanmış Gayri Safi Milli Gelir (GSMG) kullanarak uyarlanmıştır.

2028 yılına ilişkin halk sağlığı etkileri ve ekonomik etkilere dayanarak, 2028'den 2063'e kadarki dönemin tamamı için kümülatif etkiler hesaplandı. Kirlilik konsantrasyonlarının başlangıç yılı olan 2028 ile aynı kaldığı varsayıldı. Bu veriyi, öngörülen nüfus ve sağlık etkisi başına maliyetleri de hesaba katarak gelecek yıllara (2028-2063) uyguladık. Bu hesaplamada tesiste yeni tekniklerin uygulanmasıyla emisyonlarda ortaya çıkabilecek değişiklikler, diğer kaynaklardan gelen kirlilik nedeniyle baz kirlilik seviyesinde görülebilecek değişiklikler veya iklimsel koşullardaki değişiklikler hesaba katılmamıştır.



# Kaynaklar

Affum, H.A., Akaho, E. H. K., Niemela, J. J., Armenio, V., & Danso, K. A. (2016). Validating the California Puff (CALPUFF) Modelling System Using an Industrial Area in Accra, Ghana as a Case Study. *Open Journal of Air Pollution*, Volume 5: 27-36. Published Online March 2016 in SciRes.

[https://www.scirp.org/pdf/OJAP\\_2016033109554592.pdf](https://www.scirp.org/pdf/OJAP_2016033109554592.pdf)

Anenberg, S. C., Moheg, A., Goldberg, D. L., Kerr, G. H., Brauer, M., Burkart, K., ... & Lamsal, L. (2022). Long-term trends in urban NO<sub>2</sub> concentrations and associated paediatric asthma incidence: estimates from global datasets. *The Lancet Planetary Health*, 6(1), e49-e58.

<https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2821%2900255-2>

Arregocés, H. A. & Rojano, R. (2023). Sensitivity of the CALMET-CALPUFF model system on estimating PM<sub>10</sub> concentrations at a mining site in northern Colombia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, Volume 8, 100402.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266601642300107X>

Birchby, D., Stedman, J., Whiting, S., & Vedrenne, M. (2019). Air Quality Damage Cost Update 2019. 2019. Ricardo/ED59323/Issue Number 2.0. [https://uk-](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1902271109_Damage_cost_update_2018_FINAL_Issue_2_publication.pdf)

[air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1902271109\\_Damage\\_cost\\_update\\_2018\\_FINAL\\_Issue\\_2\\_publication.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1902271109_Damage_cost_update_2018_FINAL_Issue_2_publication.pdf)

Büke, T. & Köne, A. Ç. (2022). External cost of pollutant emissions in Turkey. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 1123, 3rd International Conference on Environmental Design (ICED2022) 22/10/2022 - 23/10/2022 Athens, Greece. DOI 10.1088/1755-

[1315/1123/1/012066](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1123/1/012066)

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., et al. (2018). Global Estimates of Mortality Associated with Long-Term Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter. *Proceeding of the National Academies of Science*, 115 (38): 9592-9597). <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>

Di, Q., Wang, Y., Zanobetti, A., Wang, Y., Koutrakis, P., et al. (2017). Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *New England Journal of Medicine*, 376:

<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa1702747>

Exponent. (2015). CALPUFF Modeling System. <http://www.src.com>

Ghannam, K. & El-Fadel, M. (2013). A framework for emissions source apportionment in industrial areas: MM5/CALPUFF in a near-field application. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63 (2):190–204.

<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/10962247.2012.739982?needAccess=true>





Global Energy Monitor (GEM). (2024). Afşin-Elbistan power stations.

[https://www.gem.wiki/Af%C5%9Fin-Elbistan\\_power\\_stations](https://www.gem.wiki/Af%C5%9Fin-Elbistan_power_stations)

Hernández-Garcés, A., Cécé, R., Ferrer-Hernández, A. D., Bernard, D., Jáuregui-Haza, U., Zahibo, N., & González, J. A. (2021). Intercomparison of FLEXPART and CALPUFF dispersion models. An application over a small tropical island. *Atmósfera*, 34(3), 337–355.

<https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/52818>

Holnicki, P., Kałuszko, A., & Trapp, W. (2016). An urban scale application and validation of the CALPUFF model. *Atmospheric Pollution Research*, Volume 7 (3): 393-402.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1309104215000732?via%3Dihub>

Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2020). GBD Results.

<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>

Jittra, N., Pinthong, N., & Thepanondh, S. (2015). Performance Evaluation of AERMOD and CALPUFF Air Dispersion Models in Industrial Complex Area. *Air, Soil and Water Research*, Volume 8. SAGE Publications. <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.4137/ASWR.S32781>

Kahramanmaraş Valiliği (2024). Kahramanmaraş İli 2024 Yılı Yatırım Programı (Sunum).

<http://www.kahramanmaras.gov.tr/kurumlar/kahramanmaras.gov.tr/galeri/sol%20grid/Dosyalar/Kahramanmara2024Ylyatrmprogram.pdf>

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Burnett, R., Haines, A. & Ramanathan, V. (2019). Effects of Fossil Fuel and Total Anthropogenic Emission Removal on Public Health and Climate. *Proceedings of the National Academies of Science*, 116 (15):7192-7197. <https://doi.org/10.1073/pnas.1819989116>

McDuffie, E.E., Martin, R.V., Spadaro, J.V. et al. (2021). Source sector and fuel contributions to ambient PM<sub>2.5</sub> and attributable mortality across multiple spatial scales. *Nat Commun* 12, 3594 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23853-y>

Myllyvirta, L. (2020). Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels. Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA). <https://energyandcleanair.org/publication/quantifying-the-economic-costs-of-air-pollution-from-fossil-fuels/>

Myllyvirta, L., Temiz, E., Farrow, A., & Anhäuser, A. (2022). Planlanan Afşin Elbistan A Santrali Genişletme Projesinin Gelecekteki Hava Kalitesi ve Sağlık Etkileri. Greenpeace & CREA.

<https://www.greenpeace.org/static/planet4-turkey-stateless/2022/04/c73a17f7-tr-afsin-a-genisleme-raporu-greenpeace.pdf>

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2016). The economic consequences of outdoor air pollution. Policy highlights.

<https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf>



Rzeszutek, M. (2019). Parameterization and evaluation of the CALMET/CALPUFF model system in near-field and complex terrain - Terrain data, grid resolution and terrain adjustment method. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719329523>

Scire et al. (2000). A User's Guide for the CALPUFF dispersion model. [https://www.eoas.ubc.ca/courses/atc507/ADM/calpuff/CALPUFF\\_UsersGuide-v5-excellent.pdf](https://www.eoas.ubc.ca/courses/atc507/ADM/calpuff/CALPUFF_UsersGuide-v5-excellent.pdf)

US EPA. (2023). Air Quality Dispersion Modeling — Alternative Models. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-alternative-models#calpuff>

Viscusi, W. K. & Masterman, C. J. (2017). Income Elasticities and Global Values of a Statistical Life. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 8(2): 226-250. <https://doi.org/10.1017/bca.2017.12>

World Bank. (2022). *The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021*. The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/c96ee144-4a4b-5164-ad79-74c051179eee>

World Health Organization (WHO). (2021). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

Zhang, R., Li, M., & Ma, H. (2020). Comparative study on numerical simulation based on CALPUFF and wind tunnel simulation of hazardous chemical leakage accidents. *Sec. Toxicology, Pollution and the Environment*, Volume 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.1025027/full>

Zhou, Y., Levy, J. I., Hammitt, J. K., & Evans, J. S. (2003). Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, Volume 37 (6): 815-826. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231002009378>





**temizhavahakki**  
P L A T F O R M U

[www.temizhavahakki.org](http://www.temizhavahakki.org)