

# TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİYLE SAĞLIĞIN İYİLEŞTİRİLMESİ VE SAĞLIK SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ YÜKÜN AZALTILMASI

NADİM K. COPTY, FUNDA GACAL,  
ALİ KEREM SAYSEL, İREM DALOĞLU,  
BUSE YETİŞTİ,  
DERYA AYDIN SARIKURT,  
ÇİĞDEM ÇAĞLAYAN



**TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİYLE  
SAĞLIĞIN İYİLEŞTİRİLMESİ VE  
SAĞLIK SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ YÜKÜN  
AZALTILMASI**

**ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜ  
KARBONSUZLAŞTIRMANIN YAN  
FAYDALARININ ANALİZİ**

NADİM K. COPTY, FUNDA GACAL, ALİ KEREM SAYSEL  
İREM DALOĞLU, BUSE YETİŞTİ, DERYA AYDIN SARIKURT  
ÇİĞDEM ÇAĞLAYAN

Haziran 2021

Bu çalışma, “İklim değişikliği azaltımı yan faydalarının kamu kurumlarında kapasite geliştirme aracılığıyla yaygınlaştırılması” (COBENEFITS) projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.



Bu proje Uluslararası İklim Girişimi (İKİ)'nin bir parçasıdır. Federal Çevre, Doęa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı (BMU), Almanya Federal Meclisi'nin kararı doğrultusunda bu girişimi desteklemektedir. COBENEFITS Projesi, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS, Proje Lideri) tarafından, Renewables Academy (RENAC), Independent Institute for Environmental Issues (UfU), International Energy Transition GmbH (IET) ve Türkiye'de Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi ile işbirliği içerisinde koordine edilmektedir.

Supported by:



INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE (İKİ)



based on a decision of the German Bundestag

**Editörler:** Mara Gomez, Pınar Ertör, David Jacobs, Sebastian Helgenberger, Laura Nagel – IASS Potsdam, İPM ve IET

**Teknik uygulama:** Nadim K. Copty (Çevre Bilimleri Enstitüsü, Boęaziçi Üniversitesi), Funda Gacal (Enerji ve Sağlık Politikaları Danışmanı), Ali Kerem Saysel, İrem Daloğlu, Buse Yetiştı ve Derya Aydın Sarıkurt (Çevre Bilimleri Enstitüsü, Boęaziçi Üniversitesi), Çiğdem Çağlayan (Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi).

**Çeviri:** Ayşe Bereket

**Yayın Kimliği Tasarımı:** MYRA

## İstanbul Politikalar Merkezi Hakkında

İstanbul Politikalar Merkezi (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arabuluculuk. İPM, 10 yılı aşkın süredir, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

[www.ipc.sabanciuniv.edu](http://www.ipc.sabanciuniv.edu)

## COBENEFITS

Yenilenebilir enerjinin sunduğu sosyal ve ekonomik fırsatların iklim değişikliği azaltım stratejileri ile ilişkilendirilmesi

COBENEFITS dünya çapında Almanya, Hindistan, Güney Afrika, Vietnam ve Türkiye gibi ülkelerin ulusal otoriteleri ve bilgi ortakları ile işbirliği yapmakta ve bu ülkelerin erken iklim eylemine ilişkin yan faydaları harekete geçirmeleri için destek olmaktadır. Proje, Paris Anlaşması ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine yönelik iddialı ulusal katkı beyanlarının geliştirilmesi yönündeki çabaları desteklemektedir. COBENEFITS, politika yapımcılar, bilgi ortakları ve diğer etkili aktörler arasındaki uluslararası karşılıklı öğrenme ve kapasite geliştirme süreçlerini geniş bir yelpazedeki birbiriyle bağlantılı yöntemlerle kolaylaştırmaktadır: ülkeye özgü yan fayda araştırmaları, çevrimiçi ve yüz yüze eğitimler ve politik ortamı elverişli hale getirerek yan faydaların önündeki engelleri ortadan kaldırmaya ilişkin politika diyalogu süreçleri.

## COBENEFITS Türkiye Proje Koordinatörü

Pınar Ertör, Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi  
[pinar.ertor@sabanciuniv.edu](mailto:pinar.ertor@sabanciuniv.edu)

## COBENEFITS Proje Direktörü

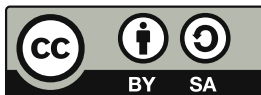
Sebastian Helgenberger, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)  
[sebastian.helgenberger@iass-potsdam.de](mailto:sebastian.helgenberger@iass-potsdam.de)

DOI: 10.2312/iass.2019.046

ISBN: 978-605-2095-90-4

[www.cobenefits.info](http://www.cobenefits.info)

Twitter: @IKL\_COBENEFITS





## KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı ( <i>İng: EEA</i> )
CLRTAP	Uzun Menzilli Sınırlar Ötesi Hava Kirliliği Anlaşması
CO	Karbonmonoksit
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü ( <i>İng: WHO</i> )
E-PRTR	Avrupa Kirletici Salım ve Taşınım Kaydı
EVA	Hava kirliliğinin ekonomik değeri
GJ	Gigajul
HEAL	Sağlık ve Çevre Birliği ( <i>Health and Environmental Alliance</i> )
Hg	Cıva
IARC	Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
İPM	İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi
NO <sub>2</sub>	Azot dioksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
O <sub>3</sub>	Ozon
PM <sub>10</sub>	10 mikrondan küçük partikül madde
PM <sub>2,5</sub>	2,5 mikrondan küçük partikül madde
SAGP	Satın alma gücü paritesi - ( <i>İng: PPP</i> )
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
SO <sub>x</sub>	Kükürt oksitler
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
YOLL	Yaşam yılı kaybı ( <i>İng: Years of Life Lost</i> )

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	9
YÖNETİCİ ÖZETİ	11
1. MEVCUT DURUM: TÜRKİYE'DE HAVA KİRLİLİĞİNDEN KAYNAKLANAN SAĞLIK RİSKLERİ	15
1.1 Hava kirliliğinden kaynaklanan risklerde artış	15
1.2 Hava kalitesi standartları	17
1.3 Önemli kirleticiler ve en kırılgan bölgeler	18
1.4 Hava kirliliğinin sağlık etkileri	19
2. SAĞLIK MALİYETLERİNİN ÖLÇÜMÜ İÇİN BEŞ AŞAMALI YAKLAŞIM	20
2.1 Türkiye'deki fosil yakıtlı termik santrallerin belirlenmesi	20
2.2 Emisyon değerlerinin hesaplanması	20
2.3 Elektrik üretimi senaryoları	21
2.4 Kirleticilerin dağılımının modellenmesi	23
2.5 Çalışmanın kapsamı	24
3. SAĞLIK MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİ VE OLUMSUZ SAĞLIK ETKİLERİNİN AZALTILMASI	25
4. HALK SAĞLIĞININ İYİLEŞTİRİLMESİNİ VE SAĞLIK SİSTEMLERİNİN YÜKÜNÜN HAFİFLETİLMESİNİ SAĞLAYACAK BİR ORTAMIN OLUŞTURULMASI	30
REFERANSLAR	32
EK 1: ELEKTRİK ÜRETEN FAAL TERMİK SANTRALLERİN COĞRAFİ DAĞILIMI	34
EK 2: 2017'DE HAVA KİRLİLİĞİ DÜZEYLERİ	35
EK 3: FARKLI SENARYOLARA GÖRE HAVA KİRLİLİĞİNİN SICAK NOKTALARI	40
EK 4: DİSPERSİYON MODELLEME SONUÇLARI	44
EK 5: TÜRKİYE'DE HAVA KİRLİLİĞİNE BAĞLI AYRINTILI SAĞLIK MALİYETLERİ	54

## TABLolar

Tablo 1. SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> ve PM <sub>10</sub> mevzuatı - Türkiye, AB ve DSÖ	17
Tablo 2. Farklı yakıt türlerinin emisyon faktörleri	20
Tablo 3. Farklı senaryolara göre elektrik üretimi projeksiyonları (TWh)	22
Tablo 4. Farklı senaryolara göre hava kirliliğinden kaynaklan toplam mortalite	25
Tablo 5. Farklı senaryolara göre hava kirliliğinin sağlık etkileri	26
Tablo 6. Farklı senaryolara göre hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık maliyetleri (milyon dolar)	28
Tablo 7. SO <sub>2</sub> sıcak noktaları ve tahmini maksimum konsantrasyon değerleri	41
Tablo 8. NO <sub>2</sub> sıcak noktaları ve tahmini maksimum konsantrasyon değerleri	42
Tablo 9. Birincil PM sıcak noktaları ve tahmin edilen maksimum konsantrasyon değerleri	42
Tablo 10. İkincil PM sıcak noktaları ve tahmin edilen maksimum konsantrasyon değerleri	43
Tablo 11. CO sıcak noktaları ve tahmin edilen maksimum konsantrasyon değerleri	43
Tablo 12. Farklı senaryolarda hava kirliliğine bağlı ayrıntılı sağlık maliyetleri (Dolar)	54

## ŞEKİLLER

Şekil 1. Türkiye'nin enerji sanayii kaynaklı emisyonları (elektrik ve ısı üretimi birlikte) Veri kaynağı: AÇA, 2019	16
Şekil 2. Ölçülen yıllık PM <sub>10</sub> konsantrasyonları (2017 ortalaması)	18
Şekil 3. Farklı senaryolara göre elektrik üretimi kapasitesi projeksiyonları (GW)	22
Şekil 4. Farklı senaryolara göre elektrik üretimi projeksiyonları (TWh)	23
Şekil 5. Baz yıla ve gelecekteki enerji üretim senaryolarına göre toplam mortalite	27
Şekil 6. Türkiye'de fosil yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atmosferik cıva (Hg) emisyonlarının sağlık maliyetleri	27
Şekil 7. Toplam Morbidite ve Astım Maliyetleri (milyon dolar)	28
Şekil 8. Toplam hastaneye başvuru maliyetleri (milyon dolar)	29
Şekil 9. Kurulu kömür yakıtlı (taş kömürü, linyit, asfaltit) termik santraller	34
Şekil 10. Kurulu doğal gaz santralleri	34
Şekil 11. 2017 yılı, saatlik SO <sub>2</sub> konsantrasyonları	35
Şekil 12. 2017 yılı, günlük SO <sub>2</sub> konsantrasyonları	36
Şekil 13. 2017 yılı, yıllık SO <sub>2</sub> konsantrasyonları	36
Şekil 14. 2017 yılı, saatlik NO <sub>2</sub> konsantrasyonları	37
Şekil 15. 2017 yılı, yıllık NO <sub>2</sub> konsantrasyonları	37
Şekil 16. 2017 yılı, günlük PM <sub>10</sub> konsantrasyonları	38
Şekil 17. 2017 yılı, yıllık PM <sub>10</sub> konsantrasyonları	38
Şekil 18. 2017 yılı, saatlik CO konsantrasyonları	39
Şekil 19. 2017 yılı, yıllık CO konsantrasyonları	39
Şekil 20. 2017 Baz Yılı SO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	45

Şekil 21. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı SO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	45
Şekil 22. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı SO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	45
Şekil 23. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı SO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	46
Şekil 24. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı SO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	46
Şekil 25. 2017 Baz Yılı NO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	46
Şekil 26. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı NO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	47
Şekil 27. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı NO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	47
Şekil 28. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı NO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	47
Şekil 29. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı NO <sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	48
Şekil 30. 2017 baz yılının yıllık ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	48
Şekil 31. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	48
Şekil 32. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	49
Şekil 33. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	49
Şekil 34. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	49
Şekil 35. 2017 baz yılı yıllık ortalama ikincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	50
Şekil 36. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	50
Şekil 37. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	50
Şekil 38. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	51
Şekil 39. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	51
Şekil 40. 2017 baz yılı yıllık ortalama CO konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	51
Şekil 41. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	52
Şekil 42. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	52
Şekil 43. İleri Yenilenebilir A Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	52
Şekil 44. İleri Yenilenebilir B Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri (µg/m <sup>3</sup> )	53



## COVID-19 PANDEMİSİ IŞIĞINDA ÖNSÖZ

Bu raporun yayınlandığı tarihte, dünyadaki birçok ekonominin yanı sıra Türkiye de küresel COVID-19 pandemisinin yayılması ve etkilerinden ciddi darbe almıştır. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi, Türkiye ekonomisi ile birlikte binlerce işletme, işçi ve çalışan derinden etkilenmiştir ve ulusal ve yerel ekonomiler ve iş piyasalarının iyileştirilmesi için önemli politika çalışmalarına ihtiyaç duyulacaktır. Pandemi, bizlere halk sağlığı önlemlerinin güçlü ve esnek bir sağlık sistemi kadar önemli olduğunu da hatırlatmıştır.

Bu rapor ve ilgili Türkiye COBENEFITS çalışma serisi, yeni yenilenebilir enerji dünyasının ve Türkiye enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasının istihdamı artırarak, ekonomik direncin temeli olarak enerji bağımsızlığını teşvik ederek ve, en önemlisi, solunum sistemi hastalıkları vaka sayısını azaltarak ulusal sağlık sistemlerinin yükünü hafifleterek, ekonomi ve sağlık sisteminin iyileştirilmesinde güçlü bir rol oynaması gerektiğini göstermektedir. Hükümet, bu ortak faydaların önünü açacak bir politika ortamını sağlayarak, COVID-19 pandemisi etkilerinden kurtulması ve sağlık sistemi ile ülke ekonomisinin canlandırılması için önemli teşvikler sağlayabilir.

Türkiye, hangi patikanın seçildiğine bağlı olarak önemli sosyal ve ekonomik sonuçları olacak bir enerji dönüşümünün içindedir. Enerji ithalatına bağımlılığı azaltmak, ekonomik refah, insan sağlığının iyileştirilmesi, iş ve istihdam olanakları: Türkiye'nin seçeceği enerji patikası, gelecekteki gelişmesinin temellerini oluşturacaktır. Türkiye'nin enerji geleceği konusunda alacağı siyasi kararlar, enerjinin yanı sıra, çevre, sanayi, ekonomi, dışişleri ve sağlık ile ilgili birçok bakanlığın misyon ve görevleri ile de ilişkilidir.

Daha da önemlisi, bütün tartışma tek bir soru çevresinde dönmektedir: Yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye halkının yaşamını ve refah düzeyini nasıl iyileştirebilir? Bilimsel titizliğe ve kilit önem taşıyan teknik verilere dayanan çalışma, bu temel sorunun yanıtlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, yenilenebilir enerjinin Türkiye'ye sağlayacağı sosyal ve ekonomik faydaların ortaya çıkarılmasına olanak sağlayan bir siyasi ortamın şekillendirilmesi için bakanlıklara ve kamu kurumlarına rehberlik etmektedir.

Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi İPM (COBENEFITS Türkiye Projesi Koordinatörü) ve IASS Postdam'ın ortak sorumlulukları altında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı (eski adıyla Ekonomi Bakanlığı), Dışişleri Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı, COBENEFITS Yönlendirme Komitesi'ne katkıda bulunmaya, COBENEFITS Tespit çalışmaları ile COBENEFITS Eğitim Programı'na rehberlik etmeye ve yuvarlak masa politika toplantılarını kolaylaştırmaya davet edilmiştir. Bakanlıkların COBENEFITS Yönlendirme Komitesi oturumlarında yaptıkları katkılar, proje ekibinin Türkiye COBENEFITS çalışmalarını hangi konular çerçevesinde yürüteceğinin belirlenmesine rehberlik etmiştir. Bakanlıkların katkıları ayrıca bu konuların ilgili kurumların mevcut politika geliştirme çalışmalarıyla ve politik çerçeveleriyle doğrudan ilişkili olmasını sağlamıştır.

Değerli araştırma ve bilgi ortaklarımıza da çalışmanın teknik kısmına verdikleri büyük destek ve özverili çalışmaları nedeniyle teşekkür borçluyuz. Elinizdeki COBENEFITS çalışması, Almanya'nın Uluslararası İklim Girişimi'nin desteği ile gerçekleştirilmiştir. Türkiye Hükümeti, iklim değişikliğinin insanlığın karşı karşıya kaldığı en önemli

sorunlardan biri olduğuna ve erken müdahale önlemleri alınmadığı sürece Türkiye'nin geleceğine yönelik büyük tehditler oluşturduğuna vurgu yapmıştır. Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi kapsamında hükümet, yurttaşlarına düşük karbon ekonomisiyle yüksek yaşam kalitesi ve refah düzeyi sağlayacak bir vizyon belirlemiştir.

Düşük karbonlu ve iklim değişikliğine dirençli bir ekonomiye adil geçişin sosyal ve ekonomik yararlarının harekete geçirilmesi için bilimsel bir temel sağlayan bu çalışmayla bu vizyona katkıda bulunmayı ve böylece Türkiye'nin, yenilenebilir kaynakların yaratacağı düşük karbonlu enerji dünyasına uluslararası ve bölgesel düzeyde öncülük etmesini sağlayarak, gezegen ve Türkiye için bir başarı hikâyesi yaratılmasını amaçlıyoruz.

Bu çalışmanın okuyucuya, adil, müreffeh ve sürdürülebilir bir enerji geleceği hakkındaki tartışmalarda ilham kaynağı olmasını dileriz!

***Ümit Şahin***

COBENEFITS Türkiye Proje Danışmanı  
İstanbul Politikalar Merkezi

***Sebastian Helgenberger***

COBENEFITS Proje Direktörü  
IASS Potsdam

## YÖNETİCİ ÖZETİ

Türkiye'deki kömür ve doğal gaz yakıtlı termik santraller, insan sağlığına ve çevreye zarar veren atmosferik emisyonların önemli kaynaklarıdır. Bu çalışma CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> kirleticilerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Türkiye'nin elektrik ihtiyacı önümüzdeki yıllarda artmaya devam edecektir. Kömür ve doğal gaz yakıtlı elektrik üretiminin hava kirleticilerinin ve bunlarla ilişkili sağlık etkilerinin önemli kaynaklarından olduğu kabul görmektedir ve dolayısıyla yenilenebilir enerjinin elektrik üretiminde daha büyük bir pay sahibi olmasının hava kirliliği sorunlarını ve sağlık sistemi maliyetlerini azaltmaya yardımcı olacağı aşikardır.

Bu rapor Türkiye'deki fosil yakıtlı elektrik santrallerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Çalışma Türkiye'nin sağlık sistemi üzerindeki yükün hafifletilmesi için enerji sektörünün yenilenebilir enerji aracılığıyla karbonsuzlaştırılmasının yan faydalarını<sup>1</sup>, sağlık maliyeti tasarrufu ve erken ölümlerin azalması açısından ölçmektedir. Bu araştırma, gelişmekte olan ülkelerin enerji sektöründe yenilenebilir enerjinin, konvansiyonel enerji sistemleriyle karşılaştırıldığında sera gazı emisyonlarının azaltmasının yanı sıra ortaya çıkan bir dizi yan faydasını değerlendiren COBENEFITS projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

### TEMEL POLİTİKA FIRSATLARI

- **Temel politika fırsatı 1:** Türkiye, fosil yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan hava kirliliği ile bağlantılı erken ölüm sayısını önemli ölçüde azaltabilir. Mevcut politikayla, 2017'de

2.100 olan ölüm sayısının 2028'de 2.300'ün üzerine çıkması beklenmektedir. İddialı bir karbonsuzlaştırma patikası takip edildiği takdirde (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu), tahmini ölüm sayısı 2028'de 1.600'ün altına düşecek ve böylece yalnızca o yıl 750'den fazla ölüm engellenmiş olacaktır.

- **Temel politika fırsatı 2:** Türkiye, enerji sektörünü karbonsuzlaştırarak sağlık sistemi üzerindeki yükü önemli ölçüde hafifletebilir: Mevcut politikayla, 2017'de 2,15 milyar ABD doları olan yıllık sağlık maliyetlerinin<sup>2</sup> 2028'de 2,15 milyar ABD dolarına yükselmesi beklenmektedir. İddialı bir karbonsuzlaştırma patikası (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu) izlendiği takdirde ise 2028 yılında sağlık maliyetlerinde 800 milyon ABD doları kadar bir tasarruf sağlanabilir.
- **Temel politika fırsatı 3:** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, her bir termik santralin hava kirletici emisyon verilerine ve bunların yakıt, teknolojik ve emisyon kontrol standartlarının ayrıntılı bilgilerine erişim sağlayarak, sağlık etkilerinin ve sağlık maliyetlerinin azaltılmasında kaydedilen ilerlemeyi takip etmek için alınan önlemleri destekleyebilir. Enerji santrallerinin kamu tarafından izlenmesi ve teknik analizi, hava kirliliği ve sağlık maliyeti değerlendirmelerinin kalitesini ve güvenilirliğini artırabilir. Bu, filtrasyon yöntemleri, yakma teknikleri, su tüketimi, yakıt kullanımı ve hava kirletici emisyonları gibi termik santrallerle ilgili teknik verilerin erişime açılmasıyla kolaylaştırılabilir.

1 "Yan faydalar" (co-benefits) terimi, bir politika müdahalesi ya da özel sektör yatırımı veya bunların bir karimasından kaynaklanan birçok fayda ya da hedefin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesini ifade etmektedir (Helgenberger ve diğerleri, 2019).

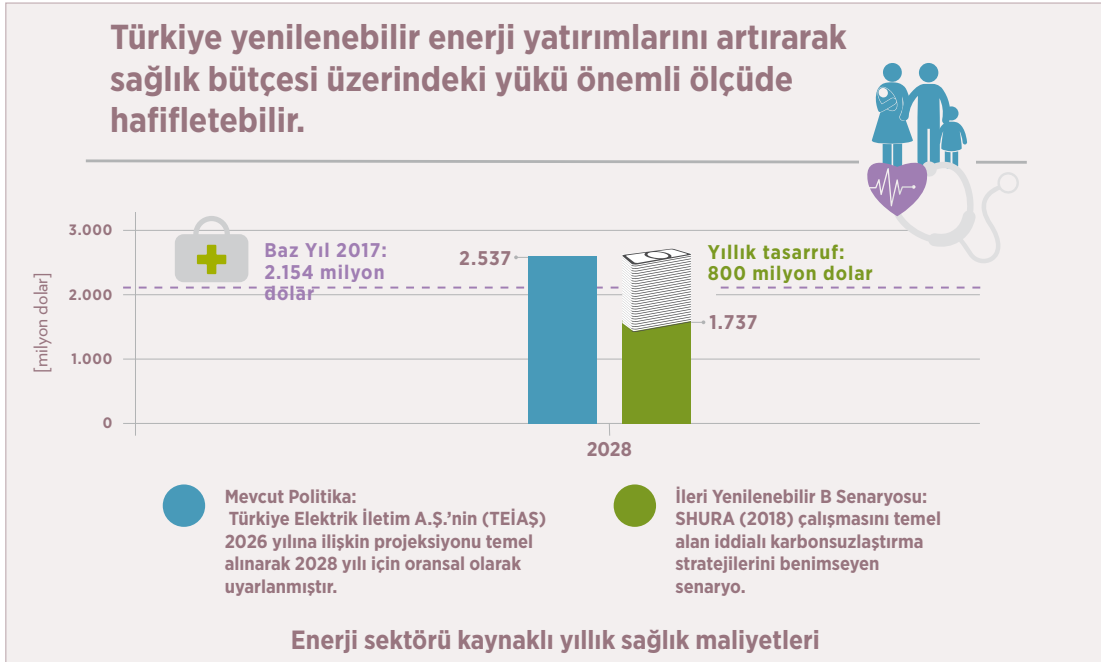
2 Kullanılan modelde sağlıkla ilgili maliyetler Euro cinsinden hesaplanmıştır. Uluslararası karşılaştırılabilirlik açısından bu değerler 01.07.2020 tarihi itibarıyla resmi döviz kuru değerleri dikkate alınarak ABD dolarına çevrilmiştir.

### TEMEL BULGULAR:

- En yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonları Edirne - Keşan, Amasya - Suluova ve Çorum - Mimar Sinan istasyonlarında gözlenmektedir. En yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları Ordu - Ünye, Samsun - Yüzüncüyıl ve Kayseri - Hürriyet istasyonlarında gözlenmektedir. Saatlik CO konsantrasyonları bazı yerlerde yüksektir ve bazı durumlarda Türkiye'nin hava kalitesi standartlarınının 10 kat üzerindedir.
- Yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyonu (mevcut tüm hava kalitesi istasyonlarının ortalaması) 54 µg/m<sup>3</sup>'tür ve 40 µg/m<sup>3</sup> olan hava kalitesi standardı değerini aşmakta ve Türkiye'deki en endişe verici hava kirleticisininin PM<sub>10</sub> olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. En yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonları Iğdır, Kahramanmaraş - Elbistan ve Ankara - Kayaş'ta görülmektedir.

- Aktivitenin kısıtlandığı gün sayısı 2028 yılında 18.100 kadar azaltılabilir ve böylece Türkiye'nin ekonomik çıktısı iyileştirilebilir.
- Türkiye, fosil yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan hava kirliliği ile ilişkili erken ölüm sayısını önemli ölçüde azaltarak, 2028 yılında 750'den fazla erken ölüm vakasını önleyebilir. Bu hesap, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub>'un etkilerine bağlı yaşam yılı kaybı (YOLL; years of life lost) verilerine dayandırılmaktadır.
- Türkiye, 2028 yılında sağlık maliyetlerini toplam 800 milyon ABD doları kadar düşürebilir. Bu maliyet tasarrufları, azalan morbidite (kronik bronşit, konjestif kalp yetmezliği, akciğer kanseri) ve mortalite ile daha az hastaneye başvuru ve astım vakasından kaynaklanmaktadır.

Anahtar Şekil 1: Türkiye yenilenebilir enerji yatırımlarını artırarak sağlık bütçesi üzerindeki yükü önemli ölçüde hafifletebilir.



## ÖNEMLİ SAYILAR:

- Sağlık maliyetinde sadece 2028 yılında 800 milyon ABD doları değerinde tasarruf sağlanabilir.
- 14 yaş altı çocuklardaki astım vakası sayısı 2028 yılında yaklaşık 1 milyon azaltılabilir.
- 2028 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sektöründeki payının artırılmasıyla 750 erken ölüm vakası engellenebilir.

Tablo YÖ.1: Farklı enerji senaryolarına göre sağlık faydaları ve sağlık maliyeti tasarrufları

		Baz Yıl 2017	Mevcut Politika 2028	Yeni Politika 2028	İleri Yenilenebilir Enerji A 2028	İleri Yenilenebilir Enerji B 2028
Sağlık Etkileri	Mortalite (vaka sayısı)	2.103	2.333	2.042	1.892	1.564
Sağlık Maliyeti	Yıllık Sağlık Maliyeti (milyon ABD doları), mortalite, morbidite ve hastaneye başvuru nedeniyle	2.154	2.537	2.241	2.084	1.737

### Türkiye için Dört Enerji Sistemi Patikası

Türkiye için gerçekleştirilen yan faydalar değerlendirmesi, mevcut politikalarla bağlantı kurmak ve Türkiye'deki çeşitli potansiyel enerji dönüşümü patikalarının sosyoekonomik performanslarının karşılaştırmasına dair bilgi elde etmek için izlenen politikalara bağlı senaryo yaklaşımını benimsenmiştir. Türkiye'nin 2028 yılı enerji kaynakları içerisinde yenilenebilir enerji payının artırılmasının sosyo-ekonomik sonuçlarının değerlendirilmesi için hükümet ve uzman kuruluşlarla istişare edilerek dört senaryo tanımlanmıştır (Bkz. Şekil YÖ. 1): Bu dört senaryo, toplam enerji üretiminin üçte bir oranında artarak, 300 TWh'den (2017) yaklaşık 400 TWh'e (2028) çıkacağını öngörmektedir.

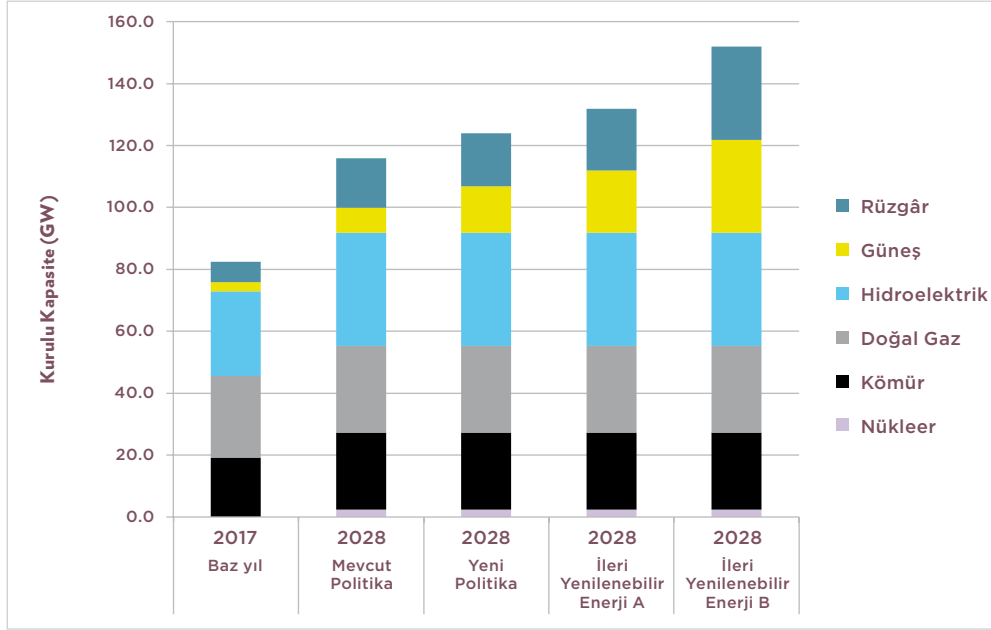
- 1 | **Baz Yıl (2017):** Çalışmanın baz yılı için Türkiye Elektrik İletim A.Ş., toplam elektrik üretiminin %23'ünü oluşturan 68 TWh toplam elektrik üretimi yapan 30.3 GW yenilenebilir enerji kurulu gücünün mevcut olduğunu bildirmiştir.<sup>3</sup>

3 Bu raporda üretim paylarının hesaplanmasında kullanılan enerji kaynakları 2017 baz yılında üretilen elektriğin %99'unu kapsamaktadır. Geri kalan dizel ve biyokütle gibi enerji kaynakları dahil edildiğinde yenilenebilir enerjinin yüzdesi (2017 için %23) değişmemektedir. Dolayısıyla 2028 hedefi için bir tutarsızlık beklenmemektedir.

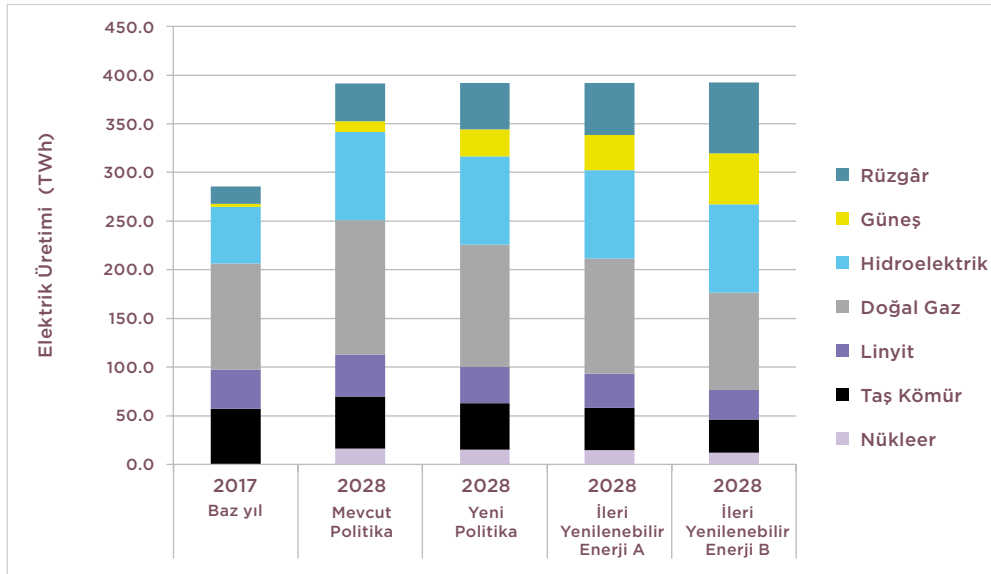
- 2 | **Mevcut Politika Senaryosu:** Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nin (TEİAŞ) 2026 yılına ilişkin projeksiyonları temel alınarak 2027 ve 2028 için uyarlanmışır.
- 3 | **Yeni Politika Senaryosu:** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın "Ulusal Enerji ve Madencilik Politikası"nın bir parçası olarak, 2018'den başlayarak 10 yıl boyunca güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesinde yıllık 1'er GW'lık artış yapılacağı açıklaması temel alınmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018)
- 4 | **İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu:** Rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün 20'şer GW'a çıkarılmasının iletim sistemine herhangi ilave bir yatırım yapılmadan mümkün olduğunu ortaya koyan SHURA (2018) çalışmasına dayanmaktadır.
- 5 | **İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu:** Güneş ve rüzgâr enerjisi sektörlerinin her birinde 30 GW'lık artışın, iletim kapasitesi yatırımında yüzde 30 ve trafo merkezi yatırımlarında yüzde 20'lik artışla mümkün olduğunu ortaya koyan SHURA (2018) çalışmasını temel almaktadır.



Şekil YÖ. 1: Farklı senaryolara göre elektrik üretimi kapasitesi projeksiyonları (GW)



Şekil YÖ. 2: Yakıt türlerine göre elektrik üretimi senaryoları (TWh)



## I. MEVCUT DURUM: TÜRKİYE'DE HAVA KİRLİLİĞİNDEN KAYNAKLANAN SAĞLIK RİSKLERİ

Fosil yakıtlı termik santraller insan sağlığına ve çevreye zarar veren atmosferik emisyonların önemli kaynaklarıdır. Kömür ve doğal gaz yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan emisyonlar kükürt dioksit ( $SO_2$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ) ve karbon monoksit (CO) gibi asitleştirici gazların yanı sıra özellikle 10  $\mu m$  ve 2,5  $\mu m$  çapından küçük partikül maddeler (sırasıyla  $PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$ ) içermektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), iç ve dış ortam hava kirliliğinin küresel düzeyde yılda yaklaşık 7 milyon erken ölüme neden olduğunu tahmin etmektedir (DSÖ, 2020). Kısa süre önce Lancet'te yayımlanan bir raporda (AÇA, 2019), havadaki PM kirliliğinin yüzde 85'inin ve kükürt ve azot oksitlerin neredeyse tamamının fosil yakıtların yakılmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. ABD Çevre Koruma Ajansı, elektrik üreten santrallerin neden olduğu hava kirliliğinin diğer tüm endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan hava kirliliğinden fazla olduğunu bildirmektedir. DSÖ ayrıca Türkiye'deki dış ortam hava kirliliğinin yılda 36.698 erken ölüme neden olduğunu tahmin etmektedir (DSÖ, 2018).

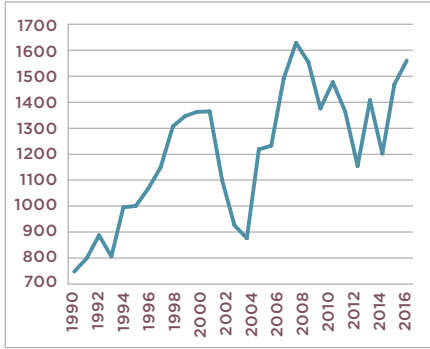
Türkiye'nin elektrik ihtiyacı önümüzdeki yıllarda artmaya devam edecektir. Kömür ve doğal gaz dayalı elektrik üretiminin atmosferik kirleticilerin ve bunlarla ilişkili sağlık etkilerinin önemli kaynaklarından olduğu kabul görmektedir, dolayısıyla yenilenebilir enerjinin elektrik üretiminde daha büyük bir pay sahibi olmasının hava kirliliği sorunlarını ve sağlık sistemi maliyetlerini azaltmaya yardımcı olacağı aşikardır.

### 1.1 Hava kirliliğinden kaynaklanan risklerde artış

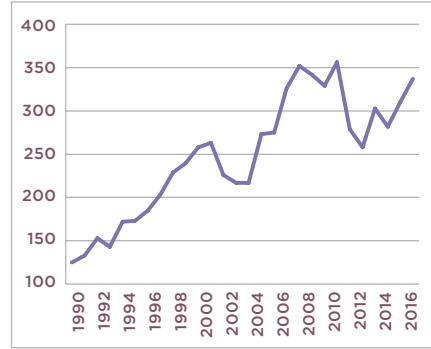
Türkiye tarafından 2019'da Uzun Menzilli Sınırlar Ötesi Hava Kirliliği Anlaşması'na (CLRTAP) yapılan bildirimde göre (AÇA, 2019), enerji sektöründen (örneğin elektrik ve ısı üretimi, petrol rafinerileri, katı yakıt üretimi ve diğer enerji sanayii) kaynaklanan hava kirleticisi emisyonlar, başta  $SO_x$  ve  $NO_x$  olmak üzere, 2014 yılından bu yana artmıştır (Şekil 1). Türkiye'nin CLRTAP kapsamındaki 2019 envanter raporuna göre, elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan başlıca emisyonlar  $SO_x$  ve  $NO_x$ ; karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar  $NO_x$  ve  $PM_{10}$ ; ve tarımdan kaynaklananlar  $NH_3$  ve metan dışı uçucu organik bileşiklerdir (NMVOC'ler).  $PM_{10}$  ise kimya sanayilerinden kaynaklanan başlıca hava kirleticisi emisyonudur.

Ancak, Türkiye Gothenburg Protokolü'nü imzalamadığı için, sadece elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonları bildirmektedir. Bununla birlikte, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2016 Enerji ve Hava Kirliliği raporuna göre, enerji sektörü hava kirliliği emisyonlarının özellikle de  $SO_2$ 'nin açık arayla en büyük kaynağıdır. Fosil yakıtlara dayalı elektrik üretimi hava kirliliğinin başlıca kaynaklarından olduğu için, fosil yakıtların elektrik üretimindeki payının azaltılmasının hava kalitesinin iyileşmesine yol açması beklenmektedir.

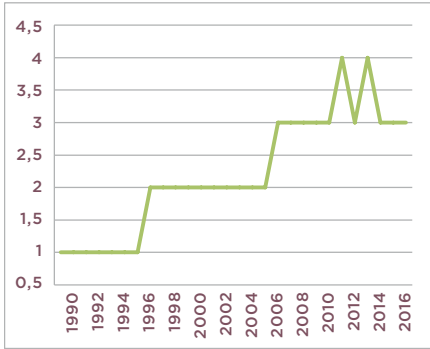
Şekil 1. Türkiye'nin enerji sanayii kaynaklı emisyonları (elektrik ve ısı üretimi birlikte) Veri kaynağı: AÇA, 2019



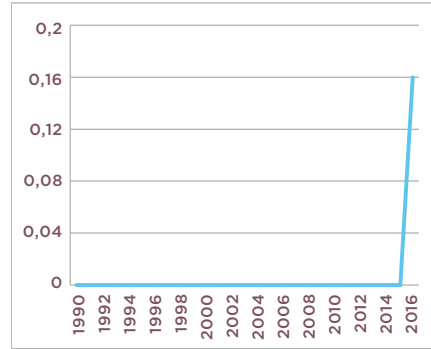
(a) Kükürt oksitlerin emisyonları (SO<sub>x</sub>, ör: SO<sub>2</sub>) (kiloton/yıl)



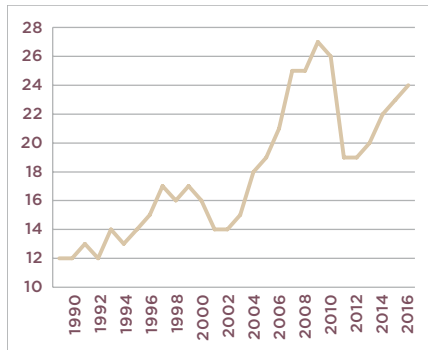
b) Nitrojen oksitlerin emisyonları (NO<sub>x</sub>, ör: NO<sub>2</sub>) (kiloton/yıl)



b) Metan dışı uçucu organik bileşiklerin (NMVOC) emisyonları (kiloton/yıl)



d) Amonyak (NH<sub>3</sub>) emisyonları (kiloton/yıl)



(e) Partikül madde (PM<sub>10</sub>) emisyonları (kiloton/yıl)

## 1.2 Hava kalitesi standartları

Türkiye, 2008 yılında Avrupa Birliği (AB) mevzuatıyla uyumlu yeni hava kalitesi standartları belirlemiştir (bkz. Tablo 1). Kirletici standartları, bir saatle bir yıl arasında değişen maruz kalma süreleri ile tanımlanmaktadır. Türkiye'deki yönetme-

liklerde saatlik NO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yılda 18 kez, 24-saatlik PM<sub>10</sub>'nun yılda 35 kez, saatlik SO<sub>2</sub>'nin yılda 24 kez ve 24 saatlik SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ise yılda 3 kez aşılmasına izin verildiğini belirtmek önem teşkil etmektedir.

Tablo 1. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> mevzuatı - Türkiye, AB ve DSÖ

Kirletici	Maruz kalma süresi	Konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )		
		Türkiye Yönetmelik <sup>5</sup>	AB Direktifi 2008/50/EC	DSÖ (2006)
Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> )	1 saat <sup>1</sup>	01.2019 itibarıyla 350;	350	
		2017'de 410		
	24 saat <sup>2</sup>	125	125	
	Yıllık	20		20
Azot Dioksit (NO <sub>2</sub> )	1 saat <sup>3</sup>	01.2024 itibarıyla 200;	200	200
		2017'de 270		
	Yıllık	40	40	40
Partikül Madde (PM <sub>10</sub> )	24 saat <sup>4</sup>	01.2019 itibarıyla 50;	50	50
		2017'de 70		
	Yıllık	01.2019 itibarıyla 40;	40	20
		2017'de 48		
Karbon Monoksit (CO)	Sürekli (1 saat, 8 saat ve yıllık)	10.000	10.000	10.000

<sup>1</sup> Yılda 24 defaya kadar aşılabilir  
<sup>2</sup> Yılda 3 defaya kadar aşılabilir  
<sup>3</sup> Yılda 18 defaya kadar aşılabilir  
<sup>4</sup> Yılda 35 defaya kadar aşılabilir  
<sup>5</sup> 2008 tarihli Türkiye Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nden alınmıştır

Bununla birlikte, Türkiye'nin Hava Kalitesi yönetmelikleri, yeni standartların yürürlüğe girmesi için bir bekleme süresine izin vermektedir. 2014 yılından bu yana, Türk standartları AB standartlarına uyum çerçevesinde kademe kademe sıkılaştırılmaktadır. Bekleme süresi Tablo 1'de belirtildiği üzere parametre ve maruz kalma süresine göre değişmektedir. Nihai hava kalitesi standartları CO için 2017 yılında, 24 saatlik PM<sub>10</sub> ve saatlik SO<sub>2</sub> için ise 2019'da yürürlüğe girerken, saatlik NO<sub>2</sub> nihai hava kalitesi standartları 2024'te yürürlüğe girecektir.

### 1.3 Önemli kirlenmeler ve en kırılgan bölgeler

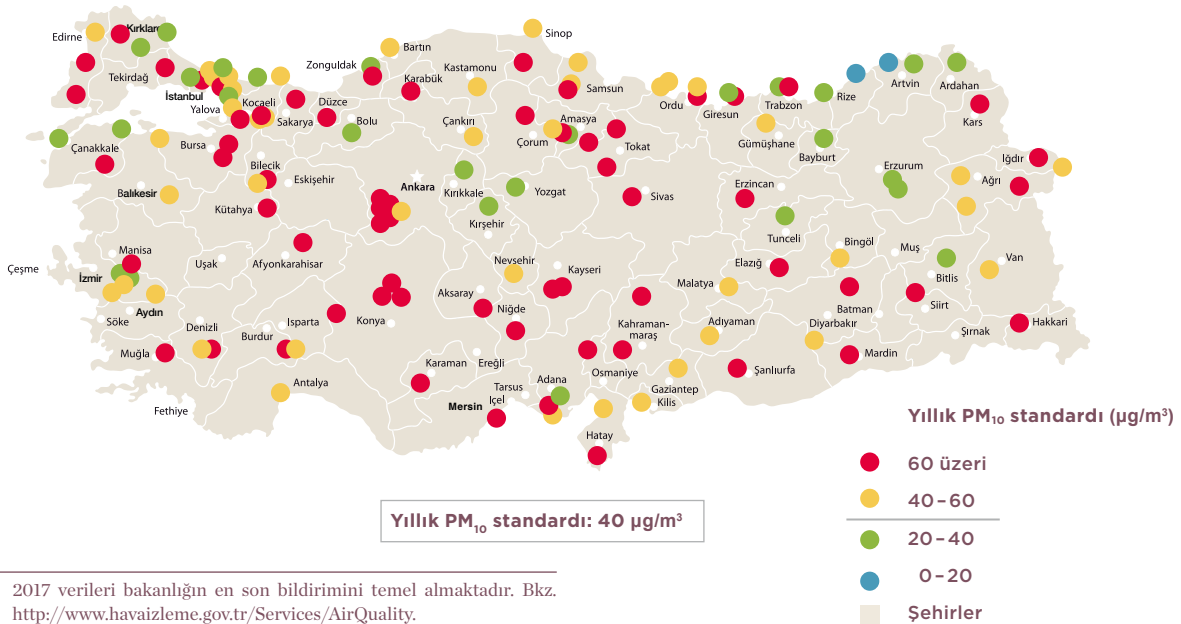
Mevcut son hava kalitesi verileri (2017), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kurulan ulusal hava kalitesi izleme istasyonlarından derlenmiştir.<sup>4</sup> Yukarıda da belirtildiği gibi, Türkiye hava kalitesi standartları AB standartlarına uyumlu hale getirilene kadar her yıl geliştirilmektedir.

Çalışma, 2017 yılında en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Edirne - Keşan, Amasya - Suluova ve Çorum - Mimar Sinan istasyonlarında gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. En yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları Ordu - Ünye, Samsun - Yüzüncüyıl ve Kayseri - Hürriyet istasyonlarında gözlenmiştir. Saat bazındaki CO konsantrasyonları bazı yerlerde yüksek olabilirken, yıllık CO konsantrasyonları ise 10.000 µg/m<sup>3</sup> değerindeki hava kalitesi standardının oldukça altındadır.

Mevcut tüm hava kalitesi istasyonlarının ortalama yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyonu 54 µg/m<sup>3</sup>tür ve yıllık 40 µg/m<sup>3</sup> değerindeki PM<sub>10</sub> hava kalitesi standardının üzerindedir.

Bu nedenle PM<sub>10</sub>, Türkiye'deki en yaygın hava kirlenmesidir. En yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonları Iğdır, Kahramanmaraş - Elbistan ve Ankara - Kayaş'ta görülmektedir. Şekil 2, Türkiye'deki yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarını göstermektedir. Diğer kirlenmeleri ve maruz kalma sürelerini gösteren haritalar Ek 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Ölçülen yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyonları (2017 ortalaması)



4 2017 verileri bakanlığın en son bildirimini temel almaktadır. Bkz. <http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality>.



#### 1.4 Hava kirliliğinin sağlık etkileri

Hava kirliliği önemli bir çevresel sağlık riskidir. Dünya çapında 7 milyon erken ölüme neden olduğu tahmin edilmektedir ve 4,2 milyon erken ölüm vakası dış ortam hava kirliliğine, 2,8 milyon erken ölüm vakası ise ev içi (iç ortam) hava kirliliğine atfedilmektedir (AÇA, 2019). Halk sağlığı açısından en kaygı verici kirleticiler arasında PM, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve ozon (O<sub>3</sub>) bulunmaktadır. Çapları 10 ve 2,5 mikrondan küçük partikül maddelerin (sırasıyla PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub>) teşkil ettiği sağlık riskleri özellikle yüksektir. Partikül maddeler, solunum yollarına derinlemesine nüfuz ederek ve kan dolaşımına karışarak, kardiyovasküler, serebrovasküler ve solunum sistemlerine olumsuz etkilerinden dolayı 2013 yılında DSÖ'nün Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından akciğer kanserinin nedenlerinden biri olarak sınıflandırılmıştır.

DSÖ'ye göre dış ortam hava kirliliğinin kısa ve uzun süreli maruz kalma sonucunda yol açabileceği sağlık etkileri (DSÖ, 2020) şöyle sıralanabilir:

- **Beyn:** Serebrovasküler iskemide (inme) artış demans (bunama).
- **Kan:** Kan akışkanlığında bozulma, pıhtılaşmada artış, partikül maddelerin dokuya taşınması, periferik damarlarda pıhtılaşma, kandaki oksijen doygunluğu seviyesinde düşüş.
- **Hücre düzeyinde:** Mesane kanseri, cilt kanseri, obezite gelişimi, diyabet gelişimi.
- **Akciğerler:** Yangı (enflamasyon), oksidatif stres, kronik obstrüktif akciğer hastalığının (KOA) ilerleme hızında artış ve hastalığın alevlenmesi, artan solunum yolu semptomları, bozulan solunumsal refleks mekanizmaları, solunum fonksiyonlarında bozulma, akciğer kanseri riskinde artış.
- **Kalp:** Kalbin otonom fonksiyonlarında bozulma, oksidatif stres, aritmi duyarlığında artış,

kalbin kasılma fonksiyonlarında bozulma, kalp kası iskemisinde artış.

- **Çocuklar:** Annede gebelik zehirlenmesi (pre-eklampsi), erken doğum, bebeklerde düşük doğum ağırlığı, hava kirleticilerinin plasentaya ulaşması, astım riskinde artış ve astımlı çocuklarda atak sıklığında artış, dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu (DEHB).
- **Damarlar:** Damar sertliğinin (ateroskleroz) ilerleme hızında artış ve damar plaklarının instabilitesi, endotel fonksiyonunda bozulma, vazokonstriksiyon (damarlarda daralma) ve hipertansiyon.

DSÖ, Türkiye'de dış ortam hava kirliliğine bağlı yılda 36.698 ölüm gerçekleştiğini tahmin etmektedir (DSÖ, 2018). Bu ölümlerin başlıca nedenleri aşağıda verilmiştir:

- İskemik kalp hastalıkları: yüzde 47,2 (17.331 ölüm)
- Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOA): yüzde 19,5 (7.153 ölüm)
- İnme: yüzde 13,7 (5.020 ölüm vakası)
- Trakea (nefes borusu), bronş ve akciğer kanserleri: yüzde 13,2 (4.867 ölüm)
- Alt solunum yolları enfeksiyonları: yüzde 6,3 (2.327 ölüm)

Sağlık ve Çevre Birliği (HEAL-Health and Environment Alliance) Türkiye'de kömürlü termik santrallerden kaynaklanan hava kirliliğinin 2015 yılında 2.876 erken ölüme neden olduğunu tahmin etmektedir. Kısa süre önce yayımlanan bir çalışma ise Türkiye'de yılda 51.574 önlenebilir ölüm vakasının PM<sub>2,5</sub>'e atfedildiğini ortaya koymuştur (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2019).

## 2. SAĞLIK MALİYETLERİNİN ÖLÇÜMÜ İÇİN BEŞ AŞAMALI YAKLAŞIM

Türkiye'de elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların sağlık üzerindeki etkilerini ölçmek için kullanılan metodoloji, aşağıda belirtilen beş aşamalı bir sürece dayandırılmıştır:

1. Kömür ve doğal gaz yakıtlı termik santrallerin 2017 baz yılı elektrik üretimleri.
2. Elektrik sektörü için 2028 yılına kadar çeşitli senaryolar geliştirilmesi.
3. Farklı elektrik üretim senaryolarının emisyon değerlerinin hesaplanması.
4. Çeşitli hava kirleticilerinin (birincil ve ikincil) dispersiyon (yayıma) modellerinin geliştirilmesi.
5. Farklı senaryoların sağlık etkilerinin ve ilişkili maliyetlerin hesaplanması.

### 2.1 Türkiye'deki Fosil Yakıtlı Termik Santrallerin Belirlenmesi

Türkiye, termik santrallerin emisyonlarını ne Avrupa Kirletici Salım ve Taşınım Kaydı'nda (E-PRTR) olduğu gibi her santral için ne de kümülatif olarak bildirmediği için, her bir termik santralin baz yılı olarak alınan 2017'de yaptığı atmosferik emisyonlar Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından tescil edilen kapasite ve yakıt türü verileri temel alınarak tahmin edilmiştir. Bu verilere göre, Türkiye'de halihazırda 100 MW'tan büyük 42 kömürlü termik santral ve 37 doğal gaz yakıtlı termik santral bulunmaktadır. 2017 yılında kömür ve doğal gaz yakıtlı santraller sırasıyla 97,5 TWh ve 97,2 TWh elektrik üretmiştir.

### 2.2 Emisyon Değerlerinin Hesaplanması

Baz yılı elektrik üretimi ile gelecekteki elektrik üretimi senaryolarının hava kalitesi üzerindeki etkilerini modellemek için hava kirletici emisyon değerlerine ihtiyaç vardır. Emisyon değerleri, üretilen her gigajul (GJ) başına farklı kirleticilerin (gram cinsinden) atmosferik emisyonlarından oluşmaktadır. Emisyon değerleri, üretilen elektrik miktarıyla kullanılan yakıt türüne göre Tablo 2'de verilen emisyon faktörleri baz alınarak tahmin edilmiştir. Literatürde, kullanılan yakıt türüne ve termik santral teknolojisine bağlı olarak, çok çeşitli emisyon faktörleri bildirilmiştir. Tablo 2'de sunulan değerler, 2016 EMEP/AÇA Hava Kirletici Emisyon Envanter Kılavuzu'nda (AÇA, 2019) önerilen değerlerdir. Tablo 2 fosil yakıtlı termik santrallerin yıllık cıva emisyonlarını ve ilgili sağlık maliyetlerini tahmin etmek için kullanılan cıva emisyon faktörlerini (Hg) de göstermektedir.

Tablo 2. Farklı Yakıt Türlerinin Emisyon Faktörleri

Yakıt Türü	Emisyon Faktörleri (g/GJ)				
	SO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	Hg
Doğal Gaz	0,281	39	89	0,89	0,0001
Taş Kömürü	820	8,7	209	7,7	0,0014
Linyit	1680	8,7	247	7,9	0,0029

Veri kaynağı: EMEP/AÇA Hava Kirletici Emisyon Envanter Kılavuzu 2016, Bölüm 1.A.1.a - Elektrik ve Isı Üretimi: Tablo 3-2/3/4: 1.A.1.a doğal gaz, taş kömürü ve linyit kaynak kategorileri için Kademe 1 kullanılan emisyon faktörleri

### 2.3 Elektrik üretimi senaryoları

Türkiye için gerçekleştirilen yan faydalar değerlendirmesi, mevcut politikalarla bağlantı kurmak ve Türkiye'deki çeşitli potansiyel enerji dönüşümü patikalarının sosyoekonomik performanslarının karşılaştırmasına dair bilgi elde etmek için izlenen politikalara bağlı senaryo yaklaşımını benimsenmiştir. Bu bağlamda "senaryolar" olarak adlandırılan referans politika patikaları, aşağıda belirtilen noktaları göz önünde bulundurarak, kamu kurumlarıyla ve uzman kuruluşlarla istişare edilerek geliştirilmiş ve seçilmiştir:

- Değerlendirme sonuçlarının politika açısından uygunluğunun ve kullanılabilirliğinin sağlanması için, Türkiye'nin resmi iklim ve enerji politikaları, stratejileri veya yol haritaları (mevcut veya değerlendirilmekte olan) ile bağlantılılık ve karşılaştırılabilirlik.
- Bilimsel açıdan güvenilir kantitatif sosyoekonomik etki değerlendirmeleri için yapılacak hesaplamalara uygunluk.

Bu bağlamda, Türkiye'nin 2028 yılı elektrik üretim kaynakları içinde yenilenebilir enerjinin payını artırmanın potansiyel faydalarını değerlendirmek için dört senaryo tanımlanmıştır (bkz. Tablo 3 ve Şekil 3): Bu dört senaryo, toplam üretimin üçte bir oranında artarak, 2017'deki 300 TWh'ten 2028'de 400 TWh'a çıkacağını öngörmektedir.

1. **Baz Yıl (2017):** Çalışmanın baz yılı için Türkiye Elektrik İletim A.Ş., toplam elektrik üretiminin %23'ünü oluşturan 68 TWh toplam elektrik üretimi yapan 30.3 GW yenilenebilir enerji kurulu gücünün mevcut olduğunu bildirmiştir.<sup>5</sup>

5 Bu raporda üretim paylarının hesaplamakta kullanılan enerji kaynakları 2017 baz yılında üretilen elektriğin %99'unu kapsamaktadır. Geri kalan dizel ve biyokütle gibi enerji kaynakları dahil edildiğinde yenilenebilir enerjinin yüzdesi (2017 için %23) değişmemektedir. Dolayısıyla 2028 hedef yılı için bir tutarsızlık beklenmemektedir.

2. **Mevcut Politika Senaryosu:** Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nin (TEİAŞ) 2026 yılına ilişkin projeksiyonları temel alınarak 2027 ve 2028 için uyarlanmıştır.

3. **Yeni Politika Senaryosu:** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın "Ulusal Enerji ve Madencilik Politikası"nın bir parçası olarak, 2018'den başlayarak 10 yıl boyunca güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesinde yıllık 1'er GW'lık artış yapılacağı açıklaması temel alınmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018)

4. **İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu:** Rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün 20'şer GW'a çıkarılmasının iletim sistemine herhangi ilave bir yatırım yapılmadan mümkün olduğunu ortaya koyan SHURA (2018) çalışmasına dayanmaktadır.

5. **İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu:** Güneş ve rüzgâr enerjisi sektörlerinin her birinde 30 GW'lık artışın, iletim kapasitesi yatırımında yüzde 30 ve trafo merkezi yatırımlarında yüzde 20'lik artışla mümkün olduğunu ortaya koyan SHURA (2018) çalışmasını temel almaktadır.

COBENEFITS Türkiye çalışmalarında, gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye elektrik üretimi içerisindeki paylarının ele alındığı SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi raporunda geliştirilen metodolojik yaklaşım temel alınarak dört senaryo tanımlanmıştır<sup>6</sup>. Her bir senaryoda, 5km x 5km'lik bir grid'in üretim değerleri verilmiştir ve hava kirliliği analizi için coğrafi şablon oluşturulmuştur. 2017 baz yılı ve 2028 senaryolarının elektrik üretim verileri Tablo 3'te verilmiştir.

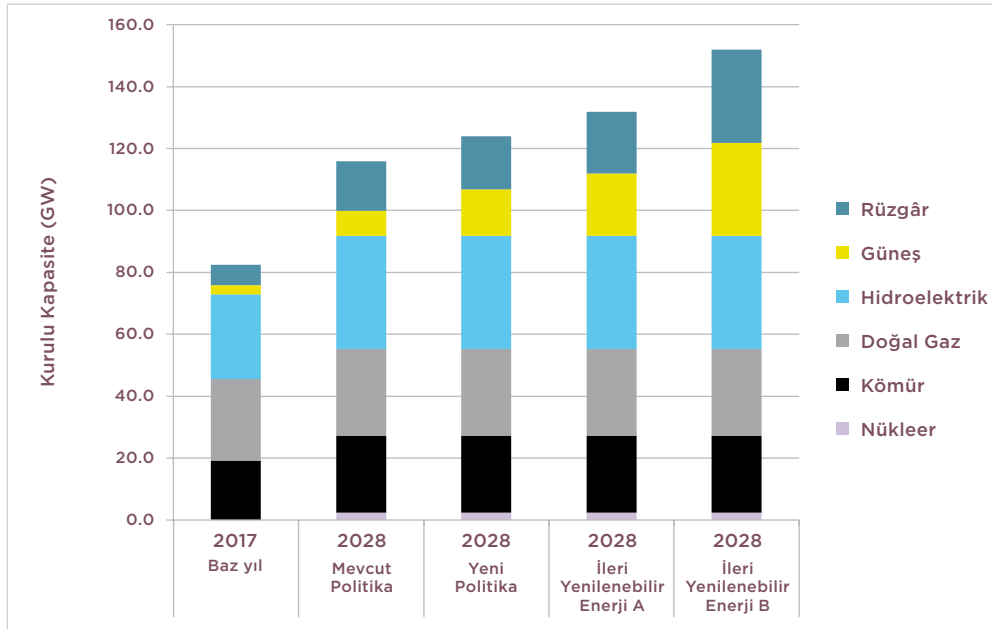
6 Türkiye'nin Enerji Sisteminde Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı: İletimde Genişleme ve Esneklik Seçenekleri, SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2018

Tablo 3. Farklı senaryolara göre elektrik üretimi projeksiyonları (TWh)

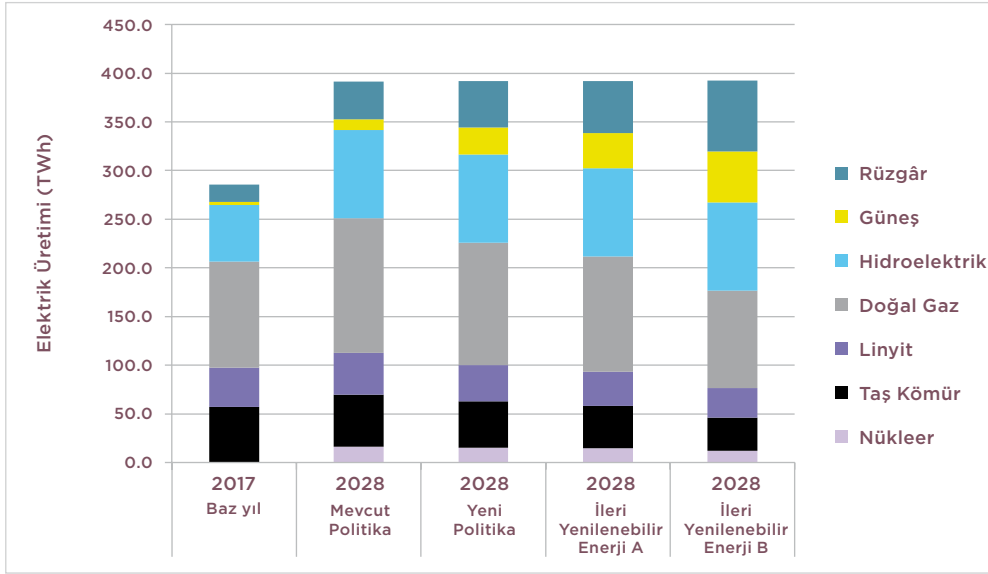
Yakıt Türü	Baz Yıl 2017	2028 Mevcut Politika Senaryosu	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Taş Kömürü	55,9	53,5	47,5	43,6	34
Linyit	41,6	43,1	37,5	35,1	30,5
Doğal Gaz	97,2	138,3	125,5	118,3	100,1
Nükleer	0	16,1	15,3	14,5	11,9
Güneş	2,9	10,8	27,8	36,4	52,5
Rüzgâr	17,9	38,9	47,3	53,2	72,9
Hidroelektrik	58,2	90,8	90,8	90,8	90,8
Jeotermal	6,1	1,5	1,2	1,1	0,8

2017 baz yılı verileri TEİAŞ raporlarına (kömür, gaz) ve IEA verilerine (Güneş, Rüzgâr, Hidroelektrik ve Jeotermal için) dayanmaktadır. COBENEFITS'in Türkiye çalışmalarında tanımlanan 2028 projeksiyonları SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi tarafından geliştirilen metodolojiyi temel almaktadır.

Şekil 3. Farklı senaryolara göre elektrik üretimi kapasitesi projeksiyonları (GW)



Şekil 4.Farklı senaryolara göre elektrik üretimi projeksiyonları (TWh)



## 2.4 Kirleticilerin dağılımının modellenmesi

Dispersiyon modeli, Bölüm 2.3'te tanımlanan elektrik üretim senaryolarının hava kalitesini nasıl etkilediğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Modelleme, kirleticilerin uzun mesafede taşınımını değerlendirilmesinde ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından önerilen CALPUFF modelleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model alanı tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde tanımlanmıştır. Amaç, Türkiye'de elektrik üretiminden kaynaklanan hava kalitesi sıcak noktalarını belirlemek ve Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılan kaynaklar içerisinde yenilenebilir enerjinin payının artırılmasının potansiyel faydalarını ölçmektir.

CALPUFF modelleme sistemi üç modülden oluşmaktadır: üç boyutlu meteorolojik model CALMET, başlıca atmosferik kirlilik dağılım modeli CALPUFF ve sonuçların değerlendirilmesi ve görselleştirilmesi için bir işlem sonrası model olan CALPOST. CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> kirleticileri analiz edilmiştir.<sup>7</sup>

CALPUFF modeli, gazların yanı sıra partikül madde dağılımını da simüle edebilen ve mekansal olarak değişkenlik gösteren meteorolojik verilerle kullanılan bir sürgit olmayan kirlenici taşınım modelidir. CALPUFF, kirleticilerin dağılımını ve hava kalitesini modelleme konularında en son anlayışları içerecek şekilde kapsamlı bir gelişme göstermiştir. CALPUFF, hava kirlenici konsantrasyonlarının ve çeşitli antropojenik kirlilik kaynaklarının sağlık üzerindeki etkilerini simüle etmek için birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, model Türkiye'de mevcut (2017 itibarıyla) elektrik üretiminin Türkiye'deki hava kirliliğine katkısını simüle etmek ve farklı yenilenebilir enerji senaryolarının hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır.

Dispersiyon modellemesini çalıştırmak için ilgili alanın jeofizik ve meteorolojik koşullarının tanımlanması önemli bir gerekliliktir. Aşağıdaki veriler bu koşulları temsilen CALMET modeline dahil edilmiştir:

- Türkiye'deki 20 meteoroloji istasyonunun saatlik yüzey meteorolojik verileri (2017 yılı için).

<sup>7</sup> Bu çalışmada, resmi CALPUFF sayfası <http://www.src.com>'dan erişilen ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) sürümü olan CALPUFF/CALMET 5.8.5 kullanılmıştır.



- Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan beş üst seviye istasyondan günde iki kez elde edilen üst seviye verileri (2017 yılı için).
- Detaylı topografik ve arazi kullanım verileri.

Bu veriler, tüm model alanı üzerindeki üç boyutlu saatlik rüzgâr sahasını ve meteorolojik verileri tanımlamak için CALMET modülünde kullanılmıştır. Bu parametreler hava kirleticilerinin hareketini ve yayılmasını kontrol etmektedir.

CALPUFF programı, elektrik üretiminin hava kalitesi üzerindeki etkilerini simüle etmek için (i) CALMET'le elde edilen rüzgâr sahası meteorolojik verileri; (ii) 2028 elektrik üretim senaryoları için kullanılan 2017 baz yılı elektrik üretim verileri (Bölüm 2.3); ve (iii) Bölüm 2.2'de tanımlanan emisyon faktörlerini temel almıştır. Farklı hava/meteoroloji koşullarını da hesaba katmak için bir yıl boyunca dört kirleticinin saatlik analizi yapılmıştır.

Model alanı, eşzamanlı olarak tüm Türkiye'yi (1800 km x 800 km) ve tüm fosil yakıtlı termik santralleri kapsamaktadır. Kirleticilerin etkileri, model alanının tamamında eşdağılımlı alıcı (*reseptör*) ızgarasına (*grid*) tekabül eden coğrafi konumlarda hesaplanmıştır (20 km aralıklarda toplam 3600 yer-seviyesi reseptörü). Bu grid, hava kirleticilerinin ulusal düzeydeki mekansal dağılımının değerlendirilmesi ve çeşitli elektrik üretim senaryolarıyla ilişkili olarak öngörülen sağlık etkilerinin karşılaştırılmasında kullanılacak bir aracın sağlanması açısından yeterli görülmüştür.

Modelde açığa çıkan tüm  $SO_x$ 'in  $SO_2$  halinde olduğu ve salınan  $NO_x$ 'in yüzde 10 oranında  $NO_2$  ve yüzde 90 oranında  $NO$  olduğu varsayılmaktadır (Mangia, 2015). Modelde, termik santrallerden doğrudan salınan  $PM_{10}$ 'un yanı sıra atmosferdeki ikincil partikül madde kimyasal oluşumu da dikkate alınmıştır. CALPUFF reaksiyon modülü, özellikle arka plandaki amonyak ve ozon konsantrasyonlarının termik santrallerden kaynaklanan  $SO_2$  ve  $NO_x$  emisyonlarıyla birlikte açığa çıkan ikincil amonyum sülfat ve amonyum nitrat oluşumunu dikkate almıştır. Türkiye'de amonyak düzenli olarak

izlenmediği için hesaplamada önerilen varsayılan değer olan 10 ppb kullanılmıştır. Arka plan ozon konsantrasyon değeri için, 2017 yılında Türkiye'de izleme istasyonlarında gözlemlenen ortalama ozon konsantrasyonuna tekabül gelen 50 ppb kullanılmıştır. Oluşan ikincil partikül madde tipik olarak  $PM_{2.5}$  kategorisindedir.

## 2.5 Çalışmanın kapsamı

Atmosferik kirleticilerin dispersiyonunu modellemek için, termik santrallerin tek tek emisyon verileri gerekmektedir. Ancak, Türkiye'de bu bilgiler kamuya açık değildir. Veri eksikliğinin önüne geçmek için bu bilgiler yerine Şeffaflık Platformu'nun (Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi -EPIAŞ) elektrik üretim verileri kullanılmıştır. Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ), Elektrik Piyasası Kanunu hükümlerine tabi olarak kurulan ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) çatısı altında faaliyet gösteren bir enerji borsası şirkettir. Bu nedenle, 2017 baz yılı kirletici emisyonları, Şeffaflık Platformu üretim verileri ile EMEP/AÇA emisyon faktörleri birlikte kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Avrupa özelinde sağlık etkileri ve ilgili maliyetleri hesaplamak için çok çeşitli yöntemler olmasına rağmen, Türkiye için geçerli olabilecek yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, kirletici emisyonlarının sağlık üzerindeki etkilerini tahmin etmek için hava kirliliğinin Ekonomik Katma Değer Ölçütü (EVA) modelinin maruziyet-yanıt katsayıları kullanılmıştır (Brandt ve ark., 2013).

Türkiye'de sağlıkla ilgili spesifik maliyetlere dair bilgiler de mevcut değildir. Bu yüzden termik santrallerin atmosferik emisyonlarından kaynaklanan sağlıkla ilgili dışsal maliyetlerin tahmini için EVA model sistemi kullanılmıştır. Ancak, EVA değerlemesi, Danimarka'nın 2006 yılı satın alma gücü paritelerini (SAGP) temel almaktadır. Bu maliyetleri mevcut Türkiye bağlamına göre uyarlamak için, EVA metodolojisiyle elde edilen maliyetler, Türkiye SAGP'sinin Danimarka SAGP'sine oranına göre ölçeklendirilmiştir (OECD, 2017 yılı için bu oranı  $1,45/7,49 = 0,191$  olarak vermektedir).

### 3. SAĞLIK MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİ VE OLUMSUZ SAĞLIK ETKİLERİNİN AZALTILMASI

Türkiye'deki sıcak noktalar ve maksimum kirletici konsantrasyon değerleri, CALPUFF dispersiyon modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma, maksimum yıllık SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının özellikle yüksek olduğunu ve bazı durumlarda hava kalitesi standartlarının 10 katından fazla olduğunu ortaya koymuştur. Küçük ikincil PM seviyeleri de aynı şekilde yüksek çıkmıştır ve önemli olumsuz etkilere neden olması muhtemeldir. NO<sub>2</sub> ve birincil

PM<sub>10</sub> seviyeleri orta derecede yüksektir. Öte yandan, CO seviyeleri izin verilebilir hava kalitesi seviyelerinin önemli ölçüde altındadır.

Farklı senaryolarla ilişkili sağlık etkileri ve mortalite düzeyi, nüfus istatistikleri ve dispersiyon modeli çıktıları kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Vaka sayısı}_a = [\text{kirletici konsantrasyonu}_a] \times [\text{etkilenen nüfus}_a] \times [\text{maruziyet-yanıt katsayısı}]$$

Tablo 4. Farklı senaryolara göre hava kirliliğinden kaynaklan toplam mortalite

		2017 Baz Yılı	2028 Mevcut Politika	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir B Senaryosu
Toplam Mortalite	Vaka	2.103	2.333	2.042	1.892	1.564

Burada **a** çalışmaya konu olan yılı (2017 ya da 2028) ifade etmektedir.

**Kirletici konsantrasyonu:** Farklı senaryolar için hava kirliliği dispersiyon modelinin öngördüğü, her ilin ortalama yıllık kirletici konsantrasyonudur. Modelde SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO ve PM bakılmıştır. PM, (DSÖ'nün önerdiği üzere, salınan PM<sub>10</sub>'un yüzde 67'si olduğu varsayılan) birincil PM<sub>2,5</sub> ve de atmosferde NO<sub>3</sub> (-) ve SO<sub>4</sub> (-2) emisyonlarından açığa çıkan ikincil PM'i kapsamaktadır.

**Etkilenen nüfus:** Kirletici konsantrasyonuna maruz kalan nüfusu ifade etmektedir. EVA metodolojisinde tanımlandığı üzere dikkate alınan nüfus grupları şunlardır: yetişkin nüfus (≥15 yaş) ve çocuk nüfusu (0-14 yaş arası). İl düzeyinde baz yılı (2017) nüfus ve yaş dağılımları TÜİK web sitesinden alınmıştır. TÜİK sadece 2025 yılına kadar nüfus projeksiyonu yapmış olduğu için, 2028 yılı nüfus ve yaş dağılımı mevcut veriler kullanılarak tahmin edilmiştir.

**Maruziyet-yanıt katsayısı:** Türkiye'ye özgü maruziyet-yanıt katsayıları mevcut olmadığından, bu çalışmada Danimarka, Avrupa ve ABD için test edilmiş EVA sistemi maruziyet-yanıt katsayıları kullanılmıştır. EVA sistemi, 500.000 kişinin (başlangıçta 2000 yılı için yapılan, ardından 2004 ve 2005'te güncellenen) yakın tarihli bir kohort çalışmasını temel alan makul bir yaklaşım olduğu, DSÖ tarafından desteklendiği ve Avrupa koşullarına uygulanabilir olduğu için diğer metodolojilere tercih edilmiştir.

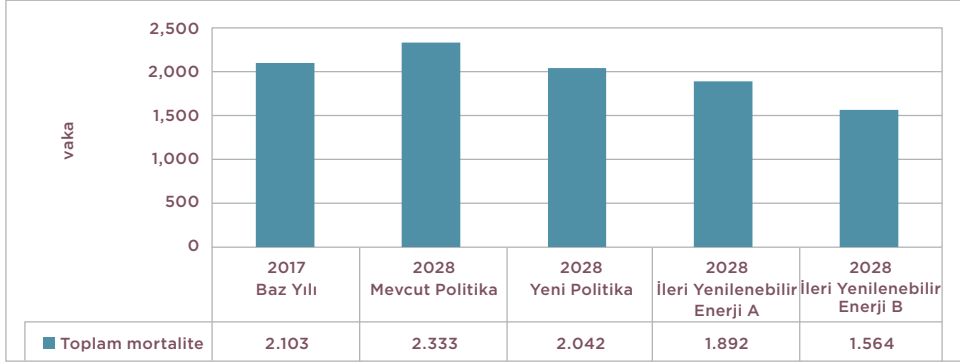
Tablo 4, baz senaryonun ve alternatif elektrik üretim senaryolarının atmosferik emisyon kaynaklı sağlık etkilerini göstermektedir.

Öngörülen yaşam yılı kaybı (YOLL), Türkiye'de beklenen yaşam süresini 78 yıl olarak gösteren TÜİK verisi temel alınarak mortaliteye çevrilmiştir (Şekil 5 ve Tablo 5).

Tablo 5. Farklı senaryolara göre hava kirliliğinin sağlık etkileri

			2017 Baz Yılı	2028 Mevcut Politika	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir B Senaryosu
Morbidite	Kronik Bronşit (PM)	vaka	5.787	7.093	6.306	5.881	4.931
	Aktivitenin Kısıtlandığı Günler (PM)	gün	48.953	59.364	52.778	49.216	41.270
	Konjestif Kalp Yetmezliği (PM)	vaka	2.853	3.436	3.054	2.848	2.388
	Konjestif Kalp Yetmezliği (CO)	vaka	6	9	8	8	7
	Akciğer Kanseri (PM)	vaka	1.163	1.401	1.245	1.161	974
Hastaneye Başvuru	Solunum (PM)	vaka	319	385	342	319	267
	Solunum (SO <sub>2</sub> )	vaka	359	371	322	297	243
	Serebrovasküler (PM)	vaka	777	936	832	776	651
Astım, Çocuk <14 yaş	Bronkodilatör Kullanımı (PM)	vaka	2.804.479	3.184.093	2.830.842	2.639.790	2.213.594
	Öksürük (PM)	gün	9.696.104	11.008,57	9.787.254	9.126.715	7.653.200
	Alt solunum yolları septomları (PM)	gün	3.739.305	4.245.458	3.774.457	3.519.720	2.951.458
Astım, Yetişkin >15 yaş	Bronkodilatör Kullanımı (PM)	vaka	19.196.317	23.528.357	20.918.065	19.506.311	16.357.003
	Öksürük (PM)	gün	19.760.914	24.220.368	21.533.302	20.080.026	16.838.091
	Alt solunum yolları septomları (PM)	gün	7.128.044	8.736.633	7.767.370	7.243.152	6.073.740
Mortalite	Akut Mortalite (SO <sub>2</sub> )	vaka	1.383	1.428	1.237	1.141	935
	Kronik Mortalite YOLL (PM)	YOLL	55.332	69.755	62.016	57.830	48.494
	Yenidoğan Mortalite (PM)	vaka	10	11	10	9	8

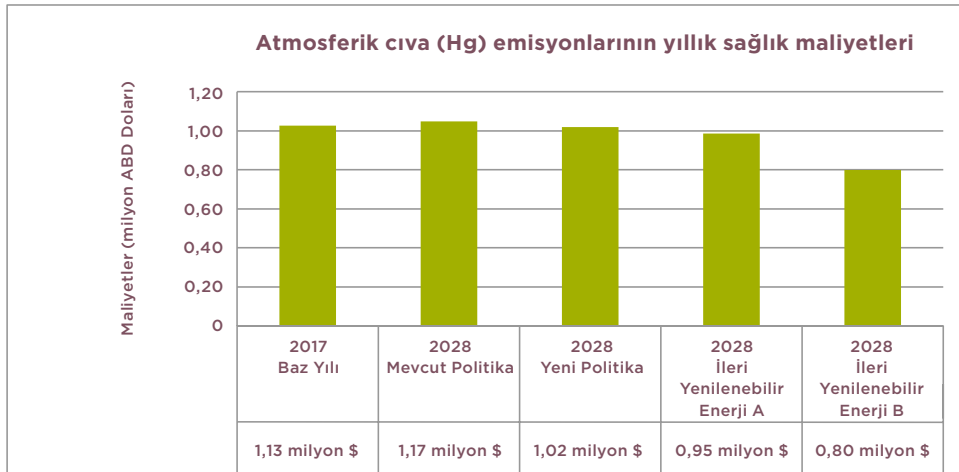
Şekil 5. Baz yılı ve gelecekteki enerji üretim senaryolarına göre toplam mortalite



Sonuçlar, 2017 yılında fosil yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atmosferik emisyonların Türkiye’de 2.103 ölüme neden olduğunu göstermektedir. Mevcut Politika senaryosu ile bu sayının 2028 yılında 2.333’e **çıkacağı** tahmin edilmektedir. Yeni Politika ve Yenilenebilir Enerji senaryoları ile (Senaryo 2, 3 ve 4) 2028 yılında **ölüm vakası sayılarının sırasıyla 2.042, 1.892 ve 1.564’e** düşeceği tahmin edilmektedir.

SO<sub>2</sub>, CO ve PM maliyetlerinin yanı sıra, cıva (Hg) emisyonlarının sağlıkla ilgili maliyetleri de hesaplanmıştır. Cıva emisyon faktörleri Şekil 6’da verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan Hg hasar maliyet faktörü kilogram başına 1.500 ABD dolarıdır (Im, 2018).

Şekil 6. Türkiye’de fosil yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atmosferik cıva (Hg) emisyonlarının sağlık maliyetleri



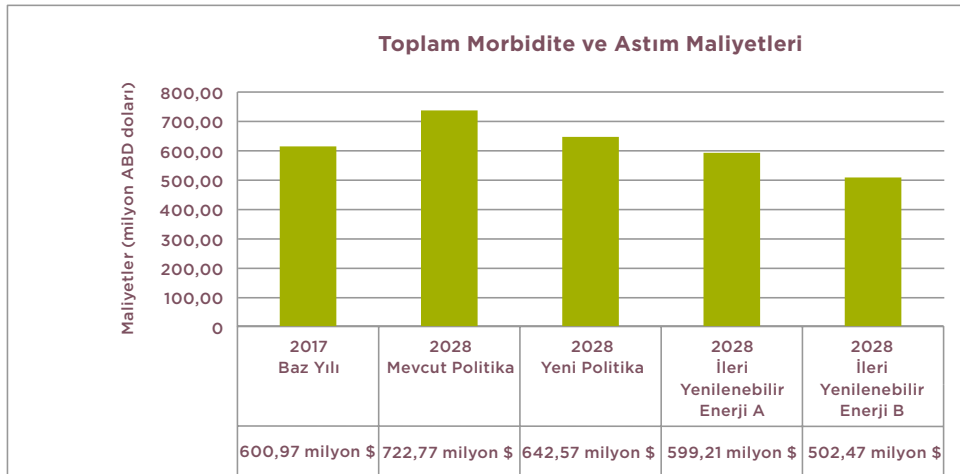
Türkiye’de yenilenebilir enerjinin elektrik üretimi-  
mindeki payının artmasıyla birlikte, sağlık alanında  
önemli tasarruflar sağlanabilir. Fosil yakıtlı termik  
santrallerden salınan kirleticilerin yıllık sağlık  
maliyetlerinin 2017 yılında 2.15 milyar dolar olduğu  
tahmin edilmektedir. Mevcut Politika senaryo-

sunda bu maliyetin, 380 milyon dolar artarak, 2028  
yılında 2.54 milyar dolara yükseleceği tahmin edil-  
mektedir. Yeni Politika ve İleri Yenilenebilir Enerji  
A ve B senaryolarında ise, 2028 yılında sağlıkla ilgili  
yıllık maliyetler sırasıyla 2.24, 2.08 ve 1.74 milyar  
dolara düşecektir.

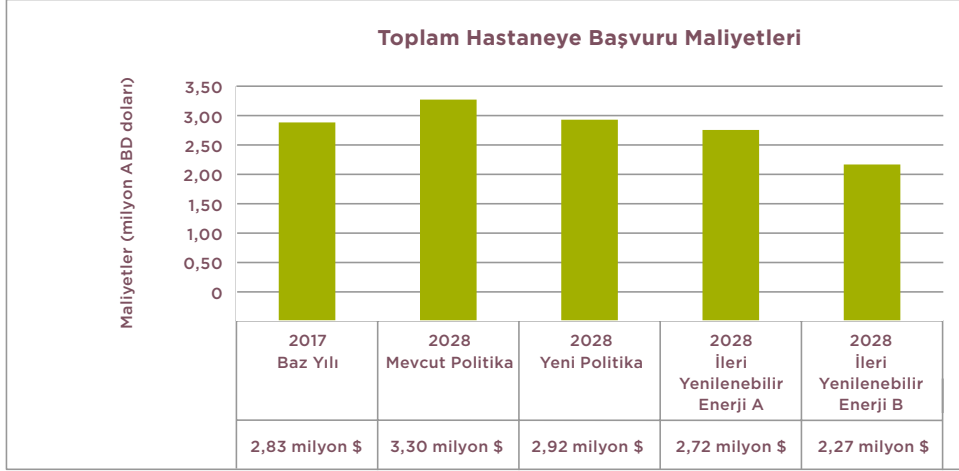
Tablo 6. Farklı senaryolara göre hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık maliyetleri (milyon dolar)

		2017 Baz Yılı	2028 Mevcut Politika	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Sağlık Maliyetleri (milyon dolar)	Toplam Mortalite Maliyeti	1.549	1.809	1.594	1.481	1.231
	Toplam Morbidite Maliyeti	82,44	100,71	89,53	83,49	70,02
	Toplam Hastane Başvuru Maliyeti	2,83	3,3	2,92	2,72	2,27
	Toplam Astım Maliyeti	518,53	622,06	553,04	515,72	432,45
	Hg Hasarı Maliyeti	1,13	1,17	1,02	0,95	0,8
	Toplam Sağlık Maliyeti	2.154,27	2.536,45	2.240,47	2.083,55	1.736,94
	Baz Yıla Göre Maliyet		382,18	86,2	-70,72	-417,33

Şekil 7. Toplam Morbidite ve Astım Maliyetleri (milyon dolar)



Şekil 8. Toplam hastaneye başvuru maliyetleri (milyon dolar)



## 4. HALK SAĞLIĞININ İYİLEŞTİRİLMESİNİ VE SAĞLIK SİSTEMLERİNİN YÜKÜNÜN HAFİFLETİLMESİNİ SAĞLAYACAK BİR ORTAMIN OLUŞTURULMASI

### Tartışmayı geliştirecek noktalar

Bu COBENEFITS çalışması Türkiye'deki fosil yakıtlı termik santrallerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmekte ve Türkiye'nin sağlık sistemi üzerindeki yükü hafifletmek için enerji sektörünü yenilenebilir enerji ile karbondan arındırmanın faydalarını sağlık maliyeti tasarrufu ve erken ölümlerdeki azalma açısından ölçmektedir.

Çalışma, Türkiye'nin enerji kaynakları içerisinde yenilenebilir enerji payını artırarak fosil yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan hava kirliliğine bağlı erken ölüm sayılarının önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Mevcut Politika senaryosunda, mortalitenin 2017'de 2.103'ten 2028'de 2.333'e yükseleceği tahmin edilmektedir. İleri Yenilenebilir Enerji senaryosunda, ölüm sayıları 2028 yılında 1.564'e düşürülebilir ve böylece yılda 750'den fazla hayat kurtarılabilir. Ayrıca Türkiye, enerji sektörünü karbondan arındırarak sağlık maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlayabilir. Mevcut politika çerçevesinde, yıllık sağlık maliyetlerinin 2017'de 2,15 milyar ABD dolarından 2028'de 2,54 milyar ABD dolarına yükselmesi beklenebilir. Türkiye enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması için iddialı patikaları takip ettiği takdirde (İleri Yenilenebilir Enerji B), sağlık maliyetlerini 2028 yılında 1,74 milyar ABD dolarına düşürerek, yıllık 800 milyon ABD doları tasarruf sağlayabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki artan payından elde edilecek bu muhtemel kazanımların oluşabilmesi için bütün elektrik sektörünün yenilenebilir enerjiye dayalı bir sisteme geçişine uygun bir ortamın oluşturulması gerekmektedir. Kolaylaştırıcı ortam ve arzulanın değişimi mümkün kılan unsurlar, birden fazla sosyal aktör ve bunların etkileşimlerini içeren

vizyoner, kültürel, politika/düzenleyici, örgütsel ve ekonomik yönler de dahil, çeşitli toplumsal boyutlarda değerlendirilebilmektedir<sup>8</sup>. Bu politikalarla ilgili, düzenleyici ve örgütsel unsurlar aşağıda kısaca ele alınmıştır.

### Politikalarla İlgili: Kömürlü termik santrallere halihazırda verilen teşviklerin kaldırılması

Ulusal enerji ekonomisi, mevcut kömür sübvansiyonlarıyla temiz yenilenebilir enerjinin önünde engel teşkil ederek Türkiye'nin sağlık sistemi üzerinde yük oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtlı enerji santrallerine eşit şartların sağlanması için kömür sübvansiyonlarının kaldırılması gerekmektedir. Önceki çalışmalar, Türkiye'nin en fazla kömür sübvansiyonu sağlayan G20 ülkelerinden biri olduğunu ortaya koymaktadır (EEA, 2019a). Bu sübvansiyonlar, kömürün çıkarılmasından ve ithalatından endüstriyel proseslerde ve doğrudan hanelerde kullanılmasına kadar, kömürün tüm yaşam döngüsünü kapsayan çeşitli enstrümanlar aracılığıyla uygulanmaktadır. Bunlar - direkt transferler, fiyat kontrolleri, satın alma garantileri, vergi muafiyetleri, kapasite garantileri ve diğer çeşitli araçlar şeklinde - kömürlü termik santrallerin yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini etkili bir şekilde azaltmakta ve böylece yenilenebilir enerji alternatifleriyle karşılaştırıldıklarında yapay olarak çekici görünmelerini sağlamaktadır. (Şahin, 2015).

8 Yazar M, Hestad D, Mangalagiu ve ark. (2020). Enabling Environments for Regime Destabilization towards Sustainable Urban Transitions in Megacities: Comparing Shanghai and Istanbul, *Climatic Change* 160:727-752.

### **Düzenleyici: Uluslararası çevre gündeminin takip edilmesi**

Türkiye, Gothenburg Protokolü'ne aktif olarak katılabilir ve tek tek enerji santrallerinin emisyonlarını Avrupa Kirletici Salım ve Taşınım Kaydı (E-PRTR) gibi uluslararası kuruluşlara bildirebilir. Paris İklim Değişikliği Anlaşması'nın onaylanması ve ulusal sera gazı emisyon hedeflerinin yükseltilmesi yönündeki gelişmeler, dolaylı olarak hava kalitesinin iyileştirilmesine ve hava kirliliğine bağlı sağlık maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

### **Örgütsel: Veriye ulaşabilmenin ve şeffaflığın sağlanması**

Günümüzde, Türkiye'de fosil yakıtların sağlık üzerindeki etkileriyle ilgili veri eksikliği yaşanmaktadır. İlgili devlet ve araştırma fonu kurumları, maruziyet-yanıt ilişkileri, mortalite ve morbidite istatistikleri ve sağlık maliyetleri gibi konularda ülke çapında veri üretilmesi için bu konulardaki araştırmaların yapılmasını kolaylaştırabilir. Ayrıca, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, tek tek enerji santrallerinin yakıt, teknolojik ve emisyon kontrol standartlarının ayrıntılarıyla belirtildiği kirletici emisyon verilerini erişime açabilir. Bu, hava kirliliği ve sağlık etkileri konusunda farkındalığın artmasını ve vatandaşların değişim talep etmelerini sağlayacak, araştırmacılar ve diğer sivil toplum kuruluşlarının izleme ve inceleme çalışmalarını kolaylaştıracak ve çevre koruma standartlarına uyulmasını teşvik edecektir.



## REFERANSLAR

Acar, Sevil, Lucy Kitson, ve Richard Bridle. *Türkiye'de Kömür ve Yenilenebilir Enerji Teşvikleri*. International Institute for Sustainable Development (IISD) - Global Subsidies Initiative (GSI) Report, 2015. [https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/ffsandrens\\_turkey\\_coal\\_tk.pdf](https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/ffsandrens_turkey_coal_tk.pdf)

Avrupa Çevre Ajansı. *National Emission Inventories – Turkey*. Microsoft Excel. Annex\_I\_Emissions\_reporting\_2019\_v1.xls EEA, 2019. Accessed 10.02.2020. [http://cdr.eionet.europa.eu/tr/un/clrtap/inventories/envxgbiha/Annex\\_I\\_Emissions\\_reporting\\_2019\\_v1.xls/manage\\_document](http://cdr.eionet.europa.eu/tr/un/clrtap/inventories/envxgbiha/Annex_I_Emissions_reporting_2019_v1.xls/manage_document)

Avrupa Çevre Ajansı. 2019a. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories*. Copenhagen: EEA, 2019. Accessed 10.02.2020 <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

Brandt, J., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., ve Frohn, L. M.: Contribution from the ten major emission sectors in Europe and Denmark to the health-cost externalities of air pollution using the EVA model system – an integrated modelling approach, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7725–7746, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7725-2013>, 2013.

Health and Environment Alliance. *Unpaid Health Bill – how coal power plants make us sick*. Brussels: HEAL, 2015. Accessed 10.02.2020. <https://www.env-health.org/unpaid-health-bill-how-coal-power-plants-make-us-sick/>

Helgenberger, Sebastian, Martin Jänicke, ve Konrad Gürtler. “Co-benefits of Climate Change Mitigation.” In *Climate Action*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals, edited by

W. Leal Filho, A. Azul, L. Brandli, P. Özuyar and T. Wall. Cham: Springer, 2019. DOI: 10.1007/978-3-319-71063-1.

IASS 2017. Mobilizing the co-benefits of climate change mitigation: Connecting opportunities with interests in the new energy world of renewables. IASS Working Paper. (2017) DOI: 10.2312/iass.2017.015.

IASS 2020: Reviving national economies and health systems following the COVID-19 pandemic. COBENEFITS Fact sheet, May 2020 – accessible online: [www.cobenefits.info](http://www.cobenefits.info)

IASS 2019. *Practical Approach to Integrating Climate and Air Quality Policy*, Potsdam: IASS Policy Brief, September 2019.

Im, Ulas ve ark. “Assessment and economic valuation of air pollution impacts on human health over Europe and the United States as calculated by a multi-model ensemble in the framework of AQMEII3.” *Atmospheric chemistry and physics* Vol. 18, No. 8 (2018). Pp. 5967-5989. doi:10.5194/acp-18-5967-2018 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6070159/>

Mangia, C, M Cervino, ve EAL Gianicolo. “Secondary Particulate Matter Originating from an Industrial Source and Its Impact on Population Health” *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12, no. 7 (2015). Pp.7667-7681. doi:10.3390/ijerph120707667.

OECD. *Purchasing power parities (PPP)*. Erişim 10.02.2020 <https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm#indicator-chart>

Şahin, Ümit. *İklim Değişikliği, Ekonomi ve Sağlık Açısından Türkiye'nin Kömür Politikaları*. ed. İstanbul Politikalar Merkezi, Kasım 2015.

Spadaro JV, ve A. Rabl. "Global Health Impacts and Costs Due to Mercury Emissions" *Risk Anal*, Vol. 28, No. 3 (Jun 2008). Pp. 603-13. doi: 10.1111/j.1539-6924.2008.01041.x.

Temiz Hava Hakkı Platformu. *Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri KARA RAPOR*. Turkey: Temiz Hava Hakkı Platformu, 2019. Erişim 10.02.2020. <https://www.temizhavahakki.com/kara-rapor/> (16.10.2029)

Türkiye Elektrik İletim AŞ. TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ 5 YILLIK ÜRETİM KAPASİTE PROJEKSİYONU (2016-2020). Ankara: TEİAŞ, 2016. Accessed 10.02.2020. <https://www.epdk.org.tr/Detay/DownloadDocument?id=g4fq29nhX0=>

Uluslararası Enerji Ajansı. *World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution*. Paris: IEA, 2016. Accessed 10.02.2020. <https://webstore.iea.org/download/summary/343?fileName=English-WEO-Air-Pollution-ES.pdf>

World Health Organization. n.d. "Air pollution." Available under: <https://www.who.int/airpollution/en/>

Yazar M, D. Hestad and D. Mangalagiu et al. 2020. "Enabling Environments for Regime Destabilization towards Sustainable Urban Transitions in Megacities: Comparing Shanghai and Istanbul." *Climatic Change*.

## EK 1: ELEKTRİK ÜRETEN FAAL TERMİK SANTRALLERİN COĞRAFİ DAĞILIMI

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Türkiye'deki tüm elektrik santrallerinin operasyonlarının ruhsatlandırılmasından sorumludur. Onaylanan lisanslar resmi web sitesinde ilan edilmektedir: <http://lisans.epdk.org.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml>

Bu veri setleri temel alınarak, 100 MW kurulu gücünden büyük tüm kömür ve doğal gaz termik santralleri derlenmiş ve Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

- **Kömürlü Termik Santraller:** 2017 sonu itibarıyla Türkiye'de 42 faal kömürlü termik santral bulunmaktaydı ve o tarihten sonra

yeni santraller de eklenmiştir. Linyit, taş kömürü veya asfaltit kullanan bu santraller, 2017 yılında 97,5 TWh elektrik üretmiştir. Kurulu güç, yakıt türü ve coğrafi koordinat bilgileri EPDK listesinden alınmıştır. Bazı santrallerin koordinatları EPDK web sitesinde mevcut olmadığından, bunların konumlarını belirlemek için operatörler ve Google Maps'ten edinilen bilgiler kullanılmıştır.

- **Doğal Gaz Santralleri:** 2017 sonu itibarıyla Türkiye'de 100 MW kurulu gücünden büyük 37 faal doğal gaz santrali bulunmaktaydı. Bu santraller 2017 yılında 97,2 TWh elektrik ürettiler. O tarihten bu yana yeni doğal gaz santralleri eklenmiştir.

Şekil 9. Kurulu kömür yakıtlı (taş kömürü, linyit, asfaltit) termik santraller



Şekil 10. Kurulu doğal gaz santralleri



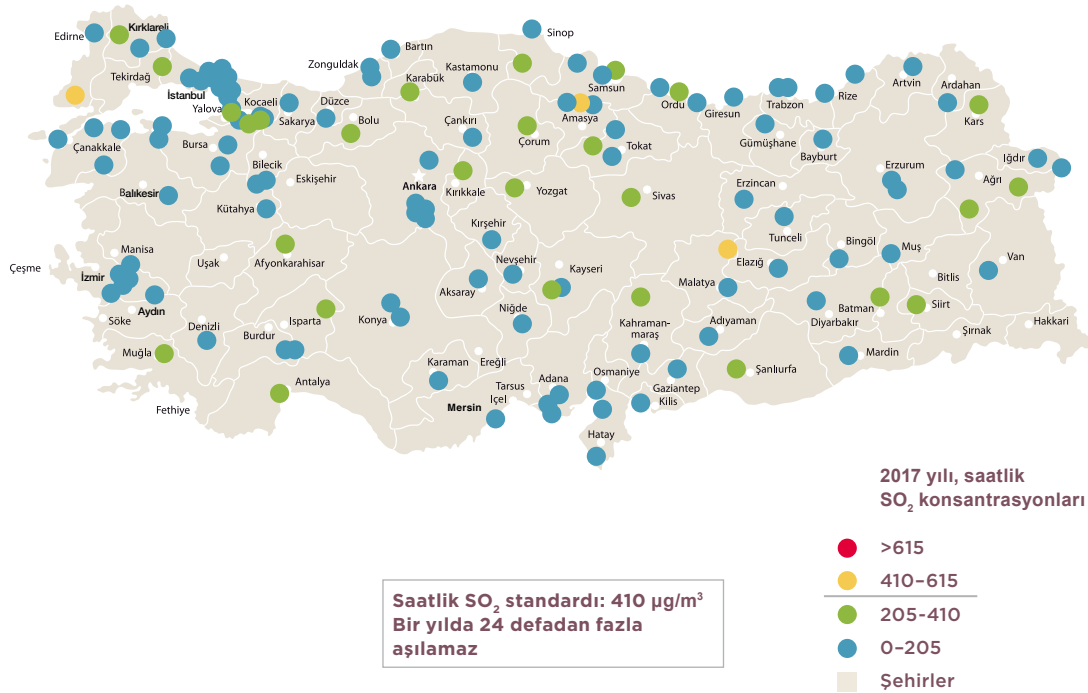
## EK 2: 2017'DE HAVA KİRLİLİĞİ DÜZEYLERİ

Şekil 11-19'daki haritalar, seçilen dört parametre (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO) ve farklı maruziyet sürelerine göre hava kalitesi verilerini göstermektedir. Her daire bir hava kalitesi izleme istasyonunu belirtmektedir. Haritada veri yüzdesi en az yüzde 75 olan istasyonlara yer verilmiştir. Veri eksikliği yüzde 25'in üzerinde olan istasyonlar, aşım sayısının doğru bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamadıkları için dahil edilmemiştir. Derlenen 2017 hava kalitesi verileri, 2017 Türkiye hava kalitesi standartları ile karşılaştırılmıştır.

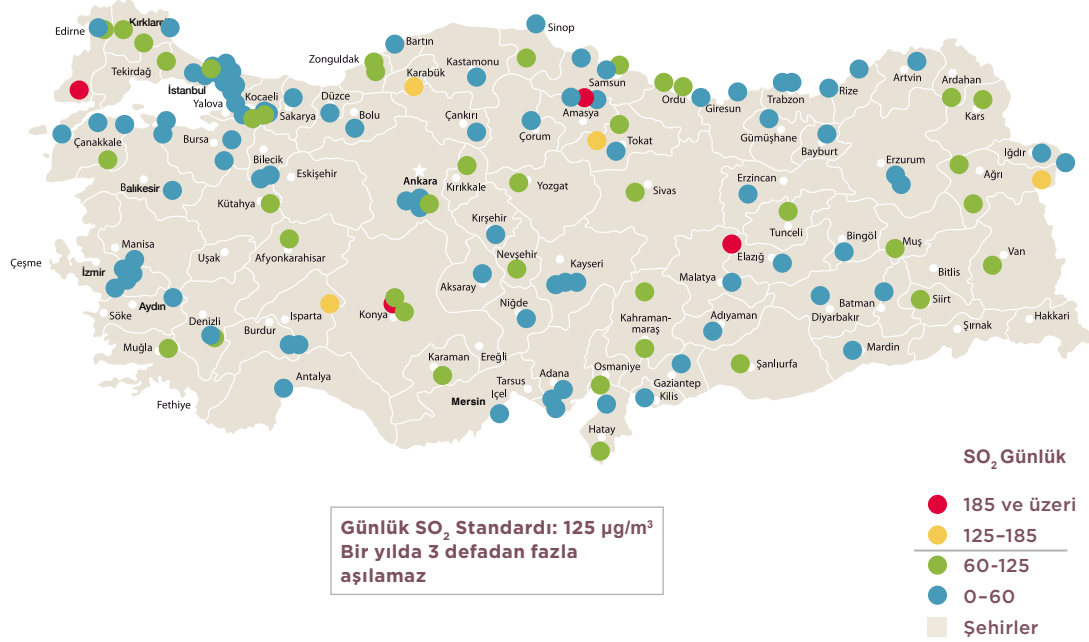
Haritalar en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının Edirne – Keşan, Amasya – Suluova ve Çorum – Mimar Sinan istasyonlarında gözlemlendiğini

ortaya koymaktadır. En yüksek NO<sub>2</sub> konsantrasyonları ise Ordu – Ünye, Samsun Yüzüncüyıl ve Kayseri – Hürriyet istasyonlarında gözlemlenmiştir. Mevcut tüm hava kalitesi istasyonlarının yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyon ortalaması 54 µg/m<sup>3</sup>tür. Yıllık PM<sub>10</sub> hava kalitesi standardının (40 µg/m<sup>3</sup>) üzerindeki bu değer, Türkiye'de en kaygı verici hava kirleticisinin PM<sub>10</sub> olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. En yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonları Iğdır, Kahramanmaraş - Elbistan ve Ankara - Kayaş'ta görülmektedir. Saatlik CO konsantrasyonlarının bazı yerlerde yüksek olmasına karşın, yıllık CO konsantrasyonları 10.000 µg/m<sup>3</sup>lük hava kalitesi standardının oldukça altındadır.

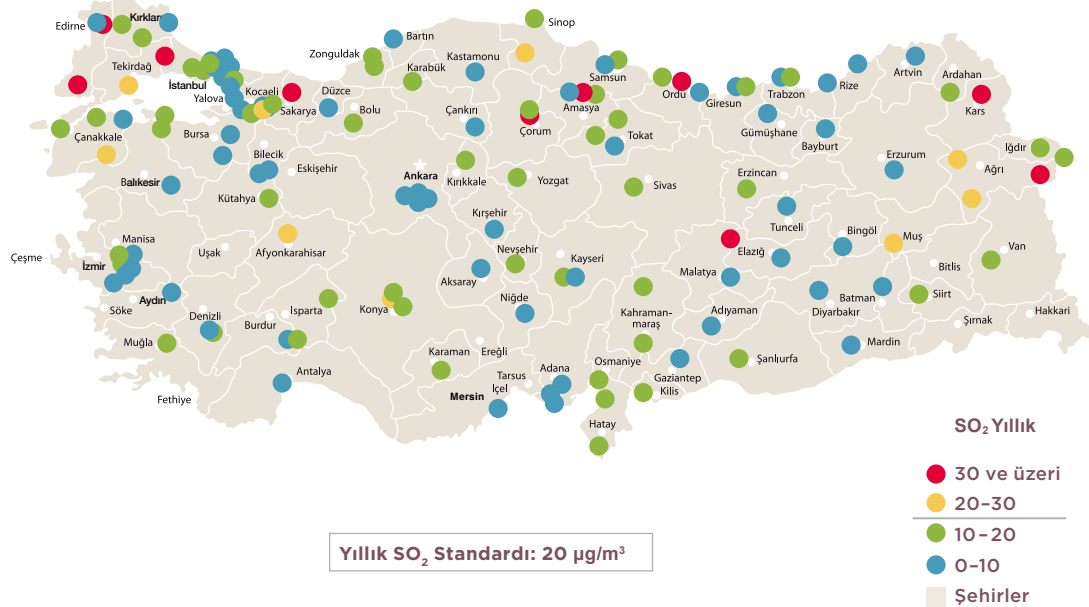
Şekil 11. 2017 yılı, saatlik SO<sub>2</sub> konsantrasyonları



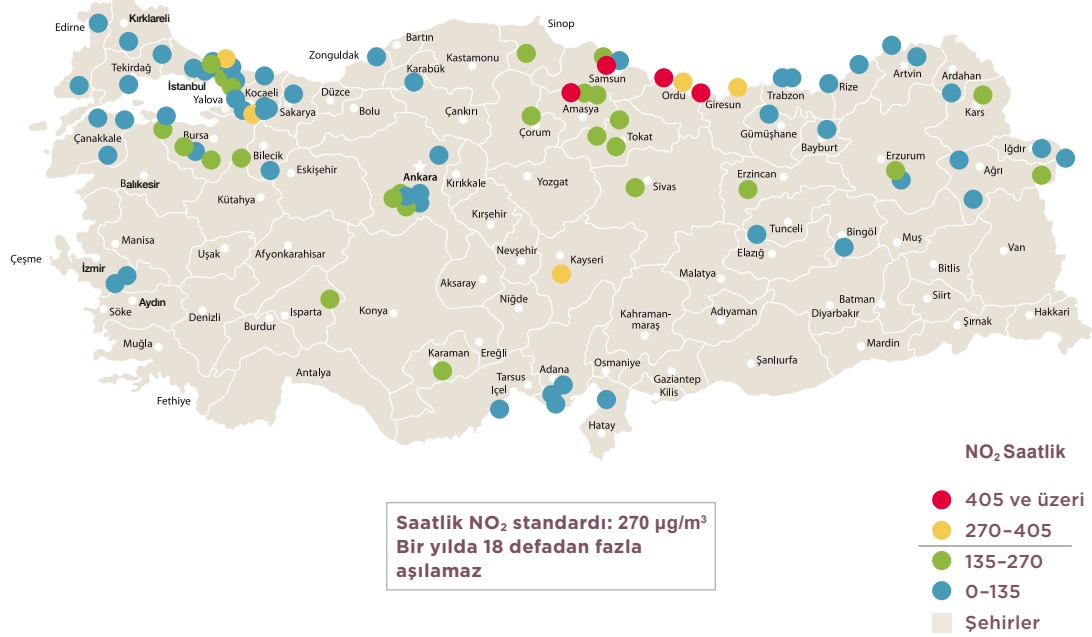
Şekil 12. 2017 yılı, günlük SO<sub>2</sub> konsantrasyonları



Şekil 13. 2017 yılı, yıllık SO<sub>2</sub> konsantrasyonları



Şekil 14. 2017 yılı, saatlik NO<sub>2</sub> konsantrasyonları

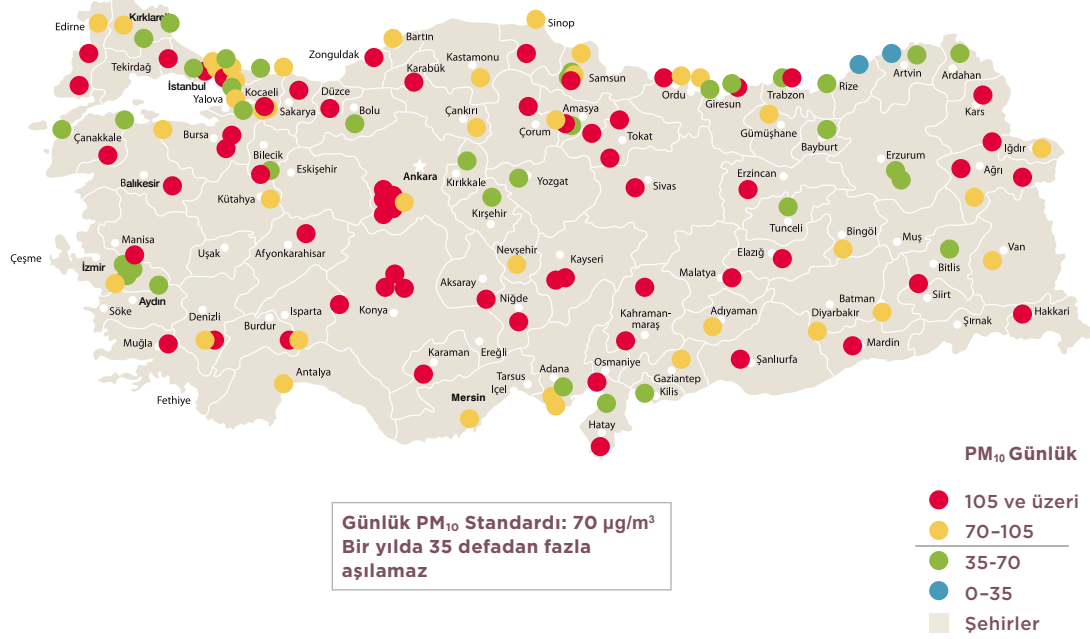


Şekil 15. 2017 yılı, yıllık NO<sub>2</sub> konsantrasyonları

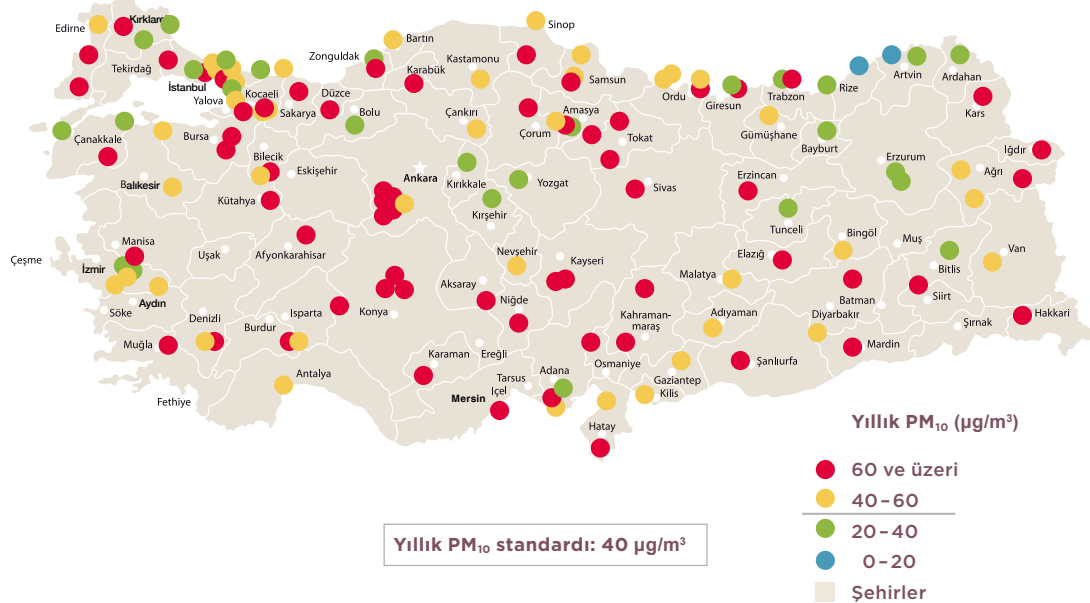




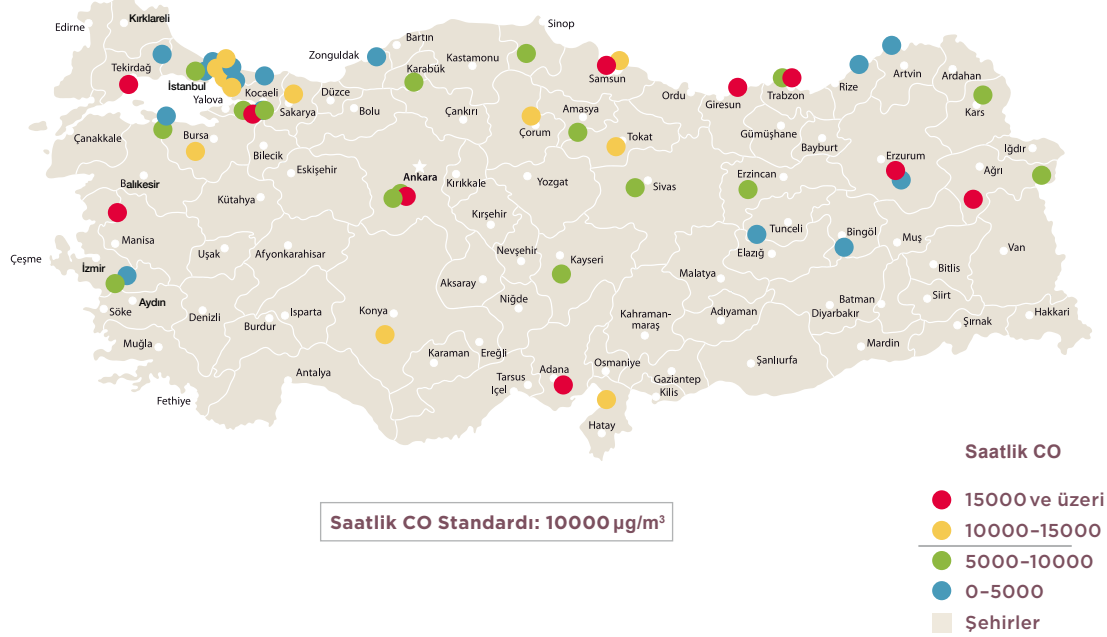
Şekil 16. 2017 yılı, günlük PM<sub>10</sub> konsantrasyonları



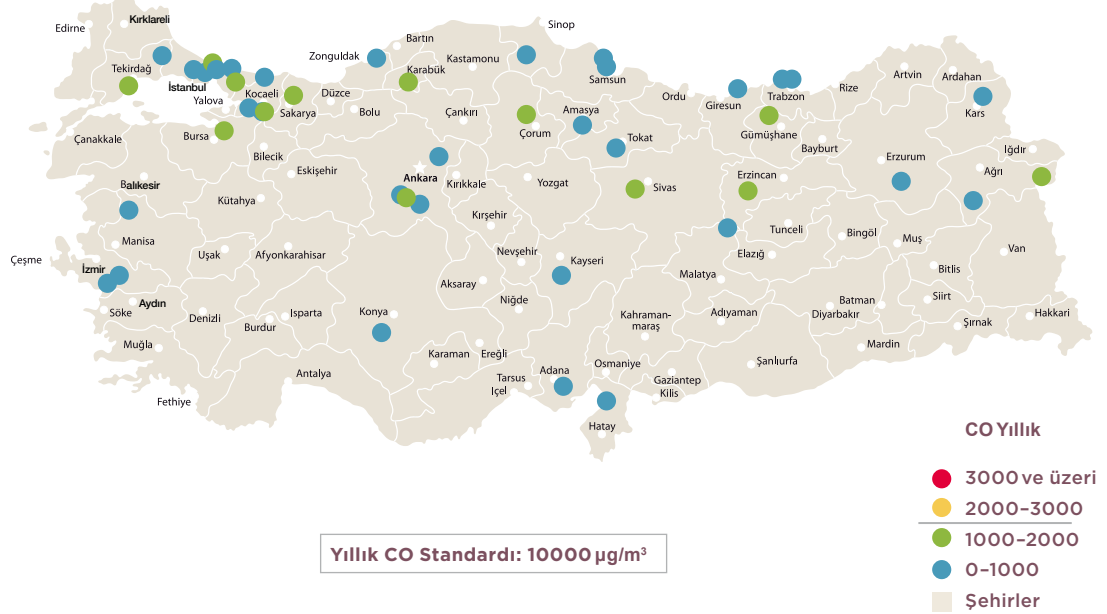
Şekil 17. 2017 yılı, yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyonları



Şekil 18. 2017 yılı, saatlik CO konsantrasyonları



Şekil 19. 2017 yılı, yıllık CO konsantrasyonları





### EK 3: FARKLI SENARYOLARA GÖRE HAVA KİRLİLİĞİNİN SICAK NOKTALARI

CALPUFF dispersiyon modeli ile öngörülen sıcak noktalar ve maksimum kirletici konsantrasyonlarının özetleri Tablo 7-11'de verilmektedir. Öngörülen maksimum yıllık  $SO_2$  konsantrasyon değerlerinin özellikle yüksek olduğu ve bazı durumlarda hava kalitesi standartlarının 10 kat üzerinde olduğu görülmektedir. İkincil küçük PM seviyeleri nispeten yüksektir ve önemli yan etkilere neden olmaları muhtemeldir.  $NO_2$  ve birincil  $PM_{10}$  seviyeleri eşit derecede önem teşkil etmektedir. CO seviyeleri ise izin verilen hava kalitesi seviyelerinin çok daha altındadır.

Farklı senaryolar için öngörülen kirletici konsantrasyonlarının karşılaştırılması, 2017 baz yılı konsantrasyonlarının bazı durumlarda 2028 senaryoları için öngörülenden daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu, bugün ve 2028 arasındaki termik santral üretim kapasitesinde planlanan artıştan kaynaklanmaktadır.

2028 konsantrasyon değerleri bazı konumlarda, bu senaryolardaki üretim oranlarına bağlı olarak, daha düşük olabilmektedir. Ayrıca, öngörülen hava

kirliliği konsantrasyonları yenilenebilir enerjideki artışla birlikte istikrarlı bir şekilde azalmaktadır ve bu da yenilenebilir enerjiye geçişin hava kalitesini iyileştirme potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Mevcut Politika'dan İleri Yenilenebilir Enerji Senaryosu'na geçişin sağladığı genel fayda konsantrasyon değerleri zaten düşük olan (CO gibi) bazı kirleticiler açısından küçük olabilirken, diğer kirleticilerin (özellikle  $SO_2$  ve PM) konsantrasyon değerlerini önemli derecede ve bazı durumlarda yüzde 50 kadar azaltabilir.

Özetle, Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması, hava kalitesi açısından somut ve yaygın yan faydalara neden olabilir. Elektrik üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayandırılması  $SO_2$  ve partikül madde atmosferik konsantrasyonlarını önemli miktarda,  $NO_2$  atmosferik konsantrasyonlarını ise görece daha az oranda olmak üzere azaltabilir. Dış ortam hava kalitesindeki bu iyileştirmeler, olumsuz sağlık etkilerinin ve sağlıkla ilişkili maliyetlerin doğrudan azaltılması anlamına gelmektedir.

Tablo 7. SO<sub>2</sub> sıcak noktaları ve tahmini maksimum konsantrasyon değerleri

Yer	Maksimum SO <sub>2</sub> Konsantrasyonu (µg/m <sup>3</sup> )				
	2017	2028 Mevcut Politika Senaryosu	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Silopi/Şirnak	17,1	-	-	-	-
Dursunbey/Balıkesir	16,0	-	-	-	-
Bodrum/Muğla	175,5	23,0	15,3	11,8	-
Çeşme/İzmir	19,6	-	-	-	-
Kınık/İzmir	103,8	38,0	25,6	20,4	11,1
Bayramiç/Çanakkale	145,6	99,2	65,5	49,9	32,5
Emet/Kütahya	54,5	291,2	266,8	250,1	197,6
Tepebaşı/Eskişehir	35,1	-	-	-	-
Beylikova/Eskişehir	48,7	25,7	17,4	13,2	-
Akçakoca/Düzce	154,6	116,5	100,2	90,6	69,0
Tufanbeyli/Adana	51,2	-	-	-	-
Afşin/Kahramanmaraş	71,7	343,4	313,6	297,0	253,9
Yumurtalık/Adana	220,4	49,0	41,6	36,9	25,9
Kangal/Sivas	27,0	-	-	-	-
Dazkırı/Afyon	-	150,8	149,7	148,0	143,0
Doğanhisar/Konya	-	247,7	244,9	242,5	233,0

Tablo 8. NO<sub>2</sub> sıcak noktaları ve tahmini maksimum konsantrasyon değerleri

Yer	Maksimum NO <sub>2</sub> Konsantrasyonu (µg/m <sup>3</sup> )				
	2017	2028 Mevcut Politika Senaryosu	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Bodrum/Muğla	26,8	-	-	-	-
Çeşme/İzmir	13,1	11,7	10,2	9,5	7,6
Kınık/İzmir	17,1	6,3	-	-	-
Bayramiç/Çanakkale	23,9	15,2	13,8	12,6	9,6
Osmaneli/Bilecik	8,9	16,9	16,6	16,3	15,3
Beylikova/Eskişehir	7,6	-	-	-	-
Akçakoca/Düzce	41,3	30,5	26,5	24,1	18,8
Erbaa/Tokat	-	6,9	5,6	-	-
Bala/Ankara	5,9	8,2	8,0	7,9	7,2
Polatlı/Ankara	-	7,0	6,9	6,8	6,4
Yumurtalık/Adana	45,7	21,8	19,9	18,7	15,9
Tufanbeyli/Adana	7,9	-	-	-	-
Afşin/Kahramanmaraş	11,1	78,2	73,3	69,8	60,0
Kütahya	7,9	44,9	41,0	38,3	29,7
Dazkırı/Afyon	-	24,2	24,0	23,7	22,9
Pamukkale/Denizli	-	7,1	6,9	6,9	6,5
Karapınar/Konya	-	7,5	6,1	-	-
Doğanhisar/Konya	-	43,4	43,0	42,4	40,8

Tablo 9. Birincil PM sıcak noktaları ve tahmin edilen maksimum konsantrasyon değerleri

Konum	Maksimum Birincil PM Konsantrasyonu (µg/m <sup>3</sup> )				
	2017	2028 Mevcut Politika Senaryosu	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Bayramiç/Çanakkale	1,4	-	-	-	-
Akçakoca/Düzce	1,6	1,2	1,0	-	-
Yumurtalık/Adana	2,2	-	-	-	-
Afşin/Kahramanmaraş	-	2,9	2,7	2,5	2,2
Kütahya	-	1,5	1,4	1,3	1,0
Doğanhisar/Konya	-	1,5	1,5	1,5	1,4

Tablo 10. İkincil PM sıcak noktaları ve tahmin edilen maksimum konsantrasyon değerleri

Konum	İkincil PM Maksimum Konsantrasyonu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
	2017	2028 Mevcut Politika Senaryosu	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Dursunbey/Balıkesir	2,7	2,6	-	-	-
Bodrum/Muğla	10,5	-	-	-	-
Çeşme/İzmir	6,4	5,2	4,4	4,1	3,2
Kınık/İzmir	7,5	3,1	2,3	-	-
Bayramiç/Çanakkale	4,7	4,1	3,4	3,0	2,2
Emet/Kütahya	4,0	11,6	11,2	10,9	9,7
Osmaneli/Bilecik	-	4,5	4,3	4,1	3,7
Tepebaşı/Eskişehir	3,7	-	-	-	-
Beylikova/Eskişehir	4,4	-	-	-	-
Polatlı/Ankara	-	4,0	3,8	3,7	3,4
Bala/Ankara	2,3	3,7	3,4	3,2	2,9
Akçakoca/Düzce	8,9	16,9	14,4	13,1	10,6
Afşin/Kahramanmaraş	4,5	17,0	15,8	15,3	14,5
Yumurtalık/Adana	11,4	10,4	9,4	8,8	6,9
Dazkırı/Afyon	-	7,8	7,7	7,6	7,4
Doğanhisar/Konya	-	8,2	8,1	8,0	7,8

Tablo 11. CO sıcak noktaları ve tahmin edilen maksimum konsantrasyon değerleri

Konum	Maksimum CO Konsantrasyonu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
	2017	2028 Mevcut Politika Senaryosu	2028 Yeni Politika Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu
Çeşme/İzmir	3,8	4,1	3,8	3,6	3,0
Osmaneli/Bilecik	5,8	11,5	11,2	11,1	10,3
Bala/Ankara	2,3	3,3	3,3	3,2	2,9
Erbaa/Tokat	2,3	2,9	2,3	-	-
Yumurtalık/Adana	3,4	4,8	4,7	4,6	4,4
Pamukkale/Denizli	-	3,0	2,9	2,9	2,8
Karapınar/Konya	-	3,2	2,6	-	-
Polatlı/Ankara	-	2,9	2,8	2,8	2,6
Afşin/Kahramanmaraş	-	3,0	2,8	2,7	2,3

## EK 4: DİSPERSİYON MODELLEME SONUÇLARI

Bu bölümde, 2017 baz yılı ve yukarıda tanımlanan dört senaryo için  $SO_2$ ,  $NO_2$ , birincil PM (doğrudan salınan), ikincil PM (atmosferde oluşan) ve CO hava kirleticilerinin CALPUFF modelleme sonuçları sunulmaktadır. Bu analizlerde kömür, linyit ve doğal gaz yakıtlı termik santraller dikkate alınmıştır.

Şekil 20-24, farklı senaryoların ve 2017 baz yılının yıllık ortalama atmosferik  $SO_2$  konsantrasyon değerlerinin kontur grafiklerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, termik santrallerin ve özellikle kömürlü termik santrallerin, başlıca  $SO_2$  emisyon kaynakları olduklarını kömür ve linyit yakıtlı termik santrallerin çevresinde oluşan bir dizi sıcak noktayla açıkça ortaya koymaktadır. Modelleme sonuçları, bu sıcak noktalardaki  $SO_2$  seviyelerinin 2028 senaryolarında yenilenebilir enerjinin elektrik üretimi içindeki payının artmasıyla birlikte düştüğünü de açıkça ortaya koymaktadır.

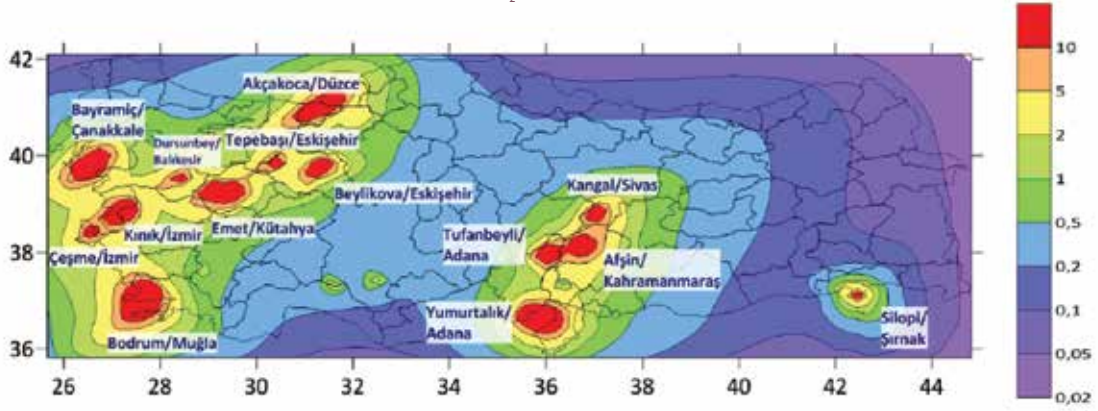
Şekil 25-29, 2028 elektrik üretim senaryolarının ve 2017 baz yılının yıllık  $NO_2$  konsantrasyon değerlerinin kontur grafiklerini göstermektedir. Yıllık  $NO_2$  hava kalitesi standart değeri  $40 \mu g/m^3$ 'tür. Sonuçlar, enerji santrallerinin çevresinde sıcak noktaların oluştuğunu göstermektedir. Ancak kirletici düzeyleri, santrallere çok yakın alanlar hariç, izin verilen hava kalitesi düzeylerinden nispeten daha düşüktür. Burada hesaplanan  $NO_2$  etkilerinin sadece elektrik üretiminden kaynaklanan etkiler olduğunu belirtmek önemlidir. Sanayi faaliyetleri ve taşımacılık gibi büyük miktarlarda azot oksitleri salan diğer önemli  $NO_2$  kaynakları da mevcuttur. Bu kaynakların ve elektrik üretiminin birleşik etkileri, özellikle kentsel alanlarda önem teşkil edebilmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımının artması, bu yüksek konsantrasyon değerlerinin azaltılmasına yardımcı olabilir.

Şekil 30-34, 2017 baz yılında ve 2028 elektrik üretim senaryolarında termik santraller tarafından doğrudan salınan birincil  $PM_{10}$  değerlerinin kontur grafiklerini göstermektedir. Yıllık  $PM_{10}$  hava kalitesi standart değeri  $40 \mu g/m^3$ 'tür.  $NO_2$  emisyonlarında olduğu gibi, termik santraller etrafında birincil  $PM_{10}$  sıcak noktaları oluşmaktadır. Ancak kirletici konsantrasyonları, santrallere çok yakın alanlar dışında, Türkiye'deki hava kalitesi seviyelerinin altındadır.

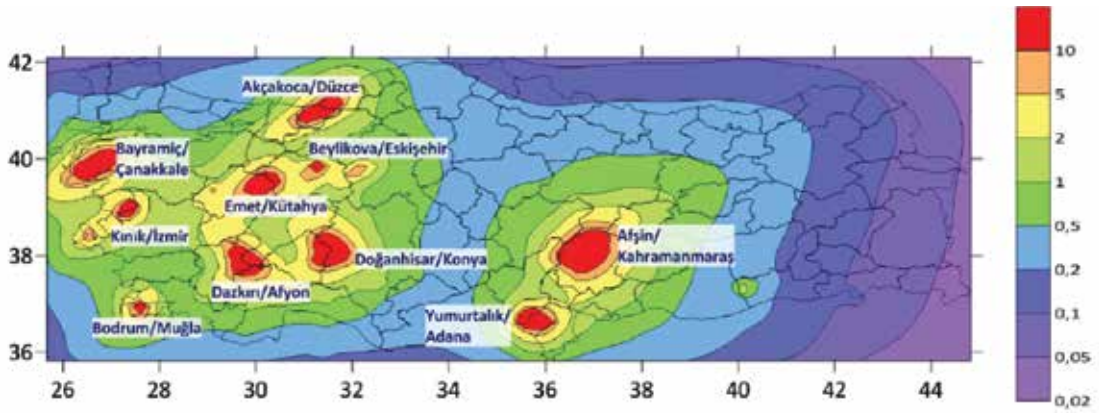
Şekil 35-39, baz yılı ve 2028 elektrik üretim senaryolarında, termik santral emisyonlara bağlı olarak atmosferde oluşan ikincil PM'nin kontur grafiklerini göstermektedir. Öngörülen ikincil PM seviyelerinin (çoğunlukla  $PM_{2.5}$ ) birincil  $PM_{10}$  seviyelerinden çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, salınan  $NO_x$  ve  $SO_2$  ile birlikte var olan ozon ve amonyaktan oluşan ikincil PM, çok daha geniş bir alana yayılır çünkü bu daha küçük partiküller atmosferde daha uzun süre asılı kalma eğilimindedir. Öngörülen yüksek ikincil PM seviyelerinin, geniş alanda yayılmaları ve olumsuz çevre ve sağlık etkileri nedeniyle büyük bir hastalık yükü yaratacağını göstermektedir. Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının artması bu olumsuz etkiyi azaltacaktır.

Şekil 40-44, 2017 baz yılı ve 2028 senaryolarının yıllık ortalama atmosferik CO konsantrasyon değerlerinin kontur grafiklerini göstermektedir. Yıllık CO standardı  $10.000 \mu g/m^3$ 'tür. Her ne kadar enerji santrallerinin etrafında bazı sıcak noktalar oluşsa da, ortalama yıllık CO konsantrasyonları izin verilen hava kalitesi standardının oldukça altındadır ve bu da elektrik üretiminin atmosferik CO'nun başlıca kaynaklarından biri olmadığını göstermektedir.

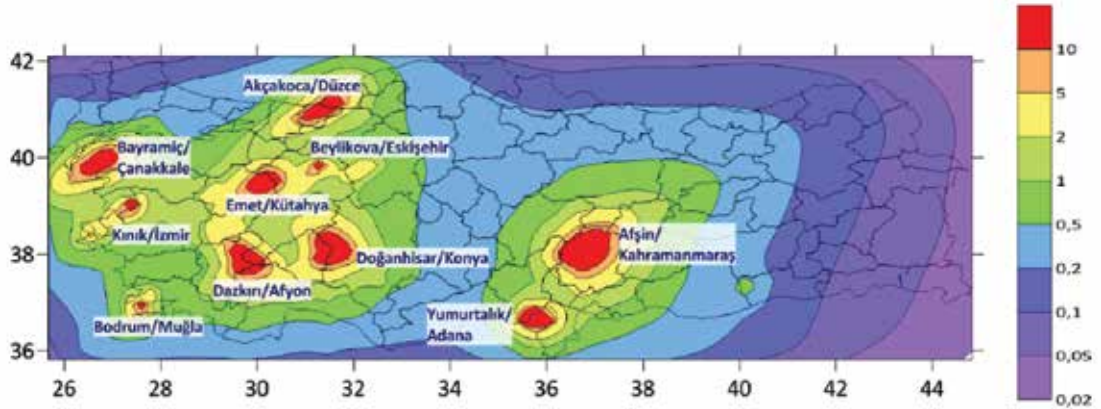
Şekil 20. 2017 Baz Yılı SO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



Şekil 21. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı SO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)

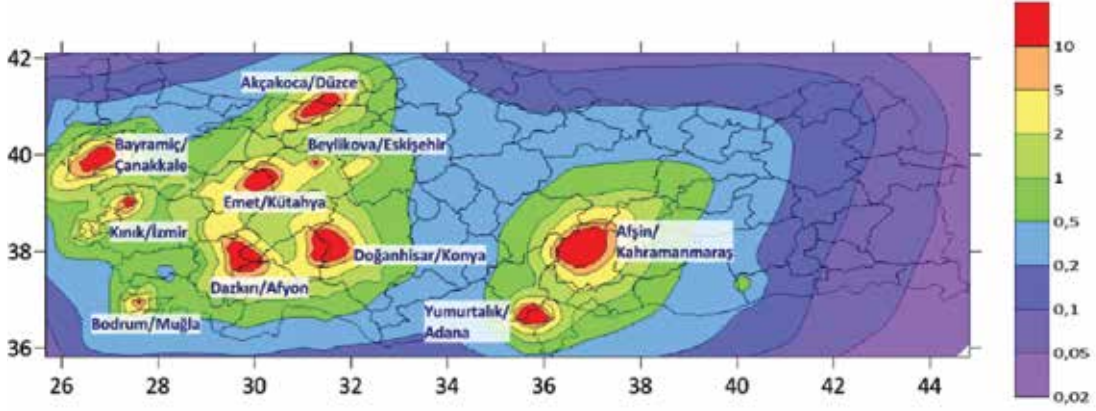


Şekil 22. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı SO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)

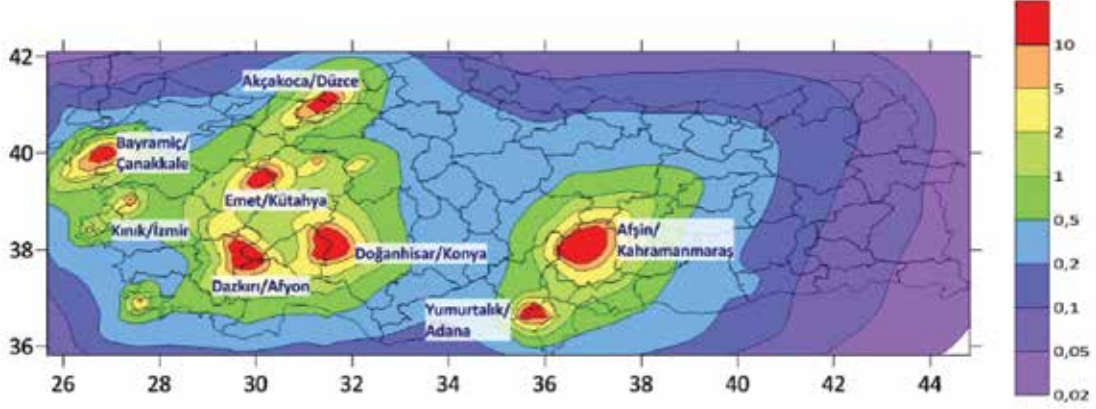




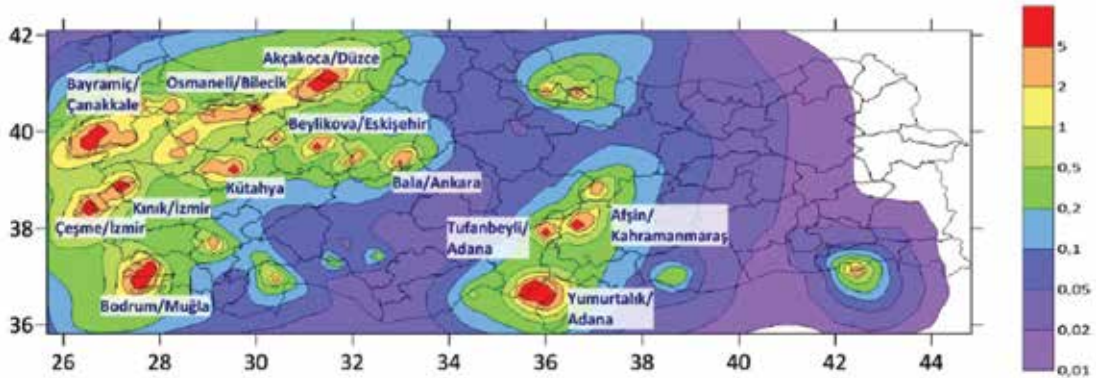
Şekil 23. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı SO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



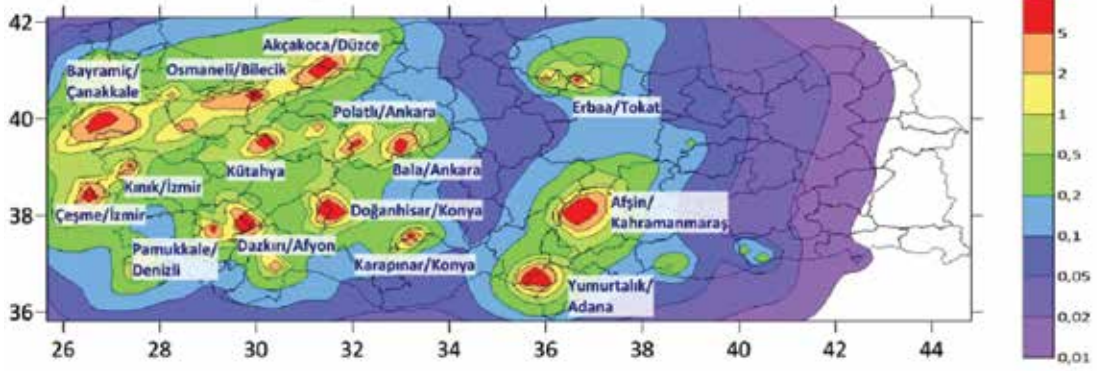
Şekil 24. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı SO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



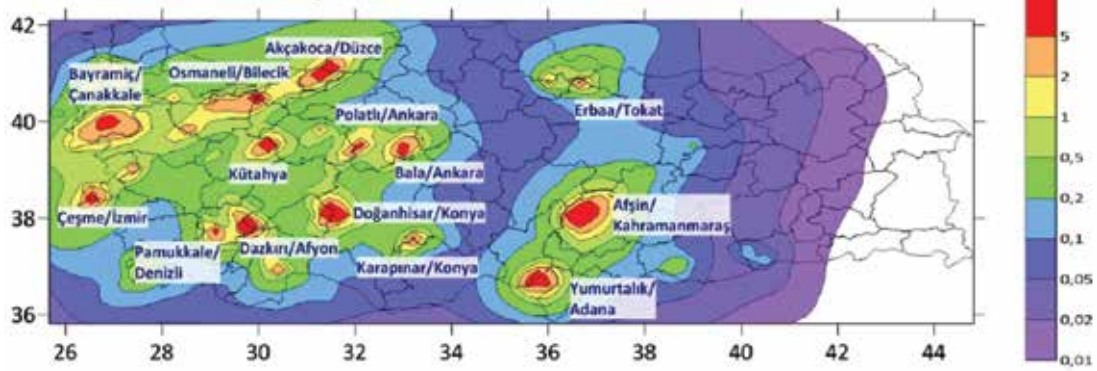
Şekil 25. 2017 Baz Yılı NO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



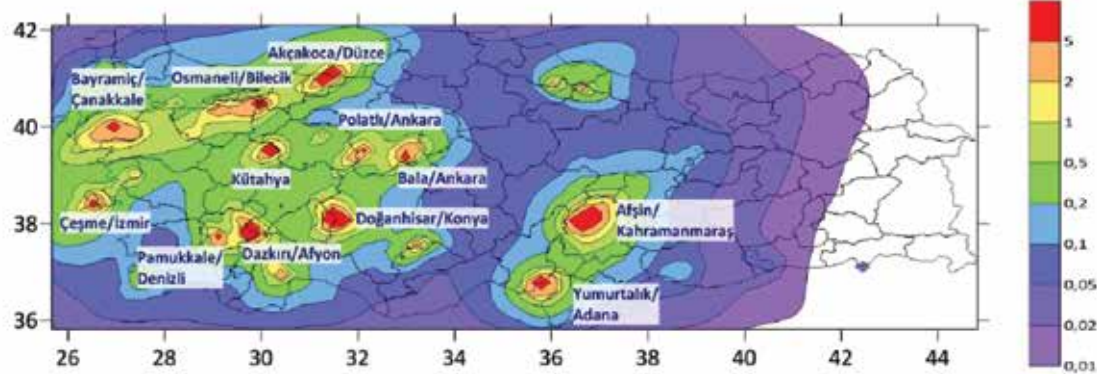
Şekil 26. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı NO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



Şekil 27. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı NO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)

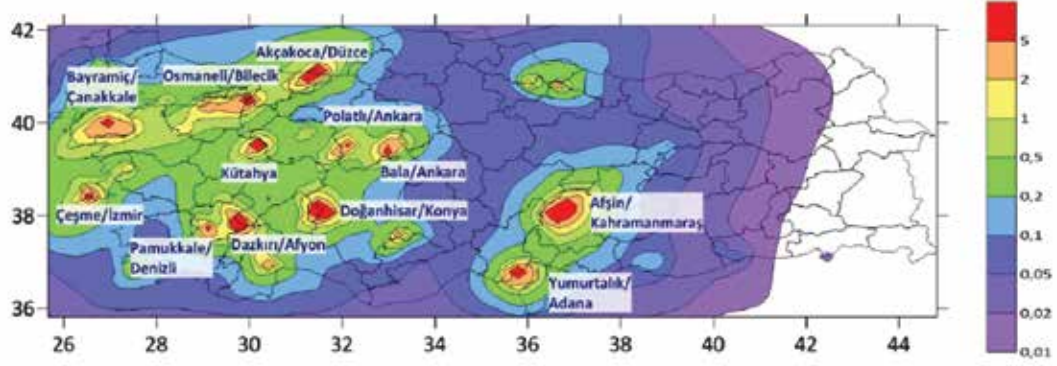


Şekil 28. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı NO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)

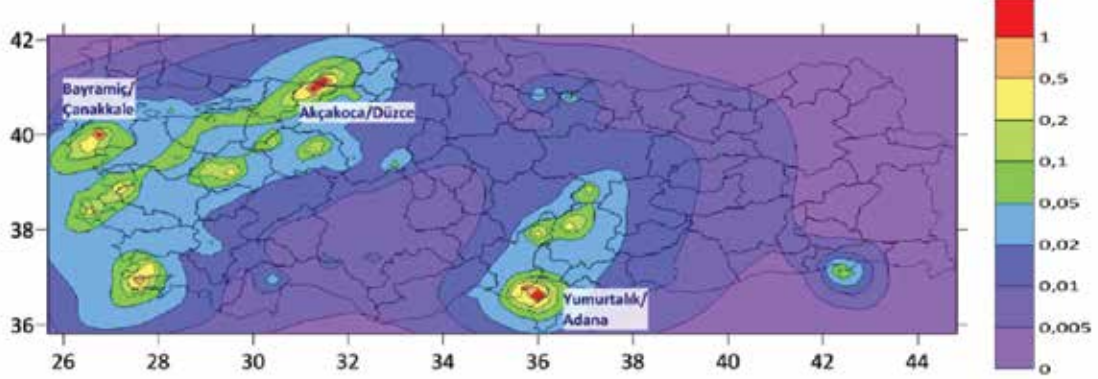




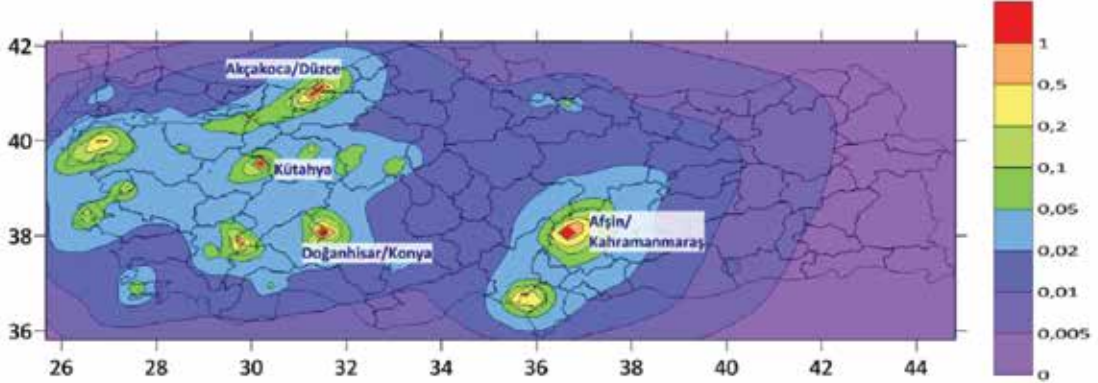
Şekil 29. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı NO<sub>2</sub> Konsantrasyon Değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



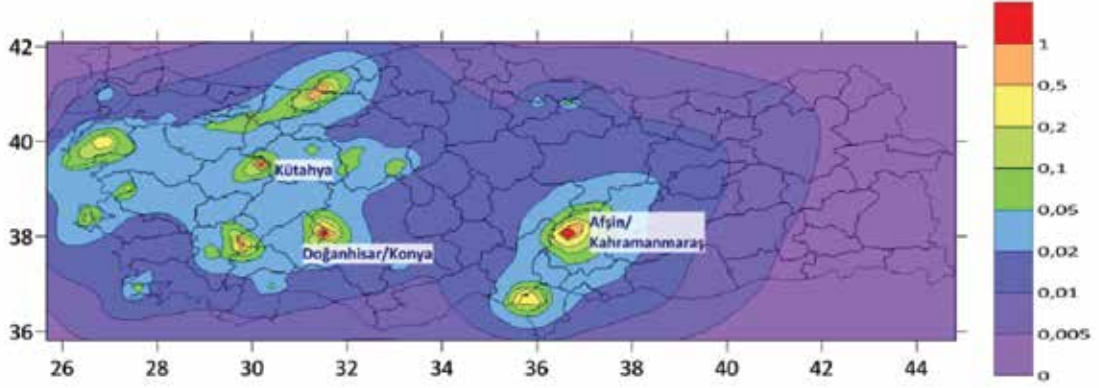
Şekil 30. 2017 baz yılının yıllık ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



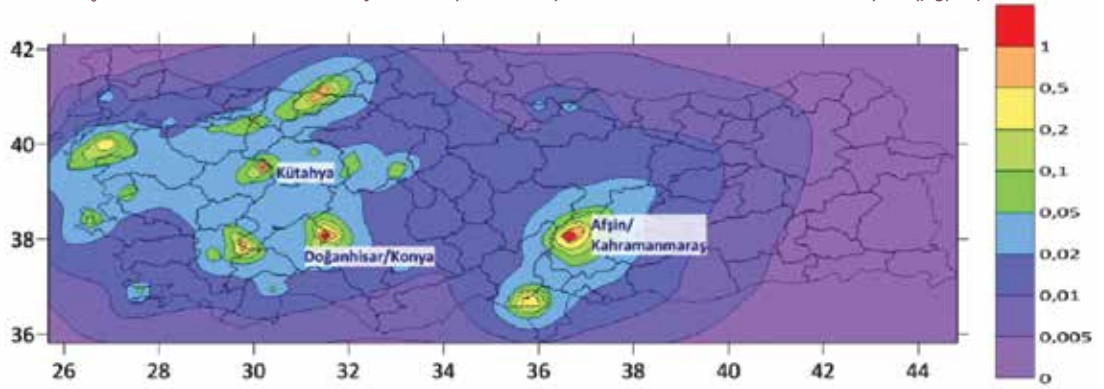
Şekil 31. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri (µg/m<sup>3</sup>)



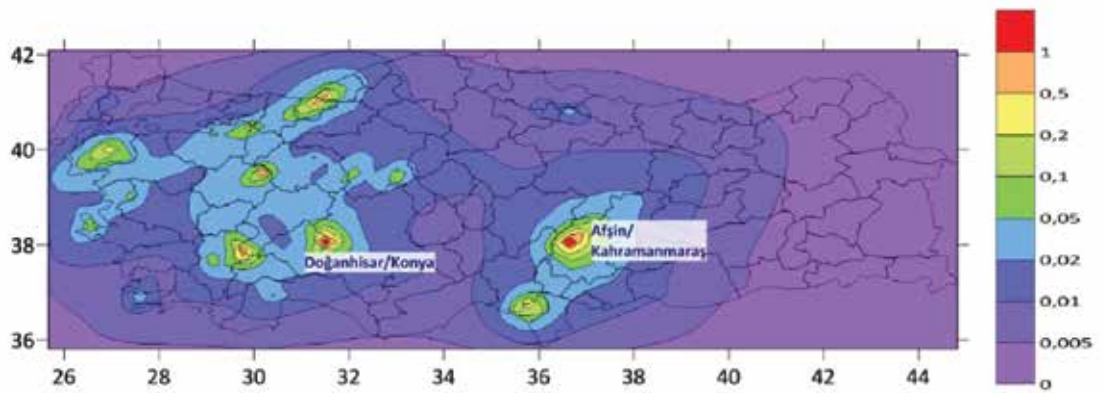
Şekil 32. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



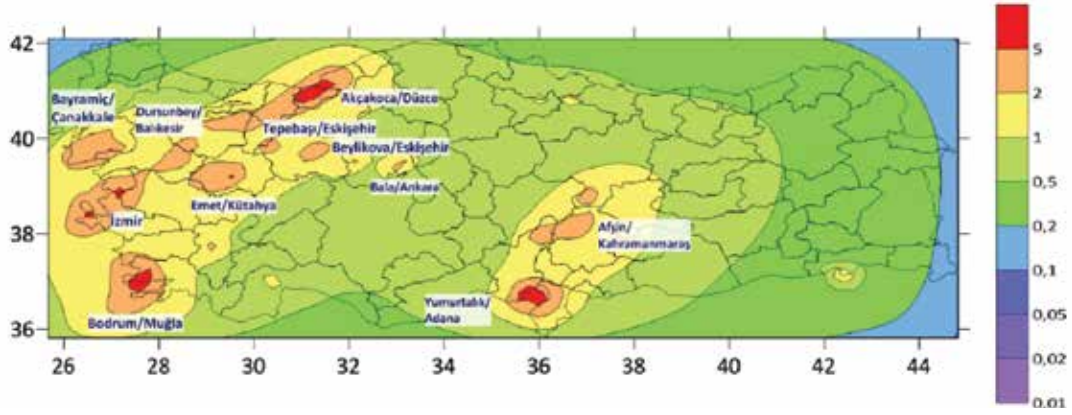
Şekil 33. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



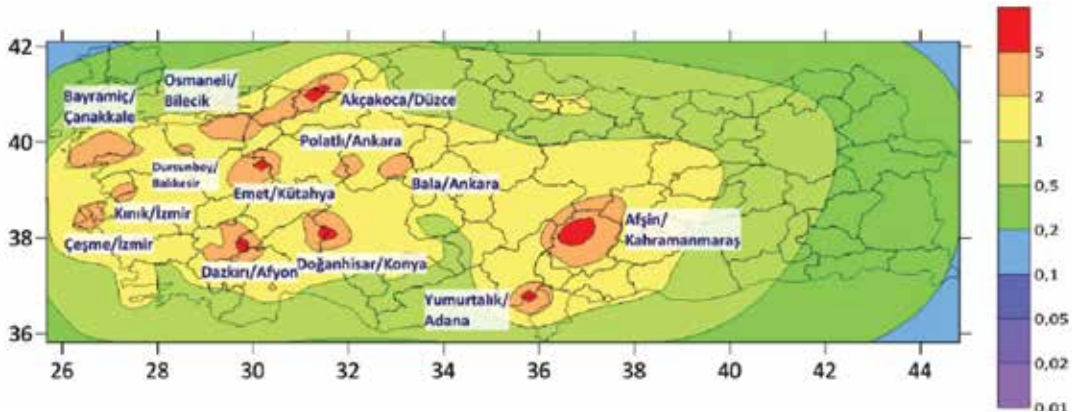
Şekil 34. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı ortalama birincil PM konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



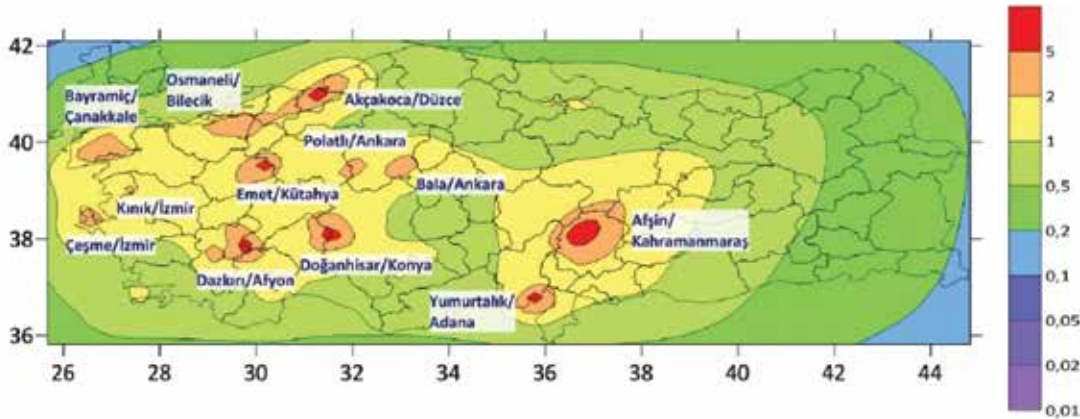
Şekil 35. 2017 baz yılı yıllık ortalama ikincil PM konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 36. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

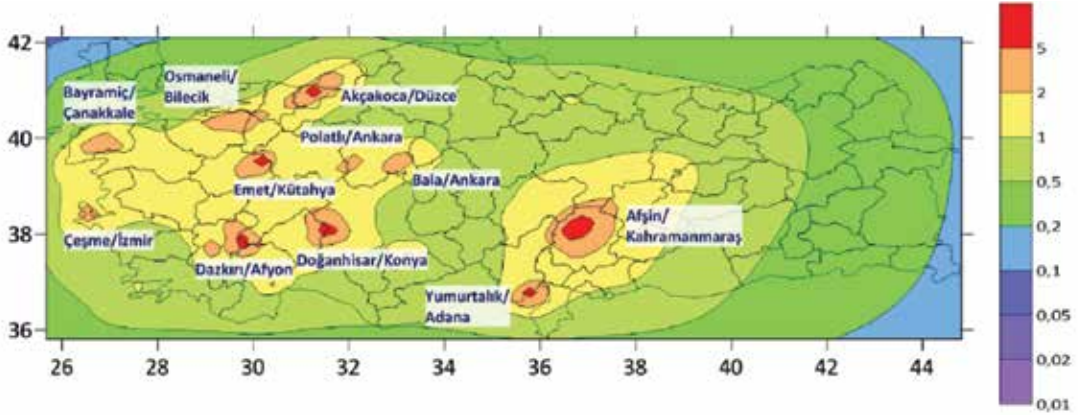


Şekil 37. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

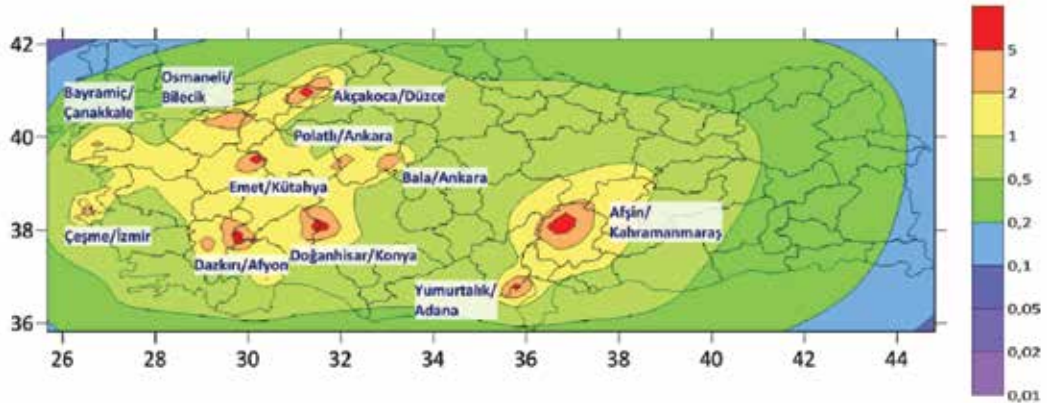




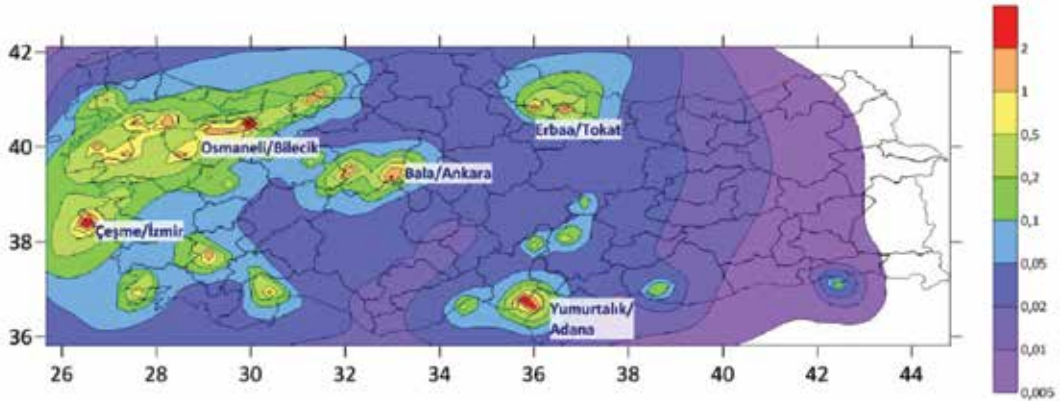
Şekil 38. İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



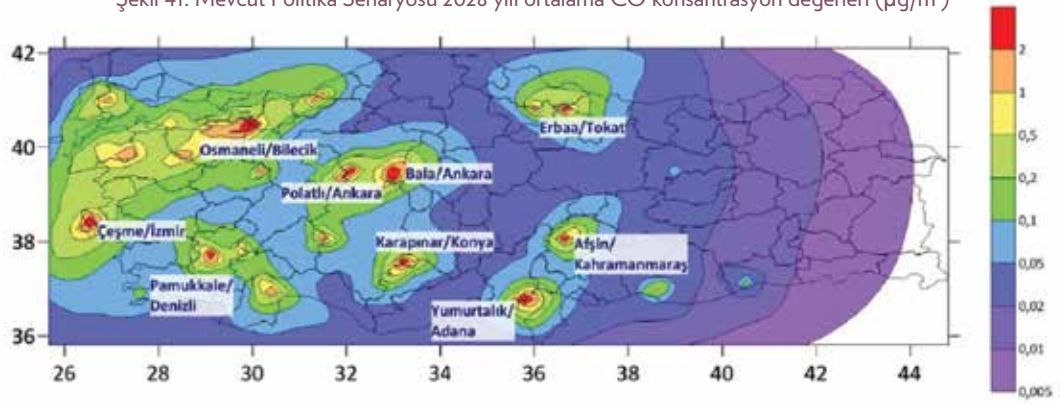
Şekil 39. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu 2028 yılı ortalama ikincil PM konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



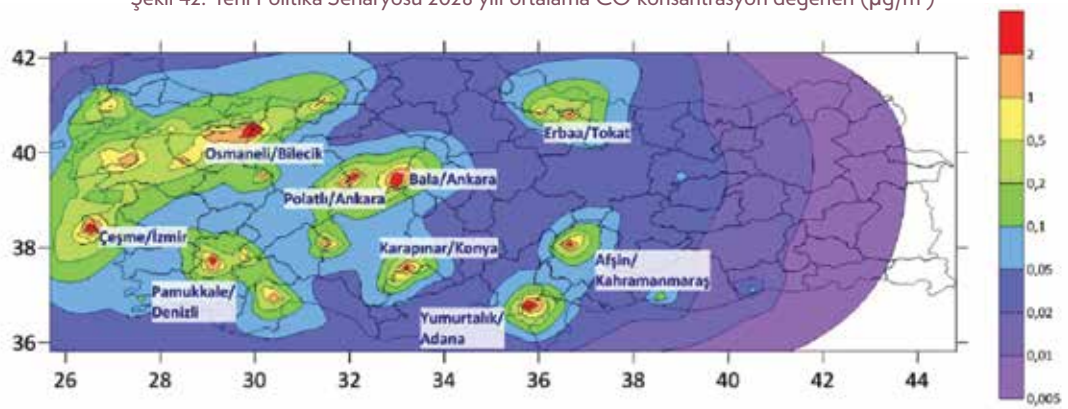
Şekil 40. 2017 baz yılı yıllık ortalama CO konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



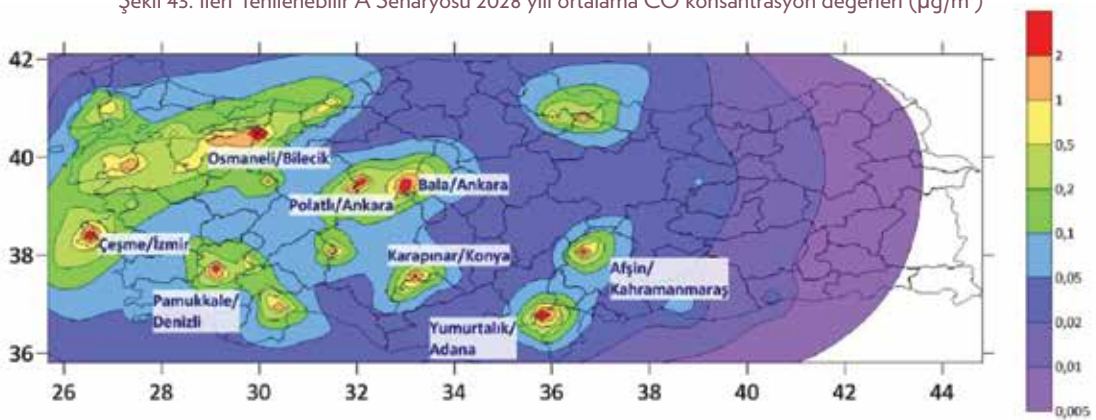
Şekil 41. Mevcut Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



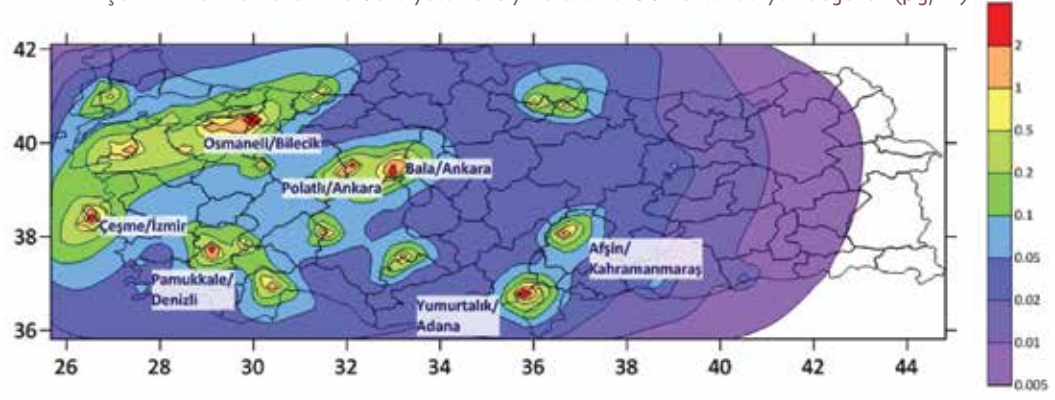
Şekil 42. Yeni Politika Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 43. İleri Yenilenebilir A Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Şekil 44. İleri Yenilenebilir B Senaryosu 2028 yılı ortalama CO konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



## EK 5: TÜRKİYE'DE HAVA KİRLİLİĞİNE BAĞLI AYRINTILI SAĞLIK MALİYETLERİ

Tablo 12. Farklı Senaryolarda Hava Kirliliğine Bağlı Ayrıntılı Sağlık Maliyetleri (Dolar)

		Baz Yıl 2017	Mevcut Politika 2028	Yeni Politika 2028	İleri Yenilenebilir Enerji A 2028	İleri Yenilenebilir Enerji B 2028
Morbidite	Kronik Bronşit (PM)	67.703.617	82.982.319	73.776.063	68.796.939	57.689.622
	Kısıtlanmış Faaliyet Günleri (PM)	1.416.575	1.717.821	1.527.243	1.424.170	1.194.236
	Konjestif Kalp Yetmezliği (PM)	10.339.434	12.452.838	11.071.290	10.324.093	8.657.256
	Konjestif Kalp Yetmezliği (CO)	21.517	32.051	29.253	27.649	237.601
	Akciğer Kanseri (PM)	5.434.732	6.545.604	5.819.419	5.426.668	4.550.529
Hastaneye başvuru	Solunum (PM)	559.577	673.957	599.185	558.747	468.537
	Solunum (SO <sub>2</sub> )	629.658	650.156	563.402	519.642	425.490
	Serebrovasküler (PM)	1.725.061	2.077.669	1.847.167	1.722.502	1.444.403
Astm. Çocuk <14 yaş	Bronkodilatör Kullanımı (PM)	14.248.352	16.177.010	14.382.294	13.411.637	11.246.318
	Öksürük (PM)	126.367.075	143.472.143	127.555.002	118.946.354	99.742.377
	Alt solunum yolları semptomları (PM)	13.215.862	15.004.763	13.340.099	12.439.780	10.431.369

Tablo 12. Farklı Senaryolarda Hava Kirliliğine Bağlı Ayrıntılı Sağlık Maliyetleri (Dolar) (tablo devamı)

		Baz Yıl 2017	Mevcut Politika 2028	Yeni Politika 2028	İleri Yenilenebilir Enerji A 2028	İleri Yenilenebilir Enerji B 2028
Astım, yetişkin >15 yaş	Bronkodilatör Kullanımı (PM)	97.528.239	119.537.475	106.275.703	99.103.188	83.102.905
	Öksürük (PM)	257.539.403	315.658.421	280.638.525	261.698.317	219.446.930
	Alt solunum yolları semptomları (PM)	25.192.717	30.877.966	27.452.291	25.599.545	21.466.480
Mortalite	Akut Mortalite SO <sub>2</sub>	645.189.106	666.192.062	577.298.687	532.459.157	435.985.571
	Kronik Mortalite YOLL (PM)	943.568.443	1.189.514.306	1.057.546.757	986.173.252	826.954.850
	Yenidoğan Mortalite (PM)	7.076.827	7.795.745	6.930.866	6.463.104	5.419.632
Cıva Hasarı Maliyeti		1.163.333	1.201.683	1.056.167	982.626	821.462





**İPM | IPC**

**İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ**

SABANCI ÜNİVERSİTESİ

**ISTANBUL POLICY CENTER**

SABANCI UNIVERSITY

İstanbul Politikalar Merkezi

Bankalar Caddesi No: 2 Minerva Han 34420

Karaköy, İstanbul Türkiye

 +90 212 292 49 39

 +90 212 292 49 57

@ [ipc@sabanciuniv.edu](mailto:ipc@sabanciuniv.edu)

w [ipc.sabanciuniv.edu](http://ipc.sabanciuniv.edu)

ISBN: 978-625-7329-20-0