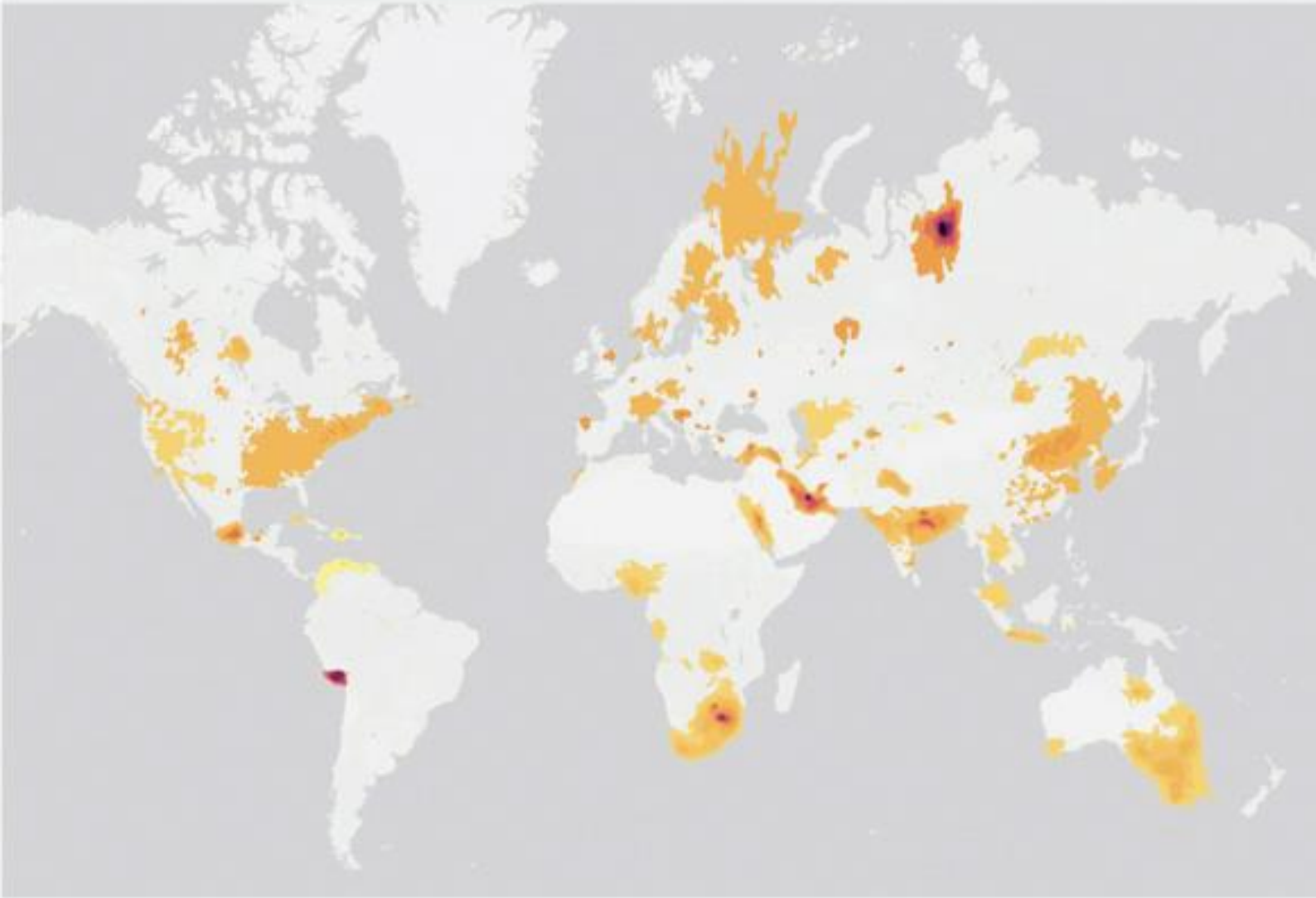


KÜKÜRT DİOKSİT (SO₂) SICAK NOKTALARINDA DÜNYA SIRALAMASI: 2019-2020

Havamızı ve sağlığımızı zehirleyen renksiz gaza yakından bakış



Yazarlar:

Sunil Dahiya, Andreas Anhäuser, Aidan Farrow, Hubert Thieriot, Avinash Chanchal, Lauri Myllyvirta

Veri analizi ve grafikler:

Hubert Thieriot, Andreas Anhäuser, Lauri Myllyvirta

Proje koordinatörleri:

Xinyi Shen, Erin Newport, Minwoo Son, Jiyun Choi

Katkıda bulunanlar:

Isabella Suarez, Meglena Antonova, Gökhan Ersoy, Jonathan Moylan, Nhlanhla Sibisi, Pablo Ramírez, Elena Sakirko, Qian Liu, Ahmed El Droubi, Bondan Andriyanu, Denis Žiško, Erika Uusivuori

Editör:

Kathryn Miller

Tasarım:

Lauren Austin

Önerilen atıf:

Dahiya, S., Anhäuser, A., Farrow, A., Thieriot, H., Kumar, A., & Myllyvirta, L. Global SO₂ emission hotspot database. Enerji ve Temiz Hava Araştırmaları Merkezi (Center for Research on Energy and Clean Air) & Greenpeace Hindistan. 48 ss. Ekim 2020.

Yayımlayan:

Enerji ve Temiz Hava Araştırmaları Merkezi (Center for Research on Energy and Clean Air)
& Greenpeace Hindistan

Yönetici özeti

Kükürt dioksit (SO₂) son derece yaygın ve insan sağlığına ciddi şekilde zararlı renksiz bir hava kirletici olarak biliniyor. SO₂ solumak felç, kalp hastalıkları, astım, akciğer kanseri ve erken ölüm gibi sağlık sorunlarına yönelik riski artırıyor.

En büyük SO₂ kaynağı kömür, petrol ve gazın da dahil olduğu fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkıyor. Tehlikeli seviyelerdeki SO₂ kirliliği genelde kömürlü termik santrallerin yakınlığında, petrol rafinerilerinde ve ağır endüstri hakimiyeti altındaki bölgelerde görülüyor.

Rapor bulguları

Araştırmacılar bu CREA/Greenpeace¹ raporunu oluşturmak için uydu verileri ile ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (NASA) küresel SO₂ emisyon kaynakları kataloğunu kullanarak sıcak emisyon noktalarını tespit ettiler. Elde edilen veriler kaynak endüstrileri ve emisyon trendlerini belirlemek için analiz edildi.

Bulgular 2019 yılında insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının dünya çapında yaklaşık %6 oranında azaldığını gösteriyor. SO₂ emisyonları, kayıtlarda ikinci kez, en büyük emisyonu sahip üç ülkenin tamamında düşüş gösterdi: Hindistan, Rusya ve Çin. Hindistan'da kömür kullanımındaki azalma dolayısıyla emisyonlar dört yılda ilk defa düşüşe geçti.

Hindistan 2019 yılında insan kaynaklı küresel SO₂ emisyonlarının %21'ini yaydı. Bu, dünyanın ikinci büyük SO₂ emisyon yayıcısı olan Rusya'da görülen oranın yaklaşık iki katıydı. Hindistan'daki yüksek emisyon oranlarının başlıca nedeni kömür kaynaklı elektrik üretiminin son yirmi yılda yaygınlaşmasıydı.

Çin bir zamanlar dünyanın en büyük SO₂ emisyon yayıcısıydı ancak ülkenin emisyonları 2011 yılındaki üst sınır noktasından bu yana %87 oranında düştü; bu, büyük ölçüde, sıkılaştırılmış emisyon standartları ve santrallerde gaz yıkama kulesi kullanımının artmasıyla bağlantılıydı. 2019 yılında Çin'in insan kaynaklı SO₂ emisyonları %5 oranında düşüş gösterdi ki bu son on yıldaki en yavaş düşüş oranıydı.

2019 yılında Güney Afrika da aynı şekilde SO₂ emisyonlarında keskin bir düşüş deneyimledi; bu düşüş ülkenin SO₂ emisyonlarını kaydedilen en düşük seviyeye getirdi. Bu tarz düşüşlerin nedenini anlamak için daha fazla araştırma gerekiyor ancak potansiyel etkenlerden biri "yük azaltma"ya (load shedding) yol açan üretim kapasitesindeki geçici düşüş olabilir.

Tam tersine, 2019 yılında Türkiye'de SO₂ emisyonları %14 oranında arttı. Türkiye 2019 yılı içinde emisyonların artış gösterdiği birkaç ülkeden biri oldu. Kömür bazlı elektrik üretimi Türkiye'de SO₂ emisyonların ana kaynağı olmaya devam ediyor.

Rusya'daki Norilsk izabe tesisi 2019 yılında dünyadaki insan kaynaklı SO₂ emisyonların en büyük kaynağıydı. Suudi Arabistan'daki Rabigh petrol & gaz sıcak noktası ikinci sırayı alırken, İran'daki Zagroz üçüncü sıraya yerleşti.

Güneydoğu Asya'da en büyük SO₂ sıcak noktası Endonezya Banten'deki Suralaya kömür kümesiydi; bunu Singapur'un petrol ve gaz rafinerileri takip etti.

¹ Bu rapor içinde "Greenpeace", aksi belirtilmediği takdirde, Greenpeace Hindistan'a atıfta bulunur.

SO₂ konsantrasyonları hala tehlikeli şekilde yüksek ancak küresel SO₂ seviyeleri 2020 boyunca düşüş göstermeye devam etti, bunun muhtemel sebebi Kovid-19 salgınının bir sonucu olarak enerji talebindeki düşüştü. En büyük düşüş oranları kömür ve izabe tesisi sektörlerinde gözlemlendi. Pek çok endüstriyel bölgede uydular tarafından tespit edilen SO₂ miktarlarında gözle görülür bir düşüş söz konusuydu.

Greenpeace fosil yakıtlara yönelik tüm yatırımları durdurmaları ve rüzgar - güneş gibi daha güvenli, daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmaları için hükümetlere çağrıda bulunuyor. Ayrıca emisyon standartlarının güçlendirilmesi ve santral, izabe tesisi ve diğer endüstriyel SO₂ yayıcılarında baca gazı kirliliği kontrol teknolojisinin uygulanması da acil gereklilikler arasında yer alıyor.

En yüksek emisyon oranına sahip üç ülkenin de 2019 yılında emisyonlarını azaltması cesaret verici ancak yine de SO₂ kirliliği milyarlarca insanın sağlığını tehdit etmeye devam ediyor. En büyük SO₂ kaynağı fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkıyor. Çoğu durumda yeni rüzgar ve güneş teknolojisi, hava kirliliği ve iklim değişikliği maliyetleri göz önünde bulundurulmadığında bile kömür, petrol ve gazdan daha ucuz.

Hava kirliliğine yönelik çözümler son derece açık ve net. Hükümetler yenilenebilir enerjiye öncelik vermeli, fosil yakıtlara yatırım yapmayı bırakmalı ve herkesin güvenli, temiz havaya erişimini sağlamalı.

İçindekiler

| | |
|---|--------------------------------------|
| İçindekiler | 4 |
| Giriş | 5 |
| Metodoloji | 6 |
| OMI ve MEaSUREs SO ₂ emisyon kataloğu | 7 |
| Uydu tabanlı SO₂ gözlemlerinin ve emisyon tahminlerinin sınırlamaları | 8 |
| Veri kapsamı | 8 |
| Veri belirsizliği | 9 |
| Güney Amerika: Güney Atlantik Anomalisi | 9 |
| Kaynak türünün yeniden sınıflandırılması ve adlandırılması | 100 |
| Sıralamalar | 111 |
| İnteraktif kirlilik haritası | Error! Bookmark not defined.1 |
| Konsantrasyon analizi / 2020 | 111 |
| Sonuçlar ve analiz (NASA MEaSUREs) | 12 |
| Coğrafi bölgeler | 19 |
| Hindistan | 19 |
| Rusya | 20 |
| Çin | 21 |
| Suudi Arabistan | 22 |
| Meksika | 23 |
| Güney Afrika | 24 |
| Türkiye | 255 |
| Avrupa | 26 |
| Avustralya | 28 |
| Güneydoğu Asya | 29 |
| Başlıca kirlenici sektörler | 30 |
| Kömür yakma | 30 |
| Petrol ve gaz rafinajı/elektrik üretimi | 33 |
| İzabe tesisleri | 35 |
| 2020 trendleri (OMI Verileri) | 36 |
| Bölgeler | 36 |
| Sektörler | 37 |
| İleriye yönelik adımlar | 411 |
| Ek A. Veri belirsizlik aralığı | 42 |
| Ek B. Santral Emisyon Standartları | 45 |

Giriş

Fosil yakıtlar yakıldığında zararlı maddeler açığa çıkıyor ve bunun hem iklim hem de insan sağlığı üzerinde ciddi etkileri bulunuyor^{2,3}. Fosil yakıt yakımını kapsayan süreçlerde havaya sera gazları salınıyor. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) 2016 yılı verilerine dayanarak yaptığı tahminlerine göre, her yıl yaklaşık 4,2 milyon insan çevresel hava kirliliğine maruz kaldığı için hayatını kaybediyor; buna ek olarak ev içi hava kirliliği de 3,2 milyon ölüme sebep oluyor⁴. Rafine bir metodoloji kullanan ve farklı kirleticiler için güncellenmiş risk faktörlerini ele alan 2020 tarihli araştırma fosil yakıt yakımının 2019 yılında tek başına tahminen 4,5 milyon erken ölüme yol açtığını ve küresel olarak gayri safi yurtiçi hasılda yaklaşık %3.3'lük bir kayıptan sorumlu olduğunu gösteriyor⁵.

Kükürt dioksit (SO₂) her türlü kömür ve petrol kaynağında bulunan kükürt elementini içeren materyaller yakıldığında ortaya çıkan toksik bir gaz olarak biliniyor. Kirleticinin neden olduğu sağlık etkileri, hem doğrudan SO₂'ya hem de SO₂ diğer hava kirleticilerle etkileşime geçtiğinde üretilen ince partikül maddeye (PM_{2.5})⁶ maruz kalmanın bir sonucu. SO₂ ve PM_{2.5}'e maruz kalmak sağlık sorunlarına yol açıyor. SO₂'ya maruz kaldıktan sonra ortaya çıkan akut semptomları şöyle sıralayabiliriz: burun, boğaz ve akciğerlerde yanma hissi; solunum güçlüğü; solunum sistemine yönelik diğer hasarlar. Ciddi, kronik sağlık etkileri arasında ise şunlar yer alıyor: demans⁷; üreme problemleri⁸; bilişsel yetenekte azalma⁹; kalp ve akciğer hastalıkları; erken ölüm¹⁰. Araştırmacılar kimyasal reaksiyon boyunca SO₂ ve NO_x gibi öncül gazlardan çıkan ikincil partiküllerin (sülfat ve nitratlar) Çin¹¹ ve Hindistan'daki¹² ince partikül maddelerin %10'undan fazlasını oluşturduğunu, ağır kirlilik vakalarında bu oranın daha da arttığını tahmin ediyor¹³.

Sağlık etkilerine ek olarak, SO₂ yayan her yakma süreci aynı zamanda atmosfere önemli miktarda sera gazı salıyor. Dolayısıyla SO₂ kaynakları insan sağlığı üzerinde doğrudan olumsuz bir etkiye sahip olmanın yanı sıra, küresel ısınmaya neden olan ilgili sera gazı emisyonları yoluyla insan refahı üzerinde de uzun vadeli olumsuz bir etkiye sahip.

² Ramanathan, V. Climate Change, Air Pollution, and Health: Common Sources, Similar Impacts, and Common Solutions. In: Al-Delaimy W., Ramanathan V., Sánchez Sorondo M. (eds) Health of People, Health of Planet and Our Responsibility. Springer, Cham. (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-31125-4_5

³ Perera, F. Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15(1), 16 (2017). <https://doi.org/10.3390/ijerph15010016>

⁴ Schraufnagel, D. E. et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *Chest* 155(2), 409–416 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042>

⁵ Farrow, A., Miller, K. A. & Myllyvirta, L. Toxic air: The price of fossil fuels. Seoul: Greenpeace Güneydoğu Asya. 44 ss. Şubat 2020.

⁶ Yaklaşık 2,5 µm aerodinamik çapa sahip partiküller.

⁷ Wu, Y.-C. et al. Association between air pollutants and dementia risk in the elderly. *Alzheimers Dement. Amst. Neth.* 1(2), 220–228 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.dadm.2014.11.015>

⁸ Carré, J. et al. Does air pollution play a role in infertility?: A systematic review. *Environ. Health* 16, 82 (2017). <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0291-8>

⁹ Shehab, M.A. & Pope, F.D. Effects of short-term exposure to particulate matter air pollution on cognitive performance. *Sci. Rep.* 9, 8237 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44561-0>

¹⁰ Cohen, A. J. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet* 389 (10082), 1907–1918 (2017). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)

¹¹ Huang, R. J. et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature*, 514(7521), 218–222 (2014). <https://doi.org/10.1038/nature13774>

¹² Nagar, P.K. et al. Characterization of PM_{2.5} in Delhi: role and impact of secondary aerosol, burning of biomass, and municipal solid waste and crustal matter. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24 (32), 25179–25189 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0171-3>

¹³ Wang, G. et al. Persistent sulfate formation from London Fog to Chinese haze. *PNAS USA* 113 (48), 13630–13635 (2016). <https://doi.org/10.1073/pnas.1616540113>

NASA MEaSUREs veri kataloğuna gore, SO₂ emisyonların üçte ikisinden fazlası (%68) insan kaynaklı. SO₂ ncelikli olarak elektrik enerjisi üretmek ya da madenden metal çıkarmak (izabe tesisi) için fosil yakıt yakan endüstriyel tesislerden yayılıyor. Lokomotif, gemi ve diğer araçlar ya da yüksek kükürt içeriğine sahip yakıt yakan ağır ekipmanlar ise diğer insan kökenli kaynaklar arasında yer alıyor.

Volkanlar ise günümüz SO₂ emisyonlarının üçte birinden daha azını (% 32) oluşturan tek büyük doğal SO₂ kaynağı olarak öne çıkıyor.

SO₂ emisyonlarının küresel kaynaklarını belgelemek ve anlamak; SO₂ kirliliğini durdurmak, hava kirliliğinin sağlık etkilerini azaltmak ve fosil yakıt kullanımının toksik sonuçlarını açığa çıkarmak üzere nlem alınmasına vesile olabilir. Bu CREA / Greenpeace raporu, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından dünya genelinde tespit edilen büyük SO₂ emisyonlarından sorumlu endüstrilerin kaynaklarını ve coğrafi dağılımını araştırıyor.

Metodoloji

Küresel Atmosfer Araştırmaları Emisyon Veritabanı (EDGAR) envanteri¹⁴ gibi insanlar tarafından tutulan kirlenici emisyon kaynağı katalogları bazen yetersiz ya da güncelliğini kaybetmiş oluyor. Bu eksik veri setlerinin nedenleri şöyle sıralanabilir: Kaynak yenidir; önceki revizyondan bu yana emisyonların gücü değişmiştir ya da kaynak bilinmiyordur veya bildirilmemiştir. Bu CREA/Greenpeace raporu uydu tabanlı gözlemlerden elde edilen SO₂ emisyon kaynaklarının listelendiği NASA MEaSUREs küresel kataloğunu analiz ediyor.

Büyük ölçekli SO₂ emisyonlarından sorumlu bölgeler ve endüstri sektörleri katalogda tanımlanıyor ve emisyon trendleri zaman içinde değerlendiriliyor. SO₂'nin başlıca noktasal kaynaklarını tespit etmek ve ölçmek için uydu verilerinin kullanılması her yıl güncellenen ve karadaki emisyon raporlamalarına bel bağlamayan dünya çapında veri kapsamı sağlıyor.

OMI ve MEaSUREs SO₂ emisyon kataloğu

NASA Ozon Görüntüleme Aracı (OMI) 2004 yılından beri büyük bir tutarlılıkla uzaydan hava kalitesini görüntülüyor. NASA MEaSUREs (Making Earth System Data Records for Use in Research Environments) programı dünya çapında SO₂'nin başlıca noktasal kaynaklarını tespit etmek ve ölçmek için ölçümler kullanıyor¹⁵. Uydu gözlemleri dünya yüzeyindeki bir nokta üzerinden atmosferdeki SO₂ miktarını tahmin ediyor ve bu, kirlilik sıcak noktalarını belirlemek için kullanılıyor (Kutu 1).

NASA, her bir sıcak nokta için emisyon oranlarının nicel bir tahminini yapmak üzere rüzgara karşı ve rüzgar yönünde SO₂ seviyelerinin karşılaştırılmasına dayanan bir teknik kullanıyor. Emisyon tahminleri Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği'ndeki (AB) *yerinde* ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulanıyor^{16,17}. Teknik kaynak lokasyonlara yönelik *önsel* bilgiye dayanmadığı için yeni kaynaklar ile diğer emisyon envanterlerinde yer almayan kaynakları da tespit ediyor. NASA'nın dünya çapındaki gözlem kapsamı küresel kirlilik sıcak noktalarını tespit etmeyi mümkün hale getiriyor¹⁸.

NASA MEaSUREs SO₂ emisyon kaynakları kataloğu her takvim yılında sıcak noktalar için coğrafi konum ve emisyon oranlarını temin ediyor. Katalog tespit edilen kaynakları dört kategoride gruplamak için kullanılıyor: bir doğal kategori (volkanlar) ve üç insan kaynaklı kategori (santral, petrol ve gaz, izabe tesisi). OMI (NASA_Aura Uydusu) tarafından tanımlanan insan kaynaklı SO₂ sıcak emisyon noktalarının tam listesine [buradan](#) ulaşabilirsiniz.

¹⁴ European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.3.1 <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=431>, 2016.

¹⁵ Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi. MEaSUREs SO₂ kaynakları emisyon kataloğu. <https://so2.gsfc.nasa.gov/measures.html> Eylül 14, 2020.

¹⁶ Fioletov, V. et al. Multi-source SO₂ emission retrievals and consistency of satellite and surface measurements with reported emissions. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 12597–12616 (2017). <https://doi.org/10.5194/acp-17-12597-2017>

¹⁷ Fioletov, V. et al. Multi-Satellite Air Quality Sulfur Dioxide (SO₂) Database Long-Term L4 Global V1, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Science Data and Information Services Center (GES DISC) (2019). Erişim: Eylül 23, 2020. <https://doi.org/10.5067/MEASURES/SO2/DATA403>

¹⁸ Fioletov, V. E. et al. A global catalogue of large SO₂ sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 11497–11519 (2016). <https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016>.

SO₂ emisyonları nelerdir? SO₂ kolon miktarı ne demektir?

Emisyon oranı

Emisyon veya emisyon oranı, belirli bir süre içinde belirli bir kaynak tarafından atmosfere salınan bir kirleticinin (örneğin SO₂) miktarını ifade eder. SO₂ emisyonları için en önemli kaynaklar kömürlü termik santraller, izabe tesisleri, petrol ve gaz endüstrisi ve volkanlardır. Emisyon birimleri “kilogram / saat”, “kiloton / yıl” ve “megaton / yıl” şeklindedir. Miktar veya “emisyon (oranı)” yalnızca SO₂ kaynakları için anlamlıdır ve kaynaklardan uzak yerler için anlam ifade etmez.

Kolon miktarı

Sınır tabaka kolon miktarı (kısaltma: kolon miktarı) “gezegensel sınır tabaka” olarak adlandırdığımız Dünya atmosferinin en alt tabakasında bulunan bir hava kirletici maddenin toplam miktarıdır¹⁹. Örneğin bu, Dünya yüzeyi ile sınır tabakanın üstü arasındaki 1 kilometrekarelik alanın üzerindeki hava kolonunda bulunan tüm SO₂ kirliliği olabilir. Kolon miktarı genellikle uydu araçlarının ölçtüğü kirletici miktarıdır çünkü bu araçlar atmosferin tüm kalınlığına nüfuz edebilir. Hava kirleticilerin miktarını kayıt altına almak için “kg / metrekaare” ya da özel bir birim olan Dobson birimi (DU) kullanılır. SO₂ kaynakları Dünya'nın yüzeyinde konumlandıkları için sınır tabakaya yayılırlar. Genel olarak, sınır tabakadan üstteki atmosferik tabakalara çok az dikey karışım vardır. SO₂ kirliliğinin en büyük kısmı çökelti haline gelmeden veya diğer kimyasallara dönüşmeden önce sınır tabaka içinde kalır.

Emisyon oranı ve kolon miktarı arasındaki ilişki nedir?

Açığa çıkan kirleticiler atmosfere dağılır ve çökelti haline gelmeden veya diğer kimyasallara dönüşmeden önce rüzgar ve türbülans yoluyla kaynaktan uzak yerlere taşınır. Dolayısıyla emisyon kaynaklarından uzak lokasyonlar da kirliliğe maruz kalmış olabilir. Hava genel olarak bir emisyon kaynağının yakınında, uzakta olduğundan daha fazla kirlenir. Bir haritada emisyon kaynakları genelde kolon miktarının yüksek olduğu bir alanla çevrilidir.

Kolon miktarı emisyon için bir temsilci olarak kullanılabilir ancak ikisinin aynı şey olmadığına dikkat etmek önemlidir. Örneğin güçlü bir rüzgar, emisyonlar yüksek olsa bile, kirliliği yayıcı bir kaynaktan uzaklaştıracak; dolayısıyla emisyon kaynaklarına yakın olan alan nispeten düşük kolon miktarına sahip olacaktır. Bununla birlikte, yıllık emisyon ortalamalarının kullanımı kuvvetli rüzgar gibi meteorolojik olayların neden olduğu veri anomalilerinin ortalamasını alır. Yıllık ortalama emisyon haritasında, hemen tüm sıcak noktalar yüksek kolon miktarına sahip alanlarla çevrilidir.

Kutu 1: SO₂ emisyon oranı ile SO₂ kolon miktarının tanımı.

Uydu tabanlı SO₂ gözlemlerinin ve emisyon tahminlerinin sınırlamaları

Veri kapsamı

SO₂'nin noktasal ana kaynaklarını tespit etmek ve ölçmek için kullanılan uydu tabanlı yaklaşımlar dünya çapında neredeyse kesintisiz veri kapsamı sağlar. Bununla birlikte uydular veri çözünürlüğü, gürültü ve insan yapımı maddeler ile sınırlanırlar, bu nedenle sadece büyük SO₂ kaynakları güvenilir şekilde tespit edilir ve ölçülür. ~50 kt/yıl'dan düşük emisyon yayan kaynaklar büyük göreceli belirsizliklere sahip olma eğilimindedir²⁰.

NASA, 30 kt/yıl'dan daha az emisyon yayan kaynakların güvenilir bir şekilde tespit edilmediğini ve MEASUREs kataloğunun dünya çapında bilinen tüm insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının yaklaşık yarısını oluşturduğunu

¹⁹ Gezegensel sınır tabaka birkaç kilometrelik bir kalınlığa sahiptir. Bu kalınlık zamana ve küresel lokasyona göre farklılık gösterir. Gezegensel sınır tabaka aynı zamanda atmosferik sınır tabaka olarak da bilinir.

²⁰ Sıcak noktaların tam listesine bakınız.

tahmin ediyor²¹. Tespit oranı, farklı bölgelerdeki alt-üst emisyon envanterleriyle karşılaştırıldığında, çoğu büyük ülke ve bölge için nispeten sabittir (% 50 ± 15). Dolayısıyla veri seti bölgesel emisyon trendlerini tespit etmek için kullanılabilir ancak emisyon tahminlerinin mutlak değerlerinin bir ülkenin ya da bölgenin toplam emisyonlarına eşit olması gerekmez.

Veri belirsizliği

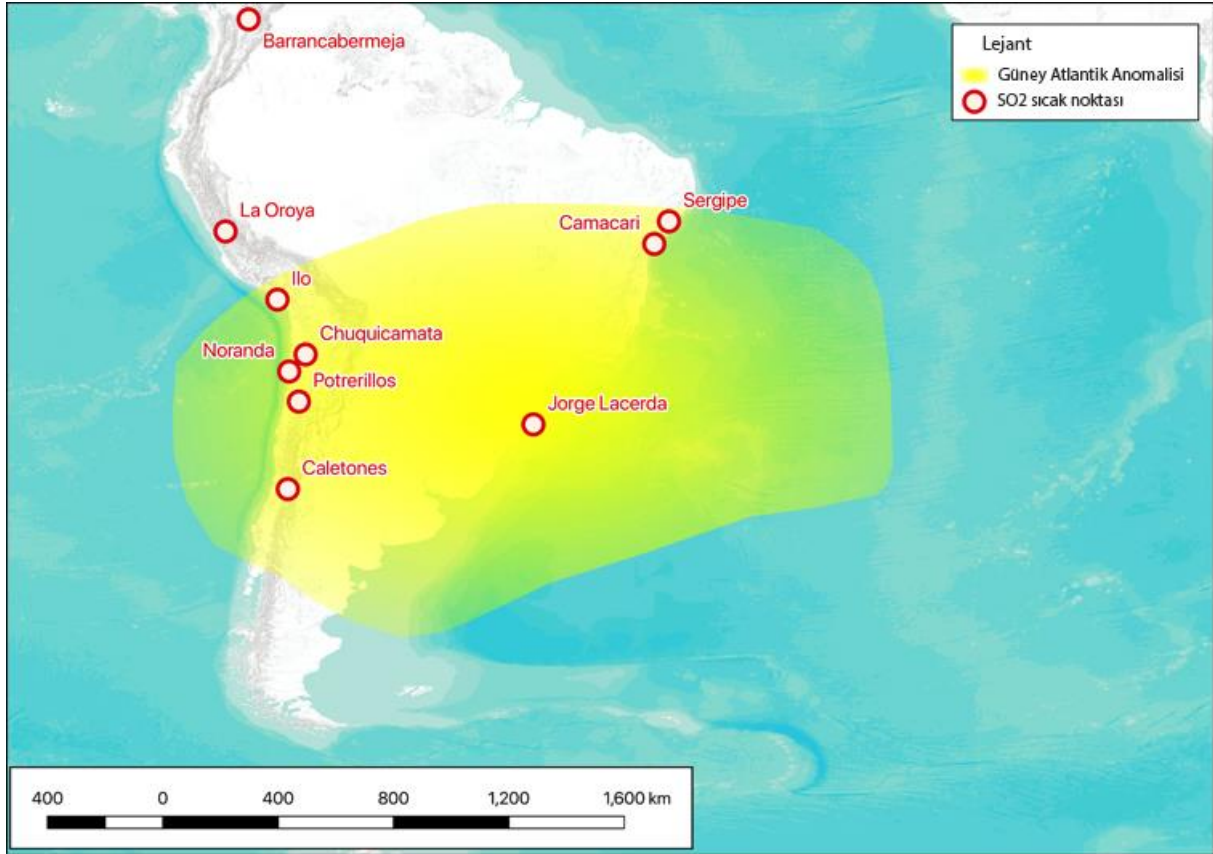
Emisyon tahminlerinin kesinliği bir sıcak noktadan diğerine değişiklik gösterir. Temel uydu verilerindeki belirsizlik yüksek enlemlerde artar ve bu bölgelerdeki sıcak noktalar için yapılan tahminlere yönelik güveni azaltır. Düşük emisyonlu sıcak noktalar için emisyon miktarına ilişkin katalog tahminleri güvenilir değildir çünkü belirsizlik aralığı değer kendisi kadar büyük olabilir. Bu raporun ana bölümünde sunulan ülke toplamları için katalogda listelenen tüm sıcak noktalar dikkate alınmıştır. Ülke toplamları hesaplanırken, NASA tarafından verilen belirsizlik aralıklarının küçük emisyon değerleri için bile anlamlı olduğu ve farklı sıcak noktalar arasındaki hataların bununla ilişkilendirilmediği (sistemik hata yok) varsayılmıştır.

Güney Amerika: Güney Atlantik Anomalisi

Özel öneme sahip ek bir belirsizlik kaynağı da Güney Atlantik Anomalisi'dir (GAA) (Şekil 1). GAA, Güney Amerika'nın bir bölümünü ve Güney Atlantik Okyanusu'nu kapsayan alanı etkiler. Dünya'nın manyetik alanı bölgenin üzerinde yüksek enerji yüklü parçacıklar yakalar ve bu parçacıklar OMI sensör ölçümlerinin kalitesini büyük oranda azaltır, dolayısıyla emisyon tahminlerindeki belirsizliği artırır²². Sonuç olarak Arjantin, Brezilya, Şili, Peru, Bolivya, Paraguay ve Uruguay için emisyon verileri dünyanın diğer bölgelerinde geçerli olan kesinliği ve bütünlüğü iddia edemez (son üç ülke veri setinde hiç yoktur). NASA, Güney Amerika ve Güney Atlantik Okyanusu bölgesinden gelen verilerin dikkatle ele alınmasını tavsiye eder.

²¹ Fioletov, V. E. et al. A global catalogue of large SO₂ sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 11497–11519 (2016). <https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016>

²² Zhang, Y. et al. Continuation of long-term global SO₂ pollution monitoring from OMI to OMPS. *Atmos. Meas. Tech.* 10, 1495–1509 (2017). <https://doi.org/10.5194/amt-10-1495-2017>



Şekil 1. Güney Atlantik Anomalisi'nden etkilenen bölgenin (sarı alan) görüntüsü. Zhang ve diğerleri (2017)²³ ile Belçika Kraliyet Uzay Havacılık Enstitüsü'nde sunulan şekil ve açıklamalardan elde edilmiştir²⁴. Etkilenen SO₂ sıcak noktaları kırmızı ile gösterilmiştir. Anomalinin yer aldığı bölgeden gelen veriler dikkatle kullanılmalıdır. Güney Amerika Anomalisi'nde bulunan kükürt dioksit kaynakları tespit edilmemiş olabilir. Harita verileri telif hakkı OpenStreetMap katılımcılarına aittir. <https://www.openstreetmap.org>

Kaynak türünün yeniden sınıflandırılması ve adlandırılması

Original NASA MEASUREs veri seti her bir sıcak noktaya bir isim ve kaynak türü verir. Kaynak türleri şu şekildedir: “Santral”, “petrol ve gaz”, “izabe tesisi” ya da “volkanlar”. Bir sıcak nokta kümesinde baskın olan endüstri, 2005'teki ilk yayından bu yana yıllar içinde değişmiş olabilir ancak değişiklik NASA'nın kataloğundaki kaynak türü sınıflandırmasına yansıtılamayabilir.

Kaynak sektörlerde bilinen bir değişiklik meydana geldiğinde ya da sıcak nokta adlandırmasının sezgisel olmadığı durumlarda, katalogdaki sınıflandırmaları ve isimleri güncelleyerek kullandık. Bu doğrultuda yapılan değişiklikler aşağıdaki gibidir:

- **Yeniden sınıflandırma.** NASA kaynak türü olan “santral”; söz konusu bir kömürlü termik santral ise “kömür” ile değiştirildi, gaz yakıtlı termik santraller için ise “petrol ve gaz” terimi kullanıldı. Orijinal katalogta listelenen tüm insan kaynaklı sıcak noktaların manuel bir incelemesi gerçekleştirildi ve “kömür”, “petrol ve gaz” veya “izabe tesisi” olarak (yeniden) sınıflandırıldı.
- **İkincil endüstriler:** Sıcak noktalar gerçekte birden fazla endüstriden gelen çok sayıda münferit SO₂ kaynağının toplamı olabilir. Bu gibi durumlarda, en büyük yayıcıdan ziyade daha büyük bir sıcak nokta içindeki bireysel yayıcıların katkılarını daha iyi sunmak için ikincil endüstrileri tanımlayan bilgiler

²³ Zhang, Y. et al. Continuation of long-term global SO₂ pollution monitoring from OMI to OMPS. *Atmos. Meas. Tech.* 10, 1495–1509, (2017). <https://doi.org/10.5194/amt-10-1495-2017>

²⁴ Belçika Kraliyet Uzay Havacılık Enstitüsü. 2011. <https://sacs.aeronomie.be/info/saa.php> (Erişim: 28.09.2020)

eklendi. Bu ikincil bilgiler nihai veri setinde yer alıyor. Bununla birlikte sıralamalar ana kaynak türüne dayalı olarak yapılıyor.

- **Yeniden adlandırma.** Bazı durumlarda katalogdaki sıcak noktalar okuyucular açısından daha tanımlanabilir olması için yeniden isimlendirildi. Ana kirleticilerin isimleri NASA'nın şirket adına yer verdiği yerlerde kullanıldı. Bu, bölgedeki tanımlanabilir tek kaynak; dolayısıyla bu adlandırma seçeneği değiştirilmeden bırakıldı. Ek potansiyel kaynakların tanımlandığı durumlarda bunun yerine coğrafi bölgenin adı kullanıldı.

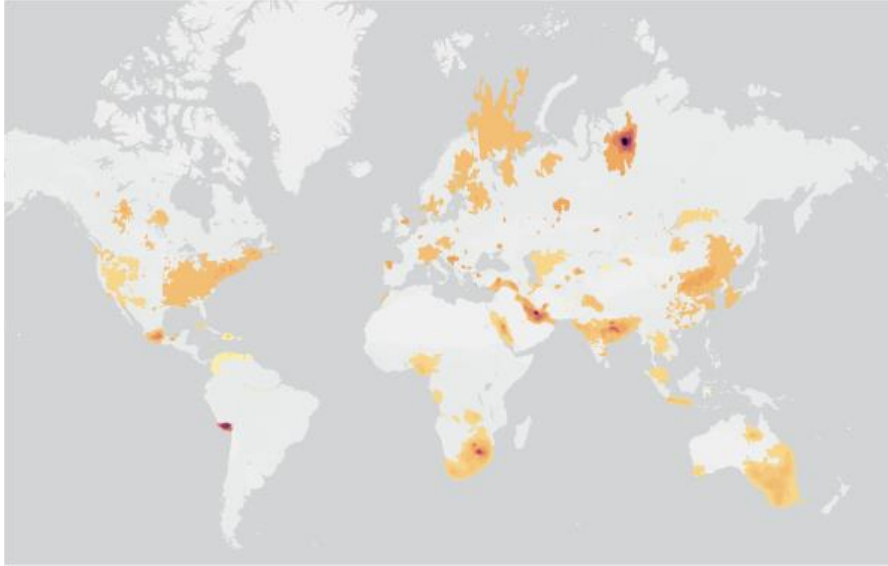
Bütün değişiklikler [sıcak noktaların tam listesinde](#) görülebilir.

Sıralamalar

Ülkeleri önemli sıcak noktalardaki SO₂ emisyonlarına göre sıralamak için değiştirilmiş katalogu kullandık. Ayrıca emisyon kümelerini yıllık insan kaynaklı SO₂ emisyonlarına göre sıraladık.

İnteraktif kirlilik haritası

Ham OMI SO₂ kolon miktarlarını ve NASA katalogunda listelenen SO₂ emisyon kaynaklarının lokasyonlarını gösteren interaktif haritaya energyandcleanair.github.io/202008_hotspots/ adresinden ulaşılabilir (kolon miktarı ve emisyon oranı arasındaki farkı görmek için Kutu 1'e göz atabilirsiniz). Şekil 2 haritanın ekran görüntüsüdür.



Şekil 2: 2019'da Ozon Görüntüleme Aracı (OMI) sensörü tarafından tespit edilen SO₂ kolon miktarı. İnteraktif harita için: https://energyandcleanair.github.io/202008_hotspots/

Konsantrasyon analizi / 2020

2020'ye ait küresel emisyon verileri henüz NASA MEaSUREs projesi tarafından kullanıma sunulmadı. Dolayısıyla gözlemlenen SO₂ kolon miktarları, SO₂ emisyonlarının dolaylı bir göstergesi olarak analiz edildi. Dobson birimleriyle ifade edilen kolon miktarı verileri her bir sıcak nokta etrafındaki 50 km'lik bir yarıçap içinde NASA OMI sensöründen alındı.

SO₂ kolon miktarı verileri sadece SO₂ emisyonlarına yönelik dolaylı bir gösterge niteliği taşır çünkü gözlemlenen kolon miktarı ile kaynak emisyon miktarı arasındaki ilişki hava şartlarından ve kirlilik

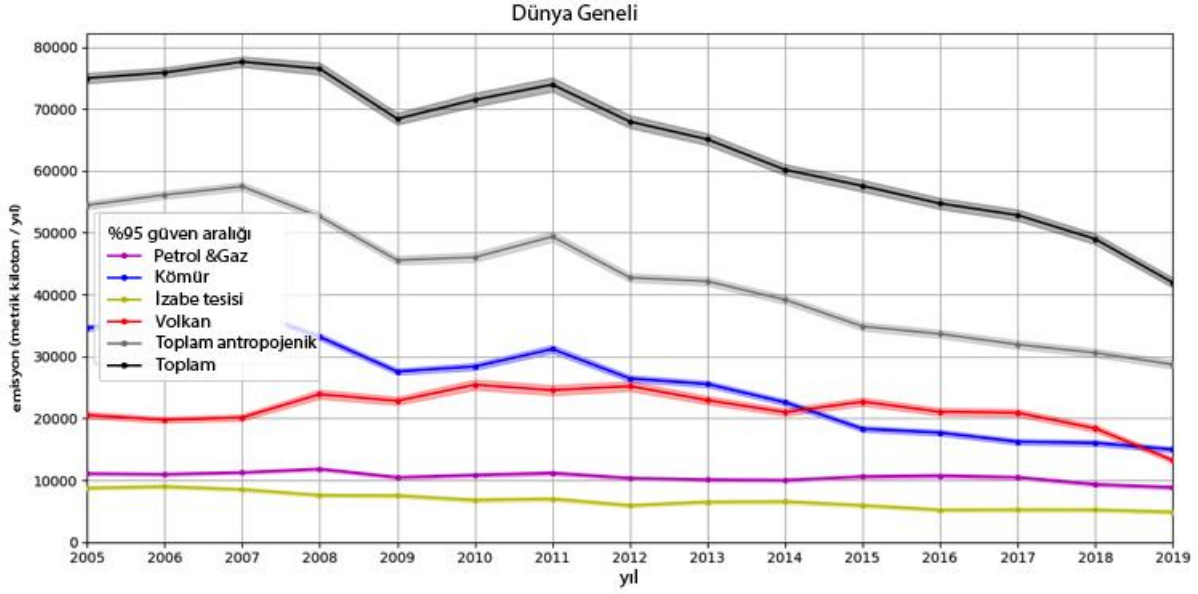
dağılımından etkilenir. Bununla birlikte 2020'den beri gözlemlenen SO₂ kolon miktarlarının analizi, en son trendleri belirlemeye yardımcı olabilir (bkz: **2020 trendleri**).

Bu CREA/Greenpeace analizinde insan kaynaklı SO₂; hem antropojenik hem de volkanik SO₂'yi içeren uydu tarafından gözlemlenen kolon miktarlarından tahmin ediliyor. Ham gözlemler, insan kaynaklı SO₂'yi tahmin etmek için NASA MEaSUREs metodolojisinde belirtilen eşikler kullanılarak filtreleniyor²⁵.

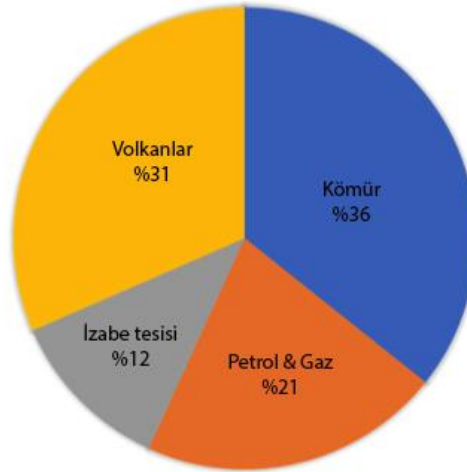
²⁵ Fioletov, V. E. et al. A global catalogue of large SO₂ sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 11497–11519 (2016). <https://doi.org/10.5194/acp-16-11497-2016>

Sonuçlar ve analiz

2019 yılında, MEaSUREs programı tarafından tespit edilen toplam emisyonların üçte ikisi (%68) insan aktiviteleri yüzündendi. SO₂'nin antropojenik kaynakları fosil yakıt tüketiminin yoğun olduğu (kömür yakma, petrol rafinajı ve yanma) ya da izabe ocaklarının yer aldığı bölgelerde görülüyor.

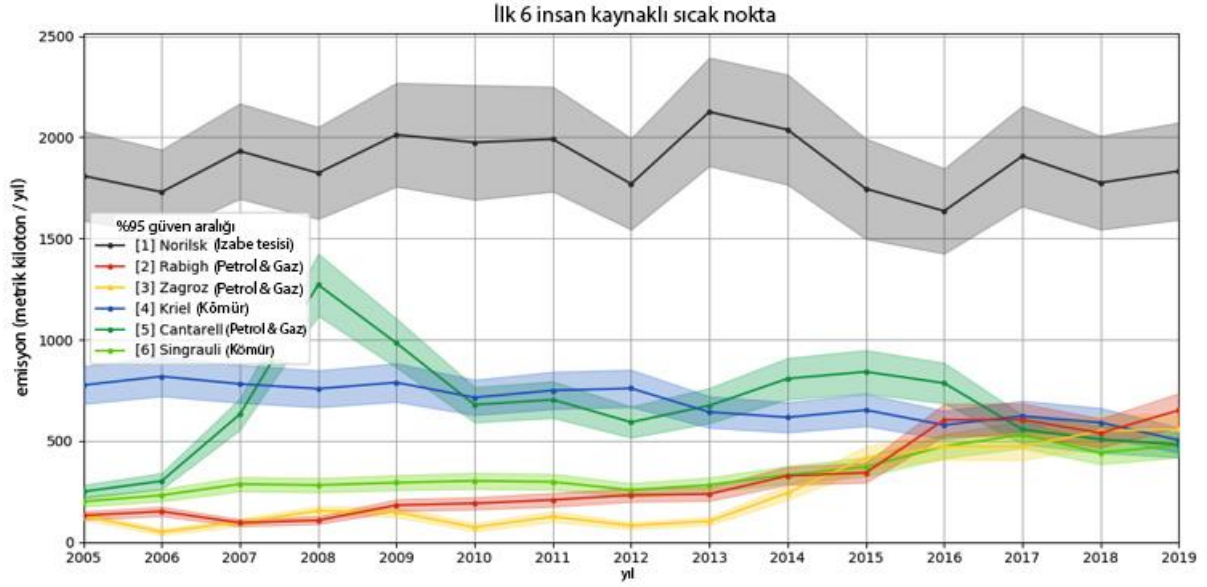


Şekil 3. Büyük sanayi sektörlerinin ve doğal kaynakların (volkanlar) 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına küresel katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs.



Şekil 4: Büyük sanayi sektörlerinin ve doğal kaynakların (volkanlar) 2019'da toplam SO₂ emisyonlarına küresel katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs.

SO₂'nin dünya çapındaki antropojenik kaynaklarının %36'sını elektrik üretimi ve endüstriler için kömür yakmanın yaygın olduğu bölgeler; %21'ini petrol ve gaz rafinajı ya da yanmanın baskın olduğu bölgeler; %12'sini ise izabe ocaklarının yoğun olduğu bölgeler oluşturuyor (Şekil 3, Şekil 4, Tablo 1).



Şekil 5. En büyük altı antropojenik SO₂ emisyon kaynağının 2005-2019 yılları arasındaki katkıları (kiloton/yıl).
Veri kaynağı: NASA MEaSUREs.

Rusya'daki Norilsk (Норильск) izabe tesisi dünyadaki en büyük insan kaynaklı SO₂ sıcak emisyon noktası olmaya devam ediyor²⁶. Hemen ardından ise Suudi Arabistan'daki Rabigh ve İran'daki Zagroz petrol & gaz sıcak noktaları ile Güney Afrika'nın Mpumalanga eyaletindeki Kriel kömür yakma bölgesi geliyor (Şekil 5, Tablo 2). Meksika'daki Cantarell ve Hindistan'daki Singrauli²⁷ gibi yüksek kömür tüketiminin ya da petrol & gaz rafinajı ve yakımının gerçekleştiği diğer ülkelerdeki yüksek SO₂ emisyonları yüksek fosil yakıt tüketiminden ve bağlayıcı emisyon standartlarının yavaş uygulanmasından kaynaklanıyor.

²⁶ Çoğu durumda, bir bölgedeki toplam emisyonlar kesin bir kaynağa atfedilemez çünkü büyük kaynaklardan gelen emisyonlar, yakın çevredeki diğer daha küçük katılımcıların emisyonlarını engelleyebilir. Kümelenmede birden fazla endüstrinin bulunduğu yerlerde, diğer tüm kaynakları temsil etmek için en büyük kaynakları (kömür, petrol ve gaz veya izabe tesisi) alıyoruz.

²⁷ Çoğu durumda, bir bölgedeki toplam emisyonlar kesin bir kaynağa atfedilemez çünkü büyük kaynaklardan gelen emisyonlar, yakın çevredeki diğer daha küçük katılımcıların emisyonlarını engelleyebilir. Kümelenmede birden fazla endüstrinin bulunduğu yerlerde, diğer tüm kaynakları temsil etmek için en büyük kaynakları (kömür, petrol ve gaz veya izabe tesisi) alıyoruz.

Tablo 1: Büyük sanayi sektörlerinin ve doğal kaynakların (volkanlar) 2018 ve 2019'da toplam SO₂ emisyonlarına küresel katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs.

| 2018 & 2019'da tüm kaynaklardan gelen SO ₂ emisyonları (kt/yıl) | | |
|--|--------|--------|
| Kaynak | 2018 | 2019 |
| Kömür | 16,038 | 14,972 |
| Petrol & Gaz | 9,337 | 8,850 |
| İzabe tesisi | 5,229 | 4,883 |
| Volkanlar | 18,384 | 13,227 |
| Toplam | 48,987 | 41,932 |

Tablo 2: İlk 50 antropojenik sıcak SO₂ emisyon noktası. Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (Yukarıda açıklandığı gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır)

| Sıra | Sıcak nokta | Ülke / Bölge | Kaynak türü | Emisyonlar 2019 (kt) (%95 – güven aralığı) | | |
|------|----------------|-----------------|--------------|---|--------------|---------------|
| | | | | En iyi tahmin | Düşük tahmin | Yüksek tahmin |
| 1 | Norilsk | Rusya | İzabe tesisi | 1,833 | 1,598 | 2,068 |
| 2 | Rabigh | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 652 | 569 | 735 |
| 3 | Zagroz | İran | Petrol & Gaz | 558 | 484 | 632 |
| 4 | Kriel | Güney Afrika | Kömür | 504 | 443 | 564 |
| 5 | Cantarell | Meksika | Petrol & Gaz | 482 | 420 | 544 |
| 6 | Singrauli | Hindistan | Kömür | 479 | 420 | 538 |
| 7 | Reforma | Meksika | Petrol & Gaz | 415 | 349 | 481 |
| 8 | Ilo | Peru | İzabe tesisi | 414 | 338 | 489 |
| 9 | Matimba | Güney Afrika | Kömür | 362 | 319 | 406 |
| 10 | Al Doha | Kuveyt | Petrol & Gaz | 351 | 307 | 395 |
| 11 | Kemerköy | Türkiye | Kömür | 328 | 280 | 376 |
| 12 | Afşin Elbistan | Türkiye | Kömür | 307 | 266 | 348 |
| 13 | Shaiba | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 301 | 260 | 342 |
| 14 | Neyveli | Hindistan | Kömür | 299 | 260 | 338 |
| 15 | Fereidoon | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 291 | 243 | 339 |
| 16 | Sarcheshmeh | İran | İzabe tesisi | 289 | 253 | 326 |
| 17 | Korba | Hindistan | Kömür | 282 | 244 | 320 |

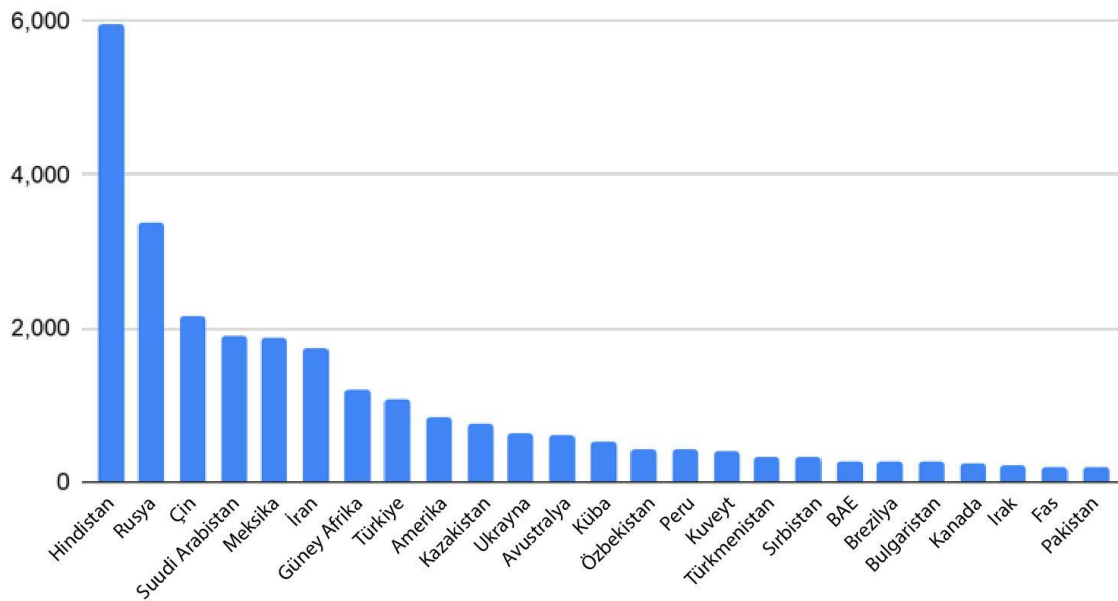
| | | | | | | |
|----|---------------------------------|---------------------------|--------------|-----|-----|-----|
| 18 | Das Island | Birleşik Arap Emirlikleri | Petrol & Gaz | 271 | 229 | 312 |
| 19 | Mubarek | Özbekistan | Petrol & Gaz | 245 | 212 | 278 |
| 20 | Jeddah | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 233 | 197 | 268 |
| 21 | Talcher | Hindistan | Kömür | 221 | 189 | 253 |
| 22 | Mt Isa | Avustralya | İzabe tesisi | 208 | 180 | 237 |
| 23 | Tula | Meksika | Petrol & Gaz | 200 | 170 | 230 |
| 24 | Nikola Tesla | Sırbistan | Kömür | 197 | 158 | 236 |
| 25 | Almalyk | Özbekistan | İzabe tesisi | 188 | 162 | 215 |
| 26 | Kurakhovskaya | Ukrayna | Kömür | 180 | 142 | 218 |
| 27 | Visakhapatnam | Hindistan | Kömür | 172 | 141 | 203 |
| 28 | Maritsa East industrial complex | Bulgaristan | Kömür | 170 | 135 | 205 |
| 29 | Mundra | Hindistan | Kömür | 164 | 135 | 193 |
| 30 | Khangiran | İran | Petrol & Gaz | 162 | 139 | 185 |
| 31 | Kutch | Hindistan | Kömür | 161 | 136 | 186 |
| 32 | Koradi | Hindistan | Kömür | 158 | 134 | 182 |
| 33 | Zhezkazgan | Kazakistan | Kömür | 155 | 125 | 185 |
| 34 | Jubail | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 154 | 128 | 180 |
| 35 | Majuba | Suudi Arabistan | Kömür | 149 | 125 | 173 |
| 36 | Chennai | Hindistan | Kömür | 142 | 119 | 166 |
| 37 | Vuglegirska | Ukrayna | Kömür | 138 | 100 | 177 |
| 38 | Ekibastuz | Kazakistan | Kömür | 137 | 96 | 179 |
| 39 | Pavlodar | Kazakistan | Kömür | 136 | 96 | 175 |
| 40 | Chandrapur, Maharashtra | Hindistan | Kömür | 135 | 115 | 156 |
| 41 | Lethabo | Güney Afrika | Kömür | 135 | 114 | 156 |
| 42 | Bağdat | Irak | Petrol & Gaz | 134 | 113 | 155 |
| 43 | Tuzla | Bosna Hersek | Kömür | 132 | 99 | 165 |
| 44 | Tuxpan | Meksika | Petrol & Gaz | 130 | 103 | 158 |
| 45 | Nuevitas | Küba | Petrol & Gaz | 130 | 104 | 156 |

| | | | | | | |
|----|---------------|-----------|--------------|-----|-----|-----|
| 46 | Suralaya | Endonezya | Kömür | 128 | 108 | 149 |
| 47 | Singapur | Singapur | Petrol & Gaz | 127 | 102 | 152 |
| 48 | Wuan | Çin | Kömür | 125 | 100 | 151 |
| 49 | Nicaró | Küba | İzabe tesisi | 125 | 100 | 150 |
| 50 | Novocherkassk | Rusya | Kömür | 121 | 77 | 165 |

Ülkeler emisyon yayan endüstrilerin varlığına, emisyon düzenlemelerinin bağlayıcılığına ve uygulanmasına bağlı olarak farklı seviyelerde SO₂ emisyonuna sahiptir (Şekil 6; Tablo 2). SO₂ kirliliğinin en büyük kaynakları aşağıda tartışılmaktadır; tam veri seti, aşağıdaki adreste yer alan interaktif haritadan incelenebilir:

https://energyandcleanair.github.io/202008_hotspots/

2019'da en fazla insan kaynaklı SO₂ yayan ilk 25 ülke



Şekil 6: 2019'da en fazla insan kaynaklı SO₂ yayan 25 ülke (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs.

Tablo 3: NASA'nın tahminlerine göre, 2018 ve 2019'da en fazla insan kaynaklı SO₂ yayan 25 ülke (kiloton / yıl)²⁸. Belirsizlik aralığı ve anlatım şeması için Tablo A1 ve Table A2'ye bakın. Veri kaynağı: NASA MEASURES.

| Sıra | Ülke / Bölge | 2018 | 2019 | Görelî değişim | Değişim yönü | Değişim yönüne güven |
|------|---------------------------|--------|--------|----------------|--------------|----------------------|
| - | Tüm dünyada | 30,604 | 28,704 | -6% | Aşağı | Kesin |
| 1 | Hindistan | 6,329 | 5,953 | -6% | Aşağı | Kesin |
| 2 | Rusya | 3,635 | 3,362 | -8% | Aşağı | Muhtemel |
| 3 | Çin | 2,263 | 2,156 | -5% | Aşağı | Muhtemel |
| 4 | Suudi Arabistan | 1,861 | 1,910 | 3% | Belirsiz | |
| 5 | Meksika | 1,809 | 1,873 | 4% | Yukarı | Muhtemel |
| 6 | İran | 1,977 | 1,746 | -12% | Aşağı | Kesin |
| 7 | Güney Afrika | 1,388 | 1,187 | -15% | Aşağı | Kesin |
| 8 | Türkiye | 938 | 1,072 | 14% | Yukarı | Çok muhtemel |
| 9 | ABD | 864 | 823 | -5% | Belirsiz | |
| 10 | Kazakistan | 776 | 760 | -2% | Belirsiz | |
| 11 | Ukrayna | 861 | 628 | -27% | Aşağı | Kesin |
| 12 | Avustralya | 627 | 610 | -3% | Belirsiz | |
| 13 | Küba | 543 | 530 | -2% | Belirsiz | |
| 14 | Özbekistan | 319 | 433 | 36% | Yukarı | Kesin |
| 15 | Peru | 396 | 414 | 5% | Belirsiz | |
| 16 | Kuveyt | 394 | 396 | 1% | Belirsiz | |
| 17 | Türkmenistan | 251 | 325 | 30% | Yukarı | Kesin |
| 18 | Sırbistan | 349 | 309 | -12% | Aşağı | Muhtemel |
| 19 | Birleşik Arap Emirlikleri | 419 | 271 | -35% | Aşağı | Kesin |
| 20 | Brezilya | 205 | 262 | 28% | Yukarı | Muhtemel |
| 21 | Bulgaristan | 263 | 258 | -2% | Belirsiz | |
| 22 | Kanada | 187 | 240 | 28% | Belirsiz | |
| 23 | Irak | 370 | 223 | -40% | Aşağı | Kesin |
| 24 | Fas | 171 | 197 | 15% | Yukarı | Muhtemel |

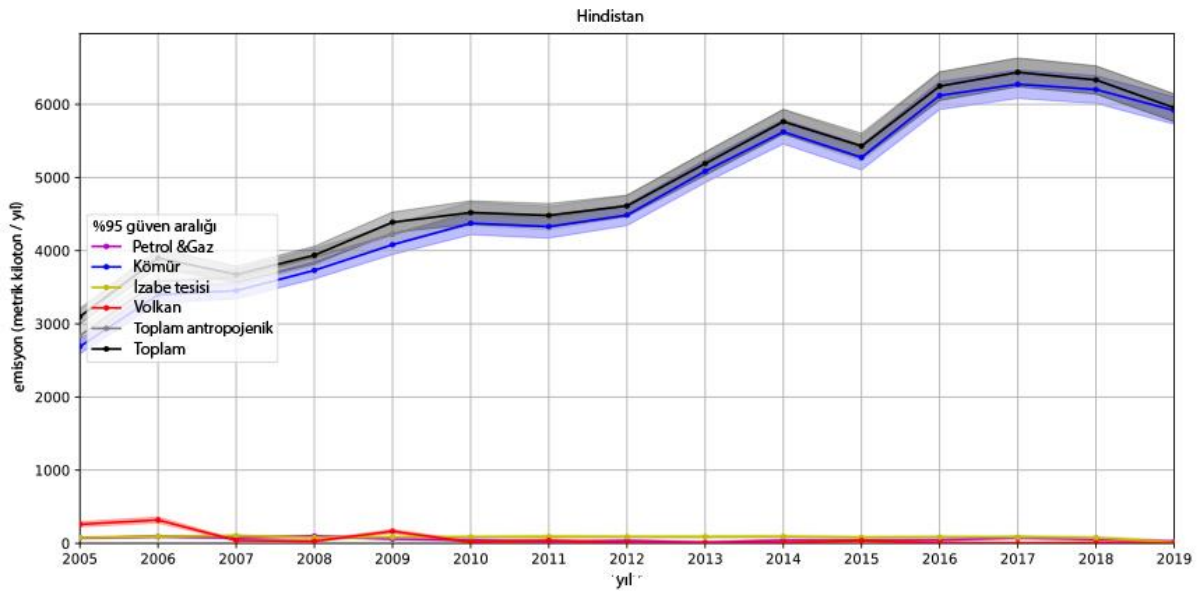
²⁸ Brezilya ve Peru'ya ait rakamları dikkatle değerlendirmek gerekir; bunun için Metodoloji bölümündeki Güney Atlantik Anomalisi başlığına göz atabilirsiniz.

| | | | | | | |
|----|----------|-----|-----|------|-------|--------------|
| 25 | Pakistan | 235 | 180 | -23% | Aşağı | Çok muhtemel |
|----|----------|-----|-----|------|-------|--------------|

Coğrafi bölgeler

Aşağıdaki bölüm, dünyanın en yüksek küresel SO₂ emisyonlarından sorumlu olan bölgelere genel bir bakış sunuyor; yüksek emisyonların nedenlerini, emisyon trendlerini ve bu emisyonların gelecekte nasıl değişebileceğini tartışıyor.

Hindistan



Şekil 7. Hindistan'daki büyük sanayi sektörlerinin ve doğal kaynakların (volkanlar) 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).

Hindistan dünyadaki en büyük SO₂ emisyon yayıcısı olarak biliniyor; NASA MEaSUREs kataloğuna göre küresel insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının %21'inden fazlasına katkıda bulunuyor. Hindistan'ın SO₂ emisyonları 2019 yılında yaklaşık %6 oranında düşüş gösterdi; bu, son dört yılın ilk düşüşü olarak kayıtlara geçti. Ancak bu düşüşe rağmen, Hindistan'ın emisyonları hala oldukça yüksek. Hindistan'ın yüksek emisyon çıktısının birincil nedeni son yirmi yılda kömür bazlı elektrik üretiminin artması (Şekil 7). Hindistan'daki santrallerin büyük bir çoğunluğunda hava kirleticilerin neden olduğu emisyonları azaltmak için baca gazı desülfürizasyon teknolojisi bulunmuyor. Termik santraller (ya da termik santral kümeleri) ülkedeki başlıca sıcak emisyon noktalarını oluşturuyor: Singrauli²⁹, Neyveli, Sipat, Mundra, Korba, Bonda, Tamnar, Talcher, Jharsuguda, Korba, Kutch, Chennai, Ramagundam, Chandrapur ve Koradi.

²⁹ Orijinal NASA veri setinde 'Vindhyachal' olarak adlandırılıyor.

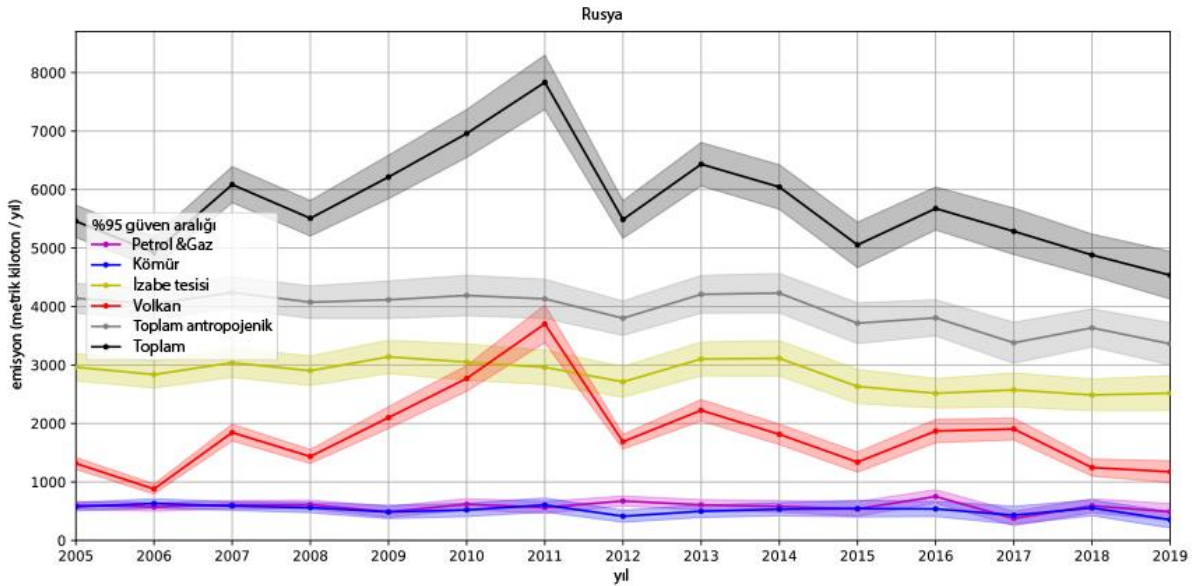
Çevre, Orman ve İklim Değişikliği Bakanlığı (MoEF&CC) artan kirlilik seviyeleriyle mücadele etmenin ilk adımı olarak, Aralık 2015’de ilk defa kömürlü termik santraller için SO₂ emisyon limitleri getirdi ama ünitelerin tümü verilen süre içinde bu teknolojiyi karşılamada başarısız olunca, santrallerdeki baca gazı desülfürizasyon kurulumu için belirlenen tarih 2017’den 2022’ye kaydırıldı³⁰.

Raporlara göre, Temmuz 2020’ye kadar aşamalı zaman çizelgelerine (farklı üniteler için kademeli zaman çizelgesine) sahip olan pek çok santral uzatılan süreye rağmen baca gazı desülfürizasyon kurulumunu gerçekleştiremedi. Dolayısıyla şu anda standartlara uymadan faaliyet gösteriyorlar.³¹ Diğer pek çok santral ise son tarihi Aralık 2022 olan aşamalı zaman çizelgesinde çok az ilerleme kaydettiği için “standartlara uygunsuzluk” riskiyle karşı karşıya³².

Bu yıl, Hindistan hükümeti emisyon standartlarını karşılamayan eski termik santralleri kapatma tavsiyesinde bulundu³³, aynı zamanda hava kirliliği krizine değinmek için 4,400 karar’luk (yaklaşık 600 milyon ABD \$) bütçe ayırdı³⁴.

Olumlu tarafından bakacak olursak, Hindistan yeşil enerjiye geçmeye başladı ve dünyanın en iddialı yenilenebilir enerji hedeflerinden birini belirledi. Ülke yenilenebilir enerji sektörünü teşvik etmek için pek çok adım attı. Ülkedeki elektrik sektöründe yenilenebilir enerji kapasitesi artıyor ve 2019/2020 mali yılında Hindistan’ın yeni kapasite ilavelerinin üçte ikisinden fazlasını sağlıyor³⁵.

Rusya



Şekil 8. Rusya’daki büyük sanayi sektörlerinin ve doğal kaynakların (volkanlar) 2005’ten 2019’a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).

³⁰ 70% power plants won’t meet emission standards by 2022 deadline: CSE. The Hindu. <https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/70-power-plants-wont-meet-emission-standards-by-2022-deadline-cse/article31642317.ece>

³¹ MoEF&CC. The Gazette of India: Extraordinary. Part II, Section 3, Sub-section (ii) S.O. 3305(S). New Delhi 2016. http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Thermal_plant_gazette_scan.pdf

³² 70% power plants won’t meet emission standards by 2022 deadline: CSE. The Hindu. <https://www.thehindu.com/sci-tech/energy-and-environment/70-power-plants-wont-meet-emission-standards-by-2022-deadline-cse/article31642317.ece>

³³ MoEF&CC. The Gazette of India: Extraordinary. Part II, Section 3, Sub-section (ii) S.O. 3305(S). New Delhi 2016. http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Thermal_plant_gazette_scan.pdf

³⁴ Sinha, A. & Ashok, S. ‘Union Budget: Old, polluting coal power stations to be closed’ Şubat, 2, 2020. The Indian Express. <https://indianexpress.com/article/india/union-budget-old-polluting-coal-power-stations-to-be-closed-says-fm-6246629/> [Erişim: Eylül 23, 2020].

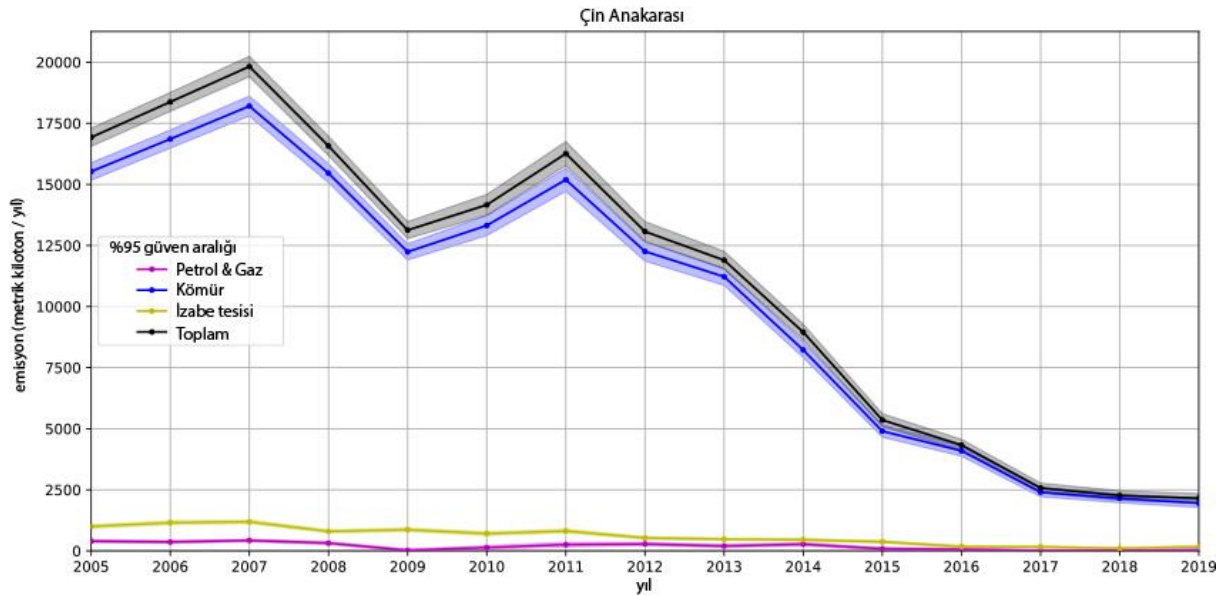
³⁵ Garg, V. ‘IEEFA India: Investment trends in renewable energy 2019/20’ Haziran 9, 2020. <https://ieefa.org/ieefa-india-investment-trends-in-renewable-energy-2019-20/> [Erişim: Eylül 23, 2020].

Rusya küresel insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının yaklaşık %12'sini yayıyor ve Hindistan'dan sonra en büyük ikinci SO₂ yayıcısı olarak biliniyor. Rusya'nın insan kaynaklı SO₂ emisyonları son 15 yılda nispeten sabit kaldı, bir yıl düşüş görüldüyse bir sonraki yıldaki sıçrama ile durum sıfırlanmış oldu. Veriler, emisyonlarda on yılda yaklaşık %10'luk hafif bir uzun vadeli düşüş eğilimi ortaya koyuyor. 2019 yılında Rusya bir önceki yıla kıyasla insan kaynaklı SO₂ emisyonlarını yaklaşık %8 oranında azalttı ve 15 yılın en düşük değerine ulaştı. NASA'nın tahminlerine göre, sıcak kömür noktaları bu düşüşün üçte ikisinden sorumlu; geri kalan üçte birlik oranı petrol ve gaz oluştururken, izabe tesisi emisyonları hafif bir artış gösterdi. Emisyonlardaki bu düşüş kısmen 2019'daki kömür bazlı elektrik üretimindeki azalmayla (%-4) ve petrol rafineri kapasitesiyle (%-0.6) açıklanabilir.³⁶

İzabe tesisleri insan kaynaklı emisyonların yaklaşık %75'i ile ülkedeki en büyük SO₂ yayıcı sanayi sektörü olma özelliğini taşıyor. Bunu %15 ile petrol & gaz ve %10 ile kömür takip ediyor (Şekil 8). Arktik izabe tesisi Norilsk SO₂ emisyonlarında dünyanın en büyük sıcak noktası olarak biliniyor ve Rusya'nın toplam insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının %50'sinden, hatta daha fazlasından sorumlu. İzabe tesislerine, kömür yakma tesislerine ve gaz rafinerilerine ev sahipliği yapan Novochoerkassk, Nikel³⁷ ve Kirovgrad da Rusya'nın başlıca SO₂ sıcak noktaları arasında yer alıyor.

Bu noktada NASA tahminlerindeki dikkate değer belirsizlik payını da unutmamak gerek. SO₂ seviyelerine uydu erişimi, yüksek enlemde yer alan Norilsk ve Nikel de dahil olmak üzere belirli sıcak noktalarda yılda yalnızca dört ay mevcut. Resmi rakamların 2019'da toplam insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının sabit kaldığını (+% 0,3) göstermesi bu belirsizliği artırıyor.³⁸

Çin



Şekil 9: Çin'deki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).

Dünyanın en büyük üçüncü SO₂ yayıcısı olan Çin, 2019'da küresel insan kaynaklı SO₂'nin yaklaşık %8'inden sorumluydu. 2010 yılına kadar Çin dünyanın en büyük SO₂ yayıcısıydı çünkü dünyadaki en büyük kömür yakıtı elektrik üretim kapasitesine sahipti. Elektrik üretim sektöründe baca gazı desülfürizasyon sistemleri kurmaya ve

³⁶ BP, Statistical Review of World Energy 2019. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

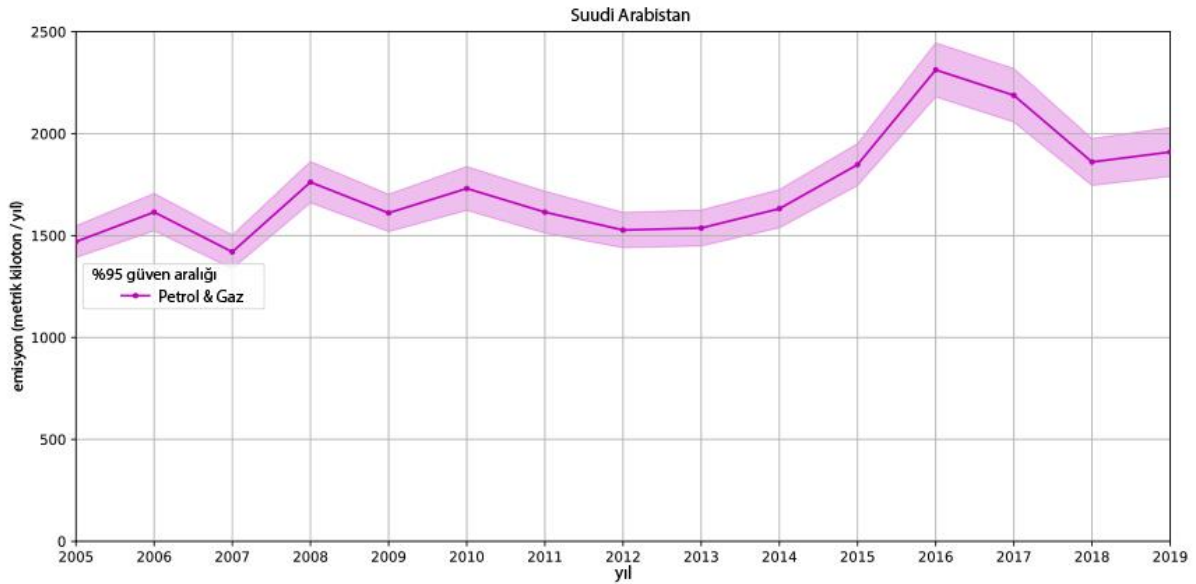
³⁷ NASA veritabanında Nickel olarak yer alıyor.

³⁸ Bu rakam, NASA tarafından değerlendirilen endüstriyel kümelerin ötesinde, insan kaynaklı SO₂'nin tüm kaynaklarını içerir. Federal Devlet İstatistik Servisi. <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>

Ultra-Düşük Emisyon Standartları'nı (gaz jeneratörlerine yakın bir emisyon oranı) uygulamaya başladığından beri, Çin hava kirliliğini azaltmada gözle görülür yol katetti.

2018 yılının sonu itibarıyla Çin kömür filosunun %80'i Ultra-Düşük Emisyon Standartları'nı karşılayacak şekilde güçlendirildi³⁹ ve bu rakam 2019'un sonunda %86'ya çıktı⁴⁰. Çin'in SO₂ emisyonları 2011 yılındaki üst sınır noktasından bu yana %87 oranında düştü. 2019 yılında Çin'in insan kaynaklı SO₂ emisyonları %5 oranında düşüş gösterdi ki bu son on yıldaki en yavaş düşüş oranıydı (Şekil 9). Emisyonların daha da azalması için bir potansiyel söz konusu çünkü Çin, Ultra-Düşük Emisyon Standartları'nı kömür enerjisi sektöründen çelik ve çimentoya doğru genişletiyor. Bununla birlikte Çin'deki hava kalitesi hala DSÖ'nün tavsiye ettiği seviyelerin çok uzağında⁴¹. Bu da ülkenin fosil yakıtlardan uzaklaşma sürecini hızlandırmaya yönelik temel ihtiyacı gözler önüne seriyor.

Suudi Arabistan



Şekil 10: Suudi Arabistan'daki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kilon/yıl).
Veri kaynağı: NASA MEASURES.

Suudi Arabistan dünyadaki en büyük dördüncü SO₂ emisyon yayıcısı olma özelliğini taşıyor. MENA bölgesinde ise ilk sırada yer alıyor. 2017 ve 2018'deki keskin düşüşlerin ardından, Suudi Arabistan'ın SO₂ emisyonları 2019'da hafif bir artış göstergesiyle neredeyse sabit kaldı⁴².

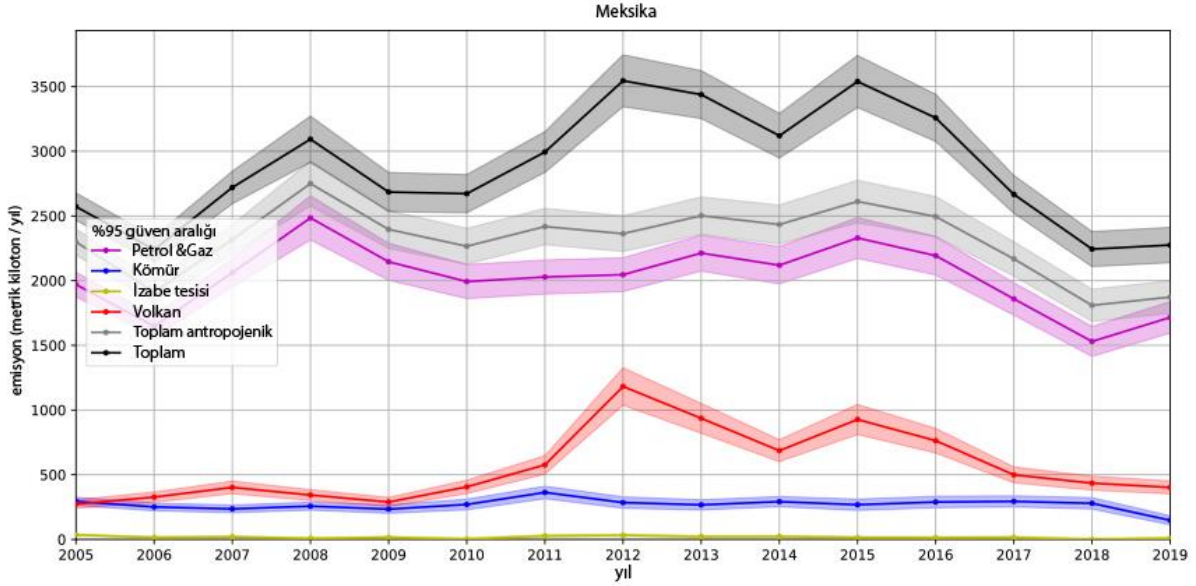
Veri setinde listelenen emisyonlar tamamen petrol ve gaz yakımından kaynaklanıyor (Şekil 10). Ülkedeki en yoğun nüfuslu eyaletlerden biri olan Makkah'ta Rabigh, Shaiba ve Jeddah da dahil olmak üzere büyük SO₂ emisyon kaynağı kümeleri var. Bu üç lokasyondaki petrol santralleri ve petrol rafinerileri 2019 yılında Suudi Arabistan'ın toplam SO₂ emisyonlarının %62'sini açığa çıkardı. Fereidoor Jubail, Yanbu, Al Hofuf, Riyad, Al Hofuf, Uthmaniyah ve Buraydah'daki santral ve rafineriler ise diğer ana SO₂ kaynakları arasında.

³⁹ China Electricity Council, China Power Sector Development Annual Report 2019. <https://cec.org.cn/detail/index.html?3-163895> [Erişim: Eylül 23, 2020].

⁴⁰ China Electricity Council, China Power Sector Development Annual Report 2020. <https://www.cec.org.cn/detail/index.html?3-284218> [Erişim: Eylül 23, 2020].

⁴¹ The Beijing News, Opinion on Air Quality data, Haziran 6, 2019. <http://www.bjnews.com.cn/opinion/2019/06/06/587991.html>

⁴² Gözlemlenen artış veri kesinliğinden çok daha küçük. 2019 değişimi hakkında açık bir değerlendirme yapmak mümkün değil.



Şekil 11: Meksika'daki büyük sanayi sektörlerinin ve doğal kaynakların (volkanlar) 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).

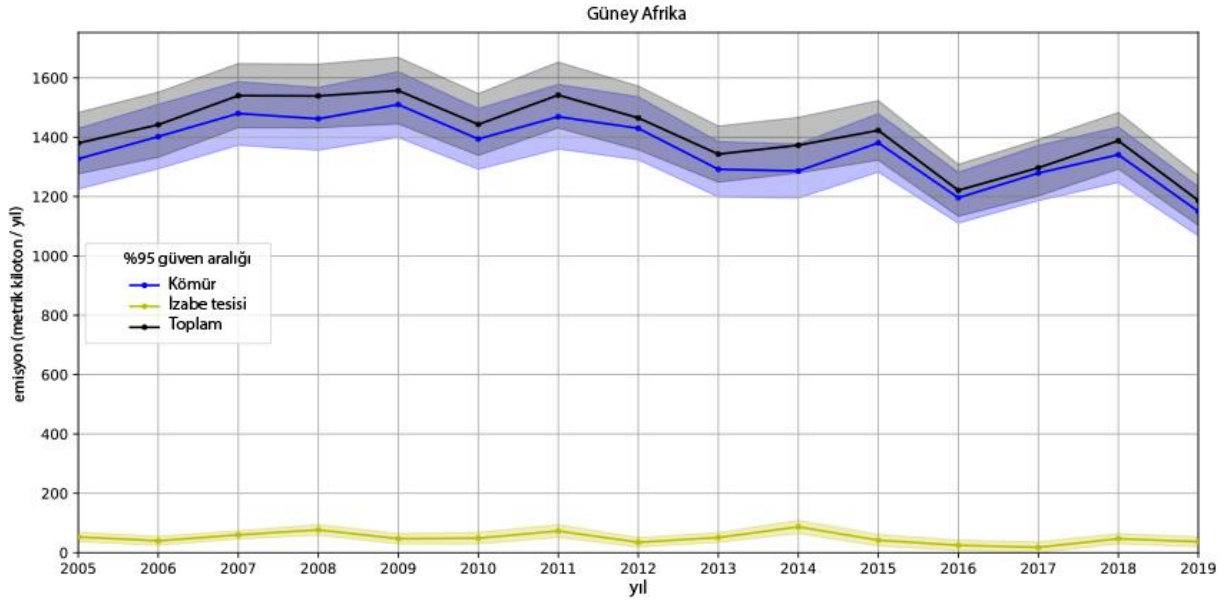
Meksika'daki insan kaynaklı SO₂ emisyonları üç yıl arka arkaya düşüş gösterdikten sonra 2019 yılında ya sabit kaldı ya da hafif bir artış kaydetti⁴³. Meksika'nın insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının %90'undan sorumlu olan petrol ve gaz yakımı 2019'da büyük bir artış gördü. Geri kalan insan kaynaklı emisyonlar kömür yakımından kaynaklandı. Meksika küresel SO₂ emisyonlarını azaltma eğilimini takip etmedi ve ülke şu anda beşinci en büyük küresel SO₂ yayıcısı konumunda.

Meksika'daki petrol sahaları dünyadaki en büyük sıcak noktalar arasında yer alıyor. Cantarell ve Reforma'daki sıcak noktalar tek başlarına ülkenin insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının yaklaşık %48'ini oluşturuyor. Meksika'daki diğer ana SO₂ sıcak noktaları ise Tula ve Tuxpan'ın da dahil olduğu ulusal rafinej sistemi ile akaryakıt santalleri (Şekil 11). Mevcut yönetimin enerji politikası rafinej kapasitesi ile akaryakıt ve kömürden elektrik üretimini artırmayı amaçlıyor. Dolayısıyla, SO₂ emisyonları gelecek yıllarda artabilir ve bu, hava kirliliği düzenlemelerinin zayıf olduğu Mexico gibi büyük kentsel alanlardaki hava kalitesini ciddi şekilde etkileyebilir.

Yüksek miktardaki kirlenici emisyonları kontrol altına almak için gösterilen çabalar ve kömür maliyetlerindeki artış dolayısıyla, kömür yakıtlı elektrik üretimi geçtiğimiz on yılda kademeli olarak azalıyordu (Şekil 11). Ancak önümüzdeki dört yılı kapsayan sektörel enerji programı kömür ve kömürden elektrik üretimini artırmayı planlıyor ve bu, SO₂ emisyonlarında artış görüleceği anlamına geliyor.

⁴³ Veri kesinliği göz önünde bulundurulduğunda, emisyon artışı %76 oranında muhtemel. (bkz: **Tablo A2**).

Güney Afrika



Şekil 12: Güney Afrika'daki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl).

Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).

Güney Afrika'nın SO₂ emisyonları tamamen insan kaynaklı. Ülkenin emisyonları 2019 yılında yaklaşık %15'lik bir düşüş gösterdi ve 15 yıllık kayıtlarda tüm zamanların en düşük seviyesine ulaştı ama hala çok yüksek bir seviyede duruyor (Şekil 12). Yapılan ön analiz SO₂ emisyonlarındaki düşüşün elektrik üretim kapasitesindeki kaybın yarattığı "yük azaltma" dönemlerine denk geldiğini gösteriyor. Bununla birlikte bu, pek çok etkenden biri olabilir; bu düşüşün nedenlerini daha iyi anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç var.

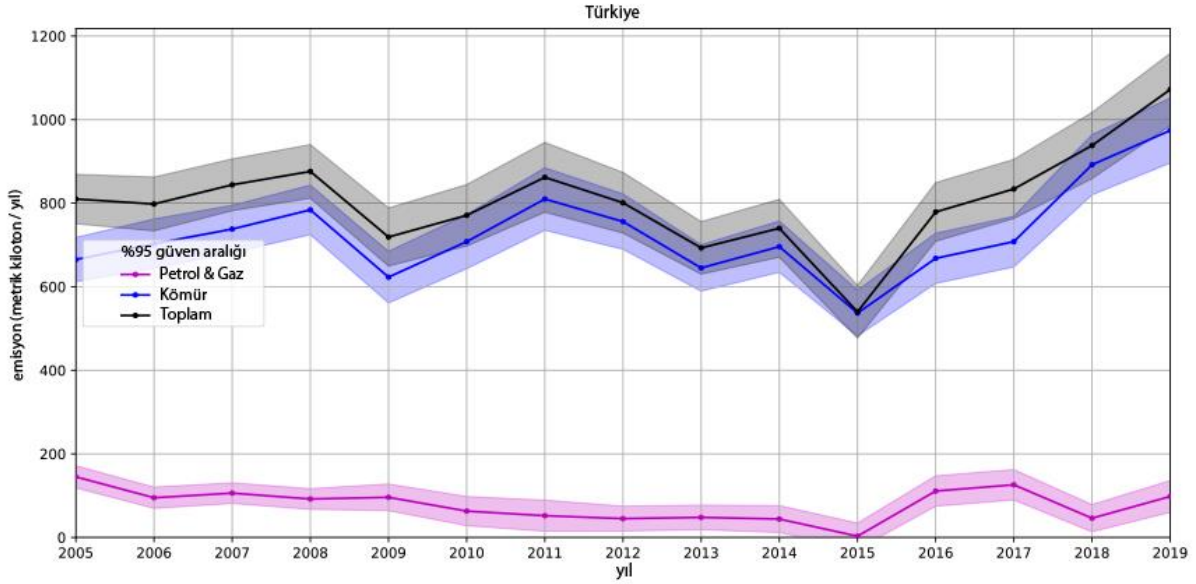
Güney Afrika'daki Mpumalanga eyaleti Afrika'daki SO₂ kirliliğinin en büyük sıcak noktası. Duvha, Kendal ve Kriel kömürlü termik santrallerinin de dahil olduğu Nkangala'daki mega santral kümeleri Mpumalanga içindeki en büyük insan kökenli SO₂ kaynağı olarak öne çıkıyor.

Eyalette 12 kömürlü termik santral var. Bu santraller Güney Afrika'nın en yoğun nüfuslu yerleşimi olan Gauteng City bölgesinin sadece 100-200 km. uzağında yer alıyor. Bu durum bölge sakinleri için büyük bir sağlık endişesi oluşturuyor. Bu santrallerdeki elektrik üretimi Mpumalanga bölgesini, dünya genelinde elektrik üretiminden kaynaklanan SO₂ emisyonlarının en büyük sıcak noktası konumuna getiriyor. Güney Afrika hükümeti bu yıl kömür santralleri için SO₂ emisyon düzenlemelerini esnetti ve izin verilen emisyon oranını iki katına çıkardı. Bölgedeki yoğun SO₂ kirliliğine rağmen, bu değişiklik 1 Nisan 2020'de yürürlüğe girdi⁴⁴. SO₂ emisyon standartlarını gevşetmek, SO₂'ye yönelik düzenlemelere uymayı "maliyetli" olarak nitelendiren elektrik dağıtım şirketlerine doğrudan verilen bir imtiyazdır {Eskom ve Sasol (sentetik yakıt şirketi)}⁴⁵.

⁴⁴ Vlavianos, C. 'SA government gazettes approval for air pollution increases.' Greenpeace Afrika basın bülteni Mart 30, 2020. <https://www.greenpeace.org/africa/en/press/9221/sa-government-gazettes-approval-for-air-pollution-increases/> [Erişim: Eylül 23, 2020].

⁴⁵ Creedy, B. D. Güney Afrika Cumhuriyeti Orman, Balıkçılık ve Çevre Bakanlığı. Kate Handley'e mektup. Temmuz 20, 2020. https://drive.google.com/file/d/1nekGK0_CFh10EwjldodUVck-64oN-Q-y/view

Türkiye



Şekil 13: Türkiye'deki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl).

Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).

Türkiye 2018 yılında atmosfere 1.000 kt'dan fazla insan kaynaklı SO₂ yaydı ve SO₂ yayıcı ilk on ülke arasındaki yerini aldı. Türkiye 2019 yılında ise emisyonlarda gözle görülür bir artış kaydeden (%14) birkaç ülkeden biri oldu ki bu, ülkenin SO₂ emisyonlarının art arda dört yıldır artış gösterdiğine işaret ediyor. Türkiye'nin 2019 yılındaki SO₂ emisyonları 2015 yılında kaydedilen oranın iki katıydı. Türkiye 2018 yılında onuncu sıradayken, şu anda sekizinci en büyük SO₂ yayıcısı olarak öne çıkıyor. Kömür bazlı enerji üretimi Türkiye'deki SO₂ emisyonlarının ana kaynağı olmaya devam ediyor (Şekil 13)⁴⁶.

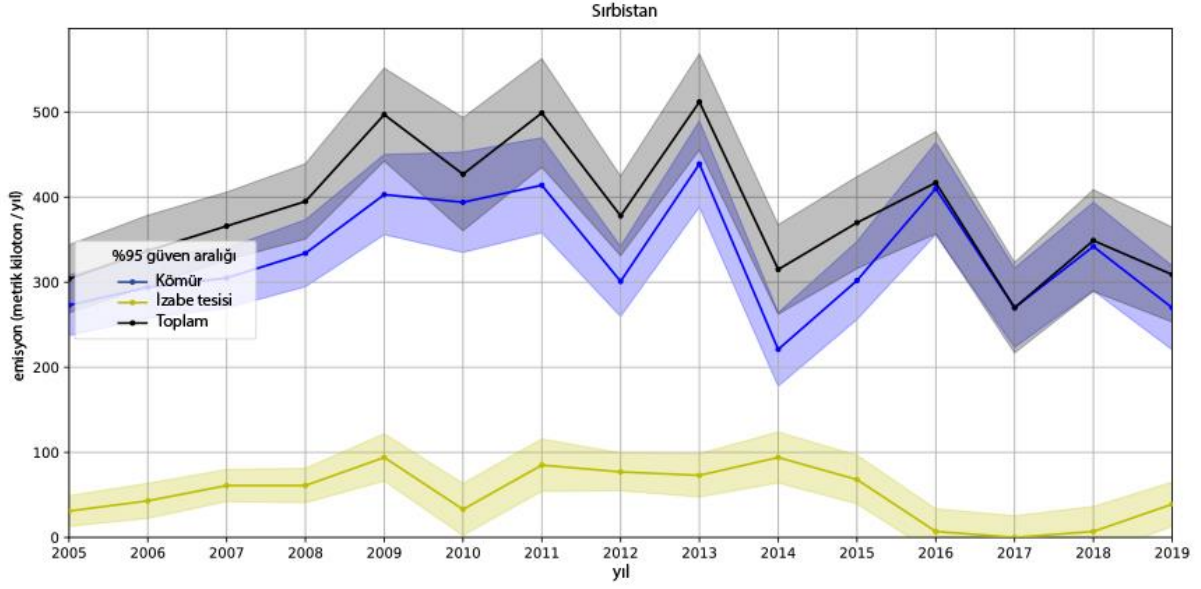
Muğla'daki ana SO₂ sıcak nokta kümesi Kemerköy, Yeniköy ve Yatağan kömürlü termik santrallerinin birleşiminden oluşuyor ve Türkiye'deki en büyük sıcak emisyon noktası olma özelliğini taşıyor. Bu küme aynı zamanda dünyadaki on birinci en büyük insan kökenli emisyon kaynağı olarak biliniyor; bunu Kangal kömürlü termik santralının civarındaki bölge ve Afşin Elbistan kömürlü termik santralleri takip ediyor.

Türkiye için tahminler SO₂ emisyonlarındaki artış trendinin devam edeceği yönünde çünkü hükümet yeni linyit kömürü madenleri ile ulusal kömür gücü kapasitesini artırmayı hedefliyor. Türkiye, inşaat öncesi aşamadaki 31,7 GW'lık kömürlü termik santral projesi ile Çin'den sonra en yüksek kapasiteye sahip ikinci ülke olarak öne çıkıyor⁴⁷. Toplumsal muhalefete ve ekonomik krize rağmen Hükümet kapasite mekanizmaları ödemeleri aracılığıyla, yaşı geçen kömür santrallerinin hizmet sürelerini uzatmasına destek olmaya devam ediyor. Bu faktörler bir araya geldiğinde, Türkiye'yi önümüzdeki yıllarda SO₂ sıralamasında daha üst sıralara taşıyabilir.

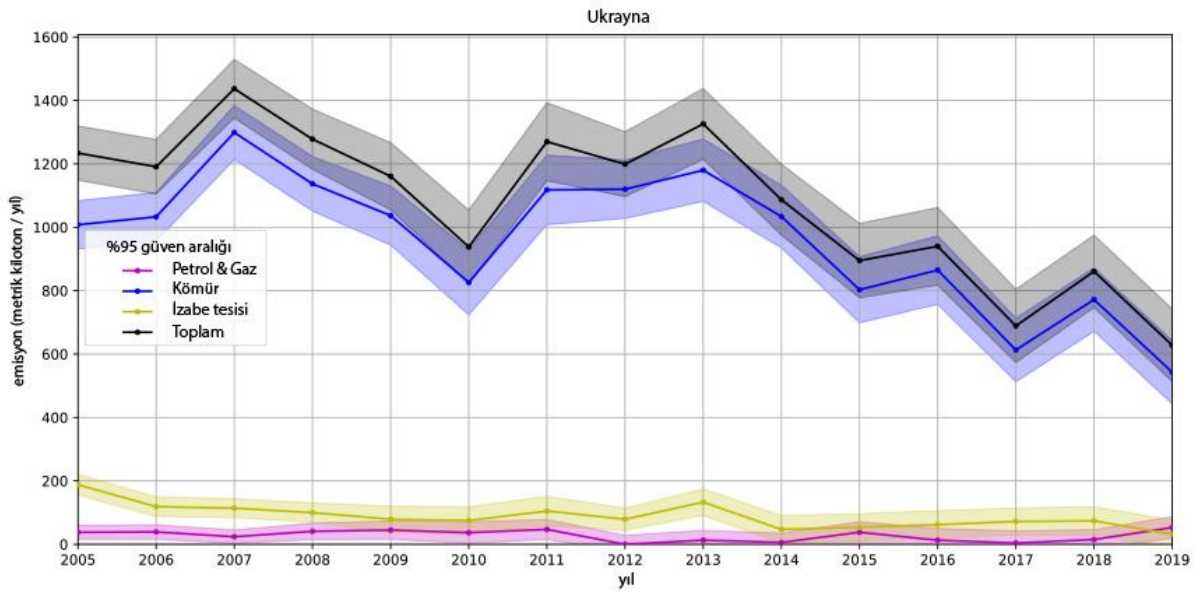
⁴⁶ Çevre Mühendisleri Odası (2020). Hava Kirliliği Raporu 2019, Ankara. http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/7666bf4c3e1e4bb_ek.pdf [Erişim Eylül 23, 2020].

⁴⁷ Shearer, C. et al. Boom and Bust 2020: Tracking the Global Coal Plant Pipeline. Global Energy Monitor, Greenpeace Uluslararası, CREA ve Sierra Club (2020). https://endcoal.org/wp-content/uploads/2020/03/BoomAndBust_2020_English.pdf [Erişim: Eylül 23, 2020].

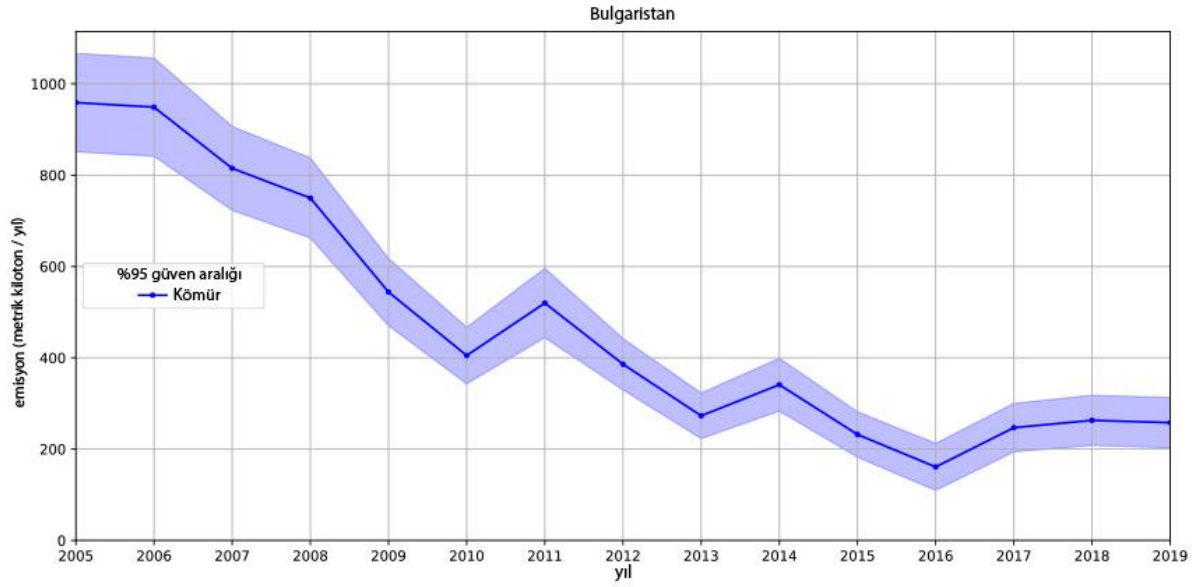
Avrupa



Şekil 14: Sırbistan'daki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).



Şekil 15: Ukrayna'daki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden sınıflandırılmıştır).



Şekil 16: Bulgaristan'daki büyük sanayi sektörlerinin 2005'ten 2019'a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, yeniden sınıflandırılmıştır).

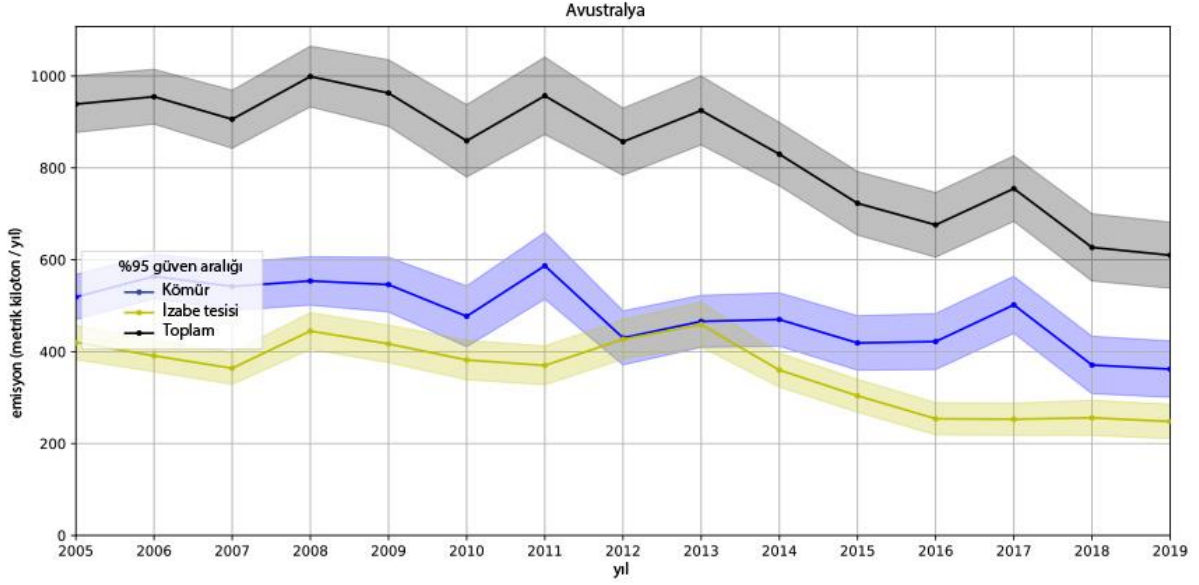
Ukrayna, Sırbistan ve Bulgaristan Avrupa'daki en büyük SO₂ yayıcıları olarak biliniyor, üçü de dünyadaki büyük yirmi beş SO₂ yayıcısı listesinde yer alıyor. Bulgaristan listedeki tek AB ülkesi. Kömür yakımı üç ülkede de SO₂ emisyonlarının ana kaynağı. 2019 yılında Sırbistan (Şekil 14) ve Ukrayna'da (Şekil 15) kömür kaynaklı emisyonlar azalırken, Bulgaristan'da (Şekil 16) sabit kaldı. Sırbistan'da izabe tesislerinden kaynaklanan emisyonlardaki artış, düşüşü kısmen dengeledi.

2017 yılında Avrupa Birliği kömürlü termik santraller için katı SO₂ emisyon limitleri benimsedi ancak Bulgaristan yönetimi bu yeni kuralların karşısında duruyor ve santrallerin AB yasasının mücade ettiğinden daha fazla emisyon salmasına izin vermeye devam ediyor. Ayrıca kömürü aşamalı olarak terk etme konusunda adım atmak yerine, kurallardan muaf tutulmanın yollarını arıyor. Balkan Yarımadası'ndaki en büyük kömürlü termik santrallerden birinin (devlete ait Maritsa East 2) Endüstriyel Emisyonlar Direktifi'nde SO₂ için belirlenen AB sınırının dört katından fazlasını yaymasına izin verildi^{48,49}.

⁴⁸ Greenpeace Bulgaristan. "For the Earth - access to justice appeals the derogation of TPP Maritsa East 2 and insists that the company prove that it has a plan for a cleaner future." Greenpeace Bulgaristan basın bülteni Ocak 24, 2019. <https://www.greenpeace.org/bulgaria/press/1377> (Bulgarca) [Erişim: Eylül 14, 2020]

⁴⁹ Doyle, D. & Stoilova, R. The Balkans' biggest power station – why thinking beyond Maritsa East 2 matters.' Energypost.eu news report Eylül 3, 2019. <https://energypost.eu/the-balkans-biggest-power-station-why-thinking-beyond-maritsa-east-2-matters/> (İngilizce) [Erişim: Eylül 14, 2020].

Avustralya

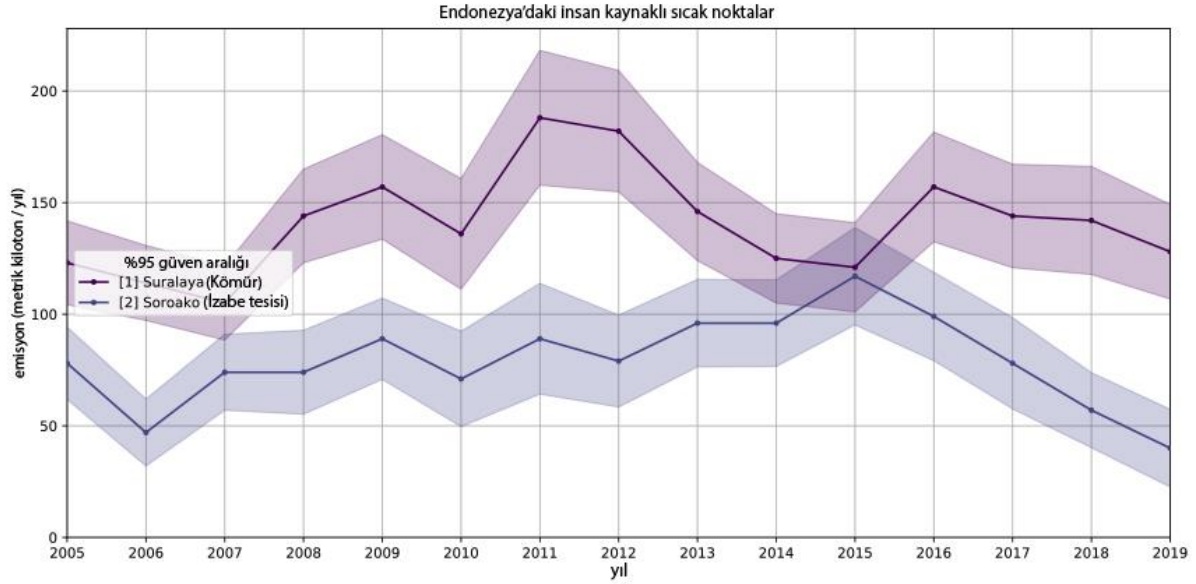


Şekil 17: Avustralya’da büyük sanayi sektörlerinin 2005’ten 2019’a kadar toplam SO₂ emisyonlarına katkıları (kiloton/yıl). Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, yeniden sınıflandırılmıştır).

Avustralya’nın SO₂ emisyonları tamamen insan kaynaklı. Avustralya 2019 yılında dünyadaki en büyük SO₂ yayıcıları listesinde 12. sıradaydı (tıpkı 2018’de olduğu gibi) çünkü emisyonlarda kayda değer herhangi bir azalma gerçekleştirilemedi. Avustralya’daki SO₂ kirliliğinin en büyük sıcak noktalarından biri Queensland, Mount Isa’daki kurşun & bakır izabe tesislerinin yer aldığı madencilik faaliyetleri kompleksi. Bunu New South Wales’deki Lake Macquarie ve Hunter Valley ile Victoria’daki Latrobe Valley izliyor. Dört lokasyonda da kömürlü termik santraller yüksek SO₂ emisyonlarına katkıda bulunuyor (Şekil 17).

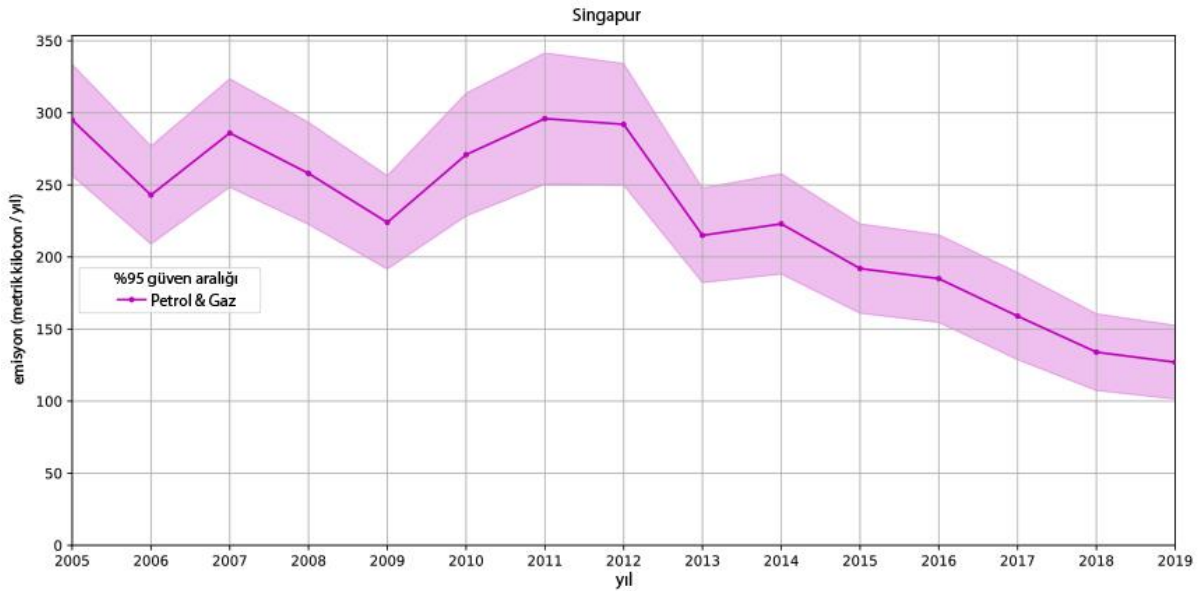
Küresel açıdan önemli SO₂ sıcak noktalarına sahip olmasına rağmen, ülkede SO₂ emisyonlarını kontrol etmek için baca gazı desülfürizasyon teknolojisiyle donatılan herhangi bir kömürlü termik santral yok ve SO₂ kirlilik sınırları ya çok zayıf ya da mevcut değil. Bu, Avustralya’nın kirlilik düzenlemesi sistemini Çin, ABD ve AB gibi ülkelerin gerisinde bırakıyor.

Güneydoğu Asya



Şekil 18: 2005'den 2019'a kadar Endonezya'daki en büyük sıcak noktalardan yayılan SO₂ emisyonları (kiloton/yıl).

Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).



Şekil 19: 2005'den 2019'a kadar Singapur'daki en büyük sıcak noktalardan yayılan SO₂ emisyonları (kiloton/yıl).

Veri kaynağı: NASA MEaSUREs.

2019 yılında Endonezya (Şekil 18) ve Singapur (Şekil 19) Güneydoğu Asya'daki insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının yaklaşık %90'ından sorumluydu; geri kalan pay ise Tayland'dan gelen kömür emisyonlarına aitti. Endonezya'daki SO₂'nin çoğunluğu volkanik faaliyetten kaynaklanıyor ve 2019 emisyonları genel olarak azalmış durumda ancak buna rağmen Banten Suralaya enerji kompleksi, ülkedeki insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının dörtte üçünü oluşturuyor.

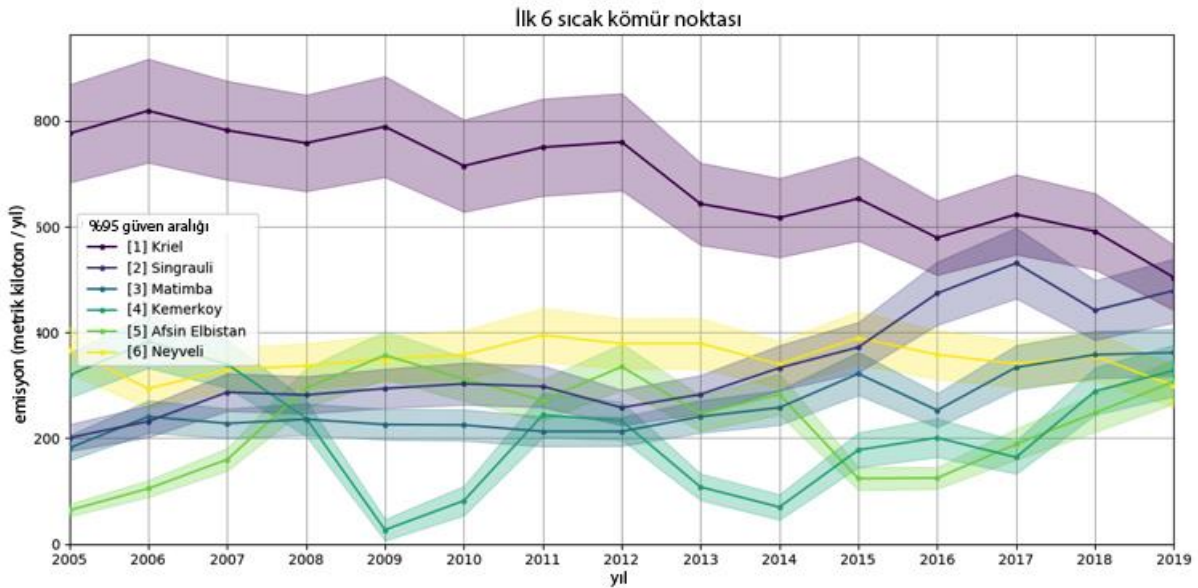
Suralaya bölgedeki en büyük sıcak nokta ancak Singapur'un tüm emisyonlarından sorumlu olan petrol ve gaz rafinerileri de hemen ikinci sırada. Endonezya'nın emisyonlarının geri kalan dörtte birlik kısmı 2015 yılından beri tutarlı bir düşüş sergileyen Soroako'daki nikel izabe tesislerinden geliyor.

Endonezya Çevre ve Orman Bakanlığı'nın (MoEF) sabit kaynaklar için belirlediği yeni emisyon standartları 2019'da yürürlüğe girdi. Bununla birlikte, SO₂ için belirlenen daha katı düzenlemelerin gerekli kontrol teknolojilerinin kurulmasıyla sonuçlanıp sonuçlanmadığı belirsizliğini koruyor. Banten Suralaya kompleksinin 1. ve 2. üniteleri neredeyse 35 yıldır faaliyet gösteriyor⁵⁰. Artık emekliye ayrılmaları gerekiyor⁵¹ ancak bu üniteler faaliyete devam ediyor ve bölgeye yüksek seviyede SO₂ yayıyor. Hükümet Suralaya santrallerinin faaliyetine ilişkin inceleme başlattı ancak buna rağmen devlet elektrik şirketi (PLN) mevcut kömürlü termik santrallerde yeni emisyon standardı yönetmeliğinin uygulanmasında on yıllık bir erteleme çağrısında bulunuyor⁵².

Başlıca kirletici sektörler

Aşağıdaki bölüm SO₂ emisyonlarından sorumlu olan sektörlerle ilgili genel bir bakış açısı sunuyor.

Kömür yakma



Şekil 20: 2005'den 2019'a kadar küresel en büyük altı sıcak kömür noktasından yayılan SO₂ emisyonları (kiloton/yıl).

Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).

Toplam küresel insan kaynaklı SO₂ emisyonlarının %52'inden fazlası elektrik üretimi ve endüstriler için kömür yakımının gerçekleştiği sıcak noktalarda açığa çıkıyor. En yüksek SO₂ emisyon oranına sahip 50 sıcak kömür noktası NASA Measures verisinde tanımlandığı haliyle Tablo 4'de listeleniyor; en yüksek emisyon oranına sahip altı sıcak nokta için emisyon trendleri Şekil 20'de belirtiliyor. Hindistan, Çin, Güney Afrika, Türkiye, ABD, Kazakistan, Ukrayna, Avustralya, Rusya, Sırbistan ve Bulgaristan'daki SO₂ emisyonlarının ana kaynağı kömürlü termik santraller.

Son on yılda Çin, Hindistan, Güney Afrika ve Endonezya'nın da içinde bulunduğu pek çok ülke ve bölge SO₂ için emisyon standartları uyguladı veya geliştirdi ve baca gazı desülfürizasyon teknolojisini devreye aldı. Bununla birlikte, düzenlemeler ve uygulama şekilleri ülkeden ülkeye farklılık gösteriyor ve çoğu yerde emisyon

⁵⁰ www.gem.wiki/Banten_Suralaya_power_station

⁵¹ Government Shuts Down Old PLTU Replaced with Renewable Energy Generators. Haber metni. Ocak 30, 2020.

www.merdeka.com/uang/pemerintah-tutup-pltu-tua-digantikan-dengan-pembangkit-energi-terbarukan.html

⁵² Feeling burdened, PLN asks for relaxation in the enforcement of power plant emission standards. Haber metni. Eylül 26, 2020

www.dunia-energi.com/merasa-terbebani-pln-minta-relaksasi-pemberlakuan-baku-mutu-emisi-pembangkit-listrik/

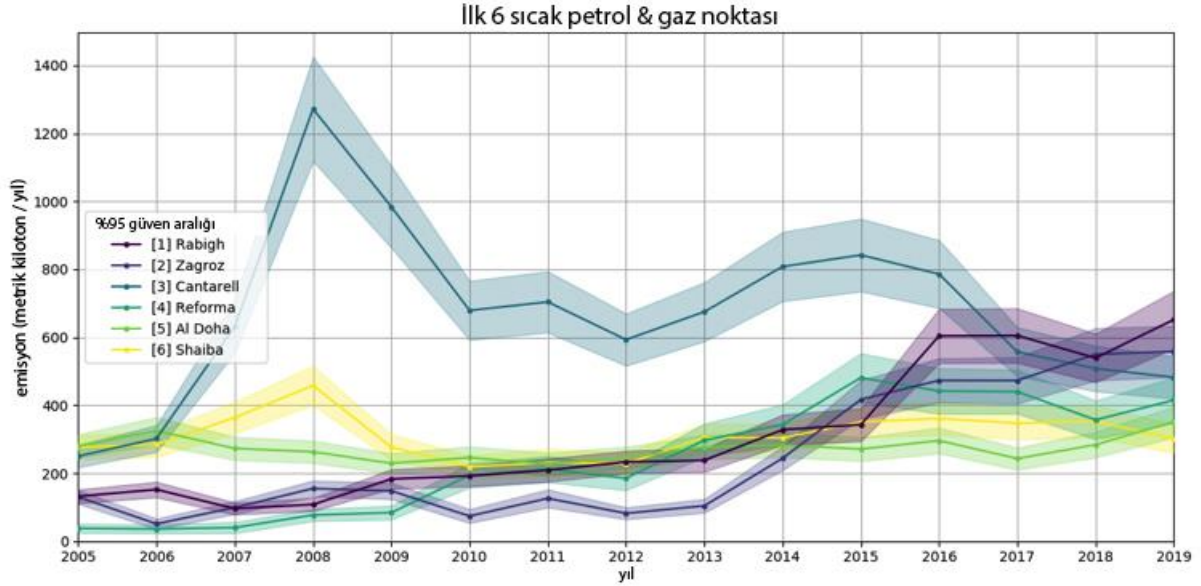
standartları hava kalitesini iyileştirmek konusunda zayıf kalıyor. Emisyon düzenlemeleri ve SO₂ kirliliği kontrol verimliliğindeki tutarsızlık bu fosil yakıt yakma tesislerinden bir çıktı birimi başına düşen SO₂ emisyonlarında büyük bir farka sebep oluyor. Ulusal santral emisyon standartlarının detaylı listesi EK B’de yer alıyor; burada farklı coğrafyalarda 10 mg/Nm³ ile 4000 mg/Nm³ (ve üstü) arasında değişen geniş yelpazeli emisyon limitleri ele alınıyor.

Tablo 4: Ana enerji kaynağı olarak kömür yakımını kullanan ilk 50 sıcak SO₂ noktası (kiloton/yıl) Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).

| Sıra | Sıcak nokta | Ülke / Bölge | Kaynak türü | Emisyonlar 2019 (kt) (%95 – güven aralığı) | | |
|------|---------------------------------|--------------|-------------|---|--------------|---------------|
| | | | | En iyi tahmin | Düşük tahmin | Yüksek tahmin |
| 1 | Kriel | Güney Afrika | Kömür | 504 | 443 | 564 |
| 2 | Singrauli | Hindistan | Kömür | 479 | 420 | 538 |
| 3 | Matimba | Güney Afrika | Kömür | 362 | 319 | 406 |
| 4 | Kemerköy | Türkiye | Kömür | 328 | 280 | 376 |
| 5 | Afşin Elbistan | Türkiye | Kömür | 307 | 266 | 348 |
| 6 | Neyveli | Hindistan | Kömür | 299 | 260 | 338 |
| 7 | Korba | Hindistan | Kömür | 282 | 244 | 320 |
| 8 | Talcher | Hindistan | Kömür | 221 | 189 | 253 |
| 9 | Nikola Tesla | Sırbistan | Kömür | 197 | 158 | 236 |
| 10 | Kurakhovskaya | Ukrayna | Kömür | 180 | 142 | 218 |
| 11 | Visakhapatnam | Hindistan | Kömür | 172 | 141 | 203 |
| 12 | Maritsa East industrial complex | Bulgaristan | Kömür | 170 | 135 | 205 |
| 13 | Mundra | Hindistan | Kömür | 164 | 135 | 193 |
| 14 | Kutch | Hindistan | Kömür | 161 | 136 | 186 |
| 15 | Koradi | Hindistan | Kömür | 158 | 134 | 182 |
| 16 | Zhezkazgan | Kazakistan | Kömür | 155 | 125 | 185 |
| 17 | Majuba | Güney Afrika | Kömür | 149 | 125 | 173 |
| 18 | Chennai | Hindistan | Kömür | 142 | 119 | 166 |
| 19 | Vuglegirska | Ukrayna | Kömür | 138 | 100 | 177 |
| 20 | Ekibastuz | Kazakistan | Kömür | 137 | 96 | 179 |
| 21 | Pavlodar | Kazakistan | Kömür | 136 | 96 | 175 |
| 22 | Chandrapur, Maharashtra | Hindistan | Kömür | 135 | 115 | 156 |
| 23 | Lethabo | Güney Afrika | Kömür | 135 | 114 | 156 |
| 24 | Tuzla | Bosna Hersek | Kömür | 132 | 99 | 165 |
| 25 | Suralaya | Endonezya | Kömür | 128 | 108 | 149 |

| | | | | | | |
|----|------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|
| 26 | Wuan | Çin | Kömür | 125 | 100 | 151 |
| 27 | Novocherkassk | Rusya | Kömür | 121 | 77 | 165 |
| 28 | Tangshan | Çin | Kömür | 120 | 90 | 151 |
| 29 | Sundance | Kanada | Kömür | 118 | 77 | 159 |
| 30 | Jorf Lasfar | Fas | Kömür | 107 | 80 | 134 |
| 31 | Ramagundam | Hindistan | Kömür | 102 | 85 | 119 |
| 32 | Lake Macquarie | Avustralya | Kömür | 101 | 77 | 124 |
| 33 | Zouping, Binzhou | Çin | Kömür | 98 | 72 | 124 |
| 34 | Shizuishan-Wuhai | Çin | Kömür | 97 | 80 | 113 |
| 35 | Raigarh | Hindistan | Kömür | 92 | 70 | 113 |
| 36 | Seyitömer | Türkiye | Kömür | 87 | 65 | 110 |
| 37 | Bobov Dol | Bulgaristan | Kömür | 84 | 60 | 108 |
| 38 | Kothagudem | Hindistan | Kömür | 83 | 66 | 101 |
| 39 | Soto de Ribera | İspanya | Kömür | 82 | 51 | 114 |
| 40 | Turceni | Romanya | Kömür | 76 | 51 | 102 |
| 41 | Petacalco | Meksika | Kömür | 75 | 47 | 103 |
| 42 | Hazira | Hindistan | Kömür | 75 | 55 | 94 |
| 43 | Carbon | Meksika | Kömür | 73 | 53 | 93 |
| 44 | Kostolac | Sırbistan | Kömür | 73 | 44 | 102 |
| 45 | Hunter Valley | Avustralya | Kömür | 72 | 54 | 90 |
| 46 | Miami Fort | ABD | Kömür | 71 | 40 | 102 |
| 47 | Latrobe Valley | Avustralya | Kömür | 69 | 34 | 105 |
| 48 | Novatsi | Makedonya (FYROM) | Kömür | 69 | 48 | 91 |
| 49 | Zaporizhya | Ukrayna | Kömür | 69 | 36 | 102 |
| 50 | Surat | Avustralya | Kömür | 68 | 50 | 85 |

Petrol ve gaz rafinajı / elektrik üretimi



Şekil 21: 2005'den 2019'a kadar dünyadaki en büyük altı sıcak petrol & gaz noktasından yayılan SO₂ emisyonları (kiloton/yıl).
Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).

Meksika, Suudi Arabistan, İran, Rusya ve Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki petrol rafinajı ve gaz endüstrileri / elektrik üretimi atmosfere büyük miktarlarda SO₂ emisyonu yayıyor. Meksika'da Cantarell, Reforma/Cactus ve Tula öncelikli olarak petrol rafinajı ve gaz işleme işlemlerinden kaynaklanan en büyük SO₂ emisyon noktaları olarak biliniyor. Petrol rafinajı/petrol yakımından kaynaklanan diğer önemli sıcak emisyon noktaları ise (dünyadaki en büyük petrol ve gaz bazlı SO₂ emisyon noktası olan, Suudi Arabistan'daki Rabigh de dahil olmak üzere) Ortadoğu'da bulunuyor (Şekil 21, Tablo 15).

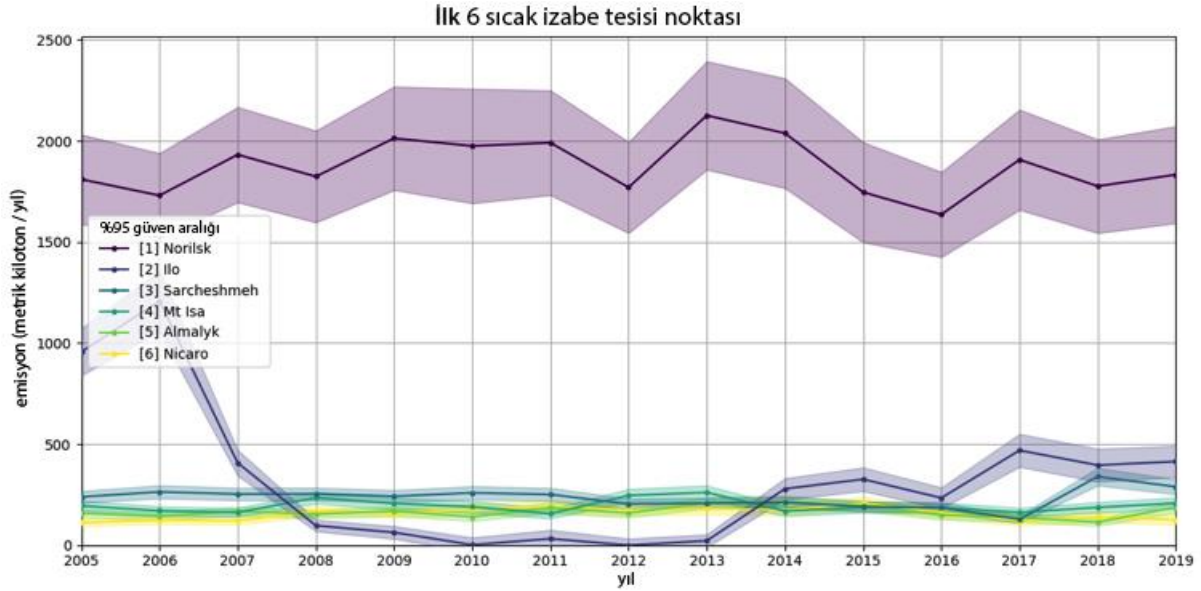
Tablo 5: Ana enerji kaynağı olarak petrol & gaz yakımını kullanan ilk 50 sıcak SO₂ noktası (kiloton/yıl).
Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).

| Sıra | Sıcak nokta | Ülke / Bölge | Kaynak türü | Emisyonlar 2019 (kt) (%95 – güven aralığı) | | |
|------|----------------|---------------------------|--------------|---|--------------|---------------|
| | | | | En iyi tahmin | Düşük tahmin | Yüksek tahmin |
| 1 | Rabigh | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 652 | 569 | 735 |
| 2 | Zagroz | İran | Petrol & Gaz | 558 | 484 | 632 |
| 3 | Cantarell | Meksika | Petrol & Gaz | 482 | 420 | 544 |
| 4 | Reforma/Cactus | Meksika | Petrol & Gaz | 415 | 349 | 481 |
| 5 | Al Doha | Kuveyt | Petrol & Gaz | 351 | 307 | 395 |
| 6 | Shaiba | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 301 | 260 | 342 |
| 7 | Fereidoon | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 291 | 243 | 339 |
| 8 | Das Island | Birleşik Arap Emirlikleri | Petrol & Gaz | 271 | 229 | 312 |
| 9 | Mubarek | Özbekistan | Petrol & Gaz | 245 | 212 | 278 |
| 10 | Jeddah | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 233 | 197 | 268 |
| 11 | Tula | Meksika | Petrol & Gaz | 200 | 170 | 230 |

| | | | | | | |
|----|----------------|-----------------|--------------|-----|-----|-----|
| 12 | Khangiran | İran | Petrol & Gaz | 162 | 139 | 185 |
| 13 | Jubail | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 154 | 128 | 180 |
| 14 | Bağdat | Irak | Petrol & Gaz | 134 | 113 | 155 |
| 15 | Tuxpan | Meksika | Petrol & Gaz | 130 | 103 | 158 |
| 16 | Nuevitas | Küba | Petrol & Gaz | 130 | 104 | 156 |
| 17 | Singapur | Singapur | Petrol & Gaz | 127 | 102 | 152 |
| 18 | Minatitlan | Meksika | Petrol & Gaz | 116 | 87 | 145 |
| 19 | Guiteras | Kiba | Petrol & Gaz | 115 | 95 | 135 |
| 20 | Ufa | Rusya | Petrol & Gaz | 98 | 47 | 149 |
| 21 | Yanbu | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 98 | 78 | 119 |
| 22 | Astrakhan | Rusya | Petrol & Gaz | 97 | 67 | 127 |
| 23 | Orenburg | Rusya | Petrol & Gaz | 94 | 56 | 131 |
| 24 | Abadan | İran | Petrol & Gaz | 91 | 70 | 112 |
| 25 | Manzanillo | Meksika | Petrol & Gaz | 86 | 65 | 106 |
| 26 | Aliğa Kardemir | Türkiye | Petrol & Gaz | 84 | 50 | 119 |
| 27 | Dehloran | İran | Petrol & Gaz | 77 | 62 | 92 |
| 28 | Paraguana | Venezuela | Petrol & Gaz | 76 | 51 | 101 |
| 29 | Zhanazhol | Kazakistan | Petrol & Gaz | 76 | 47 | 104 |
| 30 | Salina Cruz | Meksika | Petrol & Gaz | 72 | 51 | 92 |
| 31 | Mesaieed | Katar | Petrol & Gaz | 70 | 54 | 86 |
| 32 | Angarsk | Rusya | Petrol & Gaz | 70 | 41 | 99 |
| 33 | Swedieh | Suriye | Petrol & Gaz | 70 | 55 | 84 |
| 34 | Riyad | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 67 | 56 | 79 |
| 35 | Neka | İran | Petrol & Gaz | 65 | 41 | 88 |
| 36 | Bandar Abbas | İran | Petrol & Gaz | 64 | 46 | 83 |
| 37 | Laffan | Katar | Petrol & Gaz | 61 | 39 | 84 |
| 38 | Kahire | Mısır | Petrol & Gaz | 59 | 43 | 74 |
| 39 | Tampico | Meksika | Petrol & Gaz | 58 | 36 | 81 |
| 40 | Arak | İran | Petrol & Gaz | 58 | 47 | 70 |
| 41 | Mariel | Kiba | Petrol & Gaz | 54 | 36 | 73 |
| 42 | Al Hofuf | Suudi Arabistan | Petrol & Gaz | 53 | 42 | 64 |
| 43 | Ryazan | Rusya | Petrol & Gaz | 53 | 11 | 94 |
| 44 | Kiev | Ukrayna | Petrol & Gaz | 53 | 19 | 86 |
| 45 | Novokuybshevsk | Rusya | Petrol & Gaz | 51 | 4 | 97 |
| 46 | Xan | Guatemala | Petrol & Gaz | 49 | 30 | 68 |

| | | | | | | |
|----|---------------|----------|--------------|----|----|-----|
| 47 | Narva | Estonya | Petrol & Gaz | 49 | 0 | 103 |
| 48 | Az Zour South | Kuveyt | Petrol & Gaz | 45 | 27 | 63 |
| 49 | Choloma | Honduras | Petrol & Gaz | 44 | 27 | 62 |
| 50 | Bayji | Irak | Petrol & Gaz | 43 | 26 | 61 |

İzabe tesisleri



Şekil 22: 2005'den 2019'a kadar dünyadaki en büyük altı sıcak izabe tesisi noktasından yayılan SO₂ emisyonları (kiloton/yıl).
Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).

Metal izabe tesislerinin faaliyetleri ve bununla bağlantılı altyapı (özellikle de düzgün kirlilik kontrol cihazları olmayanlar) atmosfere büyük miktarlarda SO₂ salıyor. İzabe tesisleri tespit edilen büyük sıcak noktaların çoğunda SO₂'ye ciddi şekilde katkıda bulunuyor. İlk 15 sıcak izabe tesisi noktası için emisyon oranları Tablo 6'da; ilk altı sıcak nokta ise Şekil 22'de gösteriliyor. Rusya'daki Norilsk izabe tesisi dünyadaki en büyük sıcak emisyon noktası olmaya devam ediyor. NASA MEaSUREs verilerine göre ikinci sırada Peru'daki Ilo yer alıyor; hemen ardından da İran'daki Sarcheshmeh, Avustralya'daki Mt Isa, Özbekistan'daki Almalyk ve Küba'daki Nicaro geliyor.

Tablo 6: Ana enerji kaynağı izabe tesisleri olan ilk 15 sıcak SO₂ noktası (kiloton/yıl).
Veri kaynağı: NASA MEaSUREs (yukarıda belirtildiği gibi, kısmen yeniden adlandırılmış ve / veya yeniden sınıflandırılmıştır).

| Sıra | Sıcak nokta | Ülke / Bölge | Kaynak türü | Emisyonlar 2019 (kt) (%95 – güven aralığı) | | |
|------|-------------|--------------|--------------|---|--------------|---------------|
| | | | | En iyi tahmin | Düşük tahmin | Yüksek tahmin |
| 1 | Norilsk | Rusya | İzabe tesisi | 1,833 | 1,598 | 2,068 |
| 2 | Ilo | Peru | İzabe tesisi | 414 | 338 | 489 |
| 3 | Sarcheshmeh | İran | İzabe tesisi | 289 | 253 | 326 |
| 4 | Mt Isa | Avustralya | İzabe tesisi | 208 | 180 | 237 |
| 5 | Almalyk | Özbekistan | İzabe tesisi | 188 | 162 | 215 |
| 6 | Nicaro | Küba | İzabe tesisi | 125 | 100 | 150 |

| | | | | | | |
|----|--------------|----------|--------------|-----|----|-----|
| 7 | Nikel | Rusya | İzabe tesisi | 106 | 36 | 177 |
| 8 | Kirovograd | Rusya | İzabe tesisi | 102 | 42 | 162 |
| 9 | Camacari | Brezilya | İzabe tesisi | 87 | 52 | 122 |
| 10 | Noranda | Şili | İzabe tesisi | 83 | 45 | 122 |
| 11 | Mednogorsk | Rusya | İzabe tesisi | 83 | 47 | 120 |
| 12 | Krasnouralsk | Rusya | İzabe tesisi | 82 | 26 | 138 |
| 13 | Manchester | Jamaika | İzabe tesisi | 81 | 61 | 101 |
| 14 | Che Guevara | Küba | İzabe tesisi | 72 | 49 | 96 |
| 15 | Karabash | Rusya | İzabe tesisi | 68 | 20 | 116 |

2020 trendleri (OMI verileri)

2020 yılında, KOVID-19 salgını dünyanın birçok bölgesinde günlük hayatı önemli ölçüde değiştirdi. Kısıtlamaların bir sonucu olarak, 2020'nin ilk yarısında küresel enerji ve elektrik talebinde önemli ancak muhtemelen geçici bir azalma oldu. Enerji talebindeki azalma fosil yakıtlardan enerji talebinin azaldığı birçok yerde hava kalitesinin iyileşmesini sağladı. Örneğin Avrupa'da, kömürden elektrik üretimi % 37 oranında düştü ve şiddetli akut solunum sendromu olan koronavirus-2'nin yayılmasını önlemek için alınan önlemler, ortalama azot dioksit (NO₂) kirliliği seviyesinde yaklaşık % 40 azalmaya yol açtı⁵³.

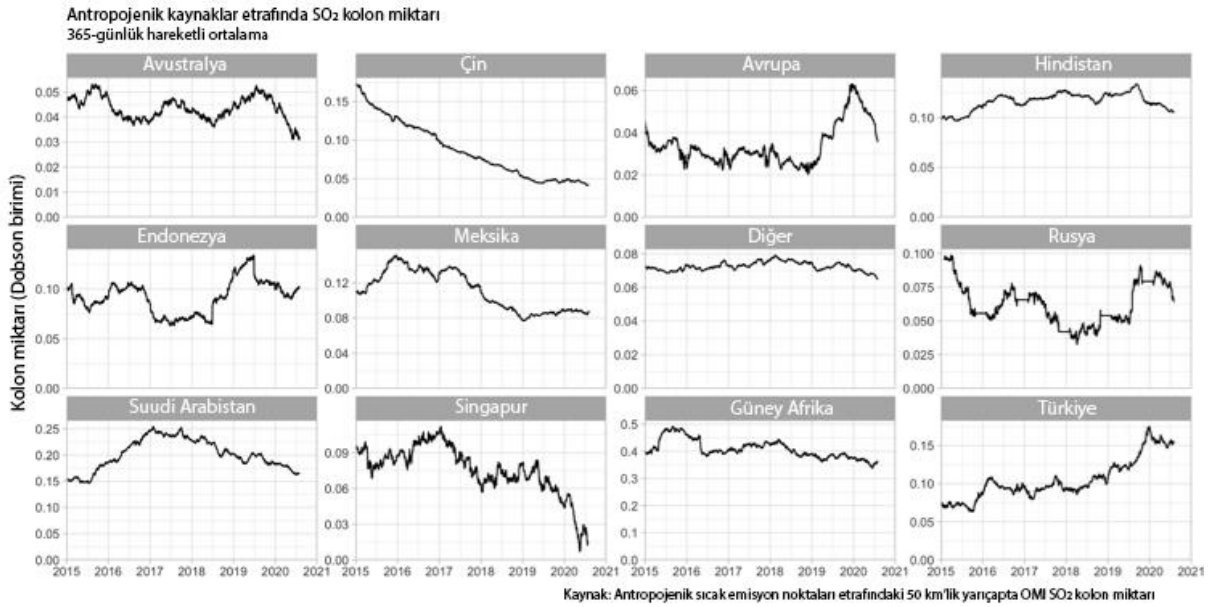
NASA'nın 2020 SO₂ emisyon tahminleri henüz mevcut değil. Bu bölümde emisyonlar için dolaylı bir temsilci olarak emisyon sıcak noktaları etrafındaki SO₂ kolon miktarlarını inceliyoruz (SO₂ emisyonları ile SO₂ kolon miktarları arasındaki farkı görmek için Kutu 1'e göz atabilirsiniz).

2020 SO₂ kolon miktarları analizi 2019'a göre bir düşüş ortaya koyuyor (bknz: Şekil 23 ve Şekil 24). Bununla birlikte yıllar arası yüksek değişkenlik ve açıklanmayan hava etkileri, gözlemlenen düşüşleri kesin bir şekilde KOVID-19 salgınına dayandırmamıza engel oluyor.

Bölgeler

Şekil 23'de SO₂ yayıcı önemli ülke veya bölgelerdeki antropojenik sıcak noktaların etrafındaki ortalama SO₂ kolon miktarlarına bakıyoruz. Mevsimselliğin etkilerini sınırlamak için 365 günlük hareketli ortalama kullanılıyor.

⁵³ Myllyvirta, L. & Thieriot, H. 11,000 air pollution-related deaths avoided in Europe as coal, oil consumption plummet. CREA (2020). <https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2020/04/CREA-Europe-COVID-impacts.pdf> [Erişim: Eylül 23, 2020].



Şekil 23: Yüksek emisyon oranlarına sahip ülkelerdeki antropojenik kaynakların 50 km içinde bulunan SO₂ kolon miktarları (2015–2020). 365-günlük hareketli ortalama. “Diğer” birleştirilmiş diğer tüm ülkeleri ifade eder. Veri kaynağı: OMI.

2020 yılında pek çok bölge ve ülke SO₂ emisyonlarında belirgin bir düşüş kaydetti. Sadece Endonezya daha önce gösterdiği kayda değer düşüş trendinin ardından bir artış yaşadı (Şekil 23).

Avustralya, Singapur, Türkiye, Avrupa ve Rusya’da sert düşüşler görülürken, Hindistan ve Suudi Arabistan’da daha az belirgin düşüşler gözlemlendi. 1 Ocak 2020’de Türkiye’nin 16 kömürlü termik santralinden 5’i faaliyetlerini askıya aldı, bu durum burada gözlemlenen ani ve rastlantısal SO₂ azalmasına potansiyel olarak katkıda bulundu⁵⁴. Singapur’daki ana emisyon sektörü olan petrol rafinajının üretim oranının, kapasitenin yaklaşık %60’ına düştüğü bildirildi⁵⁵. Resmi istatistiklere göre, Hindistan’da Ocak-Ağustos 2020’de elektrik üretimi için kömür tüketimi 2019’a kıyasla %10.4 oranında azaldı⁵⁶.

Önceki beş yılda gözlemlenen SO₂ kolon miktarları seçilen bölgelerin çoğunda uzun vadeli eğilim ve yıllar arası değişkenlik gösteriyor. SO₂ kolon miktarında 2019 – 2020 yılları arasında tanımlanan azalmalar sadece KOVID-19 krizinin değil, pek çok faktörün sonucu.

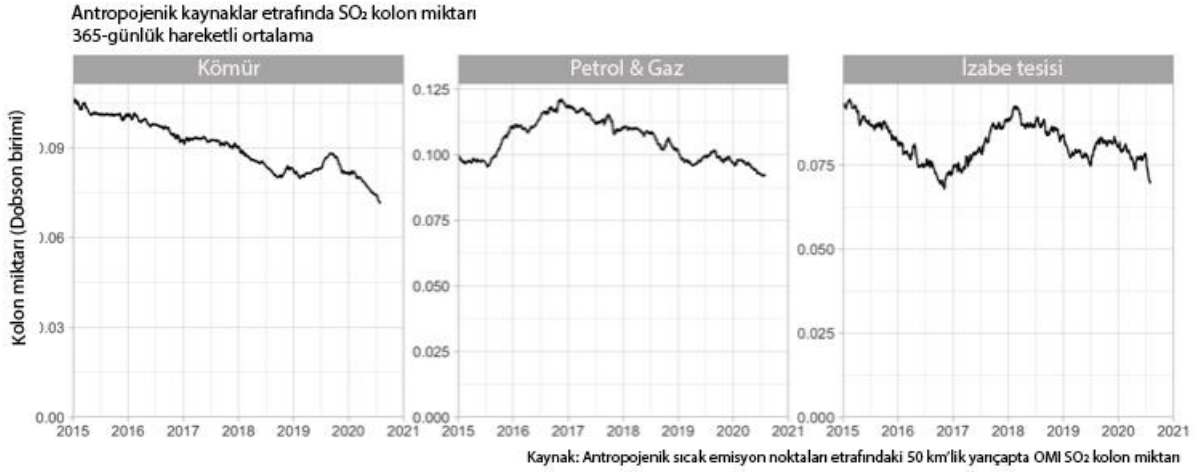
Sektörler

Farklı kaynak sektörlerine atfedilen sıcak noktaların etrafındaki atmosferik SO₂ kolon miktarı analizi kömür, petrol & gaz ve izabe tesisi sıcak noktalarından yayılan emisyonlardaki küresel trendleri ortaya çıkarıyor. Son beş yılda kömür, petrol & gaz ve izabe tesisi sıcak noktaları etrafındaki SO₂ kolon miktarının 365 günlük hareketli ortalaması istikrarlı bir düşüş gösterdi. Bununla birlikte 2020 boyunca SO₂ kolon miktarlarındaki düşüş kömür ve izabe tesisi sektörleri üzerinde keskin bir etkiye sahip olacak gibi gözüküyor; bu da KOVID-19 salgınının bu iki sektör üzerinde daha güçlü bir etkiye sahip olduğuna işaret ediyor.

⁵⁴ Gündüzyeli, E. & Kutluay, D. ‘Turkey’s dilemma: Risky coal or clean development.’ Europe Beyond Coal haber metni Şubat 7, 2020. <https://beyond-coal.eu/2020/02/07/turkeys-dilemma-risky-coal-or-clean-development/> [Erişim: Eylül 23, 2020].

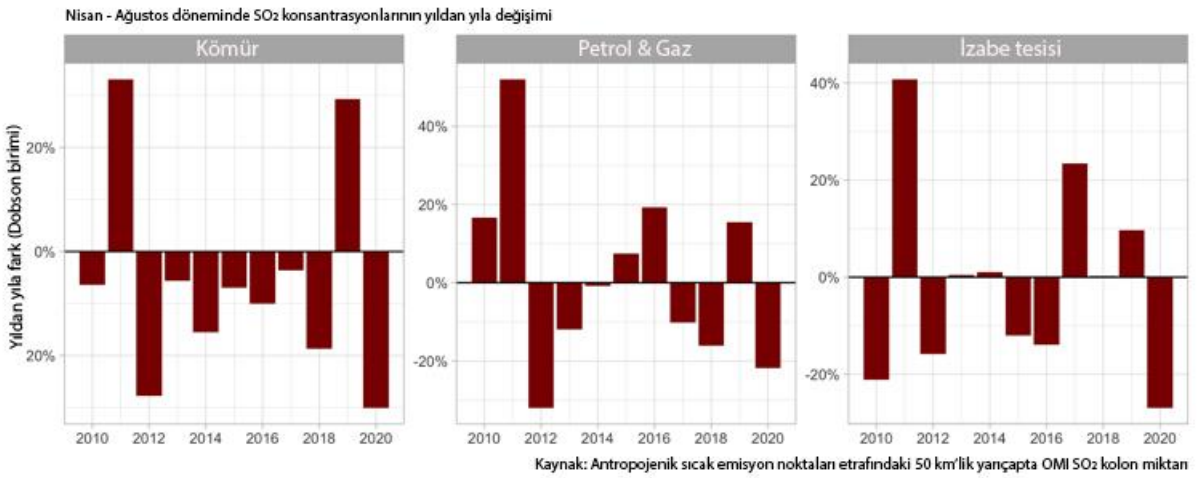
⁵⁵ Bloomberg. ‘Singapore Coastline Packed With Ships Full of Oil No One Wants’ 27 Nisan 2020. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-04-27/oil-glut-swells-off-asian-trading-hub-on-global-storage-scramble> [Erişim: Eylül 29, 2020]

⁵⁶ Central Electricity Authority (CEA), Ministry of Power, Government of India, Monthly coal statement, <http://cea.nic.in/monthlycoal.html> [Erişim: 25 Eylül 2020]



Şekil 24: 2015-2020 / Farklı sektörlerdeki antropojenik kaynakların etrafındaki SO₂ kolon miktarı. 365-günlük hareketli ortalama. Veri kaynağı: OMI.

Nisan-Ağustos dönemi göz önünde bulundurulduğunda, kömür ve izabe tesisi sektörleri için SO₂ emisyonlarındaki düşüş, son on yılda gözlemlenen en büyük oranları işaret ediyor (Şekil 25, Tablo 7). Bu üç sektördeki düşüş oranları bir önceki yılın aynı dönemine göre % 20'nin üzerine çıkıyor (Tablo 8, 9, 10).



Şekil 25. Nisan'dan Ağustos'a kadar sektör başına ortalaması alınmış SO₂ kolon miktarının yılın bir önceki dönemine göre değişimi. Veri kaynağı: OMI.

Gözlemler, 2020 boyunca sektörler ve bölgeler arasında SO₂ kolon miktarındaki düşüşü tutarlı bir şekilde gözler önüne seriyor. SO₂ kolon miktarı (örn. konsantrasyon) emisyon verisi için basit bir temsilci olarak kullanılabilir de, SO₂ kolon miktarı ile SO₂ emisyonları arasındaki ilişki hava koşullarının da dahil olduğu belli etkenlerin etkisiyle karmaşık hale geliyor. Dolayısıyla, 2020'deki SO₂ emisyon trendleri hakkında kesin iddialarda bulunmadan önce emisyon istatistiklerinin daha fazla analiz edilmesi gerekiyor.

Tablo 7: Nisan'dan Ağustos'a kadar ortalaması alınan, sıcak emisyon noktaları etrafındaki SO₂ kolon miktarının ülke toplamlarının yılın bir önceki dönemine göre değişimi. Veri kaynağı: OMI.

| ÜLKE/BÖLGE | SO ₂ kolon miktarı |
|----------------------|--|
| | Nisan 2020 - Ağustos 2020 vs bir önceki yıl |
| Avustralya | -14% |
| Çin | -38% |
| Avrupa ⁵⁷ | -100% (bkz: dipnot 57) |
| Hindistan | -23% |
| Endonezya | 13% |
| Meksika | -12% |
| Rusya | -73% |
| Suudi Arabistan | -24% |
| Güney Afrika | 0% |
| Türkiye | -23% |

Tablo 8: 2019'un aynı dönemine kıyasla, Nisan-Ağustos 2020'de kömür bazlı SO₂ emisyonlarının ülke toplamlarındaki değişim. Veri kaynağı: OMI.

| ÜLKE/BÖLGE | SO ₂ kolon miktarı |
|-------------------------------|---|
| | Nisan - Ağustos 2020 vs Nisan-Ağustos 2019 |
| Avustralya | 0% |
| Çin | -38% |
| Avrupa | -100% (bkz: dipnot 57) |
| Hindistan | -23% |
| Endonezya | 26% |
| Meksika | -16% |
| Rusya | -100% (bkz: dipnot 57) |
| Suudi Arabistan ⁵⁸ | - |
| Güney Afrika | 3% |
| Türkiye | -4% |

⁵⁷ NASA OMI bilgi edinme algoritması, fiziksel olarak gerçekçi olmasa da son derece keskin bir düşüş olarak yorumlanabilen gezegensel sınır tabakası kolon miktarları için negatif değeri kabul ediyor. Bu analizde düşüş -% 100'de sınırlandırılmıştır.

⁵⁸ SO₂ emisyonlarındaki değişim rakamı, Suudi Arabistan'da kömürün hakim olduğu bir SO₂ sıcak noktası bulunmadığı için burada mevcut değil. Tablolarda "-" ile temsil edilen diğer ülkeler ve sektörler için de benzer durumlar geçerli.

Tablo 9: Bir önceki yılın aynı dönemine kıyasla Nisan-Ağustos 2020'de petrol & gaz bazlı SO₂ emisyonlarının ülke toplamlarındaki değişim.
Veri kaynağı: OMI.

| ÜLKE/BÖLGE | SO ₂ kolon miktarı |
|-----------------|--|
| | Nisan 2020 - Ağustos 2020 vs bir önceki yıl |
| Avustralya | - |
| Çin | -100% (bknz: dipnot 57) |
| Avrupa | -100% (bknz: dipnot 57) |
| Hindistan | -25% |
| Endonezya | - |
| Meksika | -9% |
| Rusya | -89% |
| Suudi Arabistan | -24% |
| Güney Afrika | - |
| Türkiye | -100% |

Tablo 10: 2019'un aynı dönemine kıyasla Nisan-Ağustos 2020'de izabe tesisi kaynaklı SO₂ emisyonlarının ülke toplamlarındaki değişim.
Veri kaynağı: OMI.

| ÜLKE/BÖLGE | SO ₂ kolon miktarı |
|-----------------|--|
| | Nisan 2020 - Ağustos 2020 vs bir önceki yıl |
| Avustralya | -34% |
| Çin | 0% |
| Avrupa | 141% |
| Hindistan | -26% |
| Endonezya | -8% |
| Meksika | -100% (bknz: dipnot 57) |
| Rusya | -53% |
| Suudi Arabistan | - |
| Güney Afrika | -38% |
| Türkiye | - |

İleriye yönelik adımlar

Fosil yakıtların yanması SO₂ ve diğer zararlı kirleticilerin hava, su ve kara ekosistemlerine salınmasına yol açıyor. Kirlilik ekosistemleri bozuyor ve erken ölüm de dahil olmak üzere insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere neden oluyor. Bu CREA/Greenpeace raporu tümü geniş kapsamlı fosil yakıt yakımıyla bağlantılı, dünyanın en büyük sıcak SO₂ emisyon noktalarını gözler önüne seriyor. Fosil yakıt yakımı hava kirliliği ve iklim krizinin ana sorumlusu olarak biliniyor ve her iki kriz de aynı çözümleri paylaşıyor.

Büyük miktarlarda SO₂ yayan ülkeler fosil yakıtlara yatırım yapmayı bırakmalı; rüzgar ve güneş enerjisi gibi daha güvenli, daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmalı ve emisyonlara yönelik kısıtlamaları artırmalı. Kömür santrallerinin baca gazı desülfürizasyon teknolojisini kurmasını zorunlu kılmak, ıslak baca gazı kükürt giderme işleminde^{59,60} SO₂'nin% 99'undan fazlasını yakalayabilir ve insan sağlığına olan etkileri azaltabilir.

Hükümetler KOVID-19 salgınından iyileşmeyle çıkmaya hazırlanırken, enerji kaynaklarına harcanan fonların yenilenebilir enerjiye yönlendirilmesi daha da önemli bir hal alıyor. 2020 itibarıyla fosil yakıtlar miadını doldurmuş bir enerji kaynağı haline geldi. Dünya genelinde pek çok kömürlü termik santral az kullanılıyor, atıl duruyor, hatta kapanma aşamasına yaklaşıyor^{61,62}. Dünya daha ekonomik ve iklim dostu teknolojilere doğru ilerlerken, herhangi bir yeni fosil yakıt yatırımının yolda kalma riski var.

⁵⁹ Poullikkas, A. Review of Design, Operating, and Financial Considerations in Flue Gas Desulfurization Systems. *Energy Technol. Policy* 2 (1), 92-103 (2015). <https://doi.org/10.1080/23317000.2015.1064794>

⁶⁰ Carpenter, A. M. Low water FGD technologies. IEA Clean Coal Centre (2019). https://usea.org/sites/default/files/112012_Low%20water%20FGD%20technologies_ccc210.pdf [Erişim: Eylül 23, 2020].

⁶¹ Tripathi, S. 'Coal power plant capacity falls in India, Paris Agreement goal still far'. Business Standard haber metni / Mart 27, 2020. https://www.business-standard.com/article/companies/coal-power-plant-capacity-falls-in-india-paris-agreement-goal-still-far-120032700712_1.html [Erişim: Eylül 29, 2020]

⁶² Piven, B. 'EU power sector emissions drop as coal collapses across Europe'. Al Jazeera haber metni / Şubat 5, 2020. <https://www.aljazeera.com/economy/2020/02/05/eu-power-sector-emissions-drop-as-coal-collapses-across-europe/> [Erişim: Eylül 29, 2020]

Ek A. Veri belirsizlik aralığı

Tablo A1: 2019'da insan kaynaklı SO₂ emisyonlarından sorumlu ilk 25 ülke.⁶³

| Sıra | Ülke / Bölge | 2019'daki insan kaynaklı SO ₂ emisyonları (kt) (95%-güven aralığı) | | |
|------|---------------------------|--|--------------|---------------|
| | | En iyi tahmin | Düşük tahmin | Yüksek tahmin |
| - | Dünya geneli | 28,704 | 28,050 | 29,358 |
| 1 | Hindistan | 5,953 | 5,768 | 6,138 |
| 2 | Rusya | 3,362 | 3,335 | 3,717 |
| 3 | Çin | 2,156 | 2,044 | 2,344 |
| 4 | Suudi Arabistan | 1,910 | 1,874 | 2,027 |
| 5 | Meksika | 1,873 | 1,849 | 1,998 |
| 6 | İran | 1,746 | 1,708 | 1,858 |
| 7 | Güney Afrika | 1,187 | 1,167 | 1,270 |
| 8 | Türkiye | 1,072 | 1,072 | 1,157 |
| 9 | ABD | 823 | 814 | 1,025 |
| 10 | Kazakistan | 760 | 657 | 863 |
| 11 | Ukrayna | 628 | 580 | 740 |
| 12 | Avustralya | 610 | 589 | 681 |
| 13 | Küba | 530 | 509 | 584 |
| 14 | Özbekistan | 433 | 422 | 476 |
| 15 | Peru | 414 | 289 | 490 |
| 16 | Kuveyt | 396 | 396 | 444 |
| 17 | Türkmenistan | 325 | 282 | 364 |
| 18 | Sırbistan | 309 | 300 | 364 |
| 19 | Birleşik Arap Emirlikleri | 271 | 271 | 315 |
| 20 | Brezilya | 262 | 262 | 350 |
| 21 | Bulgaristan | 258 | 258 | 312 |
| 22 | Kanada | 240 | 229 | 353 |
| 23 | Irak | 223 | 186 | 259 |
| 24 | Fas | 197 | 197 | 240 |
| 25 | Pakistan | 180 | 104 | 217 |

⁶³ Brezilya ve Peru'ya ait rakamları dikkatle değerlendirmek gerekir; bunun için Metodoloji bölümündeki Güney Atlantik Anomalisi başlığına göz atabilirsiniz.

Tablo A2: İnsan kaynaklı SO₂ emisyonlarından sorumlu ilk 25 ülke.⁶⁴

Belirsizlik aralığıyla 2018'den 2019'a kadar göreceli değişim.

Değişim yönüne güven bu şemayla rakamlardan kelimelere çevrilir: >%99 – kesin, >%95 – çok muhtemel, >%75 – muhtemel; veya belirsiz.

| Toplam insan kaynaklı SO ₂ emisyonları | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------------------------------|--------|---|-----------------|------------------|-----------------|-------------------------|--------------|
| Sıra | Ülke / Bölge | Emisyonlar (kt) (en iyi tahmin) | | Göreceli değişim (95%-güven aralığı) | | | Değişim yönü | Değişim yönüne güven | |
| | | 2018 | 2019 | En iyi tahmin | Düşük tahmin | Yüksek tahmin | | rakamla | Yazıyla |
| - | Dünya geneli | 30,604 | 28,704 | -6% | -9% | -3% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 1 | Hindistan | 6,329 | 5,953 | -6% | -10% | -2% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 2 | Rusya | 3,635 | 3,362 | -8% | -20% | 5% | Aşağı | 88% | Muhtemel |
| 3 | Çin | 2,263 | 2,156 | -5% | -16% | 7% | Aşağı | 79% | Muhtemel |
| 4 | Suudi Arabistan | 1,861 | 1,910 | 3% | -6% | 11% | Belirsiz | 72% | |
| 5 | Meksika | 1,809 | 1,873 | 4% | -6% | 13% | Yukarı | 76% | Muhtemel |
| 6 | İran | 1,977 | 1,746 | -12% | -20% | -4% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 7 | Güney Afrika | 1,388 | 1,187 | -15% | -23% | -6% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 8 | Türkiye | 938 | 1,072 | 14% | 1% | 27% | Yukarı | 98% | Çok muhtemel |
| 9 | ABD | 864 | 823 | -5% | -37% | 27% | Belirsiz | 61% | |
| 10 | Kazakistan | 776 | 760 | -2% | -21% | 17% | Belirsiz | 59% | |
| 11 | Ukrayna | 861 | 628 | -27% | -43% | -11% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 12 | Avustralya | 627 | 610 | -3% | -19% | 13% | Belirsiz | 63% | |
| 13 | Küba | 543 | 530 | -2% | -17% | 12% | Belirsiz | 63% | |
| 14 | Özbekistan | 319 | 433 | 36% | 16% | 56% | Yukarı | 100% | Kesin |
| 15 | Peru | 396 | 414 | 5% | -24% | 33% | Belirsiz | 62% | |
| 16 | Kuveyt | 394 | 396 | 1% | -16% | 17% | Belirsiz | 52% | |
| 17 | Türkmenistan | 251 | 325 | 30% | 7% | 52% | Yukarı | 99% | Kesin |

⁶⁴ Brezilya ve Peru'ya ait rakamları dikkatle değerlendirmek gerekir; bunun için Metodoloji bölümündeki Güney Atlantik Anomalisi başlığına göz atabilirsiniz.

| | | | | | | | | | |
|----|---------------------------|-----|-----|------|------|------|----------|------|--------------|
| 18 | Sırbistan | 349 | 309 | -12% | -33% | 10% | Aşağı | 85% | Muhtemel |
| 19 | Birleşik Arap Emirlikleri | 419 | 271 | -35% | -49% | -21% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 20 | Brezilya | 205 | 262 | 28% | -44% | 100% | Yukarı | 78% | Muhtemel |
| 21 | Bulgaristan | 263 | 258 | -2% | -31% | 27% | Belirsiz | 55% | |
| 22 | Kanada | 187 | 240 | 28% | -61% | 117% | Belirsiz | 73% | |
| 23 | Irak | 370 | 223 | -40% | -51% | -28% | Aşağı | 100% | Kesin |
| 24 | Fas | 171 | 197 | 15% | -24% | 54% | Yukarı | 78% | Muhtemel |
| 25 | Pakistan | 235 | 180 | -23% | -43% | -3% | Aşağı | 99% | Çok muhtemel |

Ek B. Santral Emisyon Standartları

Tablo B1. Büyük kömürlü termik santrallerde SO₂ için ulusal emisyon standartları (mg/Nm³)⁶⁵

| Ülke/ Bölge | Eski Santraller / Üniteler | | Yeni Santraller / Üniteler | |
|----------------------------|--|--------|--|-----------|
| Çin ^{66,67} | Ülkenin geri kalanı | 200 | Ultra-Düşük Emisyon Standartları 2020'de benimsenecek (yeni ünitelere uygulanıyor) | 35 |
| | Ana bölgeler | 50 | | |
| Hindistan ⁶⁸ | 2003'den önce hizmete giren üniteler | 600 | 2017'den sonraki üniteler | 100 |
| | 2004-2016 arasında hizmete giren santraller | 200 | | |
| ABD ⁶⁹ | 1997-2011'den sonra hizmete giren santraller | 160 | 2011'den sonraki yeni santraller | 60 |
| | 1978-1996 arasında hizmete giren santraller | 640 | | |
| AB ⁷⁰ | Pulverize kömür yakmalı kazanlar ⁷¹ Kapasite ≥ 300 MW | 10-130 | Pulverize kömür yakmalı kazanlar Kapasite ≥ 300 MW | 10-75 |
| | Akışkan yataklı kazan Kapasite ≥ 300 MW | 20-180 | Akışkan yataklı kazan Kapasite ≥ 300 MW | 10-75 |
| Meksika ⁷² | Mexico City anakent alanı, 2011'den önce hizmete girenler | 1441 | Mexico City anakent alanı, yeni üniteler | 79 |
| | Kritik bölgeler, eski üniteler | 2882 | Kritik bölgeler, yeni üniteler | 183-262 |
| | Ülkenin geri kalanı, eski üniteler | 5765 | Ülkenin geri kalanı, yeni üniteler | 576- 1834 |
| Güney Kore ⁷³ | 2014'den önce hizmete giren santraller | 142 | 2015'den sonra hizmete girenler | 71 |
| Güney Afrika ⁷⁴ | 2010'dan önce inşa edilen, 2030'dan önce hizmet dışı kalanlar ⁷⁵ | 4760 | 2025'den sonraki tüm santraller | 680 |

⁶⁵ Gerektiği şekilde, diğer ünitelerden dönüştürülür. Çoğu ülke baca gazı oksijen içeriğini %6 veya %7'de, sıcaklığı ise 0oC veya 25oC'de standart hale getirir; bu % 10'dan daha az bir fark yaratır ve uyumlaştırılmamıştır. Güney Afrika %6'ya dönüştürülen %10'luk referans oksijen içeriğini kullanır.

⁶⁶ Standardization Administration of China. Emission standard of air pollutants for thermal power plants. GB 13223-2011. http://english.mee.gov.cn/Resources/standards/Air_Environment/Emission_standard1/201201/W020110923324406748154.pdf

⁶⁷ Ministry of Ecology and Environment of China. The work plan for "Ultra Low Emission" standards of coal power plants. <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/W020151215366215476108.pdf>

⁶⁸ MoEF&CC. The Gazette of India: Extraordinary. Part II, Section 3, Sub-section (ii) S.O. 3305 (S). New Delhi 2016. http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Thermal_plant_gazette_scan.pdf

⁶⁹ Electronic Code of Federal Regulations. http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr60_main_02.tpl [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁷⁰ The European Commission. *Official Journal of the European Union* L212/1, 31 Temmuz 2017. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D1442&from=EN> [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁷¹ Kömür ince partiküller halinde öğütülür, ardından ısıtılmış yanma havası ile bir dizi yakıcı vasıtasıyla fırının alt kısmına yerleştirilir. Partiküller süspansiyon halinde yanar ve buhar döngüsüne aktarılan ısıyı serbest bırakır.

⁷² Las Normas Oficiales Mexicanas. Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. Nom 085, Semarnat, 2011. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4632/semarnat/semarnat.htm> [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁷³ Ministry of Environment of The Republic of Korea. Air pollutant emission standards (related to Article 15). Enforcement Regulations of the Air Conservation Act. Decree No. 866. Mayıs 27, 2020. [http://www.law.go.kr/lsBylInfoPLinkR.do?bylCls=BE&lsNm=%EB%8C%80%EA%B8%B0%ED%99%98%EA%B2%BD%EB%B3%B4%EC%A0%84%EB%B2%95+%EC%8B%9C%ED%96%89%EA%B7%9C%EC%B9%99&bylNo=0008&bylBrNo=00/\(Korece\)](http://www.law.go.kr/lsBylInfoPLinkR.do?bylCls=BE&lsNm=%EB%8C%80%EA%B8%B0%ED%99%98%EA%B2%BD%EB%B3%B4%EC%A0%84%EB%B2%95+%EC%8B%9C%ED%96%89%EA%B7%9C%EC%B9%99&bylNo=0008&bylBrNo=00/(Korece)) [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁷⁴ Listed Activities and Associated Minimum Emission Standards Identified in terms of Section 21 of the National Environmental Management: Air Quality Act, 2004 (Act 39 of 2004). https://www.environment.gov.za/sites/default/files/gazetted_notices/nemaqa_listofactivities_g33064gon248_0.pdf

⁷⁵ Mevcut santrallerin 2030'a kadar 1000 mg / Nm³ (% 10 O₂, 273 K ve 1 atmosferde) emisyon sınırına uyması gerekecek (% 6 O₂'de yaklaşık 1367 mg / Nm³).

| | | | | |
|---------------------------------|--|-----------------------------------|---|-------------------------------|
| Tayland ⁷⁶ | Kapasite < 300 MW 1996-2010'da hizmete girenler | 1830 | Kapasite < 50 MW 2010'dan sonra hizmete girenler | 1030 |
| | Kapasite 300- 500 MW 1996-2010'da hizmete girenler | 1287 | Kapasite > 50 MW 2010'dan sonra hizmete girenler | 515 |
| | Kapasite > 500 MW 1996-2010'da hizmete girenler | 912 | | |
| Endonezya ⁷⁷ | MoEF Düzenlemesi No. 15/2019 yasalaşmadan önce inşa edilenler | 550 | MoEF Düzenlemesi No. 15/2019 yasalaştıktan sonra inşa edilenler | 200 |
| Filipinler ⁷⁸ | 2000'den önce inşa edilenler | 1500 | 2000'den sonra inşa edilenler | 700 |
| Vietnam ⁷⁹ | 17 Ekim 2005'ten önce faaliyet gösteren üniteler | 1500 | 17 Ekim 2005'ten beri faaliyet gösteren üniteler | 500 |
| Rusya ⁸⁰ | 2001'den önce kurulan üniteler Kapasite \geq 300 MW (Bağlayıcı) | 2000-3000 | 2001'den sonra kurulan üniteler Capacity \geq 250 MW (Bağlayıcı) | 700 |
| | 2002'den önce lisansı alınan ve 2003'den önce faaliyete geçirilen tesisler Kapasite > 300 MW (önerilen) | 400 | 2013'den önce lisansı alınan ve 2014'den önce faaliyete geçirilen tesisler Kapasite \geq 300 MW (önerilen) | 200 |
| Avustralya ⁸¹ | Bir bölgeden diğerine büyük farklılıklar söz konusudur. Avustralya'daki santrallerin birçoğunda hala SO ₂ için herhangi bir emisyon sınırı bulunmamaktadır. | 820-2692 ya da limitsiz | Bir bölgeden diğerine büyük farklılıklar söz konusudur. Avustralya'daki santrallerin birçoğunda hala SO ₂ için herhangi bir emisyon sınırı bulunmamaktadır. | 820-2692 ya da limitsiz |
| Türkiye ⁸² | 2019'dan önce faaliyette olan santraller 100 MW \leq Yakıt Kalorifik Gücü \leq 500 MW | 2004'de 2000 2019'da 400 | 2019'da faaliyete giren yeni santraller Üniteler için \geq 300 MW | 200 |
| | 2019'dan önce faaliyette olan santraller Yakıt Kalorifik Gücü \geq 500 | 2004'de 1000 2019'da 400 | | |

⁷⁶ Pollution Control Department. Air Pollution Standards for Stationary Sources. http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd03.html / (Tayca) [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁷⁷ Ministry of Environment and Forestry of The Republic of Indonesia. Regulation Number P.15. 1-4-2019. <https://app.box.com/s/zc4547qjic4jzv8yvk2780ga02oq2zi/> (Endonezce) [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁷⁸ IMPLEMENTING RULES AND REGULATIONS FOR RA 8749. DENR Administrative Order No. 2000 - 81. Kasım 7, 2000. <http://pab.emb.gov.ph/wp-content/uploads/2017/07/RA-8749-IRR-DAO-2000-81.pdf>

⁷⁹ <https://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/vietnam/files/law/QCVN%2022-2009.pdf>

⁸⁰ STATE STANDARD OF THE RUSSIAN FEDERATION. GOST R 50831-95. Ocak 1, 1997. <http://docs.cntd.ru/document/1200026436/> (Rusça) [Erişim: Eylül 24, 2020]

⁸¹ Lipski, B., Rivers, N. & Whelan, J. Toxic and terminal: How the regulation of coal-fired power stations fails Australian communities. Environmental Justice Australia, 7 Ağustos 2017. https://www.envirojustice.org.au/sites/default/files/files/EJA_CoalHealth_final.pdf

⁸² Aytaç, O. Kömür Yakıtlı Termik Santrallerin Baca Gazındaki Kirleticiler, İzin Verilen Sağlık Sınır Değerleri, Ülkemizdeki Santrallerdeki Baca Gazı Arıtma Tesislerinin Güncel Durumu. Makine Mühendisleri Odası, MMO Enerji Çalışma Grubu, 2018. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/9_3.pdf [Erişim: Eylül 24, 2020].