

**Ayşegül Taşöz Düşündere<sup>1</sup>**  
*Proje Koordinatörü*

## 81 İlde COVID-19 Döneminde Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>) Değişimi

Türkiye genelinde COVID-19'un yayılımını önlemek için farklı önlemler alınıyor. Bu önlemleri takiben de hem talep hem arz açısından ekonomi genelinde daralmanın gerçekleşmesi bekleniyor. Bir diğer taraftan COVID-19'un yayılım hızı düştükçe normalleşme sürecine geçiliyor. Normalleşme sürecinde ekonominin önceki dönemlerdeki canlılığına aşama aşama geçişi öngörülüyor.

COVID-19 sonrası normalleşme aşamalarının sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, aslında önemli bir politika tasarım problemi. Bu tasarım için öncelikle 81 ilin farklılaşan ihtiyaçlarını ve COVID-19'dan hangi kanallardan ne düzeyde etkilendiklerini anlamak gerekiyor. Hangi ilin bu süreçten ne kadar etkilendiğini Gayrisafi Yurtiçi Hasıla (GSYH) verileri açıklanınca net olarak öğreneceğiz. Ancak GSYH verileri, üretim faaliyetleri gerçekleştikten çok sonra ölçebildiğimiz veriler. COVID-19 ise yapısı gereği kısa vadede politika tasarımını gerektiriyor. Bu çerçevede, hangi ilin COVID-19'dan hangi kanaldan ne düzeyde etkilendiğini takip etmek için kredi kartı harcamaları ve elektrik tüketimi gibi görece daha sık aralıklarla açıklanan veriler, önemli araçlar konumunda. Bu çalışmada ise 81 ilde COVID-19'un farklı illerdeki etkilerini takip edebilmek için araç trafiği, elektrik santralleri ve fabrikalar tarafından üretilen Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>) verilerini, uydu görüntüleri aracılığıyla inceledik.

2020 yılı Nisan ayında bir önceki yıla kıyasla NO<sub>2</sub> değerlerinde en fazla düşüş yaşayan illerin Yalova, İstanbul, Zonguldak, Bursa, Kocaeli, Bartın, Kırklareli, Tekirdağ, Adana ve Edirne olduğunu tespit ettik. COVID-19 normalleşme sürecindeki politika tasarımlarında, bu illerde sanayi aktivitelerinin ve insan hareketliliğinin diğer illere kıyasla daha yüksek oranlarda düşüş gösterdiğini, göz önünde bulundurmak gerekecektir.

<sup>1</sup> <http://www.tepav.org.tr/tr/ekibimiz/s/1335/Aysegul+Tasoz+Dusundere>

## 1- Arka Plan

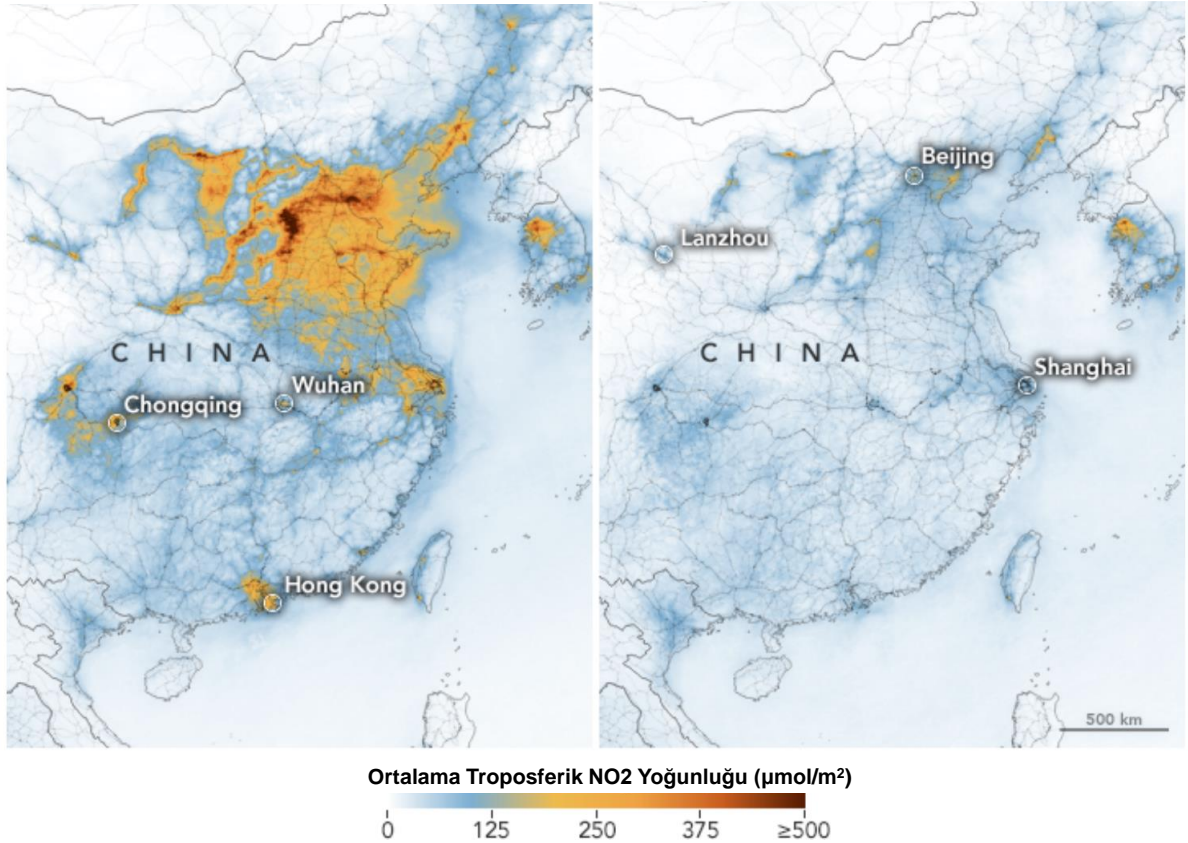
İnsan sağlığına zararlı olduğu bilinen NO<sub>2</sub> gazı; esas olarak araç trafiği, elektrik santralleri ve fabrikalar tarafından üretiliyor.<sup>i</sup> NO<sub>2</sub> gibi zehirli gaz oranlarının düşüşü, sağlık sorunları için uzun vadede pozitif bir gelişme.<sup>ii</sup> Öte yandan son birkaç ayda dünya genelinde gözlemlenen düşüşler; insanoğlunun aniden çevreye daha duyarlı teknolojilere geçişinden kaynaklanmıyor. Spesifik olarak NO<sub>2</sub>'deki yakın zamandaki düşüşler, COVID-19 nedeniyle alınan geçici önlemlerle azalan araç kullanımı ve sanayi üretimi ile ilintili olarak değerlendiriliyor.<sup>iii iv</sup>

COVID-19 kısıtlamaları nedeniyle azalan ekonomik aktiviteler ve insan hareketliliğini takiben Şekil 1'de görüldüğü gibi Çin üzerindeki NO<sub>2</sub> seviyelerinde önemli bir düşüş tespit edilmişti. Önceki yıllara kıyasla, Çin'de Şubat ayında NO<sub>2</sub> seviyelerinde görülen düşüşün ülkenin bazı bölgelerinde yüzde 20-30 düzeylerinde olduğu belirtilmişti.<sup>v</sup> İtalya ve daha birçok ülkede de karantina dönemlerinde benzer bulgulara erişilmişti.<sup>vi</sup>

**Şekil 1 - Çin'de NO<sub>2</sub> yoğunluğu, 1-20 Ocak ve 10-25 Şubat 2020 karşılaştırması**

**1-20 Ocak 2020**

**10-25 Şubat 2020**



**Kaynak:** Earth Observatory. (2020). Airborne Nitrogen Dioxide Plummets Over China.<sup>vii</sup>

Bu çalışmalara altlık oluşturan NO<sub>2</sub> değerleri, farklı uydu sistemleriyle derlenebiliyor. Değerlendirme notu kapsamında incelediğimiz verilerin derlendiği Sentinel-5 Precursor (S5p uydusu) da, dünya yörüngesindeki hava kalitesi, iklim ve ozon tabakası hakkında bilgi derlemek için çalışan bir polar uydu sistemi.<sup>2</sup> 2017-2023 döneminde hava kalitesini takip etmek için geliştirilen S5p misyonu, Avrupa Birliği (AB)'nin yeryüzü gözlem programı olan

<sup>2</sup> S5p uydusu ile ozon, azot dioksit, sülfür dioksit, karbonmonoksit, metan, formaldehit, bulutluluk ve aerosol düzeyleri dâhil olmak üzere temel atmosferik bileşenlerin günlük küresel gözlemleri derleniyor.

Copernicus'un bir parçası.<sup>viii</sup> 3 S5p, pasif uzaktan algılama teknikleri ile yerel saatlerde saat 13.30 sularında ölçümlerini gerçekleştiriyor.<sup>ix</sup>

NO<sub>2</sub>, kısa ömürlü bir kirletici olarak tanımlanıyor. Öyle ki NO<sub>2</sub> yayıldıktan sonra, birikmeden veya diğer gazlarla reaksiyona girmeden atmosferde bir gün gibi bir sürede kalıyor. NO<sub>2</sub>'nin kısa ömürlü olması ise ölçülen gaz miktarının ölçümün gerçekleştiği bölgeye oldukça yakın bir çevrede ve ölçüm tarihine çok yakın bir zamanda üretildiği anlamına geliyor.<sup>x</sup> Bu çerçevede, NO<sub>2</sub>, hava kalitesine ilişkin küresel ve ülke düzeyinde olduğu kadar bölgesel düzeyde de bilgi sağlaması açısından önemli bir araç konumunda.

NO<sub>2</sub> verilerinin analitik olarak işlenmesinde ise göz önünde bulundurulması gereken birkaç husus var. Öncelikle, ilgili verilerde her bir pikselde görüntünün elde edilmesine yönelik kalite düzeyine işaret eden bir kalite göstergesi mevcut. İlgili "kalite güvence değeri", 0 (hata var) ile 1 (hata ve uyarı yok) arasında değer alan sürekli bir değişken olup ölçümün gerçekleştiği piksele ilişkin bulutluluk, yüzeyde kar veya buz olup olmadığı, veriye ilişkin hata tespit edilip edilmediği hakkında bilgi taşıyor. Spesifik olarak ise 0,75 piksel filtresinin kullanımı öneriliyor.<sup>4</sup> <sup>xi</sup> Öte yandan kalite güvence değeri ile kontrol edilse de uydu verileri; günden güne değişen doğal hava şartları, hafta içi ve hafta sonu farklılıkları gibi nedenlerle seri içerisinde yüksek bir volatilite gösteriyor.<sup>xii</sup> Bu nedenlerle de iki üç gün gibi kısa dönemleri birbirleriyle kıyaslamak yerine en az bir ay gibi sürelerle sahip verileri kıyaslamak analitik açıdan daha doğru bir yaklaşım olarak değerlendiriliyor.<sup>xiii</sup> Ayrıca ek işlemlerden geçirilmemiş NO<sub>2</sub> değerlerindeki değişimin ,hava koşullarındaki değişimden kaynaklanıp kaynaklanmadığını lineer bir şekilde ayırt etmek çok da mümkün değil.<sup>xiv</sup> <sup>xv</sup> Bu nedenle bu çalışmada, meteorolojik değişkenliği kısmen analiz dışı bırakıp insan aktivitesine bağlı değişikliklerin etkisinin değerlendirilmesi için NO<sub>2</sub> değerleriyle 81 il düzeyinde bir endeks oluşturuldu.<sup>5</sup> <sup>xvi</sup> 2019 ve 2020 dönemini karşılaştırmak için NO<sub>2</sub> düzeyini etkileyebilecek iklim şartlarını ve takvimsel etkileri olabildiğince denklem dışında tutabilmek adına takip edilen analitik adımlar, değerlendirme notunun en sonunda yer verilen "EK" bölümünde paylaşıldı.

## 2- Analiz Sonuçları

Türkiye'de COVID-19 ile ilgili en yaygın tedbirlerin alındığı dönem olan 2020 yılı Nisan ayında NO<sub>2</sub> ortalama miktarının coğrafik dağılımı, bir önceki yıl ile karşılaştırmalı olarak Şekil 2'de paylaşıldı. Bu çerçevede, NO<sub>2</sub> verileri ile ilgili öncelikle şu gözlemler sıralanabilir:

- 1- Türkiye genelinde normal şartlar altında Marmara bölgesinde NO<sub>2</sub> değerlerinde yoğunluk görülüyor. 2019 Nisan ortalamasına göre NO<sub>2</sub> düzeyinin en yüksek olduğu

<sup>3</sup> 13 Ekim 2017'de uzaya fırlatılan S5p uydusu, ilk 6 ayda derlenen verileri takiben Nisan 2018 sonrasında operasyonel hale gelmişti.

<sup>4</sup> Kalite güvence değerine ilişkin 0,75 filtresi ile bulutla kaplı alanlar, kar/buzla kaplı alanların bir bölümü ve hatalı veriler analiz dışı bırakılıyor.

<sup>5</sup> Meteorolojik değişkenlikleri analiz dışı bırakmak için takip edilen farklı yaklaşımlara örnek olarak şu çalışmalar gösterilebilir:

Air Quality Consultants. (2020). The Effect of COVID-19 Social and Travel Restrictions on UK Air Quality - 06 April Update. 6 Nisan 2020.

Carslaw, D.C. ve K. Ropkins, (2012). openair- An R Package for Air Quality Data Analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52–61.

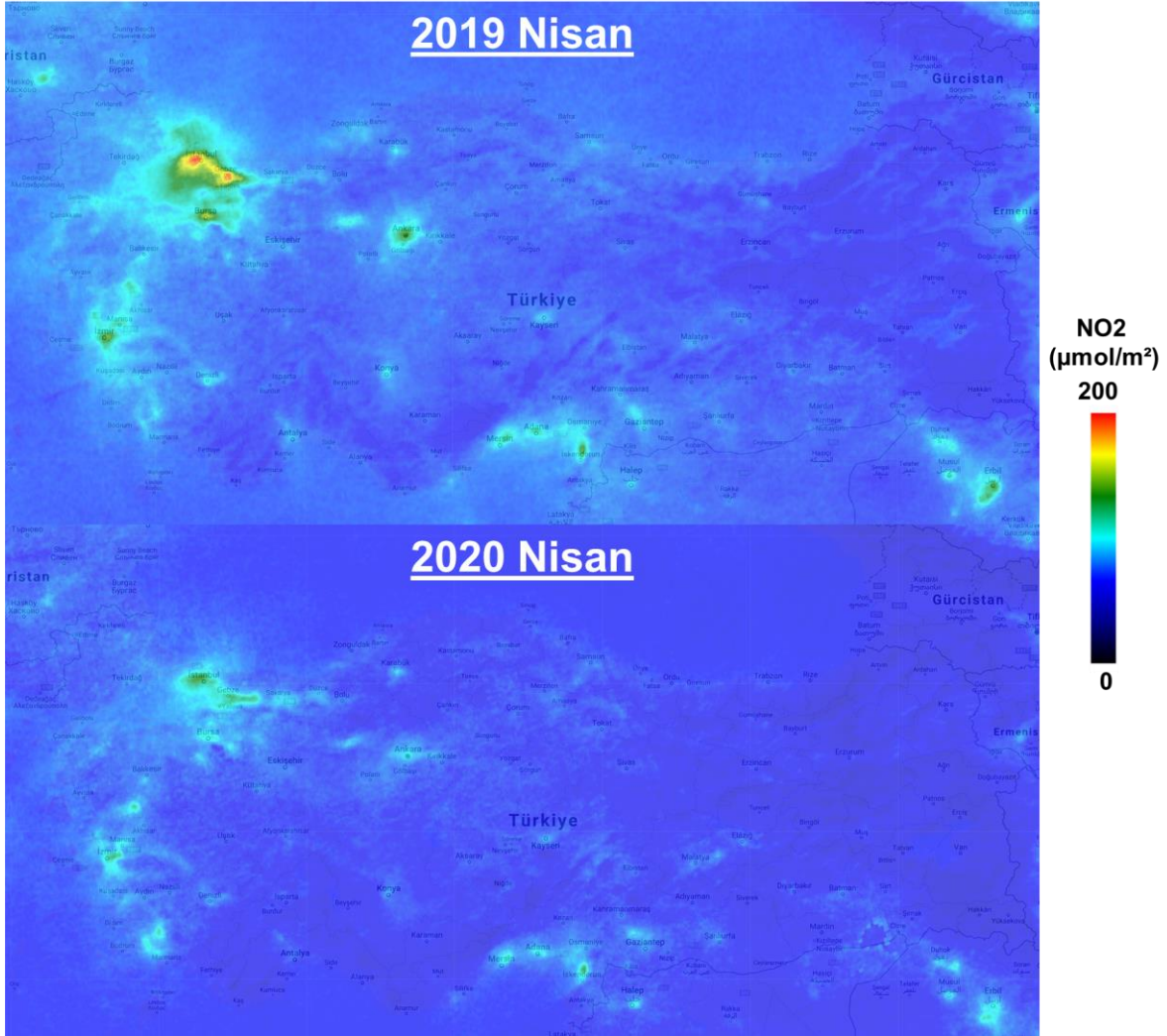
Carslaw, D. (2015). The openair Manual Open-Source Tools for Analysing Air Pollution Data. King's College London. Version: 28<sup>th</sup> January 2015.

Earthsense. (2020). COVID-19 & Air Quality: Learning Painful Lessons to Deliver Long-Term Benefit, 15 Nisan 2020.

iller sırasıyla Yalova, İstanbul, Kocaeli, Bursa, Zonguldak, Sakarya, İzmir, Bilecik, Hatay, Manisa, Tekirdağ, Balıkesir, Düzce, Adana, Kırklareli, Aydın, Çanakkale, Ankara, Osmaniye ve Edirne olarak listeleniyor. Sıralanan iller Türkiye'nin 2018 yılındaki sanayi üretiminin yüzde 73'ünü gerçekleştirmiş iller.<sup>6</sup>

- 2- Bir başka açıdan bakıldığında Türkiye'de sanayi üretiminin yüzde 66'sını gerçekleştiren 10 il arasından - sırasıyla İstanbul, Ankara, İzmir, Kocaeli, Bursa, Tekirdağ, Gaziantep, Manisa, Adana ve Konya- Gaziantep ve Konya haricinde 8'i, NO<sub>2</sub> düzeyinin yüksek olduğu iller.
- 3- Türkiye'de özellikle Doğu Anadolu bölgesinde NO<sub>2</sub> kirlilik düzeyi diğer bölgelere göre çok daha düşük seviyelerde. NO<sub>2</sub> düzeyi en düşük iller ise Ardahan, Erzurum, Bingöl, Bayburt ve Hakkâri olarak sıralanıyor.
- 4- Türkiye'de farklı illerde görülen ortalama değerler 104 ve 58  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  arasında değer alıyor. Yani en düşük seviyenin görüldüğü il ile en yüksek seviyenin görüldüğü il arasında neredeyse iki katlık bir fark var.

**Şekil 2 - Türkiye'de NO<sub>2</sub> yoğunluk düzeyleri, 2019 Nisan ve 2020 Nisan karşılaştırması**

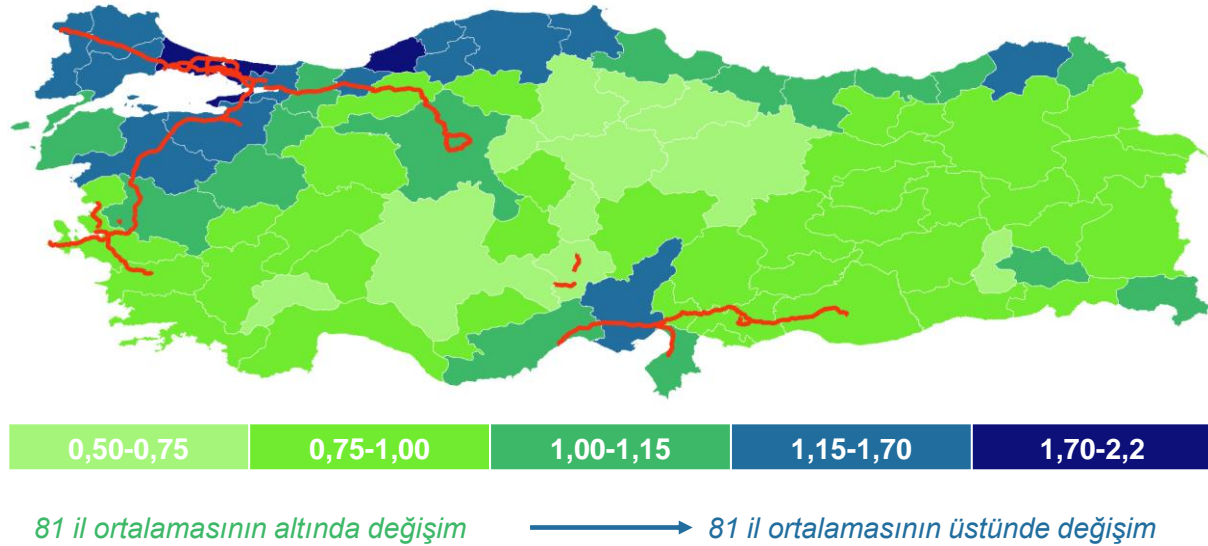


**Kaynak:** GEE, S5P ESA, TEPAV görselleştirmeleri

<sup>6</sup> Kaynak: TÜİK, TEPAV hesaplamaları

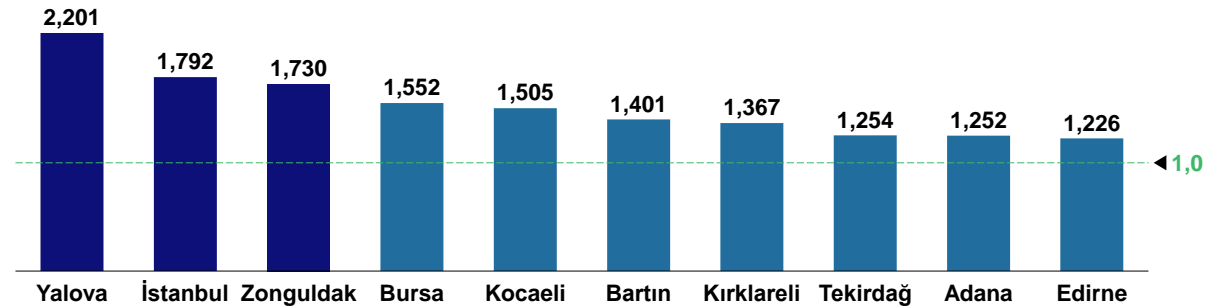
81 il ortalaması ile birlikte endeks değerine dönüştürülen NO2 değerlerinin 2020 ve 2019 yılı karşılaştırması, Şekil 3'te görselleştirildi. Hesaplamalarımıza göre 2020 yılı Nisan ayında bir önceki yıla kıyasla 81 ilin ortalama NO2 değerinde yüzde 10,5'lik bir düşüş gerçekleşti. Endeks değeri kapsamında 81 il ortalamasında gerçekleşen değişim 1 olarak kabul edilirse, 2020 Nisan ayında bir önceki yıla göre en fazla değişim 2,2'lik endeks değeri ile Yalova'da gerçekleşti. Sözün kısası, Yalova, 2019 yılındaki değerine göre açık ara farkla en sert düşüşü yaşayan il oldu. Yalova'yı 1,8 endeks değeri ile İstanbul takip etti. 1,7'lik endeks değeri ile en çok düşüşün gerçekleştiği üçüncü il olarak Zonguldak listelendi. Bu iller NO2 değerinde en fazla düşüşün yaşandığı 1'inci kademe iller olarak düşünülebilir. Zonguldak'ı sırasıyla, Bursa, Kocaeli, Bartın, Kırklareli, Tekirdağ, Adana ve Edirne takip etti. 1'inci kademeyi takiben en fazla düşüşün gerçekleştiği 2'nci kademedeki düşüş olarak değerlendirdiğimiz bu iller, genellikle Marmara ve Karadeniz bölgelerinde yer alırken, Adana ise bu iki bölgenin dışında en yüksek etkinin yaşandığı illerden biri olarak bölgesel açıdan diğer illerden ayrıştı. 3'üncü kademedeki düşüş ise genellikle 2'nci kademede düşüş yaşayan illerin yakın coğrafyasında yer alan illerde öne çıktı. Ek olarak, 1'inci ve 2'nci kademe olarak öne çıkan illerin birçoğunun Türkiye'nin otoyol bağlantı hattında yer alan iller olduğu ayrıca dikkat çekiyor.

**Şekil 3 - Türkiye'de NO2 değişim endeksi ve otoyol altyapısı, 2019 Nisan ve 2020 Nisan karşılaştırması**



**Kaynak:** S5P ESA, TEPAV hesaplamaları  
**Not:** Kırmızı çizgiler otoyolları göstermektedir.

**Şekil 4 - NO2 endeks değeri en çok değişen ilk 10 il, 2019 Nisan ve 2020 Nisan karşılaştırması**



**Kaynak:** S5P ESA, TEPAV hesaplamaları

NO2 düzeylerinde 81 il ortalamasına göre daha fazla düşüş yaşayan iller; artan sosyal mesafe önlemleri ile evden çalışma düzenine geçilmesi, şehir içi ve şehirlerarası araç trafiğinin düşüşü, fabrikaların geçici olarak üretimlerini askıya alması gibi farklı önlemlerden en fazla etkilenmiş iller olarak yorumlanabilir. Öte yandan, sanayi üretimi ve trafik verileri açısından NO2 verilerini

yorumlasak da turizm ve tarım gibi farklı etki kanallarındaki değişimi, NO<sub>2</sub> değerleri ile yorumlamamız mümkün değil. Bu etki kanalları aracılığıyla hangi illerin ne düzeyde etkilendiğini ise başka yöntemlerle değerlendirmek gerekecektir. Ayrıca bu çalışmada ortaya konulan çalışma sonuçları, COVID-19 sonrası için uzaktan çalışma düzeninin çevreye sağlayacağı yararın da uzun vadede değerlendirilmesi gerektiğini gösteriyor.<sup>xvii</sup>

**Tablo 1 - İllere göre NO<sub>2</sub> değişim endeks sonuçları, 2019 Nisan ve 2020 Nisan karşılaştırması**

81 İl Ortalaması = 1					
İl	Endeks Değeri	İl	Endeks Değeri	İl	Endeks Değeri
Adana	1,252	Edirne	1,226	Malatya	0,763
Adıyaman	0,941	Elazığ	0,827	Manisa	1,081
Afyonkarahisar	0,829	Erzincan	0,925	Mardin	0,876
Ağrı	0,880	Erzurum	0,923	Mersin	1,036
Aksaray	0,778	Eskişehir	0,879	Muğla	0,835
Amasya	0,697	Gaziantep	0,879	Muş	0,805
Ankara	1,013	Giresun	1,060	Nevşehir	0,575
Antalya	0,996	Gümüşhane	0,895	Niğde	0,635
Ardahan	1,049	Hakkari	1,120	Ordu	1,109
Artvin	1,189	Hatay	1,076	Osmaniye	0,864
Aydın	0,845	İğdır	0,752	Rize	1,097
Balıkesir	1,158	Isparta	0,930	Sakarya	1,013
Bartın	1,401	İstanbul	1,792	Samsun	1,056
Batman	0,716	İzmir	0,868	Siirt	1,077
Bayburt	0,798	Kahramanmaraş	0,800	Sinop	1,151
Bilecik	1,068	Karabük	1,194	Sivas	0,664
Bingöl	0,770	Karaman	0,833	Şanlıurfa	0,994
Bitlis	0,976	Kars	0,772	Şırnak	0,953
Bolu	0,990	Kastamonu	1,212	Tekirdağ	1,254
Burdur	0,744	Kayseri	0,832	Tokat	0,596
Bursa	1,552	Kırkkale	0,525	Trabzon	1,095
Çanakkale	1,032	Kırklareli	1,367	Tunceli	0,777
Çankırı	0,810	Kırşehir	0,764	Uşak	0,925
Çorum	0,658	Kilis	0,787	Van	0,909
Denizli	0,903	Kocaeli	1,505	Yalova	2,201
Diyarbakır	0,763	Konya	0,728	Yozgat	0,689
Düzce	1,150	Kütahya	1,088	Zonguldak	1,730

**Kaynak:** S5P ESA, TEPAV hesaplamaları

## EK - NO<sub>2</sub> Verilerinin İşlenmesinde İzlenen Adımlar

Ham verilerle NO<sub>2</sub> düzey değişimlerinin analiz edilmesi yerine, meteorolojik değişkenliği kısmen analiz dışı bırakıp insan aktivitesine bağlı değişikliklerin etkisinin değerlendirilmesi için aşağıda sıralanan işlemler takip edildi.

- 1- **NO<sub>2</sub> verilerinin indirilmesi:** 2019 ve 2020 yıllarında Ocak, Şubat, Mart ve Nisan ayları için günlük NO<sub>2</sub> verilerine Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency - ESA) aracılığıyla erişildi. Çalışmada faydalanılan AB'nin yeryüzü gözlem programı Copernicus'un bir parçası olan S5P misyonuna ilişkin arayüzde, günlük olarak dünya genelinde her bir orbit için NO<sub>2</sub> verileri ayrı ayrı dosyalanmış şekilde sunuluyor. Aynı tarihte Türkiye'yi ise birden fazla sayıda orbit kesebiliyor. Orbit numaraları zaman içerisinde değişiklik gösterirken Türkiye coğrafyasını içeren orbitler, 25 ve 46 boylamları ile 35 ve 43 enlemleri arası yani Türkiye'yi çerçeveleyecek şekilde çizilen poligon haritası ile kesişimleri göz önünde bulundurularak tespit edildi. Tüm verilerin indirilmesi yerine bu kesişimlerin indirilmesinin sebebi ise ham verilerin hacimsel açıdan büyüklüğü. Nitekim çalışma kapsamında derlenen veriler, en son aşamada 200 Gigabyte'ı geçti. Öte yandan S5P ham verilerinin indirilmeden erişilebildiği Google Earth Engine gibi arayüzler de mevcut.<sup>7 xviii</sup> Ayrıca son dönemlerde COVID-19 analizleri ile birlikte sunulmaya başlayan NO<sub>2</sub> analizlerini içeren arayüzlerden biri de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) tarafından sunuluyor.<sup>xix</sup> Ancak bu arayüzlerle incelenen veriler, ek işlemlere tabi tutulabilirken çalışma kapsamında analiz sonuçlarına etki edebilecek tüm aşamaların kontrol edilebilmesi için süreç ham verilere erişim ile başlatıldı.
- 2- **NO<sub>2</sub> veri spesifikasyonları:** S5P çerçevesinde NO<sub>2</sub> değerleri 3 sürüm ile paylaşılıyor. Bu sürümlerden ilki olan çevrim dışı veriler (offline), ölçüm tarihlerinden sonra belirli bir gecikme ile erişilebilir oluyor. İlgili temizleme işlemlerini takiben açıklanan çevrim dışı verilere ek olarak kısmi veri eksiklikleri olan NRTI (Near Real Time - Gerçek Zamana Yakın) verilerine ise ölçümleri takiben aynı gün içerisinde birkaç saat içerisinde erişilebiliyor. Üçüncü sürüm olan yeniden işlenmiş veriler ise çalışmada temel alınan veri indirme kanallarından erişilememekle birlikte bu sürüm de hız ve kalite açısından NRTI ve çevrim dışı verilerin arasında bir nitelikte.<sup>xx</sup> Çalışma kapsamında "L2" spesifikasyonu ile 1 Ocak - 30 Nisan 2019 ve 1 Ocak - 25 Nisan 2020 tarihleri arasında erişilebilen çevrim dışı veriler indirildi. NRTI verileri için ise erişilebilen tarih aralığı olan 23 Mart 2020 ve 30 Nisan 2020 dönemine ait dosyalar indirildi. Normal şartlar altında çevrim dışı veriler ile NRTI verilerinin birleştirilerek kullanılması çok tavsiye edilmiyor. Çalışma kapsamında olabildiğince yakın dönemi kapsamak için çevrim dışı veriler yetersiz kalabildiği ve NRTI verileri ile geçmişe erişim sağlamadığı için NRTI ve çevrim dışı veriler ilk kontrollerden sonra birlikte kullanıldı.
- 3- **NO<sub>2</sub> verilerin ilk etap temizliği:** S5P'den indirilen her bir "nc" uzantılı dosyadan "nitrogen\_dioxide\_total\_column", enlem, boylam ve kalite güvence değerleri ayrıştırıldı. Her ne kadar veriler Türkiye'yi içeren çerçeve bir poligon ile orbitlerin eşleştirilmesiyle indirilse de aynı veri dosyasında ilgili orbitteki tüm coğrafi konumlara ilişkin veriler de geliyor. Verinin büyüklüğü ve takip edilecek işlemlerin alacağı süre düşünülerek,

<sup>7</sup> NO<sub>2</sub> verilerine erişim alternatifleri için bakınız: Earthdata NASA. (2020). How to Find and Visualize Nitrogen Dioxide Satellite Data. 26 Mart 2020.

indirilen verilerdeki enlem ve boylam değerleri ile Türkiye çerçeve poligonu karşılaştırılarak, belirtilen alan içerisine düşmeyen koordinat verileri, ilgili veri dosyasından düşürüldü. Enlem ve boylam eşleşmesi ile sunulan verilerde kalite güvence değeri 0,75'e eşit ve üzerinde olan gözlemler tutuldu. Bu aşamalar indirilen her bir nc dosyası için gerçekleştirilirken, takip eden etapta bu işlemlerden geçen veri dosyaları çevrim dışı ve NRTI verileri için ayrı ayrı olmak üzere enlem, boylam, NO<sub>2</sub> değeri ve tarih bilgilerini içerecek iki ayrı veri setine dönüştürüldü.

- 4- NO<sub>2</sub> verilerinin gridlerle işlenmesi:** Çalışma kapsamında, 25 ve 46 boylamları ile 35 ve 43 enlemleri arasındaki alan, 2,5 kilometrekarelik poligon gridlere bölündü. 81 ile ait idari sınırlar temel alınarak toplamda 141 bin 801 poligon grid ile iller eşleştirildi. Bu tespit aşamasında tek bir grid, birbirine yakın olan farklı illerin alanlarını içermesi durumunda, birden fazla ile atanabildi. NO<sub>2</sub> verilerinin paylaşıldığı enlem ve boylam değerleri, spesifik noktaları belirtirken gridler eşit alanları temsil etmektedir. Koordinat bilgileriyle derlenen NO<sub>2</sub> değerleri de bir önceki aşamada elde edilen Türkiye grid poligonu ile eşleştirildi. Bu dönüşüm ile çok az bir coğrafi mesafe içerisinde yer alan birden fazla gözlem olması durumunda, gözlemler arası yakınlık bilgisi kaybedilmemiş oldu. Bu yaklaşım sayesinde sonraki aşamalarda gerçekleştirilecek ortalama hesaplamalarında birbirine yakın ama farklı değerler alabilen tekil koordinatlar yerine, her bir 2,5 kilometrekarelik alanın eşit ağırlık ile temsil edilebildiği ortalamalar elde edildi. Aynı zamanda, bu yaklaşım ile rüzgâr gibi farklı meteorolojik hava şartları nedeniyle taşınabilen NO<sub>2</sub> değerlerine ilişkin veriler de değerlendirmede tutulmaya çalışıldı. Daha sonrasında grid, il ve gün bilgileri sabit tutularak NO<sub>2</sub> verilerinin ortalaması alındı. Grid bazlı ortalama yaklaşımı ile ayrıca kalite güvence değeri eşik değerinin altında kalan gözlemler nedeniyle oluşan bilgi eksikliği telafi edilmeye çalışıldı.
- 5- Çevrim dışı ve NRTI verilerinin birleştirilmesi ve coğrafi geçişkenliğe izin veren endeks değerine dönüştürülmesi:** İlgili çevrim dışı veriler ve NRTI verileri 3 ve 4'üncü maddedeki aşamalardan ayrı ayrı geçerek iki dosyada toplandı. İlgili işlemlerden geçen veriler, son aşamada çevrim dışı ve NRTI verileri bir arada olacak şekilde her bir gün ve il için tek bir veri setinde birleştirildi. İlgili veri setinde aynı dönem için mevcut olan NRTI ve çevrim dışı verilerin kesişimleri karşılaştırıldı. Farklı illerde ilgili iki veri arasında zaman içerisinde anlamlı bir farklılık görülmedi. Veri seti, çevrim dışı verilerin erişilebilir olduğu günler için çevrim dışı veriler, erişilebilir olmadığı günlerde NRTI verilerini içerecek şekilde birleştirildi. Birleştirilen veri üzerinden 2019 ve 2020 yılları için il düzeyinde aylık ortalamalar alındı. Daha sonrasında aylara göre her bir ilde 2020 yılı için gridlere göre hesaplanan NO<sub>2</sub> düzeyinin 2019 yılına göre değişimi hesaplandı. Aynı hesaplama 81 il ortalaması ile oluşturulan yapay satır için de tekrarlandı. Tekil değişim oranlarının bu yapay ortalamaya göre oranı ile de endeks değeri oluşturuldu. Elde edilen endeks değerinin ek hesaplama yapılmaksızın idari sınırlar ve koordinatların eşleştirilmesi ile elde edilen NO<sub>2</sub> değerleri ortalamasından farklılaştığı temel noktalardan biri, idari sınırlar yerine NO<sub>2</sub> geçişlerini göz önünde bulundurmak için gridlerin kullanılması.
- 6- Sıcaklık değişiminin kontrolü:** Sıcaklık değerlerinin bir önceki seneye göre daha yüksek ve daha düşük olması, yakıt ve elektrik tüketimini doğrudan etkilerken bu durum da mevsimsel nedenlerle NO<sub>2</sub> değerlerinde farklılığa neden olabiliyor. Bu etkiyi kontrol edebilmek için Copernicus Climate Change Service (C3S) arayüzü aracılığıyla 2019 ve



2020 yılları için Ocak, Şubat, Mart ve Nisan ayları için 25 ve 46 boylamları ile 35 ve 43 enlemleri arasındaki kara veya deniz yüzeyinden 2 metre yükseklikteki hava sıcaklığına ilişkin 2,5 kilometrekarelik gridler halinde paylaşılan saatlik sıcaklık verileri derlendi. Derlenen veri setinde ilgili gridlere ait enlem, boylam, ölçüm tarihi ve Kelvin biriminden derlenen ortalama sıcaklık verileri gruplandı. Kelvin birimi ile paylaşılan ortalama saatlik sıcaklık verileri Celsius'a dönüştürüldükten sonra saatlik verilere ilişkin ortalama değerler ile koordinat düzeyinde günlük sıcaklık değerleri elde edildi. Veriler 2,5 kilometrekarelik gridler ile paylaşıldığı için ilgili koordinat noktaları 2,5 kilometrekarelik poligonlara dönüştürüldü. Sıcaklık gridlerine ilişkin poligon ile Türkiye il idari sınırlarını içeren poligon birleştirildi. Bu birleştirme işleminde eğer spesifik bir koordinatın olduğu bir grid birden çok il ile kesişiyorsa bu grid tüm ilgili illerle eşleştirildi. Bu yaklaşım, sıcaklık değerleri gibi değerlerin il idari sınırlarında keskin bir şekilde ayrılmayabileceği ve de gridler halinde ortalama veri sunan sıcaklık verilerini eşit dağıtabilme varsayımları ile takip edildi. Sonraki aşamada ise her bir ildeki günlük ortalama sıcaklık değerleri hesaplandı. İlgili günlük veriler ile bir sonraki aşamada her bir ildeki aylık ortalama sıcaklık değerleri hesaplandı. Aylık oranlar ile 2020 ve 2019 yılları karşılaştırıldı. Aylık karşılaştırmalara ek olarak Mart-Nisan dönemine ait iki aylık ortalama da yine 2020 ve 2019 yılları için kıyaslandı. Bu sayede, iller düzeyinde ilgili aylarda bir önceki seneye göre ortalama sıcaklık değerlerinin ne ölçüde değiştiğini gösteren bir veri seti elde edilmiş oldu. Bu veri seti, NO<sub>2</sub> sonuçlarını yorumlarken ayrıca göz önünde bulunduruldu. Eğer bir il NO<sub>2</sub> değerlerinde ani bir artış veya yükseliş gösterdiyse bu durumun sıcaklık değeri ile korelasyona sahip olup olmadığı incelendi. Öte yandan, Nisan 2019 ve Nisan 2020 dönemlerinin karşılaştırılması ile 81 il genelinde en fazla düşüş 0,67°C iken en fazla artış da 1,08°C olarak hesaplandı (bknz. Tablo 2). Bu çerçevede, ilgili grid yaklaşımı sonrasında 81 il genelinde sıcaklık değerinin dönemler içerisinde anlamlı bir oranda değişiklik göstermediği bulgusuna erişildi. Grid eşleştirmesi ile il genelinde açıklanan resmi istatistiklere kıyasla farklı bir yaklaşım izlense de verilerin çapraz kontrolü için Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılan, illerin aylara göre 1961-2019 periyodundaki ortalama sıcaklık değerleri ile uyumu ayrıca karşılaştırıldı.<sup>xxi</sup>

81 İLDE COVID-19 DÖNEMİNDE AZOT DİOKSİT (NO<sub>2</sub>) DEĞİŞİMİ

**Tablo 2 - 2,5 kilometrekarelik gridlere göre ortalama aylık sıcaklık değerleri, 2019-2020**

	Değişim			Mart-Nisan ortalaması
	Mart	Nisan		
<b>Minimum</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,67</b>		<b>-0,64</b>
Düzce	-0,61	-0,67		-0,64
Bingöl	-0,38	-0,21		-0,30
Nevşehir	-0,16	-0,30		-0,23
Elazığ	-0,22	-0,18		-0,21
Diyarbakır	-0,37	0,01		-0,20
Antalya	-0,18	-0,22		-0,20
Siirt	-0,15	-0,20		-0,17
Ağrı	-0,22	-0,10		-0,16
Bursa	-0,22	-0,03		-0,16
Hakkari	-0,05	-0,39		-0,15
Afyonkarahisar	-0,10	-0,20		-0,15
Mersin	0,05	-0,42		-0,13
Rize	-0,37	0,13		-0,12
Zonguldak	-0,05	-0,32		-0,12
Isparta	-0,20	-0,09		-0,12
Sakarya	-0,05	-0,23		-0,12
Karabük	-0,27	0,05		-0,09
Niğde	-0,13	0,03		-0,08
Aksaray	0,05	-0,33		-0,08
Kütahya	-0,10	0,05		-0,05
Samsun	-0,10	-0,06		-0,08
Kars	-0,18	0,01		-0,09
Iğdır	-0,07	-0,05		-0,06
Ardahan	0,01	-0,20		-0,05
Kırşehir	-0,05	-0,09		-0,04
Amasya	-0,14	0,05		-0,04
Kahramanmaraş	-0,08	0,05		-0,03
Konya	-0,05	0,03		-0,02
Edirne	0,05	0,03		0,02
Sinop	0,05	-0,09		0,01
Mardin	-0,37	0,33		0,02
Şanlıurfa	-0,05	-0,05		0,01
Artvin	-0,05	0,05		0,01
Eskişehir	-0,05	0,05		0,01
Manisa	-0,05	0,03		0,01
Bilecik	-0,16	0,15		0,01
Osmaniye	-0,05	0,05		0,01
Burdur	0,05	-0,07		0,01
Aydın	0,05	0,03		0,01
İstanbul	-0,22	0,23		0,01
Sivas	-0,06	0,01		0,01
Adana	0,01	-0,06		0,01
Balıkesir	0,05	0,03		0,01
Çanakkale	0,05	-0,05		0,01
Giresun	0,05	0,01		0,01
Erzurum	0,05	0,03		0,01
Adıyaman	-0,27	0,38		0,01
Tekirdağ	-0,08	-0,09		0,01
Muş	-0,11	0,21		0,01
Gümüşhane	-0,11	0,21		0,01
Kayseri	0,05	0,05		0,01
Malatya	-0,08	0,05		0,01
Kırklareli	0,05	0,01		0,01
Karaman	0,25	-0,15		0,01
Van	0,05	-0,05		0,01
İzmir	0,05	0,05		0,01
Erzincan	0,05	0,01		0,01
Ankara	0,20	-0,03		0,01
Muğla	-0,12	0,29		0,01
Trabzon	-0,11	0,32		0,01
Kastamonu	0,17	0,03		0,01
Bayburt	0,18	0,03		0,01
Denizli	0,18	0,03		0,01
Bolu	0,05	0,23		0,01
Yozgat	0,05	0,15		0,01
Kırıkkale	0,05	0,05		0,01
Çorum	0,05	0,03		0,01
Tokat	0,28	0,03		0,01
Tunceli	0,05	0,25		0,01
Bartın	0,37	-0,09		0,01
Şirnak	0,34	0,03		0,01
Ordu	0,17	0,25		0,01
Batman	0,28	0,05		0,01
Uşak	0,05	0,35		0,01
Çankırı	0,20	0,18		0,01
Bitlis	0,52	0,03		0,01
Kilis	1,23	-0,51		0,36
Kocaeli	0,48	0,30		0,39
Gaziantep	0,53	0,29		0,41
Hatay	0,44	1,08		0,76
Yalova	1,22	0,55		0,77
<b>Maksimum</b>	<b>1,23</b>	<b>1,08</b>		<b>0,77</b>

**Kaynak:** C3S, TEPAV hesaplamaları

## Referanslar (Son notlar)

- <sup>i</sup> ESA. (2020). Coronavirus: Nitrogen Dioxide Emissions Drop Over Italy. 13 Mart 2020.  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus\\_nitrogen\\_dioxide\\_emissions\\_drop\\_over\\_Italy](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus_nitrogen_dioxide_emissions_drop_over_Italy)
- <sup>ii</sup> World Health Organisation. (2003). Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. 13-15 Ocak 2003.  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107478/E79097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- <sup>iii</sup> Timmer, H., Mercer-Blackman, V., Beyer, R. C. M. (2020). The Economic Impact of COVID-19 on South Asia: 3 Visuals. World Bank Blog. 16 Nisan 2020.  
<https://blogs.worldbank.org/endpovertyinsouthasia/economic-impact-covid-19-south-asia-3-visuals>
- <sup>iv</sup> Bowler, J. (2020). New Evidence Shows How COVID-19 Has Affected Global Air Pollution. 17 Mart 2020.  
<https://www.sciencealert.com/here-s-what-covid-19-is-doing-to-our-pollution-levels>
- <sup>v</sup> ESA. (2020). COVID-19: Nitrogen Dioxide Over China. 19 Mart 2020.  
[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/COVID-19\\_nitrogen\\_dioxide\\_over\\_China](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/COVID-19_nitrogen_dioxide_over_China)
- <sup>vi</sup> ESA. (2020). Coronavirus: Nitrogen Dioxide Emissions Drop Over Italy. 13 Mart 2020.  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus\\_nitrogen\\_dioxide\\_emissions\\_drop\\_over\\_Italy](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus_nitrogen_dioxide_emissions_drop_over_Italy)
- <sup>vii</sup> Earth Observatory. (2020). Airborne Nitrogen Dioxide Plummets Over China.  
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>
- <sup>viii</sup> ESA. (2020). Coronavirus: Nitrogen Dioxide Emissions Drop Over Italy. 13 Mart 2020.  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus\\_nitrogen\\_dioxide\\_emissions\\_drop\\_over\\_Italy](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus_nitrogen_dioxide_emissions_drop_over_Italy)
- <sup>ix</sup> Boersma, A. L. K. F., Eskes H. J., Veefkind, J. P., van Geffen, J. H. G. M., de Zeeuw, M. B., Denier van der Gon H. A. C., Beirle, S. ve Krol, M. C. (2019). Quantification of Nitrogen Oxides Emissions from Build-Up of Pollution over Paris with TROPOMI. Sci Rep 9, 20033 (2019). 27 Aralık 2019.  
<https://www.nature.com/articles/s41598-019-56428-5#citeas>
- <sup>x</sup> Copernicus Atmosphere Monitoring Service. (2020). Copernicus Confirms a Reduction of NO<sub>2</sub> Levels over Northern Italy since the Lockdown. 17 Mart 2020.  
<https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-confirms-reduction-no2-levels-over-northern-italy-lockdown>
- <sup>xi</sup> Royal Netherlands Meteorological Institute Ministry of Infrastructure and Water Management. (2019). Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Nitrogen dioxide. Eskes, H., van Geffen J., Boersma, F., Eichmann, K.-U., Apituley, A., Pedernana, M., Sneep, M., Veefkind, J. P., Loyola, D. 27 Mart 2019.  
<https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Nitrogen-Dioxide>
- <sup>xii</sup> Amos, J. (2020). Coronavirus: Lockdowns Continue to Suppress European Pollution. BBC. 27 Mart 2020.  
<https://www.bbc.com/news/science-environment-52065140>
- <sup>xiii</sup> Copernicus Atmosphere Monitoring Service. (2020). Flawed Estimates of the Effects of Lockdown Measures on Air Quality Derived From Satellite Observations. 26 Mart 2020.  
<https://atmosphere.copernicus.eu/flawed-estimates-effects-lockdown-measures-air-quality-derived-satellite-observations?q=flawed-estimates-effects-lockdown-measures-air-quality-satellite-observations>
- <sup>xiv</sup> A.g.e.
- <sup>xv</sup> ESA. Coronavirus Lockdown Leading to Drop in Pollution Across Europe. 27 Mart 2020.  
[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Coronavirus\\_lockdown\\_leading\\_to\\_drop\\_in\\_pollution\\_across\\_Europe](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Coronavirus_lockdown_leading_to_drop_in_pollution_across_Europe)

<sup>xvi</sup> Air Quality Consultants. (2020). The Effect of COVID-19 Social and Travel Restrictions on UK Air Quality - 06 April Update. 6 Nisan 2020.

<https://www.aqconsultants.co.uk/CMSPages/GetFile.aspx?guid=1222ff30-3c9f-4189-b353-2f2ee50edab1>

Carlaw, D.C. ve K. Ropkins. (2012). openair- An R Package for Air Quality Data Analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52–61.

Carlaw, D. (2015). The openair Manual Open-Source Tools for Analysing Air Pollution Data. King's College London. Version: 28<sup>th</sup> January 2015.

<https://davidcarlaw.com/files/openairmanual.pdf>

EarthSense. (2020). COVID-19 & Air Quality: Learning Painful Lessons to Deliver Long-Term Benefit, 15 Nisan 2020.

<https://www.earthsense.co.uk/post/covid-19-and-air-quality>

<sup>xvii</sup> EarthSense. (2020). Covid-19 & Air Quality: Learning Painful Lessons to Deliver Long-term Benefit, 15 Nisan 2020.

<https://www.earthsense.co.uk/post/covid-19-and-air-quality>

<sup>xviii</sup> Earthdata NASA. (2020). How to Find and Visualize Nitrogen Dioxide Satellite Data. 26 Mart 2020.

<https://earthdata.nasa.gov/learn/articles/feature-articles/health-and-air-quality-articles/find-no2-data>

<sup>xix</sup> Copernicus Atmosphere Monitoring Service. (2020). European Air Quality Information in Support of the COVID-19 Crisis.

<https://atmosphere.copernicus.eu/european-air-quality-information-support-covid-19-crisis>

<sup>xx</sup> TROPOMI. Data Products. Level 2 Products.

<http://www.tropomi.eu/data-products/level-2-products>

<sup>xxi</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Resmi İstatistikler. İllere ait Mevsim Normalleri. (1981-2010).

<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=>