

SO₂ KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE YER VE UYDU VERİLERİNİN BİRARADA KULLANIMI

Merve ASAR¹, Merih Balay KARA¹, Burçak KAYNAK TEZEL^{1(*)}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34469

ÖZET

Bu çalışmada yer ve uydu SO₂ ölçümlerinin hava kirliliğini belirlemek için bir arada kullanımları incelenmiştir. Öncelikle Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan elde edilen yer ölçümleri kullanılarak evsel ısınmanın SO₂ kirliliğine katkısı incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle kış mevsimi konsantrasyonları diğer mevsimler ve yıllık ortalamalar ile karşılaştırılmıştır. Farkın en yüksek olduğu yer ölçüm istasyonlarında evsel ısınma kaynaklı SO₂ katkısı olduğu düşünülerek bu istasyonlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. En yüksek kış yıllık oranları gözlemlenen dört yer istasyonunda (Edirne Keşan (MTHM), Şırnak, Ordu Fatsa ve Tekirdağ) sıcaklık, ısıtma gün dereceleri, PM₁₀, NO₂ ve SO₂ yer ölçümleri incelenmiş ve karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Aynı iller için OMI uydu SO₂ verileri de değerlendirilmiştir. Bunların yanı sıra sınır dışından SO₂ taşınımı uydu ölçümleri ile belirlenebilmektedir. Bu kapsamda 19 Ekim 2016 tarihinde Musul'un güneyinde yer alan kükürt tesisinde meydana gelen yangının ülkemizin güney doğu bölgesine etkileri yer ve uydu verileri kullanılarak belirlenmiştir. Kirlilik taşınımının etkisi özellikle Batman, Bitlis, Diyarbakır, Hakkari, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illerinde görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

SO₂, OMI, evsel ısınma, ısıtma gün dereceleri, sınır ötesi kirletici taşınımı

ABSTRACT

In this study, co-use of ground and satellite SO₂ measurements to determine air pollution has been examined. Firstly, the contribution of residential heating to SO₂ pollution was examined using ground measurements obtained from the National Air Quality Monitoring Network. In this context, firstly winter season concentrations were compared with other seasons and annual averages. The ground stations with the highest differences were focused on to observe the possible SO₂ contribution from residential heating. For four ground stations where the highest winter to yearly ratios were observed (Edirne Keşan (MTHM), Şırnak, Ordu Fatsa and Tekirdağ), temperature, heating degree days, PM₁₀, NO₂ and SO₂ measurements were examined and compared. OMI satellite SO₂ measurements were also evaluated for these locations. In addition, SO₂ transport through borders can also be determined by satellite measurements. In this context, the fire in the sulfur plant located south of Mosul on October 19, 2016 and it's effects on the south eastern region of Turkey was investigated. The effect of SO₂ transport was especially significant in Batman, Bitlis, Diyarbakır, Hakkari, Mardin, Siirt and Şanlıurfa.

KEYWORDS

SO₂, OMI, residential heating, heating degree days, transboundary pollution transport

(*) burcak.kaynak@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Atmosferde bulunan kükürt dioksit (SO_2) varlığının başlıca nedenleri evsel ısınmada, ulaşımda ve endüstriyel tesislerde kükürt içeren yakıt kullanımı ve volkanik patlamalardır. İnsan kaynaklı ve doğal SO_2 emisyonları atmosferde çok çabuk oksitlenerek, ikincil partikül oluşumuna ve asit birikimine yol açmakta, hava kirliliğine ve asit yağmurlarına sebep olmaktadır (Fioletov vd., 2013).

SO_2 kirleticisinin takibi genellikle yer ölçüm istasyonlarıyla gerçekleştirilmektedir. Bunların yanı sıra daha yeni bir teknik olan uzaktan algılama ile de SO_2 kirliliği takibi yapılabilmektedir. Bu ölçümler yer ölçüm istasyonlarından farklı olarak yer seviyesi ve tek bir nokta için değil de belirli bir bölge için tüm kolon bilgisi sağlayabilmektedir. Her iki ölçümün özellikleri düşünüldüğünde SO_2 kirliliğinin zamansal ve bölgesel değişimlerinin izlenmesi için birbirini tamamlayarak kullanılabilmesi mümkündür.

OMI SO_2 dikey yoğunlukları ile uçak ölçümleri (Walter vd., 2012), yer ölçümleri karşılaştırılmış (Dickerson vd., 2007; Lee vd., 2011), kimyasal taşınım modeli kullanılarak küresel SO_2 emisyonlarının tahminlerinde (Lee vd., 2011) kullanılmıştır. Bunlara ek olarak SO_2 'nin taşınımı (Dickerson vd., 2007; Lee vd., 2008; Li vd., 2010b), emisyon dağılımı ve yarı ömrü incelenmiş (Lee vd., 2011; Lee vd., 2008); mekansal ve zamansal değişimi (Jiang vd., 2012; McLinden vd., 2012) araştırılmıştır. İlk zamanlarda SO_2 uydu verileri çok yüksek emisyonlara sahip volkan kaynaklı SO_2 takibi için kullanılırken (Krueger vd., 2009; Campion vd., 2012), son yıllarda ise insan kaynaklı SO_2 emisyonlarının hava kirliliği üzerindeki etkisini (Fioletov vd., 2013; Fioletov vd., 2011; Li vd., 2010a; Li vd., 2010b; Witte vd., 2009) araştırılmak için de kullanılmaktadır.

Kış aylarında ısınma amacıyla kömür kullanımı başta SO_2 ve PM olmak üzere çeşitli kirleticilerin çevreye yayılmasına neden olmaktadır. Çanakkale ili için yapılan bir çalışmada kömürden doğal gaz kullanımına geçişin ısınma kaynaklı SO_2 konsantrasyonlarında önemli ölçüde düşüş sağladığı gözlemlenmiştir (Menteşe ve Can Yarıntepe, 2012). 2013-2017 yılları arası yer istasyonları SO_2 ölçümleri değerlendirildiğinde Türkiye’de halen kış dönemi ve yıllık ortalama SO_2 konsantrasyonları bazı istasyonlarda yüksek olup, mevcut istasyonların %30’unun yıllık SO_2 sınır değerini aşmış olduğu bulunmuştur (Kara ve Kaynak Tezel, 2017). Daha önceki bir başka çalışmada mevcut kömür termik santrallerinin SO_2 kirliliğine katkısı incelenmiş olup yer ve uydu SO_2 verileri kıyaslanmıştır (Fıratlı, 2016).

Bu çalışmada ise Türkiye’de mevcut tüm yer ölçüm istasyonlarında ölçülen SO_2 konsantrasyonları ve OMI enstrümanından elde edilen SO_2 kolon değerleri kullanılarak başka önemli bir SO_2 kaynağı olan evsel ısınmanın katkısı ve sınır ötesi taşınım örneği incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METHOD

2.1. Yer istasyonları verileri

Türkiye genelinde gerçekleştirilen SO_2 ölçümleri 2005-2016 yılları için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) internet sitesinden saatlik olarak temin edilmiştir (UHKİA, 2016). Seçilen zaman aralığında SO_2 ölçümünün yapıldığı toplamda 174 istasyon bulunmaktadır.

UHKİA ölçümlerinin kalite kontrolü için yayınlanmış ulusal bir metodoloji bulunmadığından uluslararası kaynaklar baz alınarak veri kontrolü gerçekleştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde Indiana Çevre Yönetimi Dairesi'nin yayınladığı metodoloji kullanılmıştır (IDEM, 2015). Gün içerisinde saatlik verilerin %75'inden azı mevcut ise, ya da ardışık saatlik ölçümlerin arasındaki fark 150 ppb ($393 \mu\text{g}/\text{m}^3$)'den büyük ise veriler değerlendirmeden çıkarılmıştır. Yanı sıra fiziksel olarak mümkün olamayacak kadar yüksek ($> 3 \text{ ppm}$ ($7860 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve negatif değerler ($< -5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de ayıklanmış ve çalışmada bu veri seti kullanılmıştır.

Yer gözlem istasyonları için günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama SO_2 konsantrasyonları hesaplanmıştır. Yanı sıra uydu verileri ile zaman uyumu sağlanması açısından 24 saatlik ortalamaların yanı sıra gün için iki saatlik (13:00-14:00) ortalama değerler de hesaplanmıştır.

2.2. Isıtma gün dereceleri

SO_2 kirliliğinin evsel ısıtma kaynaklı olup olmadığının belirlenebilmesi için kullanılan katı yakıt miktarı ile ilişkilendirilebilecek bir parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ortalama sıcaklığın yanı sıra ısıtma gün dereceleri de ilişkilendirilebilecek parametreler arasındadır.

Isıtma gün dereceleri (HDD) günlük sıcaklık ortalaması ile 18°C arasındaki fark olup, bir binanın ne kadar ısıtılması gerektiğini göstermektedir:

$$\text{HDD} = (18^\circ\text{C} - T_{\text{ort}}) \times d \quad (1)$$

Burada T_{ort} günlük ortalama sıcaklık, d ise gün sayısını göstermektedir. Hesaplama günlük bazda yapılarak sonra aylık toplam hesaplanmıştır. Eğer sıcaklık 15°C 'den fazla ise HDD değeri sıfır alınır. Kış ayları konsantrasyonları yüksek olan seçili istasyonlar için HDD değerleri de hesaplanmıştır.

2.2. Uydu verileri

NASA Aura uydusu üzerinde bulunan OMI enstrümanından elde edilen SO_2 kolon verisi 2005-2016 yılları için NASA web sitesinden indirilmiş (NASA, 2016) ve bu çalışmada antropojenik kaynaklar ile ilişkili olan 2. Seviye (L2) Yüzeye Yakın Sınır Tabakası SO_2 (PBL, Planetary Boundary Layer) verisi kullanılmıştır. Veri setinde veri kalitesi için OMI Bilgilendirme dökümanında (Li ve Krotkov, 2014) ve önceki çalışmalarda (Fioletov vd., 2011; Li vd., 2010) belirtilen Güneş Zenit Açısı (SZA, Solar Zenith Angle), Işınımsal Bulut Fraksiyonu (RCF, Radiative Cloud Fraction), Ozon kolonu filtrelemeleri yapılmıştır. Hava kirliliği ile ilgili diğer çalışmalarda tavsiye edilen SZA'nın 60° 'den küçük, RCF'nin 0,3'ten küçük ve Ozon kolonunun 1500 DU 'dan küçük olduğu veriler (He vd., 2012; Jiang vd., 2012; N. Krotkov vd., 2008; Lee vd., 2011; Li vd., 2014; Witte vd., 2009) kullanılmıştır. Bu verilerin yer ölçümleri ile kıyaslanabilmesi ve mekansal değişiminin incelenebilmesi için coğrafi bilgi sistemi ile yer ölçüm istasyonlarının 20 km çevresindeki uydu verileri ilgili istasyonlar ile eşleştirilmiştir.

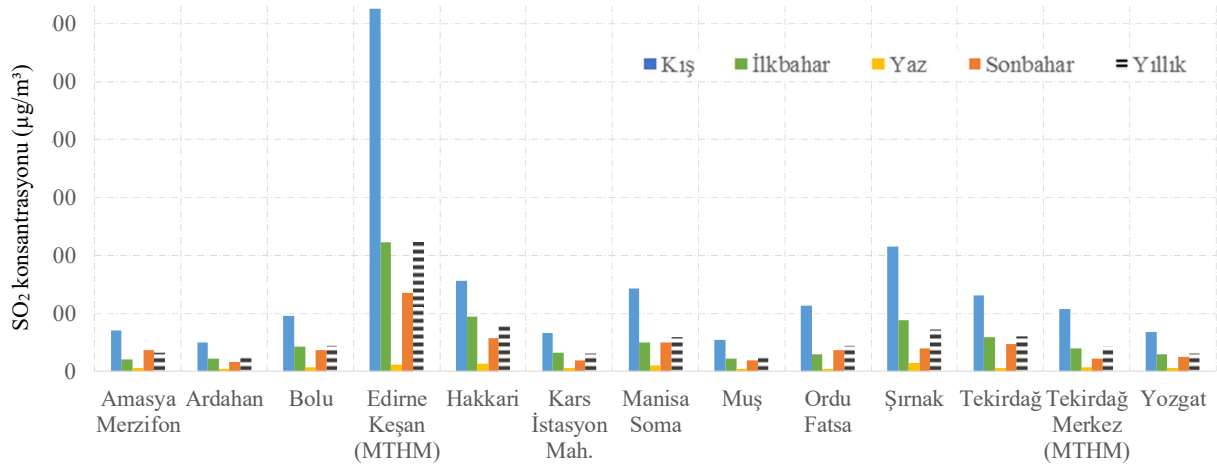
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Eysel ısınma kaynaklı SO₂ kirliliği

Eysel ısınmanın araştırılabilmesi için kış yaz oranları 10'dan fazla, kış yıllık ortalama oranları 2'den fazla olan istasyonlar seçilmiştir (

Şekil 1). Bu oranlar hesaplanırken istasyonlar için mevcut tüm ölçümler kullanılmıştır. Görüldüğü üzere SO₂ konsantrasyonları istasyonların çoğunda yıllık sınır değer olan 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün üzerinde seyretmektedir (

Şekil 1). Sonrasında ise içlerinden kış mevsiminde en yüksek SO₂ konsantrasyonlarına sahip istasyonlar, Edirne Keşan (MTHM), Şırnak, Ordu Fatsa ve Tekirdağ, seçilerek ayrıntılı incelenmiştir. Bu illerde SO₂ kirliliği üzerinde evsel ısınma etkisinin araştırılması için ısıtma gün dereceleri hesaplanmıştır. Manisa-Soma yakınında kömür yakıtlı termik santrale sahip olduğu için bu araştırmaya dahil edilmemiştir.

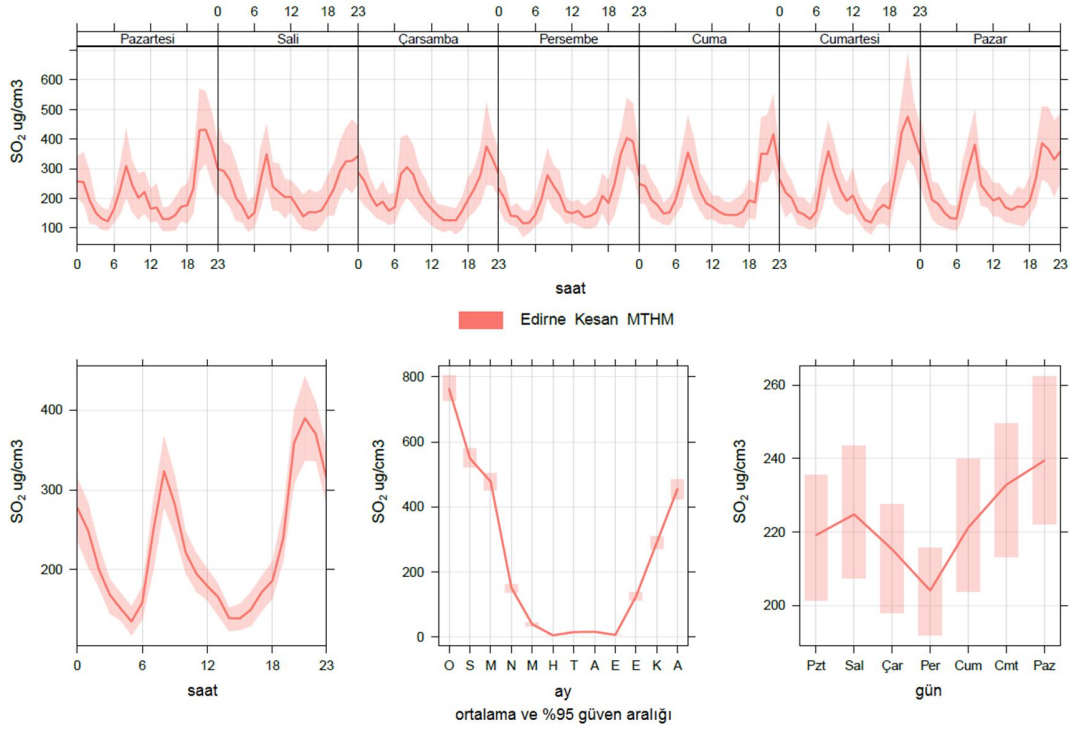


Şekil 1. Mevsimsel farklılıkları fazla, kış SO₂ konsantrasyonları yüksek yer ölçüm istasyonları

Yüksek SO₂ konsantrasyonlarına sahip Edirne Keşan (MTHM) istasyonunun aylık ve günlük profilleri incelendiğinde yaz aylarında konsantrasyonlar çok düşük iken Aralık-Mart ayları arası 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün üzerinde çok yüksek konsantrasyonlar gözlenmektedir.

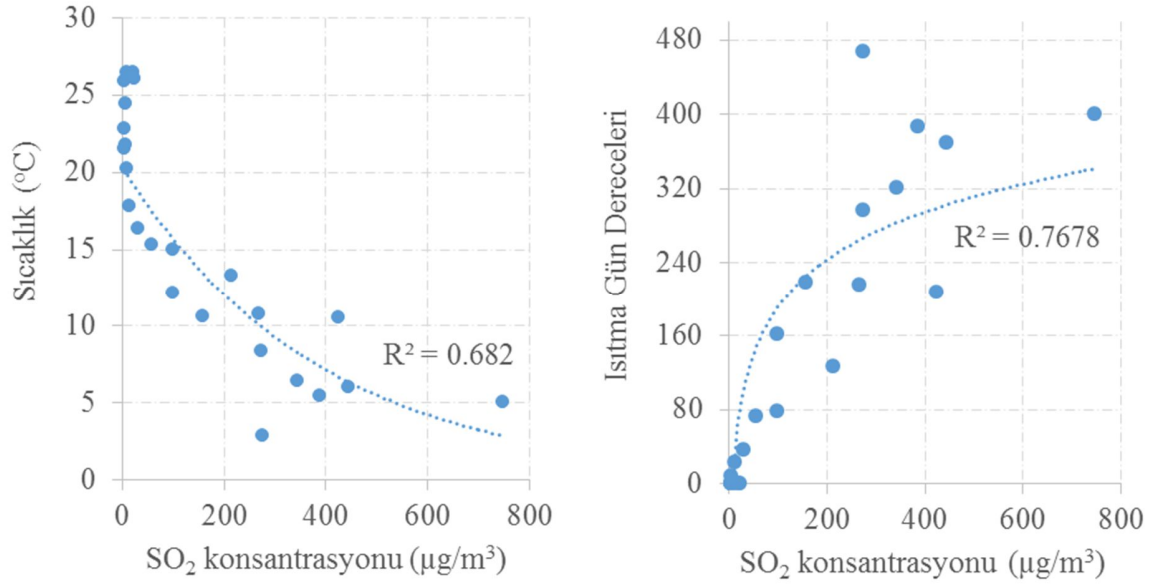
Gün içi saatlik değişim incelendiğinde ise pik değerlerin akşam 21:00 saatinde olduğu görülmektedir (

Şekil 2). Yanı sıra günlük profilde sabah 8:00 saatlerinde ikinci bir pik değer daha görülmektedir. Hafta sonu ölçümleri hafta içi ölçümlerinden biraz daha yüksektir.



Şekil 2. Edirne Keşan (MTHM) gözlem istasyonundaki saatlik, aylık, haftalık SO₂ konsantrasyonları

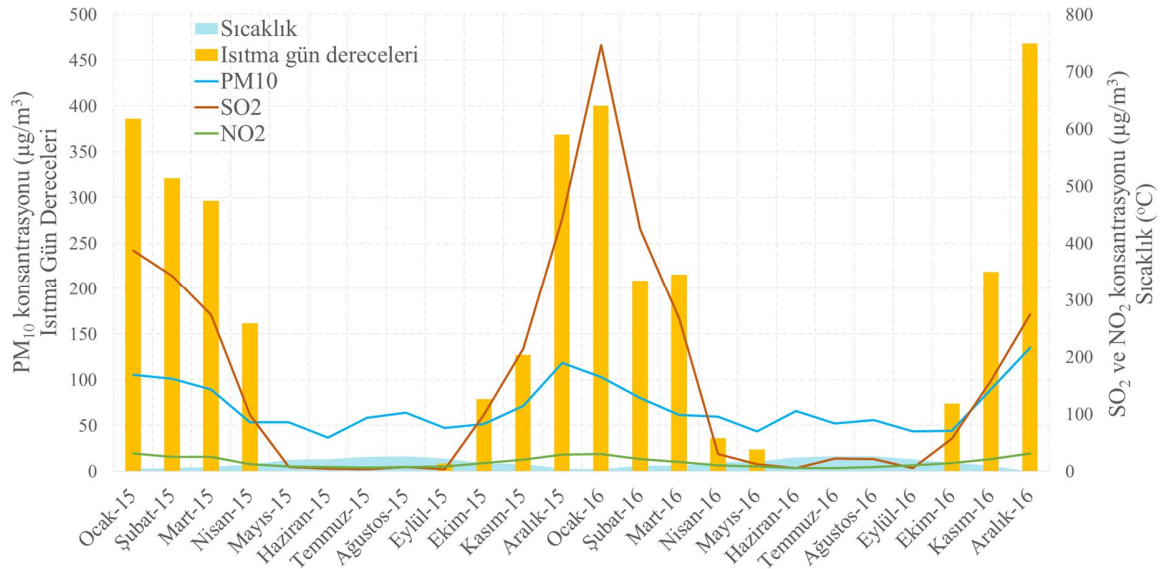
Edirne Keşan için mevcut aylık ortalama sıcaklıklar ve ısıtma gün dereceleri ve SO₂ konsantrasyon değişimi incelendiğinde aralarında güçlü bir ilişki bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 3). Özellikle ısıtma gün derecelerinin yüksek olduğu aylarda ortalama SO₂ konsantrasyonları da en yüksek değerlerine ulaşmaktadır.



Şekil 3. Edirne Keşan (MTHM) için aylık ortalama sıcaklık (sol), ısıtma gün dereceleri (sağ) ve SO₂ konsantrasyonları

Kış aylarında gözlenen bu yüksek değerlerin baskın olarak evsel ısınma kaynaklı olduğunun ve enversiyon gibi meteorolojik faktörlerle ilgili olup olmadığının belirlenmesi için SO₂ konsantrasyonlarının yanı sıra istasyonda ölçülen diğer kirleticilerin (PM₁₀, NO₂) zamana bağlı değişimine de bakılmıştır (

Şekil 4). Özellikle sadece evsel ısınma kaynaklı olmayan PM₁₀ ve ana kaynağı trafik olan NO₂ kirleticilerinin mevsimsel değişiminin SO₂ kirleticisinden farklı olması bu savı güçlendirmektedir.



Şekil 4. Edirne Keşan (MTHM) için aylık ortalama sıcaklık, ısıtma gün dereceleri, PM₁₀, SO₂ ve NO₂ zaman serileri

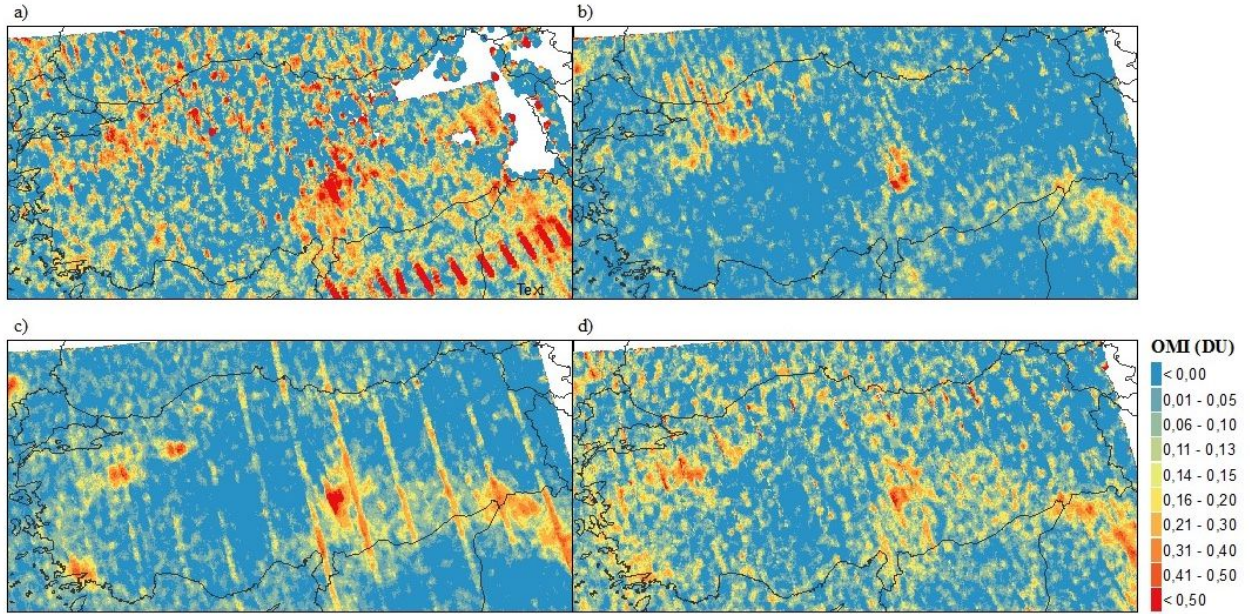
Diğer araştırılan iller için de veriler incelendiğinde Tekirdağ istasyonunda da ısıtma gün dereceleri ve SO₂ konsantrasyonları güçlü bir ilişki göstermiş ve PM₁₀ değerlerinde ise benzer bir mevsimsel değişim gözlenmemiştir. Bu durum, Edirne Keşan gibi burada da evsel ısınma etkisi ihtimalini güçlendirmektedir. Şırnak için 2014 ve 2015 yıllarında benzer bir ilişki olduğu halde 2016 yılında ısıtma gün dereceleri yüksek olmasına rağmen SO₂ konsantrasyonlarında çok ciddi bir düşüş gözlenmiştir. Bu değişimin nedeninin farklı yakıt kullanımı ya da başka bir SO₂ kaynağı olabileceği düşünülmektedir. Ordu-Fatsa istasyonunda ise ısıtma gün dereceleri ve SO₂ konsantrasyonları arası güçlü bir ilişki olmasına rağmen NO₂ ve PM₁₀ ölçümleri de SO₂ ile aynı mevsimsel değişim trendini takip etmektedir. Bu sonuç bölgede tüm kirleticilere etki eden meteorolojik bir etken olabileceğini ve SO₂ değerlerinin sadece evsel ısınma kaynaklı olmayabileceğini işaret etmektedir.

Bu seçilen iller için OMI SO₂ uydu verileri de incelenmiştir (Tablo 1). Edirne Keşan, Ordu Fatsa, Tekirdağ ve Tekirdağ Merkez (MTHM) istasyonları için kış oranları yer ölçümleri ile benzerlik göstermektedir. Ancak Şırnak gibi diğer iller için ise uydu verileri kış aylarında özellikle yüksek değerler göstermemektedir. Yer ölçümleri sadece yer seviyesindeki kirliliği gösterirken uydu verileri o alan üzerindeki kirlenme kolonunu yani toplam molekül sayısını vermektedir. Bu durumda enversiyon gibi yer seviyesindeki kirlenme konsantrasyonlarını etkileyen meteorolojik olaylar uydu verilerinde yüksek değerlere sebep olmamaktadır. Bu sebepten uydu verilerinde de yüksek kış değerleri görülen bölgelerde evsel ısınmanın önemli bir kaynak olduğu düşünülmektedir.

Tablo 1. Yer ve uydu verileri kış SO₂ ölçümlerinin yıllık ve yaz değerlerine oranı

İstasyonlar	SO ₂ PBL kolonu (DU)		Yer ölçümleri (µg/m ³)	
	Kış/Yıllık	Kış/Yaz	Kış/Yıllık	Kış/Yaz
Amasya	0.548	0.427	2.29	10.07
Ardahan	-	-	2.21	10.34
Bitlis	0.395	0.398	2.19	11.5
Bolu	0.605	1.363	2.36	13.14
Edirne Keşan (MTHM)	2.005	4.893	3.05	47.92
Kars İstasyon Mah.	-	-	2.26	11.87
Muş	-	-	2.43	16.17
Ordu Fatsa	2.778	2.324	2.79	31.77
Şırnak	0.722	0.580	2.77	10.19
Tekirdağ	22.665	3.636	2.23	18.56
Tekirdağ Merkez (MTHM)	30.528	3.459	2.34	10.11

Türkiye genelinde uydu verileri ile mevsimsel değişime bakıldığında ise kış ve sonbahar mevsimlerinde genellikle daha yüksek değerler göze çarpmaktadır (Şekil 5). Bulutluluk seviyelerinin en düşük olduğu ve girişimin en az olduğu yaz mevsiminde ise ana SO₂ kirliliği bölgelerinin genel olarak büyük kömür termik santralleri etrafında olduğu görülmektedir.

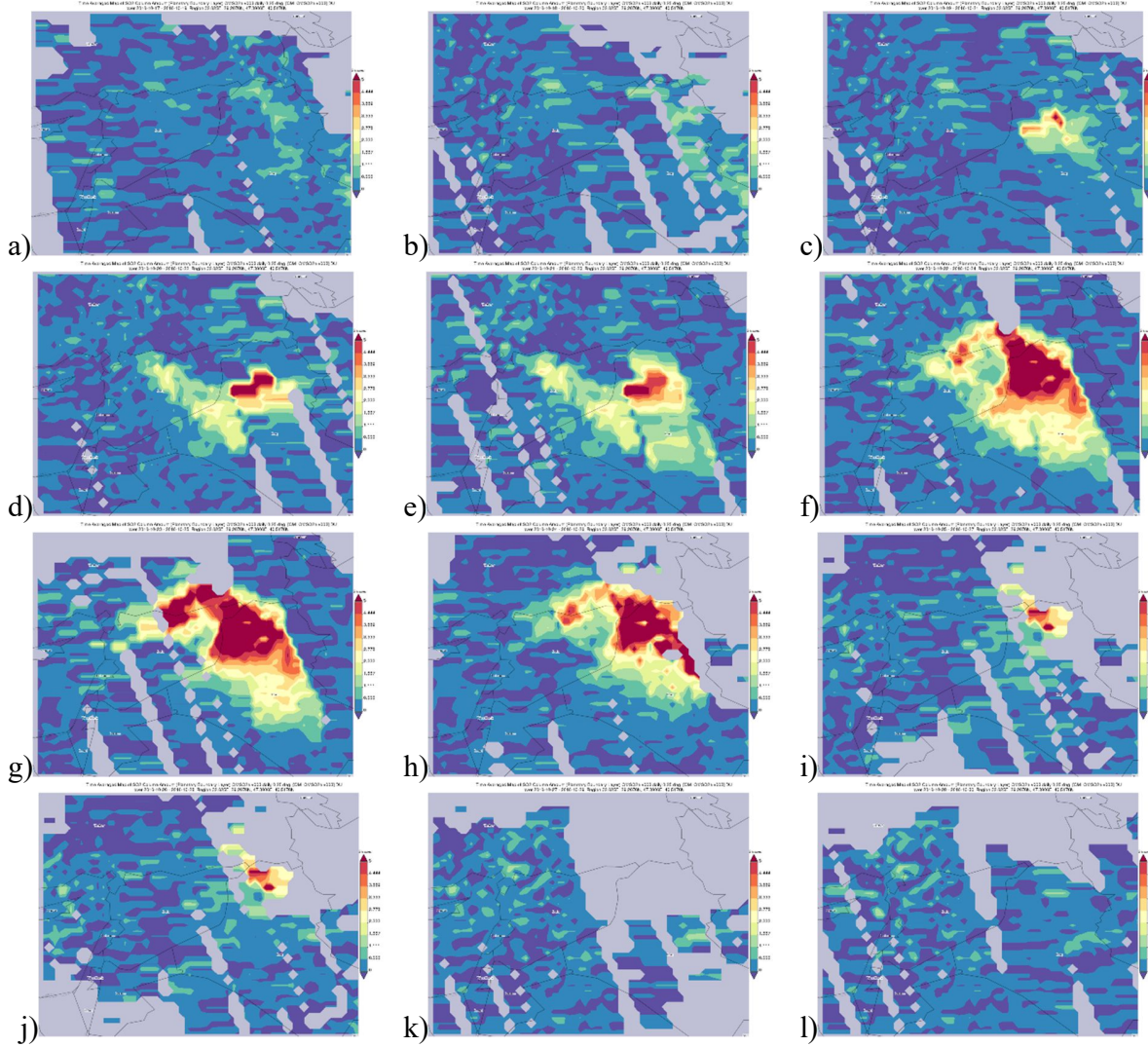


Şekil 5. 2014-2016 yılları arası uydu SO₂ verilerinin mevsimsel değişimi; a) kış, b) ilkbahar, c) yaz ve d) sonbahar

3.2. Sınır ötesi SO₂ kirliliği taşınımı

Musul'da 20 Ekim 2016 tarihinde kükürt tesisinde yangın çıkmış ve sonrasında ciddi miktarda SO₂ atmosfere yayılmıştır (NASA, 2016). SO₂ hüzmeleri sonraki günlerde Türkiye üzerine taşınmış ve yağış ile atmosferden temizlenmiştir. Bu çalışmada bu yangın sonrası oluşan SO₂ kirliliği yer hava kalite gözlem istasyonları ve OMI uydu verileri kullanılarak incelenmiştir. Üç günlük ortalama dağılım haritaları incelendiğinde 23-25 Ekim tarihleri arasında maksimum SO₂ kolon değerleri gözlenmiştir (

Şekil 6). Uydu verileri incelendiğinde 22 Ekim tarihinde hüzmelerin Türkiye'ye taşındığı ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin etkilendiği görülmektedir.

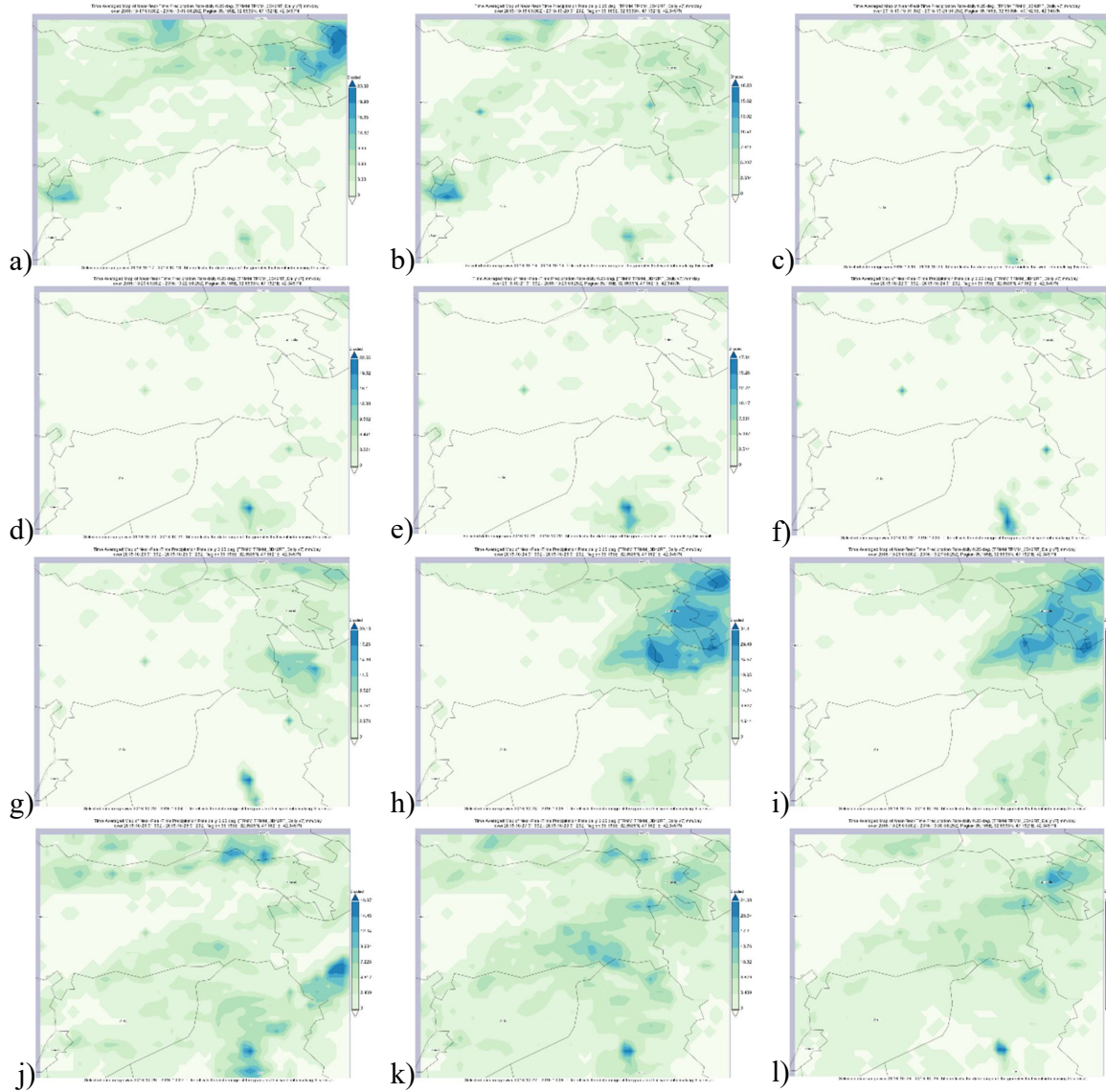


Şekil 6. Çalışma alanı içerisinde sırası ile a) 17-19, b) 18-20, c) 19-21, d) 20-22, e) 21-23, f) 22-24, g) 23-25, h) 24-26, i) 25-27, j) 26-28, k) 27-29, ve l) 28-30, Ekim 2016 tarihleri için SO₂ dağılımı (Giovanni, 2017)

Şekil 6’da gri olan alanlar üzerinde uydu verisi mevcut değildir. Veriler özellikle bulutluluk yüksek olduğunda elde edilememektedir. Aynı alan ve zaman aralıklarında uydu verilerinden elde edilen yağış haritaları incelendiğinde 23-27 Ekim sonrasında bölgede yağış gözlemlendi (

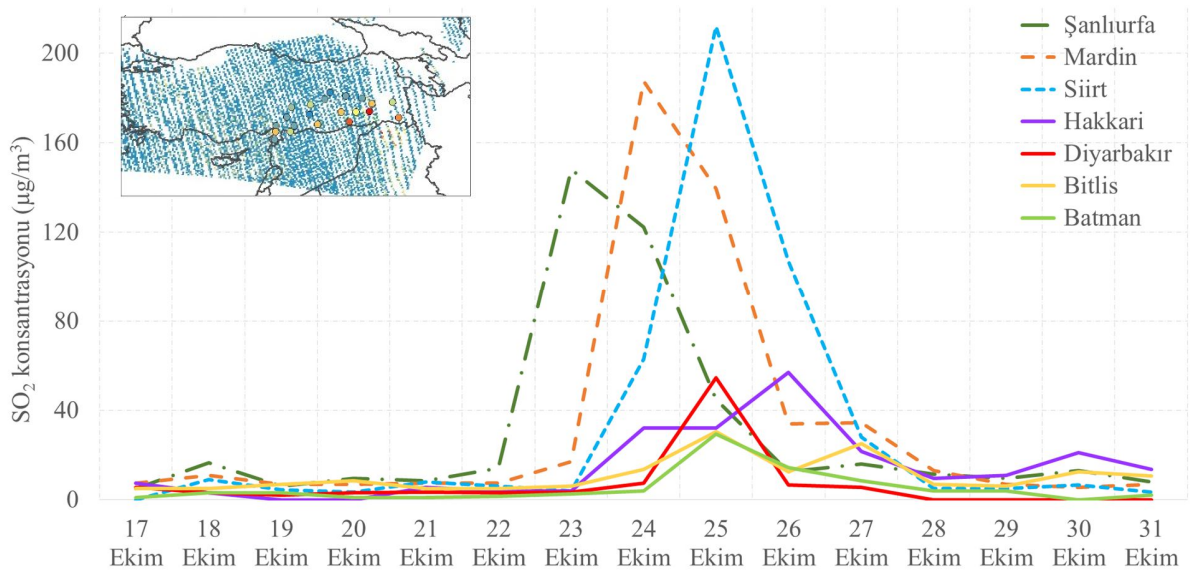
Şekil 7

Şekil 7) ve bu durumun veri eksiklerinin ve SO₂ konsantrasyonlarındaki düşüşün sebebi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7. Çalışma alanı içerisinde sırası ile a) 17-19, b) 18-20, c) 19-21, d) 20-22, e) 21-23, f) 22-24, g) 23-25, h) 24-26, i) 25-27, j) 26-28, k) 27-29, ve l) 28-30, Ekim 2016 tarihleri için yağış dağılımı (Giovanni, 2017)

Uydu verilerinde yüzeye yakın sınır tabakası SO₂ (PBL) değerleri yaklaşık 2 km yüksekliğindeki kolon değerlerini belirtmektedir (molekül/cm²). Etkilenen alan içerisindeki yer gözlem istasyonlarındaki SO₂ ölçümleri ile günlük ortalama değerler belirlenmiş ve yer konsantrasyonlarındaki artış incelenmiştir. En çok etkilenen istasyonlar incelendiğinde en yüksek konsantrasyonların 23-26 Ekim tarihlerinde olduğu gözlenmiştir. Artış öncelikle Şanlıurfa, sonrasında Mardin ve Hakkari, en son olarak da Siirt ve Diyarbakır'ı etkilemiştir. En çok etkilenen istasyonun 200 µg/m³ ile Siirt olduğu görülmüştür (Şekil 8). 26 Ekim sonrası uydu verileri ile tutarlı bir şekilde yer istasyonu konsantrasyonları da düşmüş ve yangının etkisi kaybolmuştur.



Şekil 8. Çalışma alanı içerisinde yer alan UHKİA yer ölçüm istasyonları SO₂ konsantrasyonlarının Musul yangını sonrası zamansal değişimi

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Evsel ısınma etkisini araştırmak için seçilmiş yer ölçüm istasyonlarında SO₂ konsantrasyonları ile aylık sıcaklık ortalamaları ve ısıtma gün dereceleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar kış SO₂ seviyelerinin ülkemizde hala yıllık sınır değerleri aştığı ve bazı bölgelerde kömür kullanımının hala yaygın olduğunu göstermektedir. Bu çalışma için veri eksiklikleri nedeni ile son üç yılın verileri kullanılmıştır (Kara ve Kaynak Tezel, 2017). Veri kalitesinin iyileştirilmesi ve veri kalite kontrolü için kullanılan standartların kullanıcılara açık bir ortamda yayınlanması fayda sağlayacaktır.

Uydu SO₂ verileri gerek alansal çözünürlük gerekse geçiş saati (13:00-14:00) nedeni ile evsel ısınma katkısını belirlemek için tek başına yeterli olmamakla birlikte uzun süreli ortalama değerler kullanılarak yer ölçümlerinin yanında sonuçları güçlendirmek için kullanılabilir. Özellikle mevsimlik ortalama değerler kıyaslandığında uydu verilerinde de kış ve sonbahar aylarında daha yüksek SO₂ kolon değerleri gözlenmiştir. Uydu verileri özellikle belirli bir alanın ortalama kirlilik

değerlerinin belirlenmesinde, uzun süreli değişim trendlerinde ve yeni ölçüm istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde faydalı bilgiler sağlayabilir.

Hava kirliliği kalitesi gözleminde sadece yer ölçümlerinin ya da sadece uydu ölçümlerinin kullanılmasının yeterli olduğunu söylemek zordur. Bu nedenle iki farklı veri seti de birlikte kullanılmalıdır.

Uydu verileri kendi başına ya da yer gözlem istasyonları ile birlikte sınır ötesi kirletici taşınımını belirlemek için kullanılabilir. Bu çalışmadaki örnek ile taşınımın belirlenebildiği açıkça gösterilmiştir. Özellikle hava kalite standartlarının buradaki örnek gibi yangın veya çöl tozu gibi doğal kaynaklı kirletici taşınımı sebebi ile aşılmasının tespiti için faydalı olacaktır. Uydu verileri bu tür episotların değerlendirmeden çıkarılması veya kirlilik konsantrasyonlarına katkılarının belirlenmesi için yardımcı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 114Y159 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Campion, R., Martinez-Cruz, M., Lecocq, T., Caudron, C., Pacheco, J., Pinardi, G., Hermans, C., Carn, S. ve Bernard, A. 2012. "Space- and ground-based measurements of sulphur dioxide emissions from Turrialba Volcano (Costa Rica)", Bulletin of Volcanology, 74, 1757-1770.
- Dickerson, R.R., Li, C., Li, Z., Marufu, L.T., Stehr, J.W., McClure, B., Krotkov, N., Chen, H., Wang, P., Xia, X., Ban, X., Gong, F., Yuan, J. ve Yang, J. 2007. "Aircraft observations of dust and pollutants over northeast China: Insight into the meteorological mechanisms of transport", Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112.
- Fıratlı, E., 2016. *Determination of Large-Scale SO₂ Point Sources in Turkey Using Satellite Retrievals*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Fioletov, V. E., McLinden, C. A., Krotkov, N., Yang, K., Loyola, D. G., Valks, P., Theys, N., Van Roozendaal, M., Nowlan, C. R., Chance, K., Liu, X., Lee, C. ve Martin, R. V. 2013. "Application of OMI, SCIAMACHY, and GOME-2 satellite SO₂ retrievals for detection of large emission sources", Journal of Geophysical Research-Atmospheres 118, 11399-11418.
- Fioletov, V.E., McLinden, C.A., Krotkov, N., Moran, M.D. ve Yang, K. 2011. "Estimation of SO₂ emissions using OMI retrievals", Geophysical Research Letters, 38.
- He, H., Li, C., Loughner, C.P., Li, Z., Krotkov, N.A., Yang, K., Wang, L., Zheng, Y., Bao, X., Zhao, G., Dickerson, R.R., 2012. SO₂ over central China: Measurements, numerical simulations and the tropospheric sulfur budget. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 117.
- Indiana Department of Environmental Management, 2015. Ambient Data Reduction and Audit Procedures. https://www.in.gov/idem/airquality/files/qa_manual_chap_12.pdf, Erişim tarihi: 14 Şubat 2017
- Jiang, J., Zha, Y., Gao, J. ve Jiang, J. 2012. "Monitoring of SO₂ column concentration change over China from Aura OMI data", International Journal of Remote Sensing, 33, 1934-1942.

- Kara M. B., Kaynak Tezel B. 2017. "Türkiye'deki SO₂ yer ölçümlerinin değerlendirilmesi ve SO₂ kirliliğinin zamansal ve mekansal değişiminin incelenmesi", VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım 2017-Antalya.
- Krotkov, N.A., McClure, B., Dickerson, R.R., Carn, S.A., Li, C., Bhartia, P.K., Yang, K., Krueger, A.J., Li, Z., Levelt, P.F., Chen, H., Wang, P., Lu, D., 2008. Validation of SO₂ retrievals from the Ozone Monitoring Instrument over NE China. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 113.
- Krueger, A. J., Krotkov, N. A., Yang, K., Carn, S., Vicente, G. ve Schroeder, W. 2009. "Applications of Satellite-Based Sulfur Dioxide Monitoring", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 2, 293-298.
- Lee, C., Martin, R.V., van Donkelaar, A., Lee, H., Dickerson, R.R., Hains, J.C., Krotkov, N., Richter, A., Vinnikov, K. ve Schwab, J.J. 2011. "SO₂ emissions and lifetimes: Estimates from inverse modeling using in situ and global, space-based (SCIAMACHY and OMI) observations", *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 116.
- Lee, C., Richter, A., Lee, H., Kim, Y.J., Burrows, J.P., Lee, Y.G. ve Choi, B.C. 2008. "Impact of transport of sulfur dioxide from the Asian continent on the air quality over Korea during May 2005", *Atmospheric Environment*, 42, 1461-1475.
- Li, C., Zhang, Q., Krotkov, N.A., Streets, D.G., He, K., Tsay, S.-C. ve Gleason, J.F. 2010b. "Recent large reduction in sulfur dioxide emissions from Chinese power plants observed by the Ozone Monitoring Instrument", *Geophysical Research Letters*, 37.
- McLinden, C.A., Fioletov, V., Boersma, K.F., Krotkov, N., Sioris, C.E., Veefkind, J.P. ve Yang, K. 2012. "Air quality over the Canadian oil sands: A first assessment using satellite observations", *Geophysical Research Letters*, 39.
- Menteşe, S., Can Yarımtepe, C., 2012. Çanakkale İli Hava Kalitesinin Kirlilik Türlerine Göre Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 1, 66-74.
- NASA Giovanni, 2016. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, Erişim Tarihi: 2 Aralık 2016.
- NASA, 2016. <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>, Erişim Tarihi: 2 Aralık 2016.
- NASA, 2016. <https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=88994>, Sulfur Dioxide Spreads Over Iraq : Image of the Day, Erişim Tarihi: 2 Aralık 2016.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). "OMI/Aura Sulphur Dioxide (SO₂) Total Column 1-orbit L2 Swath (OMSO2)." <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>. Son erişim tarihi: 27 Mart 2014.
- Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı, 2016. <http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx>, Erişim Tarihi: 2 Aralık 2016.
- Walter, D., Heue, K.-P., Rauthe-Schöch, A., Brenninkmeijer, C., Lamsal, L., Krotkov, N. ve Platt, U. 2012. "Flux calculation using CARIBIC DOAS aircraft measurements: SO₂ emission of Norilsk", *Journal of Geophysical Research*, 117, D11305.
- Witte, J.C., Schoeberl, M.R., Douglass, A.R., Gleason, J.F., Krotkov, N.A., Gille, J.C., Pickering, K.E., Livesey, N., 2009. Satellite observations of changes in air quality during the 2008 Beijing Olympics and Paralympics. *Geophysical Research Letters* 36, 6.