TÜRKİYE İÇİN OMI SO_2 VERİLERİ İLE YER SO_2 ÖLÇÜMLERİNİN KIYASLANMASI

Ertuğ FIRATLI, Burçak KAYNAK TEZEL(*)

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

ÖZET

Hava kirleticilerinin uydu verileri kullanılarak uzaktan algılama yöntemi ile izlenmesi son yıllarda dünyada hızla gelişmiştir. Yer bazlı ölçümler ile kıyaslandığında, uydu verileri yer ölçüm istasyonu olmayan bölgeler hakkında bilgi vermesinin yanı sıra, daha geniş alanları temsil edebilecek veriler de sağlayabilmektedir. Uydu verilerinin bu özelliği ülkemizde sınırlı sayıda yer istasyonu olduğu düşünüldüğünde daha önemli olmaktadır. Bu çalışmada 2005-2014 yılları arasında OMI enstrümanından elde edilen ve yer ölçüm istasyonlarından elde edilen kükürt dioksit (SO_2) verileri kıyaslanmıştır. OMI SO_2 verileri coğrafi bilgi sistemi kullanılarak SO_2 ölçüm istasyonları ile eşleştirilmiş, istasyonların 5-25 km yakınındaki OMI SO_2 verileri incelenmiştir. Yapılan kıyaslamada OMI SO_2 verileri ile yer ölçüm istasyonlarının yıllık değişimleri incelenmiştir. Afşin Elbistan ve Muğla Yatağan istasyonları için yakın çevresindeki SO_2 kirliliği kıyaslanmış ve OMI ve yer ölçümlerinin birbirlerinden farklı sonuçlar gösterdiği bulunmuştur. OMI SO_2 verisi kullanılarak yer konsantrasyonları tahmini gerçekleştirilmiştir. OMI kullanılarak hesaplanan SO_2 konsantrasyonları genellikle yer ölçümlerinden düşük bulunmuştur.

ABSTRACT

Using remote sensing for retrieving atmospheric pollution is rapidly developed in the recent years. Satellite retrievals supply representative data for larger areas when compared with ground-based observations, in addition to giving information for regions where no ground-based observations are available. This feature of satellite retrievals has more importance in our country where limited ground-based observations are available. In this study, satellite retrievals from OMI (Ozone Measurement Instrument) and ground-based observations of sulfurdioxide (SO_2) were compared for the years of 2005-2014. OMI SO_2 satellite retrievals were spatially matched with ground stations using geographic information system, satellite retrievals within 5-25 km of ground stations were investigated. Yearly changes of satellite and ground-based observations were investigated. SO_2 pollution around Afsin Elbistan and Mugla Yatagan stations were investigated and OMI and ground-based stations indicated different findings. OMI SO_2 retrievals were used to estimate ground SO_2 concentrations and OMI predicted SO_2 concentrations were usually found lower than the actual ground-based measured SO_2 levels.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

OMI, SO_2, Uzaktan Algılama

* burcak.kaynak@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kükürt dioksit (SO_2) atmosferdeki en önemli kirleticilerden biri olup ana kaynakları volkanlar, kömür kullanan termik santraller, rafineriler, petrol ve biyoyakıt kullanımıdır (Nickolay A. Krotkov vd., 2008). İnsan kaynaklı ve doğal SO_2 emisyonları atmosferde çok çabuk oksitlenerek, aerosol oluşumuna ve asit birikimine yol açmakta, bu da hava kirliliğine ve asit yağmurlarına sebep olmaktadır (Fioletov vd., 2013). Sülfat aerosolünün insan sağlığına negatif etkisi bulunmamakla birlikte, görüş mesafesine ve iklime değişikliğine etkileri olduğu bilinmektedir (Lee vd., 2011).

Geçmiş yıllarda SO_2 ölçümleri genellikle yer ölçüm istasyonlarıyla gerçekleştirilmekte idi. Bu istasyonlar yer seviyesinde güvenilir ölçümler sağlamakta ancak meteorolojik koşullardan etkilenebilmekte ve sadece ölçüm istasyonunun yakını için bilgi vermektedir. Yanı sıra, limitli sayıda yer ölçüm istasyonları ile SO_2'in mekansal dağılımını görebilmek mümkün değildir. Son yıllarda yer ölçümlerinin yanı sıra daha yeni bir teknik olan uzaktan algılama ile kirletici takibi yapılabilmektedir. Bu ölçümler küresel kapsama alanına sahip olup, tek bir nokta için değil de belirli bir bölge için bilgi sağlayabilmektedir. Bu özellikler ile uzaktan algılama, kirleticilerin bölgesel değişimlerinin izlenmesi için yer ölçümlerine iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Uydular vasıtasıyla atmosferik SO_2 ve diğer gazların zamansal değişimini de izlemek mümkündür. Son yıllardaki çalışmalarda çeşitli uydular üzerinde bulunan OMI, SCIAMACHY ve GOME-2 gibi enstrümanlar SO_2 ve NO_2'nin takibi için sıklıkla kullanılmaktadır (Jiang vd., 2012; Streets vd., 2013; Wang vd., 2012).

Volkanlardan patlamalar sonucu atmosfere salınan büyük miktarlarda SO_2 uydular üzerindeki enstrümanlar ile takip edilmiş ve emisyon miktarları hesaplanmıştır (Carn vd., 2003; Krueger vd., 2000). Daha sonraki çalışmalar, uydu verilerinin kayda değer antropojenik SO_2 kaynaklarını ve bu kaynaklardaki emisyon değişikliklerini de gözlemleyebileceğini göstermiştir (Carn vd., 2007; Fioletov vd., 2013; Lee vd., 2011; McLinden vd., 2012).

TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) dünya çapındaki volkanik patlamalardan kaynaklanan SO_2 kolonlarını algılayabilen ilk enstrümandır (Jiang vd., 2012). Volkanik ve antropojenik SO_2 kirliliğinin uydularla ölçülmesi ise GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) tarafından gerçekleştirilmiştir (Burrows vd., 1999). GOME, üç günde tüm yer yüzeyi için veri sağlayabilmekte, ancak bu kapsama süresi kısa süreli vakaların takip edilmesini zorlaştırmaktaydı (Burrows vd., 1999; Eisinger ve Burrows, 1998; Khokhar vd., 2005; Thomas vd., 2005). GOME'dan daha sonra gelen enstrüman **SCIAMACHY** (**Sc**anning **I**maging **A**bsorption Spectro**m**eter for **A**tmospheric **Ch**artography) GOME'a göre daha yüksek alansal çözünürlük ile antropojenik ve volkanik SO_2'yi algılayabilmekte, ancak tüm yerküreyi kapsama süresi altı günü bulmaktaydı. 2004 yılında fırlatılan Aura uydusu üzerinde bulunan Ozon Gözlemleme Enstrümanı (OMI) (Levelt vd., 2006) yer yüzeyini bir gün içerisinde tarayarak kısa süreli vakaları takip edebilmektedir. Sahip olduğu 13 km × 24 km'lik (nadir modunda) çözünürlüğü ve günlük SO_2 ölçümleri ile diğer enstrümanlardan daha avantajlı durumdadır.

OMI SO_2 ölçümleri son yıllarda yapılan çalışmalarda bazı ülkeler için önemli kaynakların emisyon miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu kaynaklar genellikle kömür yakan termik santraller olarak belirlenmiş, ve bu tesisler ve çevresindeki SO_2 kirliliği tespit edilebilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Moğolistan ve Çin gibi bazı ülkelerde SO_2

emisyon envanterleri OMI ölçümleriyle kıyaslanmıştır (Fioletov vd., 2011; Li vd., 2010; Zhang vd., 2009). ABD'deki termik santraller için yapılan bir araştırmada OMI ölçümleri ve emisyon envanteri arasında 0,93 gibi yüksek bir ilişki saptanmıştır (Fioletov vd., 2011).

Avantajlarının yanı sıra SO_2 uydu ölçümlerinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajların başlıcaları veri içerisindeki gürültü, yüksek bulutluluk koşullarında veri kaybı ya da yüksek belirsizlik ve ozon girişimidir. Bu sebepten bu veriler kullanılırken önerilen koşulları sağlayan verilerin kullanılması ve uzun süreli ortalama değerlerin kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada ana amaçlar, 1) Türkiye'de bulunan SO_2 yer ölçüm istasyonları ile OMI SO_2 kolon verilerini kıyaslamak ve 2) OMI SO_2 kolon verileri kullanılarak yer konsantrasyonu tahmini için bir metod geliştirmektir. Özellikle insan sağlığı ve maruziyet düşünüldüğünde toplam alandaki molekül sayısını (molekül/cm^2) veren uydu verileri ile yüzeydeki kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda, bu çalışmada 2005-2014 yılları arasında mevcut yer istasyonları ve OMI verileri kullanılmıştır. Bu şekilde her iki ölçüm tekniği ile Türkiye için zamansal ve mekansal SO_2 değişimi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Uydu Verileri

NASA Aura uydusu üzerinde bulunan OMI birçok atmosferik gazla ilgili veri sağlamaktadır. Türkiye üzerinden geçen SO_2 kolon verisi 2005-2014 yılları için NASA web sitesinden indirilmiş (NASA, 2015) 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), Ozone kolonu filtrelemeleri yapılmıştır. Hava kirliliği gözleme ile ilgili diğer çalışmalarda tavsiye edilen SZA'nın 60°'den küçük, RCF'nin 0,3'den küçük ve Ozon kolonunun 1500 DU'dan küçük olan 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 değişimin incelenebilmesi için koordinat bilgileri doğrultusunda Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımına aktarılmıştır. Yer ölçüm istasyonlarının 25 km çevresindeki uydu verileri seçilerek ilgili yer istasyonları ile eşleştirilmiştir.

2.2 Yer Verileri

Türkiyede 2005-2014 yılları arasında SO_2 ölçümü bulunan tüm istasyonlar belirlenerek (2014 yılı itibari ile 160 istasyon) bu ölçümler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları web sitesinden elde edilmiştir (Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı, 2015). 2005 yılında SO_2 ölçümü gerçekleşen istasyon sayısı 33 iken, bu sayı 2014 yılında 159'a yükselmiştir. Son yıllarda İzmir, İstanbul gibi büyük şehirlerde çok sayıda istasyon kurulmuştur. İstasyonların bir çoğu şehir merkezlerinde yer almasına rağmen önemli termik santrallerin yakınında kurulmuş olanlar da mevcuttur (Örneğin; Manisa-Soma, Muğla-Yatağan ve Kahramanmaraş-Afşin Elbistan ölçüm istasyonları). Çalışmada kullanılan istasyonlardan bir tanesinde on yıl süresince sadece 4 aylık ölçüm verisi bulunduğundan

değerlendirmeye alınmamıştır. Diğer istasyonlar için günlük ve OMI geçiş saati (13:00-14:00) SO_2 ortalamaları hesaplanmıştır.

2.3 Metodoloji

NASA websitesinden indirilen SO_2 kolon miktarları Dobson birimi (DU) olarak verilmektedir. 1 Dobson birimi standart sıcaklık ve basınçta (273,15^{o}K ve 100 kPa) 10 µm gaz tabakasına denk gelmektedir (Seinfeld, 2006). Bu değer SO_2 için $2{,}69\times10^{16}$ molekül/ cm^2'ye eşdeğerdir. Bu verilen toplam kolon miktarları (molekül/ cm^2) yer ölçümleri gibi sadece yer yüzeyindeki kirliliği değil, o kolon içerisinde yüzeye yakın sınır tabakası (PBL) içerisindeki tüm SO_2 miktarını vermektedir. Bu sebepten uydu verileri kullanılarak yer yüzeyindeki konsantrasyonun hesaplanabilmesi için o noktadaki SO_2 dikey profiline ihtiyaç vardır. Bu profil ile kolondaki toplam miktar farklı seviyelere dağıtılarak yer yüzeyine yakın kısımdaki kirletici konsantrasyonları hesaplanabilir. SO_2 kirleticisi için dikey profiller genellikle hava kalite modelleri kullanılarak hesaplanabilmektedir (Lamsal vd., 2008). Çalışmanın bu aşamasında elimizde Türkiye'ye yönelik bir profil olmadığı için yer ölçüm noktalarında tüm SO_2'nin yüzey seviyesine yakın ilk tabakada olduğu varsayımı ile hesaplamalar aşağıdaki formül kullanılarak gerçekleştirilmiştir:

$$SO_{2_{OMI\,yer}}(\mu g/m^3) = \frac{SO_{2_{OMI}}(DU)\times 2{,}69\times10^{16}}{H_{yer}\,(m)} \times \frac{MA_{SO_2}(g/mol)}{N_{Avag}(molekül/mol)} \times 10^{10} \qquad (1)$$

Burada $SO_{2_{OMI\,yer}}$ yer yüzeyindeki SO_2 konsantrasyonunu, $SO_{2_{OMI}}$ OMI SO_2 kolonunu, H_{yer} yer seviyesindeki tabakanın yüksekliğini, MA_{SO_2} SO_2 molekül ağırlığını ve N_{Avag} ise Avagadro sayısını ifade etmektedir.

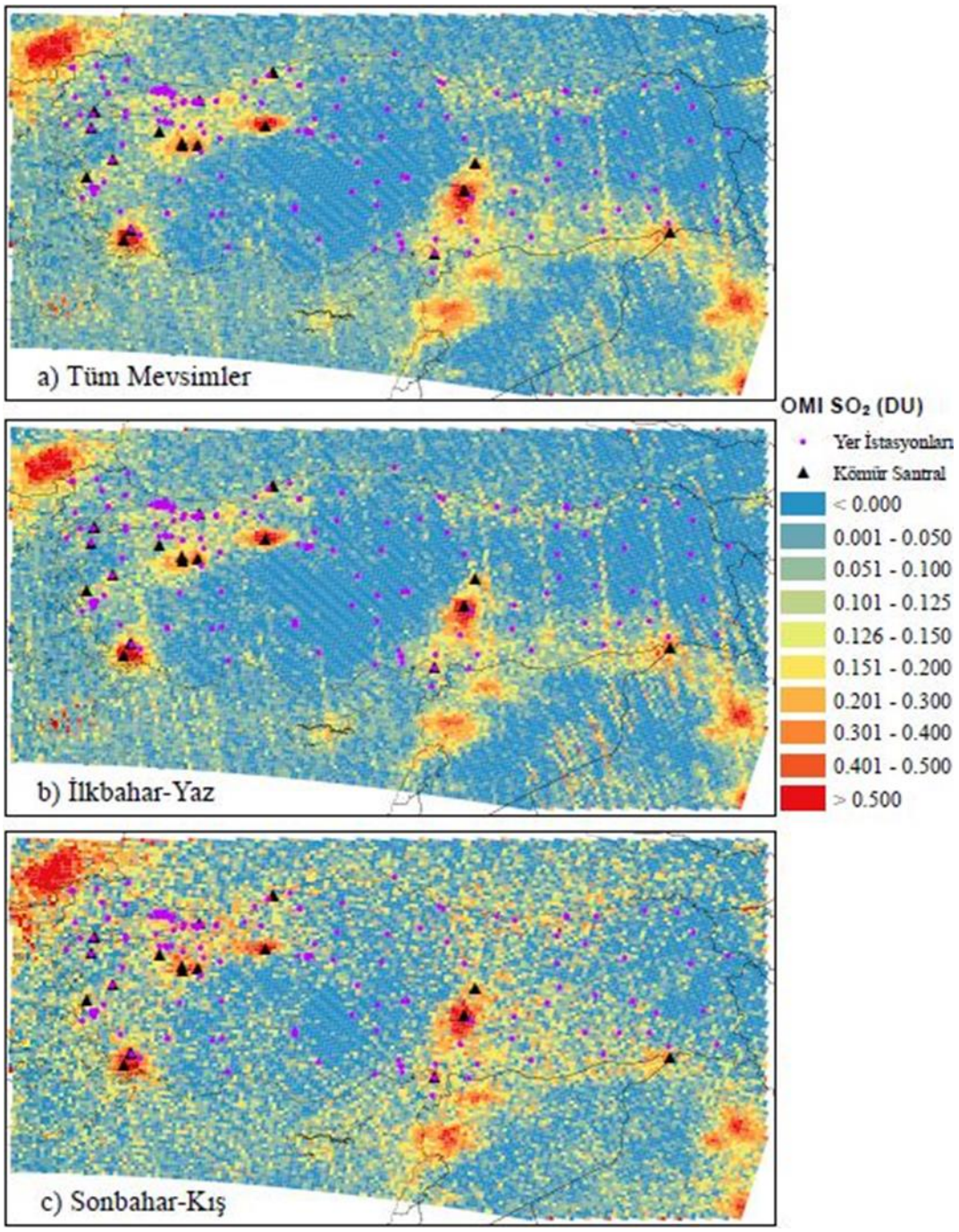
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yer ölçüm istasyonlarından ve OMI tarafından verilen SO_2 miktarları birbirlerinden bağımsız olarak ve zamansal ve mekansal olarak eşleştirilmiş halleri ile 2005-2014 arası yıllar için hesaplanmıştır. Yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük değerler incelenmiştir. OMI SO_2 kolon miktarları on yıl için incelendiğinde Kahramanmaraş, Muğla ve Ankara gibi bölgelerde yüksek değerler görülmektedir (Şekil 1). Bu değerler önemli kömür termik santral lokasyonları ile uyum göstermektedir. Mevsimsel değişim incelendiğinde ise özellikle kış aylarında daha yüksek kolon değerleri gözlenmekte ancak veri miktarında azalma ve veride gürültü ortaya çıkmakta, bu da belirsizliği arttırmaktadır.

Yer istasyonlarının 25 km yakınında yer alan uydu verilerinin 2005-2014 yılları arasında değişimi incelendiğinde, 159 istasyonun 81'inde azalma, 71'inde artış gözlenmiş, 8 istasyonda ise bir değişim görülmemiştir. Yer istasyonlarından elde edilen SO_2 konsantrasyonları için yıllık değişimler incelendiğinde 106'sında azalma, yalnızca 17 istasyonda ise artış gözlenmiştir. Diğer istasyonlar için değerlendirme yapılabilecek kadar veri bulunmamaktadır.

Uydu verileri incelenen yıllar arasında mevsimlik ortalamalar alınarak incelendiğinde 131 istasyon için sonbahar ve kış mevsimlerinde ilkbahar ve yaz mevsimlerine göre daha fazla kirlilik ölçülmüş, fakat 28 istasyonda ise tam tersi bir durum gözlenmiştir. Çalışmada 10 yıllık süre için aylık ortalama OMI SO_2 verileri incelendiğinde RCF ve SZA gibi filtremelerden geçirilen uydu veri sayısı kış mevsiminde azalmakta (Tablo 1) ve özellikle Aralık ayı için çok

az veri bulunmaktadır (440498 içerisinde 104 adet). 159 yer istasyonundan yalnızca 16 tanesinde Aralık ayı verisi bulunmaktadır. Bu durum kış mevsimi veri kalitesini etkilemekte, ve birçok istasyon için yeterli veri sağlamamaktadır.



Şekil 1. Türkiye üzerinde a)Tüm mevsimler, b) İlkbahar-Yaz ve c) Sonbahar-Kış dönemleri için OMI SO_2 dağılımı (2005-2014 yılları)

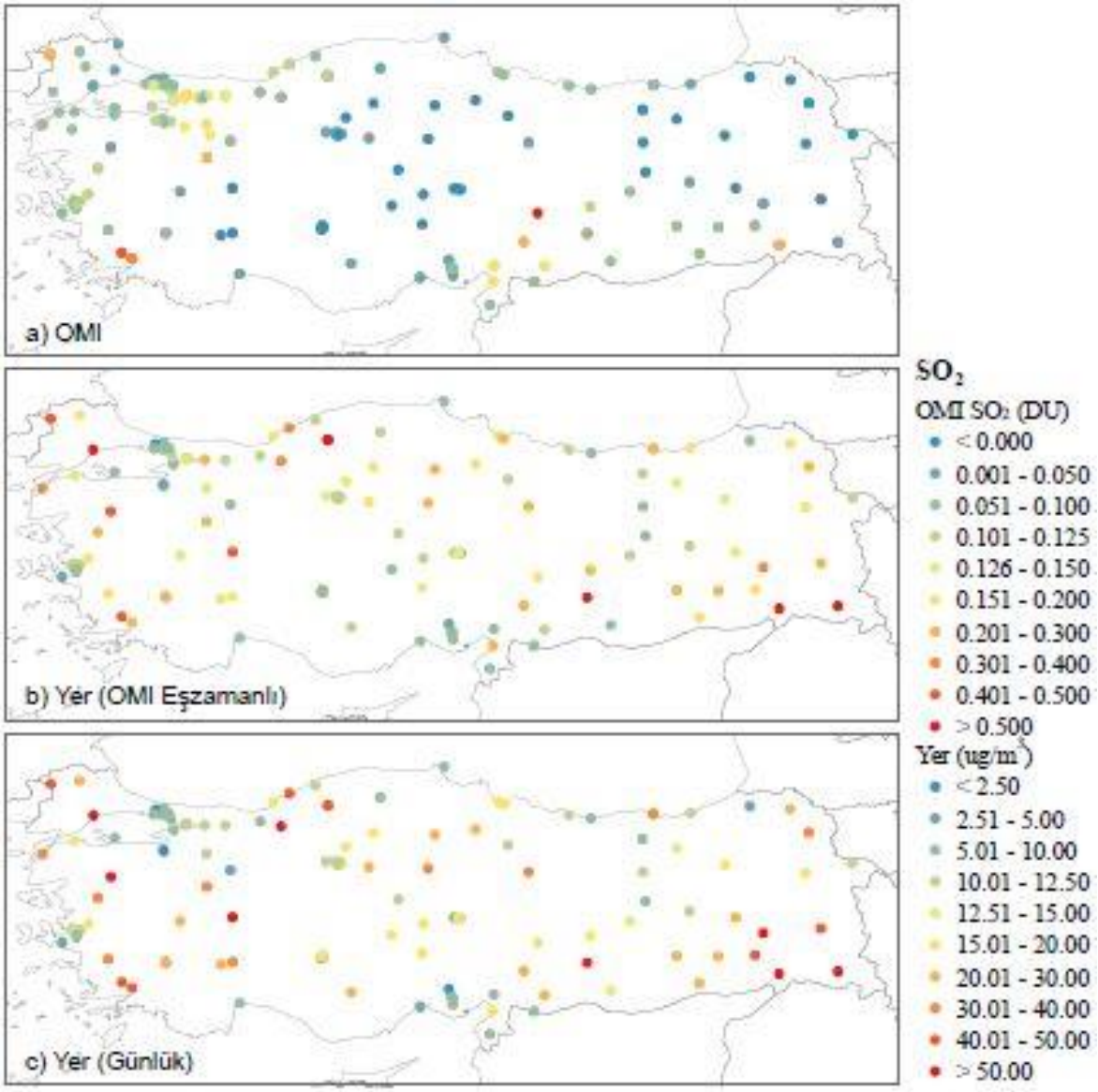
Tablo 1. Yer istasyonları üzerindeki ortalama OMI SO_2 kolon değerleri ve veri sayısı

Zaman aralığı	Ortalama SO_2 (DU)	Standard sapma SO_2 (DU)	Veri sayısı
İlkbahar	0.02417	0.19771	115389
Yaz	0.06732	0.20825	191820
Sonbahar	0.09447	0.21232	106484
Kış	0.10386	0.42724	26805
Tüm yıl	**0.07126**	**0.27376**	440498

Yer istasyonlarından elde edilen SO_2 ölçümlerinin mevsimlik ortalama değerleri sonbahar ve kış için ilkbahar ve yaz değerlerinden daha yüksektir. Bunun en muhtemel sebebi evsel ısınma için kullanılan kömür olarak verilebilir.

Türkiye'de 24 saatlik SO_2 için limit değer 400 µg/m^3 olarak belirlenmiştir, yıllık ortalama için ise bu değer 150 µg/m^3'dir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015). SO_2 standartlarına göre ölçüm istasyonlarından Hakkari 13 defa, Şırnak ise 8 defa sınır değerlerin çok üstüne çıkmışlardır. Özellikle kış aylarında limit aşımları çok sık görülmüştür. Kış aylarında evsel ısınma için kömür kullanılması ve karışım yüksekliğinin düşük olması bu yüksek konsantrasyonların görülmesine sebep olmaktadır. Özellikle Doğu illerinde sınır değerlerin üstüne daha fazla çıkılmasının sebebinin buralarda evsel ısınmada doğalgaz yerine halen yaygın kömür ya da diğer yüksek kükürt içerikli yakıt kullanımı olduğu düşünülmektedir. Yanı sıra, Soma, Yatağan, Çanakkale ve Afşin-Elbistan gibi kömürle çalışan termik santral yakınındaki istasyon ölçümlerinde de bazı yıllarda sınırın üstüne çıkıldığı gözlenmiştir.
OMI SO_2 kolonları ile yer seviyesinde ölçülen SO_2 konsantrasyonları kıyaslandığında kolon değerlerinin özellikle İç ve Doğu Anadolu bölgelerinde düşük olduğu, özellikle Marmara, Güney Doğu bölgelerinde ve kömür termik santralleri yakınlarında yüksek değerler gözlenmiştir (Şekil 2).

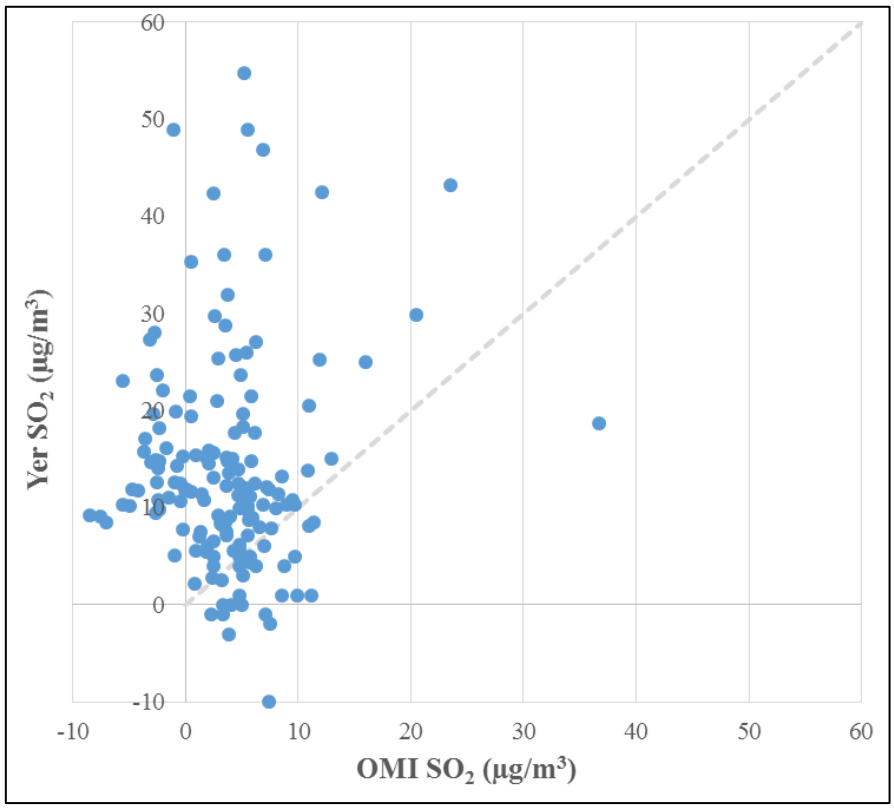
Özellikle büyük illerimiz incelendiğinde, İstanbul'da en eski verinin 2007 yılına ait olduğu görülmüştür. İstanbul'da bulunan 19 istasyonun 9'unda yıllık SO_2 konsantrasyonlarında 2007 yılına göre %40 ve üzeri oranda düşüş gözlemlenmiş, yeni kurulan istasyonlarda ise son iki senedir ölçümler gerçekleştirildiğinden bir değerlendirme yapılmamıştır. Sadece bir istasyon (Sarıyer) için düşüş olmadığı gözlenmemiştir. İstanbul için OMI SO_2 verilerine bakıldığında genellikle 2005'ten 2014'e bir düşüş trendi gözlemlenmektedir. 19 istasyondan 14'ü düşüş eğiliminde iken yalnızca 5 istasyonda artış görülmüştür. Bu istasyonlar Kadıköy, Kağıthane, Kandilli MTHM, Ümraniye ve Sultangazi istasyonlarıdır. Sarıyer istasyonu için OMI ile özellikle 2012 yılından sonra çok düşük seviyeler ölçülmüştü, en yüksek değer 2005 yılında 0.0769 DU dur. İzmir'de bulunan toplam 8 istasyon için çok büyük düşüş trendleri görülmektedir. 8 istasyondan 7'sinde azalma görüşmüş ve 5'inde bu azalış %80 ve üzeri seviyesindedir. Sadece Çiğli istasyonunda bir artış gözlenmektedir. OMI verilerine göre, 8 istasyondan 6'si azalma trendi göstermiş, diğerlerinde ise kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Ankara'da bulunan toplam 7 istasyon için en eski veri 2007 yılına ait olup, Demetevler istasyonu hariç büyük düşüş trendleri gözlenmiştir. OMI verilerine bakıldığında ise sadece Keçiören istasyonunda bir artış trendi ve Sıhhiye istasyonunda değişim görülmemekte, göze çarpmaktadır. diğer istasyonlarda yer verilerine benzer şekilde düşüş trendi görülmüştür.



Şekil 2. Yer ölçüm istasyonları için a) OMI b) Yer (OMI Eşzamanlı) ve c) Yer (Günlük) SO_2 değerleri (2005-2014 yılları)

Kömürle çalışan büyük kapasiteli termik santrallerin yakınında OMI ve yer istasyonlarından elde edilen SO_2 değerleri incelenmiştir. Bu incelemelere göre Afşin Elbistan Termik santrali civarında yer istasyonlarının yüksek bir konsantrasyon ölçiülmesine rağmen OMI çok yüksek SO_2 konsantrasyonlarına işaret etmektedir (Şekil 3). Bunun en önemli sebebi, termik santral bacasının yer seviyesinden çok yukarıda olması ve bu sebepten yer istasyonunun SO_2 kirliliğini ölçememesi ile açıklanabilir. Afşin Elbistan santrallerinde baca yüksekliği 150 m'dir (SİBA, 2015). Böyle bir durumda, kolon içerisindeki kirliliği OMI ile görmek mümkündür. Tüm Türkiye için en yüksek OMI SO_2 kolon değerleri de zaten bu bölgede bulunmaktadır (Şekil 1). Edirne çevresinde görülen yüksek SO_2 kolon değerlerinin de benzer şekilde Bulgaristan sınırının 90 km ötesinde bulunan 4 adet büyük termik santral emisyonlarının taşınımı sonucu olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 1, Şekil 3).

Mevcut yer istasyonları arasından yüksek SO_2 ölçümlerine sahip dört örnek seçilmiş ve OMI SO_2 verileri kullanılarak yukarıda verilen (bkz: Metodoloji) bağıntıya göre yer seviyesindeki yıllık ortalama SO_2 konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu istasyonlar sırasıyla Muğla Yatağan, Afşin Elbistan, Batman ve Edirne yer ölçüm istasyonlarıdır. Yakınında termik santral olan Muğla Yatağan, Afşin Elbistan için kaynaklar yerden yüksekte yer aldığı için yer seviyesi tabakasının (H_{yer}) yüksekliği 150 m, diğer iki istasyon için 50 m olarak alınmıştır. OMI kullanılarak elde edilen SO_2 konsantrasyonları için, merkezi, istasyonların 5, 10, 15, 20 ve 25 km etrafında yer alan OMI SO_2 verileri seçilmiştir. Farklı uzaklıklardaki uydu verileri kullanılmasındaki amaç kirliliğin alansal dağılımının incelenebilmesi ve yer ölçümleri ile kıyaslanabilecek en uygun alan seçiminin belirlenebilmesidir. Yıllık ortalama SO_2 konsantrasyonları kıyaslandığında ilk dikkat çeken nokta Afşin Elbistan istasyonu dışında OMI SO_2 konsantrasyonlarının daha düşük olmasıdır (Şekil 4). Bu sonuç OMI verilerinin daha geniş bir alanı ifade etmesi nedeni ile anlaşılabilir bir sonuçtur. Özellikle istasyonların 5 km yakınındaki veriler kullanıldığında az sayıda veri mevcut olduğu için diğer koşullara göre – özellikle Batman istasyonu için – yüksek belirsizlik ve değişkenlik görülmüştür. Yer ölçümlerinde 2007 yılı öncesinde yüksek değerler ölçülmüş olmasına rağmen OMI verilerinde böyle bir fark görülmemektedir. Yıllar arası SO_2 değişimi kıyaslandığında Edirne istasyonu hariç diğer istasyonlarda yer ve OMI verileri farklılık göstermektedir. Özellikle Afşin Elbistan istasyonu için yer ölçümleri yüksek OMI SO_2 konsantrasyonları ile örtüşmemekte ve artış ve azalış trendleri ters yönde görülmektedir. Muğla Yatağan istasyonu için de OMI değerlerine göre yüksek yer ölçümleri bulunmakta, yer ölçümleri 2011 yılından sonra kayda değer bir artış göstermekte iken OMI SO_2 konsantrasyonlarında azalma göstermektedir.

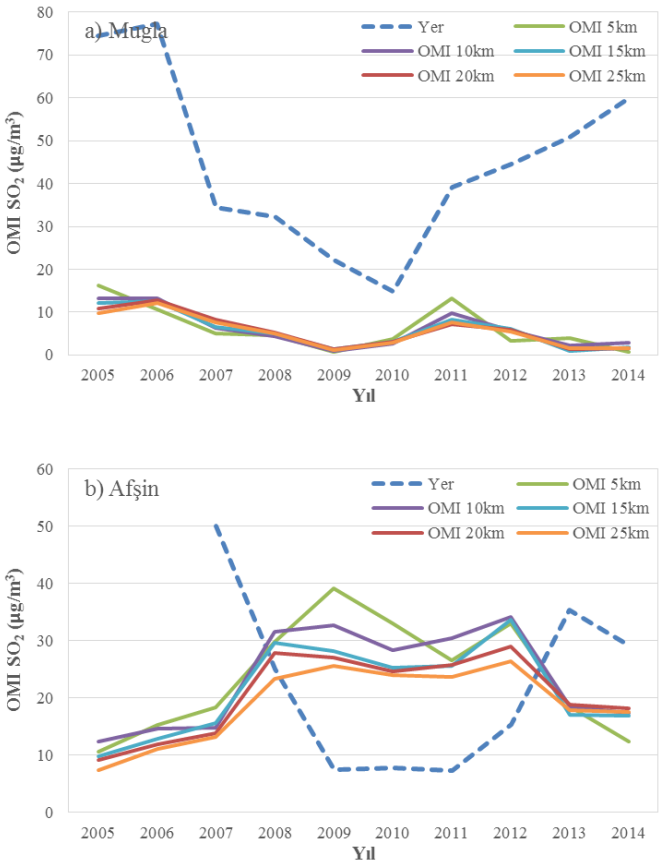


Şekil 3 OMI SO_2 kolonları kullanılarak hesaplanan yer SO_2 konsantrasyonlarının ($\mu g/m^3$) yer ölçüm istasyonları SO_2 konsantrasyonları ile karşılaştırması (2005-2014 yılları)

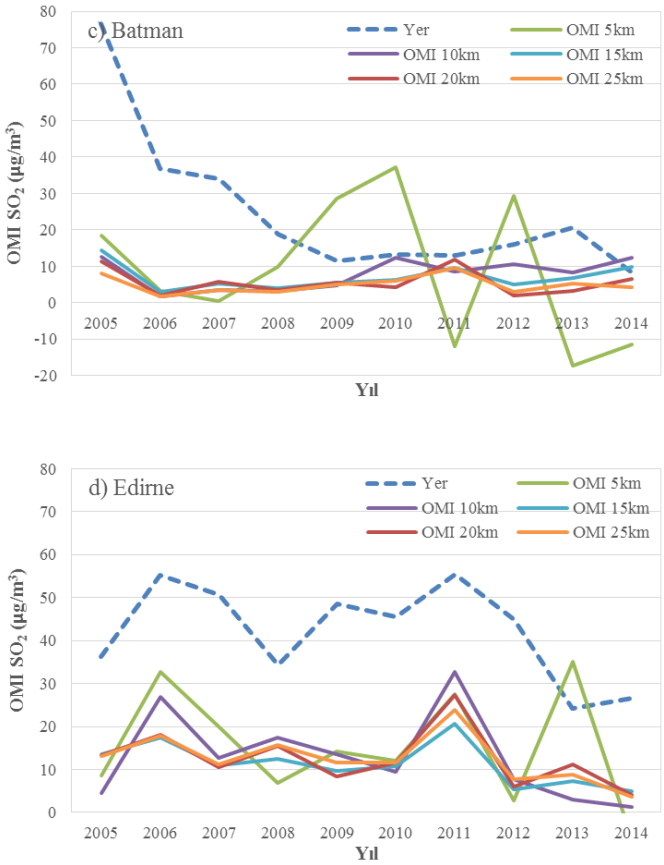
4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu sonuçlar özellikle etrafında büyük bir SO_2 emisyon kaynağı olan yer ölçüm istasyonlarının çevresindeki alanın ortalama SO_2 konsantrasyonlarını ve yıllar arası değişimlerini ifade etmede sorunları olabileceğini göstermektedir. Ancak saatlik ölçümler ile gün içerisindeki değişimleri yakalayabilmek için yer ölçümleri son derece faydalıdır. Uydu verileri ise özellikle belirli bir alanın ortalama kirlilik değerlerinin belirlenmesinde, büyük kirletici kaynakların etkilerinin belirlenmesinde, yeni ölçüm istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde faydalı bilgiler sağlayabilmektedir. Ancak uydu verilerindeki belirsizliklerin azaltılabilmesi için uzun süreli ortalama değerler kullanılmalıdır.

Uydu verileri sınırlar arası kirletici taşınımının belirlenmesinde yer ölçümlerine göre avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada Bulgaristan'da, Türkiye sınırının 90 km ötesinde yer alan 4 adet büyük kömür termik santralinin etkilerinin Edirne sınırında yer alan yer istasyonunda görülebildiği OMI SO_2 kirlilik haritaları ile belirlenmiştir.



Şekil 4. a) Muğla Yatağan, b) Afşin Elbistan, c) Batman ve d) Edirne yer ölçüm istasyonları için OMI (5-10-15-20-25 km yakınında) ve yer SO_2 konsantrasyonları



Şekil 4. Devamı…

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 114Y159 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

Sanayi Kaynakli Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2015. http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.13184&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=

Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı, 2015. http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx

Burrows, J.P., Weber, M., Buchwitz, M., Rozanov, V., Ladstatter-Weissenmayer, A., Richter, A., DeBeek, R., Hoogen, R., Bramstedt, K., Eichmann, K.U., Eisinger, M., 1999. The global ozone monitoring experiment (GOME): Mission concept and first scientific results. J. Atmos. Sci. 56, 151-175.

Carn, S.A., Krueger, A.J., Bluth, G.J.S., Schaefer, S.J., Krotkov, N.A., Watson, I.M., Datta, S., 2003. Volcanic eruption detection by the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) instruments: a 22-year record of sulphur dioxide and ash emissions, in: Oppenheimer, C.,

Pyle, D.M., Barclay, J. (Eds.), Volcanic Degassing. Geological Soc Publishing House, Bath, pp. 177-202.

Carn, S.A., Krueger, A.J., Krotkov, N.A., Yang, K., Levelt, P.F., 2007. Sulfur dioxide emissions from Peruvian copper smelters detected by the Ozone Monitoring Instrument. Geophysical Research Letters 34.

Eisinger, M., Burrows, J.P., 1998. Tropospheric sulfur dioxide observed by the ERS-2 GOME instrument. Geophysical Research Letters 25, 4177-4180.

Fioletov, V.E., McLinden, C.A., Krotkov, N., Moran, M.D., Yang, K., 2011. Estimation of SO_2 emissions using OMI retrievals. Geophysical Research Letters 38.

Fioletov, V.E., McLinden, C.A., Krotkov, N., Yang, K., Loyola, D.G., Valks, P., Theys, N., Van Roozendael, M., Nowlan, C.R., Chance, K., Liu, X., Lee, C., 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.

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. SO_2 over central China: Measurements, numerical simulations and the tropospheric sulfur budget. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 117.

Jiang, J., Zha, Y., Gao, J., Jiang, J., 2012. Monitoring of SO_2 column concentration change over China from Aura OMI data. International Journal of Remote Sensing 33, 1934-1942.

Khokhar, M.F., Frankenberg, C., Van Roozendael, M., Beirle, S., Kuhl, S., Richter, A., Platt, U., Wagner, T., 2005. Satellite observations of atmospheric SO2 from volcanic eruptions during the time-period of 1996-2002, in: Burrows, J.P., Eichmann, K.U. (Eds.), Atmospheric Remote Sensing: Earth's Surface, Troposphere, Stratosphere and Mesosphere - I. Elsevier Science Ltd, Oxford, pp. 879-887.

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., Schaefer, S.J., Krotkov, N., Bluth, G., Barker, S., 2000. Ultraviolet remote sensing of volcanic emissions, in: MouginisMark, P.J., Crisp, J.A., Fink, J.H. (Eds.), Remote Sensing of Active Volcanism. Amer Geophysical Union, Washington, pp. 25-43.

Lamsal, L.N., Martin, R.V., van Donkelaar, A., Steinbacher, M., Celarier, E.A., Bucsela, E., Dunlea, E.J., Pinto, J.P., 2008. Ground-level nitrogen dioxide concentrations inferred from the satellite-borne Ozone Monitoring Instrument. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 113.

Lee, C., Martin, R.V., van Donkelaar, A., Lee, H., Dickerson, R.R., Hains, J.C., Krotkov, N., Richter, A., Vinnikov, K., Schwab, J.J., 2011. SO_2 emissions and lifetimes: Estimates from

inverse modeling using in situ and global, space-based (SCIAMACHY and OMI) observations. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 116.

Levelt, P.F., Van den Oord, G.H.J., Dobber, M.R., Malkki, A., Visser, H., de Vries, J., Stammes, P., Lundell, J.O.V., Saari, H., 2006. The Ozone Monitoring Instrument. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 44, 1093-1101.

OMSO2 README, File v1.2.0 Released Feb 26, 2008 Updated: September 26, 2014.

Li, C., Zhang, Q., Krotkov, N.A., Streets, D.G., He, K., Tsay, S.-C., Gleason, J.F., 2010. 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., Yang, K., 2012. Air quality over the Canadian oil sands: A first assessment using satellite observations. Geophysical Research Letters 39, 8.

NASA, 2015. http://mirador.gsfc.nasa.gov/

Seinfeld, J.H.P., S. N. , 2006. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.

SİBA Endüstri, 2015. http://www.sibaendustri.com/project/afsin-elbistan-4x360-mw-b-thermal-power-plant-project/

Streets, D.G., Canty, T., Carmichael, G.R., de Foy, B., Dickerson, R.R., Duncan, B.N., Edwards, D.P., Haynes, J.A., Henze, D.K., Houyoux, M.R., Jacob, D.J., Krotkov, N.A., Lamsal, L.N., Liu, Y., Lu, Z., Martin, R.V., Pfister, G.G., Pinder, R.W., Salawitch, R.J., Wecht, K.J., 2013. Emissions estimation from satellite retrievals: A review of current capability. Atmospheric Environment 77, 1011-1042.

Thomas, W., Erbertseder, T., Ruppert, T., van Roozendael, M., Verdebout, J., Balis, D., Meleti, C., Zerefos, C., 2005. On the retrieval of volcanic sulfur dioxide emissions from GOME backscatter measurements. J. Atmos. Chem. 50, 295-320.

Wang, S.W., Zhang, Q., Streets, D.G., He, K.B., Martin, R.V., Lamsal, L.N., Chen, D., Lei, Y., Lu, Z., 2012. Growth in NOx emissions from power plants in China: bottom-up estimates and satellite observations. Atmospheric Chemistry and Physics 12, 4429-4447.

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.

Zhang, Q., Streets, D.G., He, K., 2009. Satellite observations of recent power plant construction in Inner Mongolia, China. Geophysical Research Letters 36.