

UZAKTAN ALGILAMA İLE TÜRKİYE’NİN SO₂ EMİSYON ENVANTERİNİN OLUŞTURULMASI

S. Yeşer ASLANOĞLU, Levent TÜRKER, Gülen GÜLLÜ(*)

Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET

Özellikle uluslararası bağlayıcılığa sahip temiz hava anlaşmalarının imzalanmasından sonra kirlletici ve sera gazı emisyonları için envanter hazırlanması çalışmaları küresel anlamda büyük önem kazanmıştır. Envanter bilgisi, otoriteler tarafından nasıl bir çevre politikası oluşturulması ve mevzuatla belirlenen kuralların nasıl bir çerçevede hazırlanması gerektiği kararlarının daha sağlıklı verilebilmesine yardımcı olmaktadır. Konvansiyonel aşağıdan yukarıya yaklaşıma göre emisyon envanterleri birtakım ölçümlere dayalı emisyon faktörü hesaplamaları ile oluşturulmaktadır. Fakat uzaktan algılama teknolojisindeki ilerleme ile birlikte iz gaz ölçümlerinin yapılmaya başlandığı yaklaşık 50 yıllık süreçte, yukarıdan aşağıya yaklaşımla hazırlanmış emisyon envanterleri öne çıkmaktadır. Bu sayede yer seviyesindeki ölçüm verilerinden farklı olarak troposferdeki elektromanyetik olarak belirlenmesi mümkün iz gazlara ait kolon verileri elde edilmektedir. Günümüzde NASA (National Aeronautics and Space Administration), EOS (European Space Agency) ve RSSJ (The Remote Sensing Society of Japan) gibi pek çok araştırma merkezine ait çeşitli uydu platformlarından troposferik ve mümkün olduğu durumlarda stratosferik kolon verileri elde edilmektedir. Bu çalışmada EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites)’a ait MetOp-A uydusu üzerindeki GOME-2 algılayıcısının iz gaz kolon verileri hazırlanan yazılım ile geri kazanılmış ve bir haftalık periyot için SO₂ haritaları hazırlanmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava kirliliği, Uzaktan algılama, MetOp-A, GOME-2, SO₂

ABSTRACT

Greenhouse gas and pollutant emission inventory studies globally have become more important issues after the international clean air acts. Inventory information helps authorities to give decisions on how to set an environmental policy and to prepare the legislation framework. Conventional emission inventories are formed with emission factors based on a priori measurements. However, emission inventories based on satellite based measurements of atmospheric trace gases are a powerful improvement as compared to measurements from conventional platforms for about 50 years. Differ from ground level measurements, they allow determination of tropospheric trace gas columns which are electromagnetically possible to obtain. Today, tropospheric and if possible stratospheric data are obtained from various satellite platforms belong to research centers as NASA (National Aeronautics and Space Administration), EOS (European Space Agency) and RSSJ (The Remote Sensing Society of Japan). In this study, EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of

* ggullu@hacettepe.edu.tr

Meteorological Satellites) MetOp-A satellite's onboard sensor GOME-2 data are retrieved and SO₂ Turkey maps are prepared for a one-week period.

KEYWORDS

Air pollution, Remote Sensing, MetOp-A, GOME-2, SO₂

1. GİRİŞ

Hava kalitesinin belirlenmesi çalışmaları aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olmak üzere iki yaklaşım çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Aşağıdan yukarıya yaklaşımının temelini kaynaktan ve ortamda yapılan ölçümler ve bu ölçümlere dayalı olarak hazırlanan emisyon faktörleri oluşturmaktadır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda ise temel, hava ve uzay kaynaklı uzaktan algılamaya dayalı ölçümlerdir. Türkiye geneli için veya bölgesel olarak aşağıdan yukarı yaklaşımla direkt ölçüm verileri veya emisyon faktörleri kullanılarak hazırlanmış birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları sektörel bazda bazıları ise toplam emisyonu dikkate alarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 1.'de ölçüme dayalı ve emisyon faktörüne dayalı olup olmamasına göre sınıflandırılan envanter çalışmalarına örnekler verilmektedir. Fakat yazarların bilgisine göre Dünya'da gemi taşımacılığı, volkan faaliyetleri veya toplam emisyonlar için hazırlanmış pek çok örnek olmasına rağmen henüz Türkiye için uzaktan algılama verileri kullanılarak yukarıdan aşağıya yaklaşımla hazırlanmış bir emisyon envanteri bulunmamaktadır (Marmer vd., 2009); (Thomas vd., 2005); (Eisinger ve Burrows, 1998).

Tablo 1. Türkiye için aşağıdan yukarı yaklaşımla ölçüme dayalı ve emisyon faktörüne dayalı hazırlanan envanter örnekleri

Ölçüme Dayalı	Yazarlar	Yıl	Parametre
	Ozdemir vd.	2012	PM ₁₀ ve PM _{2.5}
	Ozcan	2012	SO ₂ , CO, NO, NO ₂ ve NO _x
	Saral vd.	2012	VOC ve PM
	Dogruparmak ve Ozbay	2011	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, CH ₄ ve NMHC
	Civan vd.	2011	VOC
Emisyon Faktörüne Dayalı	Yazarlar	Yıl	Parametre
	Aslanoğlu ve Aydınalp Köksal	2012	CO ₂
	Cetin vd.	2007	PM, SO ₂ , NO _x ve CO
	Dincer ve Elbir	2007	HC, CO, PM, SO ₂ ve CO ₂
	Say ve Yucel	2006	CO ₂
	Elbir vd.	2000	PM, SO _x , NO _x , NMHC ve CO

Herhangi bir temasta bulunmadan bir obje veya alan hakkında bilgi toplama sanatına ve bilimine uzaktan algılama denilmektedir. Kitap okurken gözlerimizle yaptığımız iş günlük hayatın içinden verilebilecek en basit örnektir (Lillesand vd., 2004). Fotoğraf teknolojisi 1826'da bulunmuş ve 1850 - 1860 yılları arası balondan fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir. James Clerk Maxwell tarafından 1973 yılında ışığın dalgalar halinde hareket ettiğini kabul eden elektromanyetik enerji teorisi geliştirilmiş, daha sonra uçaktan

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

alansal fotoğraf çekimi dönemi başlamıştır. I. Dünya Savaşı sırasında askeri amaçlarla kullanılmış, savaştan sonra ise ilk sivil uygulamaları görülmeye başlanmıştır. Bu sayede fotogrametrinin temelleri atılarak radar teknolojisi geliştirilmeye başlanmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında elektromanyetik spektrumun kızılötesi ve mikrodalga kısımlarının kullanıldığı uygulamalar hayata geçirilmiştir. 1960 yılında ABD ve SSCB arasındaki uzay yarışı sayesinde uydu çağı başlamış ve ilk olarak “uzaktan algılama” terimi kullanılmaya başlanmıştır (Campbell ve Randolph, 2011). 1960’lardan günümüze bu alanda pek çok deneme gerçekleştirilmiş ve bu sayede sayısız gelişmeye imza atılmıştır.

Temelde uzaktan algılama teknolojisi yerden, havadan ve uzaydan olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Her biri elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarında faaliyet göstermekte olan algılayıcılar ile veri toplamaktadır. Ayrıca algılayıcıların enerji kullanımında aktif veya pasif oluşuna göre bir sınıflandırma daha yapmak mümkündür. Pasif olanlar güneşten gelip, objeden veya alandan yansıyarak algılayıcıya ulaşan enerjiyi kullanırlar. Aktif olanlar ise kendi enerjilerini objeye gönderip, objeden yansıyan enerji üzerinden algılama işlemini gerçekleştirirler. Lazer ve radar aktif algılayıcılara birer örnektir. Uzay tabanlı algılayıcılarda farklı bir sınıflandırma ise uyduların izledikleri yörüngelere göre yer sabit (geostationary) ve kutba yakın (polar/near-polar) olarak yapılmaktadır. Yer sabit yörüngeli olanlar yeryüzünde sürekli olarak aynı alandan veri sağlarken kutba yakın yörüngeli olanlar tüm yeryüzünden periyodik olarak veri sağlamaktadırlar (Lillesand vd., 2004); (COMET, 2015).

Uzaktan algılama teknolojisi çeşitli alanlarda çalışma yapmaya imkan tanımaktadır. Arazi kullanımı ve arazi kullanımındaki değişikliklerin belirlenmesi, jeolojik ve topografik haritaların oluşturulması, bitki indekslerinin hazırlanması, afet ve orman yangınlarının hasar boyutlandırması, şehir ve bölge planlama, ısı adalarının haritalandırılması ve atmosferik çalışmalar gibi sayısız alanda uzaktan algılama verileri kullanılmaktadır (COMET, 2015).

Bu çalışmada SO₂ emisyon envanteri hazırlanması amacıyla GOME-2 atmosferik iz gaz kolon verileri kullanılmıştır. 1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arasında ölçülen SO₂ dikey kolon verileri geri kazanılarak emisyon haritaları oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD

Türkiye’de faaliyet gösteren yer veya hava tabanlı bir uzaktan algılayıcı olmaması nedeniyle uydu verileri kullanılarak CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) haritalandırmaları gerçekleştirilmiştir.

2.1. Veriler

SO₂ envanterinin oluşturulması amacıyla EUMETSAT’a ait MetOp-A uydusu GOME-2 (Global Ozone Monitoring Experiment-2) algılayıcısına ait level 1b O₃M SAF (Satellite Application Facility on Ozone and Atmospheric Chemistry Monitoring) verileri kullanılmıştır. Pasif algılayıcılar sınıfına giren GOME-2 Dünya yüzeyinden geri yansıyan ve Dünya dışı Güneş radyasyonunu kullanarak elektromanyetik spektrumun UV ve görünür dalga boylarında, özellikle 0.2 - 0.4 nm arasında yüksek çözünürlüğe sahip ölçümler yapmaktadır. Genel olarak 960 km yüzey kaplama alanına sahiptir ve dört ana kanaldan 80*40 km²’lik çözünürlük sağlamaktadır. Yüzey çözünürlüğü ölçülen gazın türüne bağlı olarak 15 kanalın kullanılması durumunda 10*40 km²’ye kadar artmaktadır. Kutba yakın

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

yörüngeye sahip olması nedeniyle tüm Dünya’da ölçüm yapmakta ve ölçüm alanı bir günlük periyotta yaklaşık olarak tüm Dünya’yı kaplamaktadır. Yerel saat ile Dünya üzerindeki her noktadan 10 sularında geçiş yapmaktadır. GOME-2 tarafından ölçülen iz gaz kolonlarına ait bilgiler ve ölçüm aralıkları Tablo 2.’de verilmektedir (EUMETSAT, 2015); (O3M-SAF, 2013).

Tablo 2. GOME-2 algılayıcısı iz gaz kolon bilgileri

Ürün	Birimi	Dalga Boyu Aralığı (nm)
O ₃	DU (Dobson Unit)	325.0-335.0
NO ₂	molekül/cm ²	425.0-450.0
BrO	molekül/cm ²	332.0-359.0
SO ₂	DU (Dobson Unit)	315.0-326.0
H ₂ O	molekül/cm ²	614.0-683.2
HCHO	molekül/cm ²	328.5-346.0

2.2. Metodlar

Veri geri kazanımı. Elde edilen O3M-SAF verileri HDF5 formatındadır. Öncelikle HDF5 formatının CBS için kullanılabilir hale getirilebilmesi amacıyla HDF5 kütüphanesi kullanılarak MATLAB kodları hazırlanmıştır (MathWorks, 2015a); (MathWorks, 2015b).

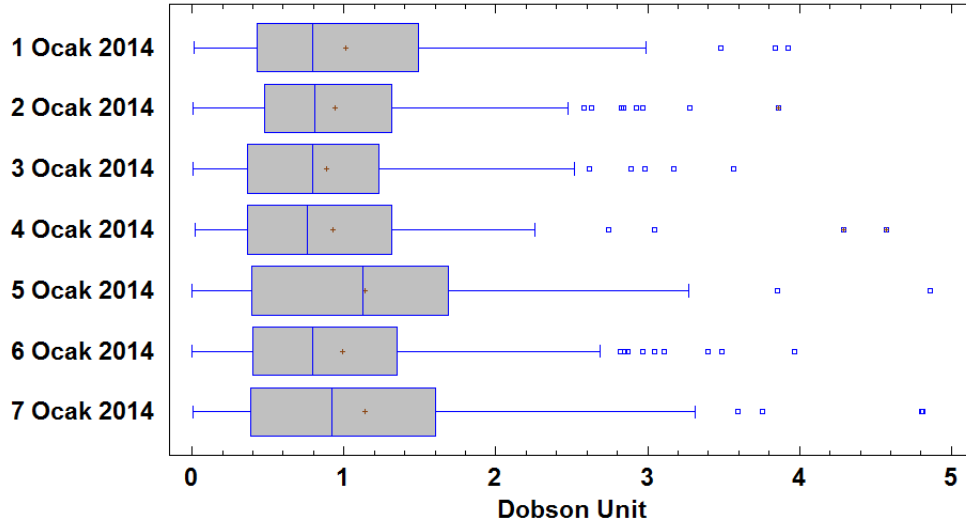
MATLAB’da dönüştürülen dosya formatları öncelikle kalite kontrol işlemlerine tabi tutulmuştur. Uydu verisindeki sol, nadir ve sağ ölçüm verileri alınırken geri ölçümleri veri setinden atılmıştır. Solar Zenith açısının 70°’den büyük olduğu durumlar, algılayıcının hata vererek -1 değeri atadığı satırlar ve yoğun bulutluluğa sahip durumlara ait veriler ayıklanmıştır. Tüm bu işlemlerin sonucunda 1-7 Ocak 2014 tarihleri arasında yaklaşık olarak 5.000 satır SO₂ verisi geri kazanılmıştır.

CBS işlemleri. MATLAB ve kalite işlemlerinden sonra veri seti CBS programında kullanılabilecek formata dönüştürülmüştür. CBS ile ilgili tüm işlemlerde MapInfo yazılımı kullanılmıştır (PitneyBowes, 2015). Bu sayede Türkiye kara alanları için yedi günlük SO₂ haritaları hazırlanmıştır. Haritalar hazırlanırken Lat/Lon ED50 projeksiyonunda hücre boyutu ve yarıçapı 20 km seçilmiş, enterpolasyon yöntemi olarak IDW alınmış ve değerlerin gösterimi için beş aralık kullanılmıştır. Ayrıca veri setine basit istatistik analizler uygulanmıştır.

3. SONUÇLAR

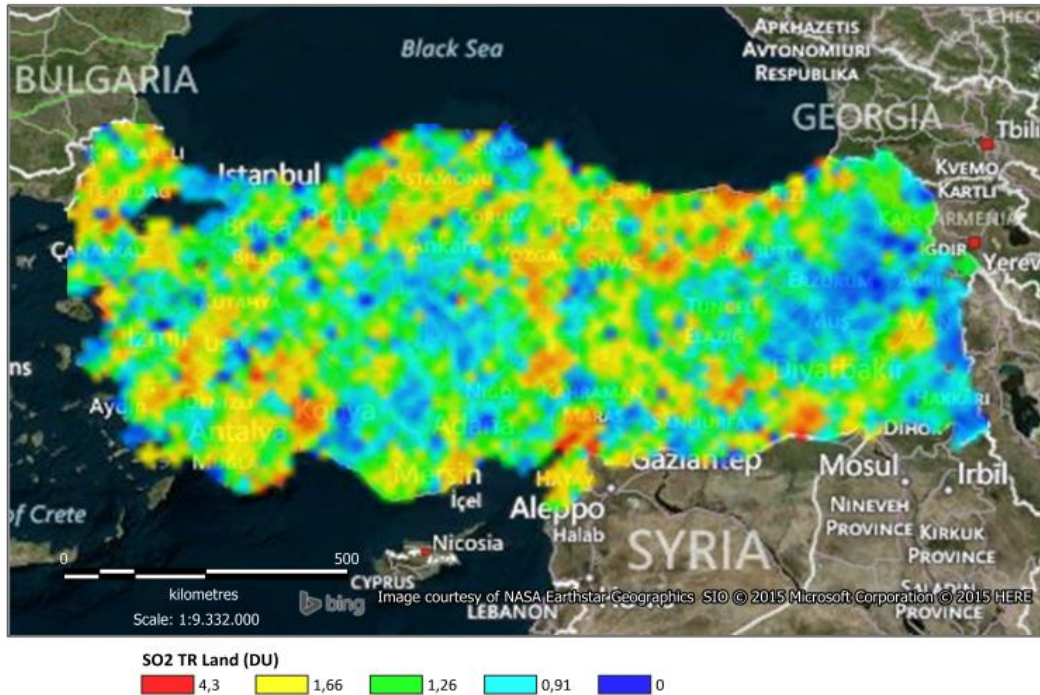
1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arası Türkiye kara alanları SO₂ dikey kolon verilerine ait kutu diagramları Şekil 1.’de verilmektedir. %95 güven aralığında yapılan analizlere göre veri setleri normal dağılmamakta ve her bir günün ortalama değerleri birbirinden farklılık göstermektedir. Çevresel verilerin normal dağılım göstermediği bilinmekle birlikte günler arasındaki emisyon değerlerinde farklılıkların olması gayet doğaldır. Toplamda yedi günlük veri seti 0.0014 - 4.8642 DU aralığında dağılmakta olup ortalama değeri 1.003 DU ve ortanca değeri 0.821 DU’dir.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR



Şekil 1. 1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arası Türkiye geneli kara alanları SO₂ istatistik analizi (DU)

1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arası SO₂ değerleri için oluşturulan CBS haritası Şekil 2.'de verilmektedir. Evsel ısınmada doğalgaz kullanımına geçmiş olan Ankara gibi büyük şehirlerde emisyon yoğunluğu düşük, sanayi faaliyetlerinin gerçekleştirildiği Trakya gibi bölgelerde ise emisyon yoğunluğu yüksek değerlerde gözlemlenmiştir.

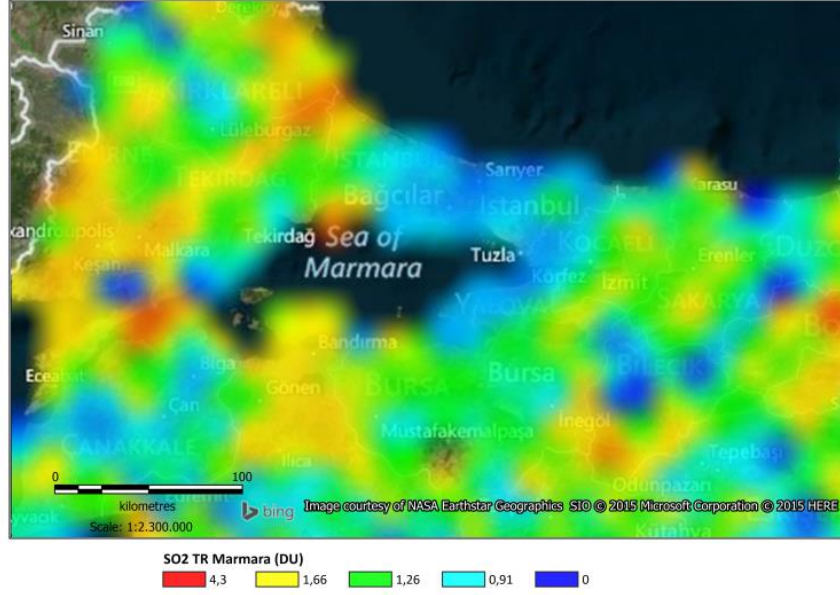


Şekil 2. 1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arası Türkiye geneli kara alanları SO₂ haritası (DU)

Genel harita üzerindeki bazı bölgelere daha detaylı bakacak olursak, Şekil 3.'te Marmara bölgesi gösterilmektedir. Burada İstanbul'daki evsel ısınma ve toplu taşımada kullanılan

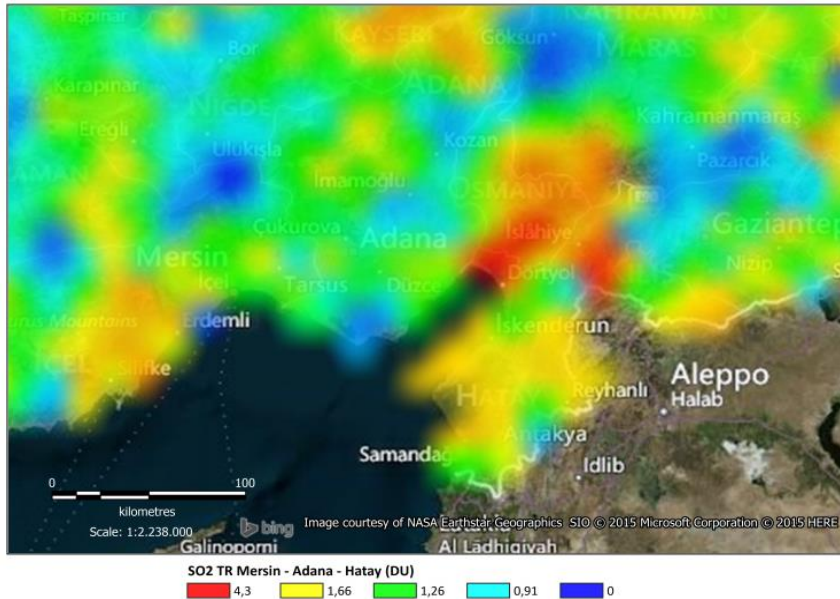
6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

doğalgazın etkisi kent merkezindeki düşük emisyon seviyesi olarak kendini göstermektedir. Aynı şekilde Trakya bölgesindeki yoğun sanayi faaliyetleri ve Çanakkale kıyılarında işletmede olan termik santraller de toplam SO₂ emisyonuna katkı sağlamaktadır.



Şekil 3. 1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arası Marmara bölgesi kara alanları SO₂ haritası (DU)

Aynı şekilde Şekil 4.'te gösterilen Adana-Mersin-Hatay bölgesine bakacak olursak Mersin ve Hatay şehir merkezlerinde yoğunluk göze çarpmaktadır. Bununla birlikte bölgede Türkiye'nin en büyük ithal kömürle çalışan termik santrali faaliyet göstermektedir. İskenderun körfezinin kuzey noktasında yerleşmiş bu santralin SO₂ emisyon seviyesindeki artış etkisi çarpıcı bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4. 1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arası Adana-Mersin-Hatay bölgesi kara alanları SO₂ haritası (DU)

5. GENEL DEĞERLENDİRME

İstenilen her noktada ölçüm istasyonu kurmak hem yüksek maliyetli hem de saha şartları ortaya konduğunda imkan dahilinde değildir. Tam da bu noktada istenilen alanı yukardan görerek geniş kaplama alanlarında faaliyet gösteren uyduların ölçümleri büyük bir boşluğu doldurmaktadır. Türkiye’de henüz atmosferik çalışmalarda uydu verileri kullanılmamasına rağmen Dünya’da uydu verileri ile hazırlanmış pek çok emisyon envanteri çalışması mevcuttur. Bu sayede emisyon değerlerindeki zamansal ve mekansal değişimler başarılı bir şekilde haritalandırılabilir.

Bu çalışmada Türkiye SO₂ emisyon envanteri için 1 - 7 Ocak 2014 tarihleri arasında deneme haritalandırması gerçekleştirilerek bir haftalık periyotta SO₂ emisyon değerindeki mekansal değişim ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Aslanoğlu, Y., Köksal, M.A., 2012. Elektrik üretimine bağlı karbondioksit emisyonunun bölgesel olarak belirlenmesi ve uzun dönem tahmini, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 1, 19-29.

Campbell, J.B., Randolph, H.W., 2011. Introduction to Remote Sensing, 3rd Edition, The Guilford Press, New York.

Cetin, S., Karademir, A., Pekey, B., Ayberk, S., 2007. Inventory of emissions of primary air pollutants in the city of Kocaeli, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment* 128, 165-175.

Civan, M.Y., Kuntasal, O.O., Tuncel, G., 2011. Source appointment of ambient volatile organic compounds in Bursa, heavily industrialized city in Turkey, *Environmental Forensics* 12, 357-370.

COMET, 2015. <http://www.comet.ucar.edu/>.

Dincer, F., Elbir, T., 2007. Estimating national exhaust emissions from railways vehicles in Turkey, *Science of the Total Environment* 374, 127-134.

Dogruparmak, S.C., Ozbay, B., 2011. Investigation correlations and variations of air pollutant concentrations under conditions of rapid industrialization - Kocaeli (1987 - 2009), *Clean - Soil Air Water* 39, 597-604.

Eisinger, M., Burrows, J.P., 1998. Tropospheric Sulfur Dioxide Observed by the ERS-2 GOME Instrument. *Geophysical Research Letters* 25 No. 22, 4177-4180.

Elbir, T., Muezzinoglu, A., Bayram, A., 2000. Evaluation of some air pollution indicators in Turkey, *Environment International* 26, 5-10.

EUMETSAT, 2015. GOME-2, <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/MetopDesign/GOME2/index.html>.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and Image Interpretation, 5th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

Marmer, E., Dentener, F., v. Aardenne, J., Cavalli, F., Vignati, E., Velchev, K., Hjorth, J., Boersma, F., Vinken, G., Mihalopoulos, N., Raes, F., 2009. What Can We Learn About Ship Emission Inventories from Measurements of Air Pollutants over the Mediterranean Sea? *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, 6815-6831.

MathWorks, 2015a. HDF5 Library. <http://www.mathworks.com/help/matlab/hdf5-files.html>.
MathWorks, 2015b. MATLAB R2015a version, Hacettepe University Academic License.
Ozcan, H.K., 2012. Long term variations of the atmospheric air pollutants in Istanbul city, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9, 781-790.

Ozdemir, H., Mertoglu, B., Demir, G., Deniz, A., Toros, H., 2012. Case study of PM pollution in playgrounds in Istanbul, *Meteorology & Atmospheric Sciences* 108, 553-562.

O3M-SAF, 2013. Product User Manual for GOME Total Columns of Ozone, NO₂, Tropospheric NO₂, BrO, SO₂, H₂O, HCHO, OclO, and Cloud Properties. Deutches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V.-DLR, Oberpfaffenhofen, Germany.

PitneyBowes, 2015. MapInfo 12.5, Yeser Aslanoglu Academic License.

Saral, A., Demir, S., Birpinar, M.E., 2012. An air quality monitoring strategy for a shipyard region (Tuzla, Istanbul, Turkey) based on dispersion modelling and on-site ambient measurements, *Fresenius Environmental Bulletin* 21, 967-975.

Say, N.P., Yucel, M., 2006. Energy consumption and CO₂ emissions in Turkey: empirical analysis and future protection based on an economic growth, *Energy Policy* 34, 3870-3876.

Thomas, W., Erbertseder, T., Ruppert, T., Van Roozendaal, M., Verdebout, J., Balis, D., Meleti, C., Zerefos, C., 2005. On the Retrieval of Volcanic Sulfur Dioxide Emissions from GOME Backscatter Measurements. *Journal of Atmospheric Chemistry* 50, 295-320.