UZAKTAN ALGILAMA İLE ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Özgür ZEYDAN[1], Yılmaz YILDIRIM[2]

[1]Öğr. Gör., Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, ozgurzeydan@yahoo.com
[2]Prof. Dr., Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, yildirim@karaelmas.edu.tr

ÖZET

Hava kirliliği, ülkemizin çözmesi gereken en önemli çevre problemlerinden birisidir. Son yıllarda, şehirlerimizin hava kalitesinde az miktarda gelişmeler gözlenmiştir. Fakat şehirlerimizdeki hava kalitesi hala halk sağlığı açısından yeterli seviyede değildir.

Hava kirleticileri, gazlar ve partikül maddeler olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Genellikle fosil yakıtlarının yanmasından kaynaklanan partikül maddeler, çok ciddi sağlık problemlerine neden olabilir. Solunum ve dolaşım sistemleri, çapları 10 mikrometreden küçük olan partikül maddelerden (PM_{10}) etkilenmektedir. Hatta, literatürdeki çalışmalarda partikül madde konsantrasyonlarındaki artışın ölüm oranlarında artışla sonuçlandığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada, atmosferdeki partikül madde (PM_{10}) konsantrasyonları uzaktan algılama verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. MODIS Aerosol Ürünleri'nden "optik aerosol derinliği" (AOD) verileri kullanılarak partikül madde konsantrasyonları belirlenmiştir. Tahmin edilen partikül madde konsantrasyonları Ulusal Hava İzleme Ağı'ndaki ölçümlerle kıyaslanmıştır. Sonuçlar, AOD ile PM_{10} arasında ortalama bir ilişkinin (r=0.72) bulunduğunu göstermiştir. Uzaktan algılama tekniklerinin hava kalitesi çalışmalarında partikül madde konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılabileceğini söylemek mümkündür.

Anahtar Sözcükler: Hava Kirliliği, MODIS, Optik Aerosol Derinliği, Partikül Madde, Uzaktan Algılama

ABSTRACT

DETERMINATION OF ATMOSPHERIC PARTICULATE MATTER BY REMOTE SENSING

Air pollution is one of the most important environmental problems that our country has to deal with. Minor improvements have been observed in air quality of our cities in recent decade. However, air quality of our cities is not still enough in terms of public health.

Air pollutants can be divided into two main categories as gaseous and particulate pollutants. Particulate matter, mainly originated from fossil fuel combustion, can cause serious health effects. Pulmonary and cardiovascular systems are affected from particulate matters, whose sizes are less than 10 micrometers (PM_{10}). Even, studies in literature states that an increase in particulate matter concentrations results in increase in death rates.

In this study, atmospheric concentrations of particulate matter (PM_{10}) have been estimated by using remote sensing data. "The optical aerosol depth" (AOD) data of The MODIS Aerosol Product have been used to determine particulate matter concentrations. Estimated particulate matter concentrations have been compared with National Air Quality Network measurements. Results show that moderate relation (r=0.72) between AOD and PM_{10}. It can be concluded that remotes sensing techniques can be used to estimate particulate concentrations in air quality studies.

Keywords: Air Pollution, MODIS, Optical Aerosol Depth, Particulate Matter, Remote Sensing

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği insan hayatının kaçınılmaz yan ürünlerinden birisidir. Isınma, enerji üretimi ve ulaşım faaliyetleri için fosil yakıtlarının tüketilmesi de hava kirliliğine neden olan gazların ve tozların atmosfere salınması ile sonuçlanmaktadır. Hava kirleticisi gazların ve tozların canlılara, materyallere ve ekosisteme zarar verecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre atmosferde bulunması olayı hava kirliliği olarak adlandırılmaktadır. Ülkemizde önceki yıllarda çok kötü durumda olan hava kalitesinde, son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda bir miktar iyileşme kaydedilmiştir. Kömür ve fuel-oil yerine doğalgaz kullanımına geçilmesi, sanayi tesislerine çevre izinleri alma zorunluluğu getirilmesi, kömür satış tesislerinin satış izni almak zorunda olması ve motorlu taşıtların egzoz emisyon ölçümlerinin düzenli olarak yapılması hava kalitesinin iyileşmesinde başlıca etkenlerdir (ÇŞB, 2011). Ancak, ülkemizdeki hava kalitesi bugün bile halk sağlığı açısında ciddi problemler oluşturacak kadar kötüdür. Ülkemizdeki hava kirliliği ile ilgili yönetmeliklerdeki sınır değerlerin Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerindeki sınır değerler ile kıyaslandığı oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Hava kirleticilerini gazlar ve aerosollar olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Katı ve sıvı fazdaki maddelerin havada asılı kalmaları ile oluşan aerosolların içinde sağlık açısından en önemli tehdit oluşturan grup partikül maddelerdir. Partikül maddelerin fiziksel özellikleri (boyut, yoğunluk, şekil vb.) ve kimsayal yapıları oldukça değişiklik gösterebilmektedir. Aerodinamik çapları 0.1 mikrometreden (μm) 30 mikrometreye kadar olan tüm parçacıklar toplam partikül madde (TPM) olarak ifade edilirler. Parçacık çapları 10 μm'nin altında kalan maddeler "kaba partiküller" (PM_{10}) ve parçacık çapları 2.5 μm'nin altında kalan maddeler ise "ince partiküller" ($PM_{2.5}$) olarak adlandırılmaktadır (WHO, 2006; Spellman, 2009). Partikül maddelerin yapısında sülfat, nitrat, amonyum ve uçucu organik bileşikler, ağır metaller, deniz tuzları ve siyah karbon bileşikleri bulunabilir (Godish, 2004).

Partikül maddelerin başlıca çevresel etkisi insan sağlığı üzerinde görülmektedir. PM_{10} solunduğunda burun ve boğaz bölgesinde tutulurken $PM_{2.5}$ ciğerlere ve hatta alveollere kadar ulaşmakta ve burada kana karışabilmektedir. Partikül maddelere kısa süreli maruziyet sonucunda boğaz ağrısı ve öksürük gibi akut etkiler görülebilirken; bronşit, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve astım gibi hastalıkların yüksek PM_{10} seviyeleriyle ilişkili oldukları bildirilmiştir. Partiküller solunum ve dolaşım sisteminde ciddi rahatsızlıklara yol açabilmektedirler (MacNee and Donaldson 1999). Literatürdeki çalışmalar kısa dönemde PM_{10} konsantrasyonunda meydana gelen 10 μg/m^3'lük artışın ölüm oranlarını yüzde 0.5 ile 1.5 arasında arttırdığını belirtmektedir. Ayrıca, solunum ve dolaşım sistemi hastalıkları nedeniyle hastanelere yapılan başvuru sayılarında ve astım krizlerinin görülmesinde artışlar olduğu bildirilmiştir (Jacobson, 2002). 24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonunda meydana gelen 10 μg/m^3'lük düşüşün ise dolaşım sistemi hastalıkları nedeniyle gerçekleşen hastane başvurularında %0.8'lik bir düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Routledge and Ayres, 2006).

6 Haziran 2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan ve 05 Mayıs 2009 tarihli ve 27219 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan değişiklikle güncellenen "Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği"ne göre Partiküler Madde (PM_{10}) için uygulanacak kısa vadeli sınır değer (KVS) 140 μg/m^3, kış sezonu ortalaması sınır değeri 112 μg/m^3 ve uzun vadeli sınır değer (UVS) de 78 μg/m^3 olarak belirlenmiştir (HKDYY, 2009).

Her ne kadar Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde PM_{10} için sınır değerler yıllar içinde azaltılmış olsa da bu değerlerin Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği ülkelerinin mevzuatındaki PM_{10} sınır değerleri ile kıyaslandıklarında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü PM_{10} sınır değerleri 24 saatlik ortalamalar için 50 μg/m^3 ve yıllık ortalamalar için de 20 μg/m^3 olarak belirlemiştir (WHO, 2012). Avrupa Birliği'ne üye ülkeler için de PM_{10} sınır değerleri 24 saatlik ortalamalar için 50 μg/m^3 ve yıllık ortalama için de 40 μg/m^3 olarak uygulanmaktadır (EU, 2012). Bu değerler ışığında ülkemizdeki sınır değerlerin henüz çok yetersiz olduğu söylenebilir. Dünya Sağlık Örgütü'nün 2009 yılı verilerine göre ülkemizdeki nüfusun yaklaşık %90'lık bir bölümü Avrupa ülkeleri ile kıyaslandıklarında tehlikeli sayılabilecek PM_{10} seviyelerine maruz kalmaktadır (WHO, 2011).

Uzaktan algılama, herhangi bir cisim ile fiziksel temas halinde bulunmadan o cisim ile ilgili bilgilerin uzak mesafeden elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Uzaktan algılama, objeler tarafından yayılan elektromanyetik enerjinin analiz edilmesiyle o obje hakkında bilgi çıkarımlarında bulunma bilimi ve sanatıdır. Uzaktan algılama verileri genellikle yer seviyesindeki ölçümler ile ilişkilendirilerek istenilen bilgilerin elde edilmesi için uygun yöntemler geliştirilmektedir (Aranoff, 1993). Uzaktan algılama teknikleri çevre mühendisliğinde hava kalitesi yönetimi, su kirliliğinin belirlenmesi, su kaynaklarının yönetimi, katı atık yönetimi, çevresel etki değerlendirmesi ve iklim değişikliği gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Bir bölgedeki hava kalitesinin belirlenmesi yer seviyesi hava kalitesi ölçüm istasyonları, yer yüzeyinde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması veya uydu görüntüleri yardımıyla uzaktan algılama yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Yer yüzeyinde yapılan ölçümler sadece istasyonun kurulduğu alanlarda yapıldığı için kapsadığı alanlar oldukça kısıtlıdır. Kapsama alanını arttırmak için yeni kurulacak istasyonlar ise maliyetleri yükseltecektir. Uydu yardımıyla elde edilen uzaktan algılama verileri ise kapladığı geniş alanlar ve sürekli tekrarlanan ölçümler sayesinde hava kirliliğinin haritalanmasında önemli ve

oldukça ekonomik bir araç olarak kullanılmaktadır. Hatta uzaktan algılama ile ulaşılması çok güç olan bölgeler hakkında bile bilgi sahibi olmak mümkündür. Hava kalitesi yönetiminde aerosollar, troposferik ozon (O_3), troposferik azot dioksit (NO_2), karbon monoksit (CO), formaldehit (HCHO) ve kükürt dioksit (SO_2) gibi kirletici parametreler uydular yardımı ile izlenebilmektedir (Martin, 2008). Aerosollar ile ilgili en yaygın olarak kullanılan veri Aerosol Optik Derinliği (AOD)'dir. AOD belirli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin aerosollar nedeniyle azalması olarak tanımlanabilir (Emili et.al., 2010).

İsviçre Alp'lerinde PM_{10} konsantrasyonlarının belirlenmesi için yapılan bir çalışmada kutupsal yörüngeli MODIS ve yer sabit yörüngeli SEVIRI uydularının verileri kullanılmıştır. Uydu verilerinin 13 tane PM_{10} ölçüm istasyonu verileri ile karşılaştırıldığı çalışma sonucunda SEVIRI uydusundan elde edilen verileri MODIS uydusundan elde edilenlere göre 24 saatlik PM_{10} konsantrasyonlarını daha iyi açıkladığı ortaya çıkmıştır (r_{sev}=0.72, r_{mod}=0.58) (Emili et al, 2010).

Yapılan bir çalışmada, İngiltere, Fransa ve Belçika üzerindeki toplam 80 hava kalitesi ölçüm istasyonundan elde edilen PM_{10} konsantrasyonları SeaWiFS uydusundan alınan Aerosol Optik Derinliği verileri ile kıyaslanmıştır. İstatistiksel modele rüzgar hızı, atmosfer basıncı, bağıl nem, yağış miktarı ve zaman (Jülyen günü) parametreleri de eklenmiştir. Model çıktılarına göre PM_{10} konsantrasyonunu tahmin etmen için kullanılan modelin korelasyon katsayısı (r) 0.65 olarak bulunmuştur (Vidot et al, 2007).

MODIS AOD ile PM_{10} ilişkisinin incelendiği bir başka çalışma Fransa'da yapılmış ve 5 adet yer ölçüm istasyonunun verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak, $PM_{10} = 54 \times AOD + 13$ (r=0.69) lineer denklemi elde edilmiştir (Péré et al, 2009)

Hong Kong'da yapılan bir çalışmada, MODIS Aerosol Optik Kalınlığı verilerinin çözünürlüğünü arttırmak için ileri düzey dijital resim işleme teknikleri kullanılarak yüzey yansıma değerleri Aerosol Optik Derinliği verilerinden ayıklanmıştır. Bu işlemler sonucu elde edilen 550nm'deki 500 metre çözünürlüklü AOD verileri yer yüzeyinden PM_{10} konsantrasyonları ile oldukça yüksek korelasyon (r=0.89) gösterdiği belirtilmiştir (Wong et al, 2009).

Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmaların çok kısa bir özeti verilmiş olup daha detaylı bilgi için literatürde çok sayıda AOD – PM_{10} ilişkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışma ülkemiz açısından yukarıda özetlenen çalışmalara paralel olarak ülkemizde uzaktan algılama ve hava kalitesi arasında yapılan çalışmalara öncülük etmektedir. Bu amaçla 2010 yılı çalışmaları için MODIS uydusundan alınan aerosol verileri ile aynı tarihlerde ülkemizdeki Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan alınan partikül madde verileri ilişkisi incelenmiş ve uydu verileri ile bölgesel hava kalitesi değerlerinin elde edilmesinin istatistiksel olarak anlamlılığı araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

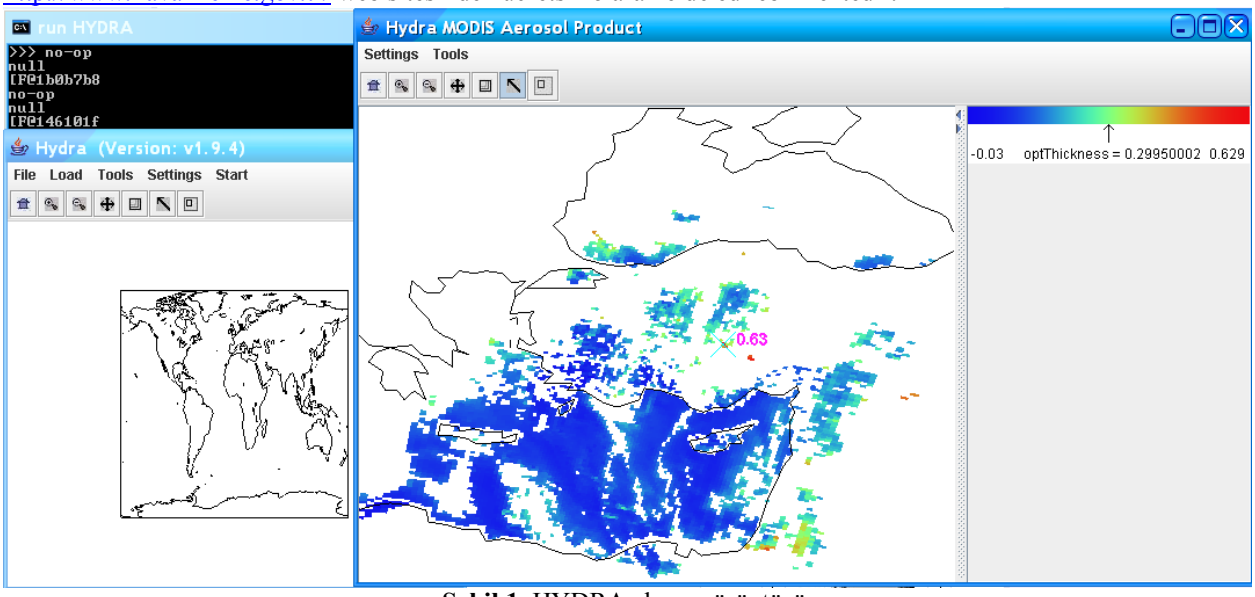
2.1 Uzaktan Algılama ile Optik Aerosol Derinlik değerlerinin elde edilmesi

Bu çalışmada kullanılan Optik Aerosol Derinliği (OAD) verileri TERRA MODIS uydusunun veri tabanından elde edilmiştir. 1999 yılında Amerikan Ulusal Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA) tarafından fırlatılan kutupsal yörüngeli bu uydu yeryüzündeki her noktayı 1 veya 2 günde bir görüntüleyebilmektedir. 36 tane spektral banda sahip olan Terra MODIS'in ilk 20 bandı 0.4 – 3.0 µm (mavi – orta infrared) aralığında ve son 16 bandı ise 3.0 – 14.0 µm (termal - infrared) aralığında çalışmaktadır. Terra MODIS platformu okyanuslar, karaların yüzeyleri ve atmosfer ile ilgili optik aerosol derinliği, su buharı, bulutlar, bulut maskesi, yer yüzeyi albedosu, NDVI, ekosistem sınıflandırması gibi ürünlere ait uzaktan algılama verileri sağlamaktadır (Bossler et. al., 2002; Emili et. al, 2010). Optik Aerosol Derinliği verileri 10 km mekansal çözünürlüklü Seviye 2 Aerosol Ürünleri (MOD04)'nden elde edilmiştir. HDF (Hierarchical Data Format) formatındaki dosyalar ülkemiz sınırlarını kapsayan h20v04 ve h20v05 hücreleri için http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html web adresinden indirilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin tümü 2010 yılını temsil etmektedir.

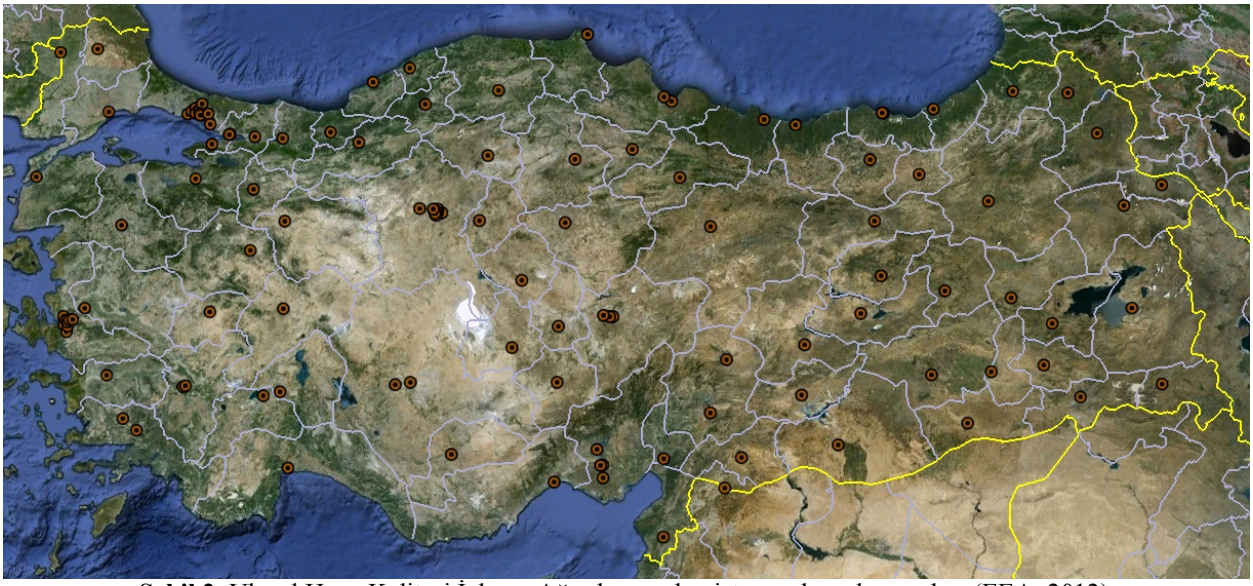
MODIS Terra uydusu tarafından sağlanan HDF formatındaki Aerosol veri dosyalarının görüntülenmesi için Wisconsin Üniversitesi'nde geliştirilen, Java tabanlı HYDRA (HYperspectral-viewer for Development of Research Applications) yazılımı kullanılmıştır. HYDRA, ücretsiz olarak http://www.ssec.wisc.edu/hydra/ web sitesinden indirilebilmektedir. Yazılımın ekran görüntüsü Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.2 PM_{10} Ölçüm Verileri

Partikül Madde (PM_{10}) konsantrasyonlarının elde edilmesi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı verileri kullanılmıştır. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'nda 3 tanesi mobil olmak üzere toplam 125 istasyon yer almaktadır. İstasyonların konumları Şekil 2'deki uydu görüntüsünde gösterilmiştir. Ölçüm istasyonlarının tümünde Partikül Madde (PM_{10}) tam otomatik olarak ölçülmektedir. Ölçüm sonuçları http://www.havaizleme.gov.tr/ web sitesinden ücretsiz olarak elde edilebilmektedir.



Şekil 1. HYDRA ekran görüntüsü.



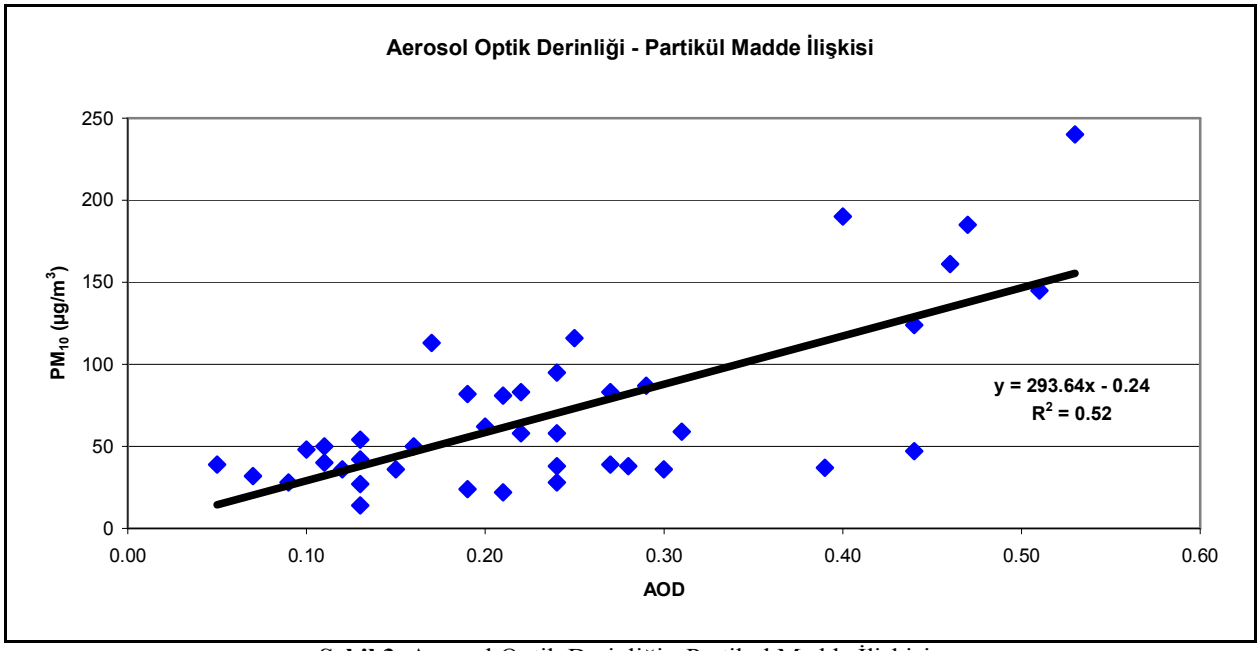
Şekil 2. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağında yer alan istasyonların konumları (EEA, 2012).

2.3 İstatistiksel Model

Optik Aerosol Derinlik (AOD) ile PM_{10} verileri arasında anlamlı bir ilişki kurabilmek için regresyon analizinden yararlanılmıştır. 2010 yılı için Türkiye'ye ait verilerin yer aldığı MODIS uydu görüntüleri üzerinden AOD verileri istatistiksel modelin bağımlı değişken verisi olarak okunmuştur. Uydu görüntüsünün çekilmiş olduğu tarih ve saat için AOD değerinin okunduğu il için Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'nda PM_{10} konsantrasyonunun ölçülüp ölçülmediğine bakılmıştır. Ölçüm değeri mevcut ise bu değer istatistiksel modele bağımsız değişken olarak girilmiştir. 40 ölçümlük bir veri seti hazırlanarak PM_{10} konsantrasyonlarının AOD ile açıklandığı doğrusal regresyon modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

2010 yılına ait MODIS uydu görüntüleri HYDRA yazılımı ile görüntülenmiştir. Hava İzleme Ağı istasyonlarının bulunduğu koordinatlara ait olan bölgelerde Aerosol Optik Derinliği değerleri okunmuştur. Aynı istasyon için uydu fotoğrafının çekildiği tarih ve saatte PM_{10} verisinin olup olmadığı kontrol edilmiştir. Eğer bu veri mevcut ise AOD ve PM_{10} değerleri veri setine eklenmiştir. Hava kalitesi ölçüm değerinin mevcut olmaması durumunda başka bir istasyon için işlemler tekrarlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 40 tane AOD ve PM_{10} değeri kullanılarak doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur (Şekil 3) ve $PM_{10} = 293.64 \times AOD + 0.24$ ($R^2 = 0.52$). PM_{10} konsantrasyonundaki değişimin %52'si geliştirilen regresyon denklemi ile açıklanabilmektedir. Modelin korelasyon katsayısı (r) 0.72 olarak hesaplanmıştır ve literatürdeki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında oldukça benzerdir.



Şekil 3. Aerosol Optik Derinliği - Partikül Madde İlişkisi.

Regresyon modeli kullanılarak AOD ile PM_{10} arasında bir korelasyon bulunmuştur fakat bu rakam çok yüksek değildir. Elde edilen "regresyon modelini" daha da geliştirmek için literatürde yapılan çalışmalarda sıcaklık, bağıl nem, basınç, yağış miktarı ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik parametreler ile atmosfer sınır katmanı yüksekliği ve jülyen günü gibi parametrelerin de modele eklendiği belirlenmiştir (Emili et al, 2010; Vidot et al, 2007). İstatistiksel modelde çok yüksek korelasyon elde edilememesinin bir başka sebebi ise MODIS uydusunun Aerosol Optik Derinliği gösteren verilerin hazırlanması sırasında kullanılan filtreleme teknikleri olabilmektedir. Seviye 2 Aerosol Ürünlerinin (MOD04) doğrudan kullanımı yerine ham uydu görüntülerini alıp dijital resim işleme tekniklerini kullanarak yapılan çalışmalarda AOD ile PM_{10} arasındaki ilişkinin çok daha yüksek korelasyon (r=0.89) ile açıklandığı literatürde görülmektedir (Wong et al, 2009). MODIS uydusuna ait AOD görüntülerinin karalara kıyasla denizler üzerinde daha iyi görüntü verdiği bilinmektedir. Ayrıca, AOD değerlerinin karalar üzerindeki görüntülerin bulutluluk oranı az olan günlerde ve kar örtüsü bulunmayan bölgelerde daha iyi elde edildiği belirtilmiştir (Emili et al, 2010).

AOD ile PM_{10} arasındaki ilişkinin zayıf olmasının bir başka yönü ise yerel hava kalitesi ölçüm değerlerinin veri kalitesine bağlı olmasıdır. Bu bağlamda elde edilen "Regresyon modeline" ait sonuçların yüksek çıkmaması Türkiye Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'na ait verilerin kalite güvencesine de bağlıdır. Ülkemiz hava kalitesi izleme ağına ait web sitesinde "Yayınlanmakta olan veriler doğrulaması (validasyon) yapılmamış olup ham verilerdir." ifadesi yer alması bu durumu doğrulamaktadır. Bu da verilerin doğruluğu ve kalitesi konusunda bir miktar hatanın bulunduğu anlamını taşımaktadır. Ayrıca, ölçüm istasyonlarının kurulmuş olduğu noktaların o bölgedeki mikro meteorolojik faktörlerden etkilenerek şehrin genelini yansıtmaması da söz konusudur. Tüm bu sebepler yer seviyesi hava kalite değerleri ile uydu verileri AOD değerlerinin uyumunun düşük olmasına yol açmaktadır.

4. SONUÇ

Partikül maddeler solunum ve dolaşım sistemi üzerinde oldukça olumsuz etkilere sahip olan ve havadaki konsantrasyonları sürekli takip edilmesi gereken kirleticilerdir. Hava kalitesi izleme istasyonlarında yapılan ölçümler sadece kısıtlı alanlardaki hava kalitesi hakkında açıklayıcı olmaktadırlar. Bölgesel olarak hava kalitesinin izlenebilmesi için uydu görüntülerinin kullanımı maliyeti daha düşük fakat oldukça etkili bir yönetimdir. PM_{10} konsantrasyonlarının Aerosol Optik Derinliği verileri ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Ülkemizde, hava kalitesinin

izlenmesinde önceden yapılan bu tip bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yapılan bu çalışmada MODIS uydusundan elde edilen AOD verileri ile Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'na ait istasyonlarda ölçülen PM_{10} konsantrasyonları ilişkilendirilmeye çalışılmış ve $PM_{10} = 293.64 \times AOD + 0.24$ ($R^2 = 0.52$) denklemi bulunmuştur. Çalışmalar sonucunda bulunan regresyon denklemine ait korelasyon katsayısı değeri literatürdeki çalışmalarda elde edilen değerlere oldukça yakındır. Model, AOD'de meydana gelen değişmeler ile PM_{10} konsantrasyonunda oluşacak değişiklikleri %52 oranında açıklayabilmektedir. Model, yerel hava kalitesi verilerinin daha doğru olması ve meteorolojik parametrelerin eklenmesi ile daha da geliştirildiğinde partikül madde konsantrasyonlarının kestirimi ve alansal dağılım haritalarının oluşturulmasında oldukça etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

Aranoff, S., 1993, Geographical Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Canada

Bossler, J.D., Jensen, J.R., McMaster, R.B., Rizos, C., 2002, Manual of Geospatial Science and Technology, Taylor & Francis, Great Britain.

ÇŞB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011, Türkiye Çevresel Göstergeler Kitapçığı 2010, Ankara.

EEA, European Environment Agency, 2012, AirBase: public air quality database, http://www.eea.europa.eu/themes/air/airbase, (29.09.2012).

Emili, E., Popp, C., Petitta, M., Riffler, M., Wunderle, S., Zebisch, M., 2010, PM_{10} remote sensing from geostationary SEVIRI and polar-orbiting MODIS sensors over the complex terrain of the European Alpine region, Remote Sensing of Environment, 114, 2485–2499.

EU, European Union, 2012, Air Quality Standards, http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm , (29.09.2012).

Godish, T., 2004, Air Quality, 4th Ed., CRC Press.

HKDYY, Hava Kalitesinin Değerlendirmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 2009, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Jacobson, M. Z., 2002, Atmospheric Pollution, Cambridge University Press

MacNee W. and Donaldson K., 1999, Particulate Air Pollution: Injurious and Protective Mechanisms in the Lungs, in Air Pollution and Health (Eds: Holgate S.T., Samet J.M., Koren H. S. and Maynard R.L.), Academic Press, U.S.A.

Martin, R.V., 2008, Satellite remote sensing of surface air quality, Atmospheric Environment, 42, 7823–7843.

Péré, J. C., Pont, V., Mallet, M., Bessagnet, B., 2009, Mapping of PM10 surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South-Eastern France, Atmospheric Research, 91, 1–8.

Routledge, H. C. and Ayres, J. G., 2006, Cardiovascular Effects of Particles, in Air Pollution and Health, (Eds: Ayres J., Maynard R., Richards R), Imperial College Press, Singapore.

Spellman, F.R., 2009, The Science of Air Concepts and Applications, 2nd Ed., CRC Press.

Vidot, J., Santer, R., Ramon, D., 2007, Atmospheric particulate matter (PM) estimation from SeaWiFS imagery, Remote Sensing of Environment, 111, 1–10.

WHO, Dünya Sağlık Örgütü, 2006, Air Quality Guidelines Global Update 2005, WHO Regional Office for Europe, Denmark. (www.euro.who.int/document/e90038.pdf)

WHO, Dünya Sağlık Örgütü, 2011, Exposure To Air Pollution (Particulate Matter) in Outdoor Air, FACT SHEET 3.3 (www.euro.who.int/ENHIS)

WHO, Dünya Sağlık Örgütü, 2012, Air quality and health, http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html , (29.09.2012).

Wong, M., Nichol, J., Lee, K. H., Li Z., 2009, High resolution aerosol optical thickness retrieval over the Pearl River Delta region with improved aerosol modelling, Science in China Series D: Earth Sciences, 52(10), 1641-1649.