



**PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi**  
**EVALUATION OF THE EFFECT OF MARMARA SEA ON THE**  
**CHARACTERIZATION OF THE COASTAL LINE ATMOSPHERE IN**  
**İSTANBUL**

**Nihan UYGUR<sup>\*1</sup>, Arslan SARAL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız-İSTANBUL*

<sup>2</sup>*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL*

**Received/Geliş: 21.02.2013 Accepted/Kabul: 13.05.2013**

---

**ABSTRACT**

In this study, potential contribution of the marine aerosols on the atmospheric aerosol composition at the coastal region of Marmara Sea was investigated. For this purpose, aerosol samplings were carried out in Silivri, Avcılar, Bakırköy, Yenikapı, Maltepe and Bostancı stations in Istanbul during April to October of 2011. Samplings were carried out in accordance with the wet candle method of ASTM-G140 standard.

Trace elements and ions analyses of the collected aerosols were done via Inductively Coupled Plasma (IPC) and Ion Chromatography methods. Mass fluxes of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions were examined in order to determine the effect of marine aerosols, and element analyses together with HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model outputs were used for the assessment of the sources and effects of antropogenic emissions on the aerosol compositions. A long-range transport of industrial contribution to the aerosol compositions could be considered if the origins of 24-hr air parcels of HYSPLIT models were examined. According to model outputs, while locally source contributions were found to be particularly including sea, crustal, traffic and regional industries which are transported from east and northeast air parcels over the İstanbul in September-2011, especially Zn and B may transported from partly South-southwest directions by means that Sharan dust in april-2011.

**Keywords:** Marine aerosol, coastal atmosphere, ASTM-G140, İstanbul, Marmara Sea.

**MARMARA DENİZİNİN İSTANBUL KIYI ATMOSFERİ AEROSOL KARAKTERİZASYONU**  
**ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ÖZET**

Marmara Denizi kıyı atmosferinde deniz aerosollerinin, atmosferik aerosol bileşimine olan potansiyel katkıları araştırılmıştır. Bu amaçla İstanbul'da 2011 yılı Nisan ve Ekim ayları arasında Silivri, Avcılar, Bakırköy, Yenikapı, Maltepe ve Bostancı istasyonlarında aerosol örneklemeleri yapılmıştır. Örneklemeler ASTM\_G140 ıslak fitil standart metodu ile gerçekleştirilmiştir. Toplanan aerosollerde iz element ve iyon analizleri Inductively Coupled Plasma (ICP) ve İyon Kromatografi (IC) ile yapılmıştır. Deniz aerosolü etkisini belirleyebilmek için aerosol örneklerinin Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> iyon akı miktarlarına bakılmıştır. Antropojenik emisyonların aerosol bileşimine etkilerini ve kaynaklarını belirleyebilmek için de element analizleri kullanılmıştır. Bölgede başta deniz olmak üzere, toprak, trafik ve endüstriyel faaliyetler lokal olarak belirlenen kaynak katkılardır. Antropojenik kaynak katkıları en yoğun olarak Nisan-Eylül 2011'de kaydedilmiştir. Bu nedenle HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model geri yörünge çıktıları ile de uzun mesafeli taşınım etkisi değerlendirilmiştir. Eylül-2011'de Karadeniz'den geçerek gelen doğu-kuzeydoğu yönlü hava parselleri tespit edildiği için endüstri ve trafik kaynaklı emisyonların bu dönemdeki hava parselleriyle İstanbul üzerinden (lokal katkı) taşındığı düşünülebilir, fakat Nisan-2011'de kısmen güney güneybatı yönü etkisi de belirlenmiştir ve özellikle bu dönemde tespit edilen Zn ve B' un toz fırtınalarıyla güney doğrultusunda uzun mesafeli taşınımınla gelmiş olabileceği düşünülebilir.

**Anahtar Sözcükler:** Deniz aerosolü, kıyı atmosferi, ASTM-G140, İstanbul, Marmara Denizi.

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: uygur.n@gmail.com, tel: (416) 223 38 00  
*Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ADIYAMAN*

## 1. GİRİŞ

Atmosferik aerosoller (doğal ve antropojenik) kaynakları ve oluşum şekillerine bağlı olarak atmosferin kompozisyonunu değiştiren önemli bileşenlerdir. Bu değişimler insan kaynaklı ya da doğal olabilir. Örneğin atmosfere verilen sera gazları (antropojenik) birikimi ısınmaya neden olurken, aerosol (doğal ya da antropojenik) birikimindeki artış soğuma etkisi oluşturmaktadır. Bu şekilde atmosferin kompozisyonunda meydana gelen değişimler iklim değişiklikleri, yeryüzü ısı dengesi, canlılık ve materyaller üzerinde etkili olabilmektedir [1]. Bugüne kadar daha çok antropojenik aerosollerin atmosferik prosesler üzerindeki etkileri konusunda çalışmalar yapılmıştır. Atmosferik aerosol içeriğinin önemli bir bölümünü doğal aerosoller (deniz, volkan, toprak gibi) oluşturduğu için doğal aerosollerin de atmosferik döngüler ve iklim üzerindeki etkileri göz ardı edilemez. Fakat bu konuyla ilgili, veri azlığı ve bu alanda yapılmış çalışma sayısının sınırlı oluşu, kaynakların bölgesel karakteristiklerinin belirlenmesini güçleştirmektedir.

Deniz ve okyanus yüzeylerinden rüzgar, sıcaklık, köpüklü dalga (White cap) ve yağış etkisiyle sürekli aerosol üretildiği düşünüldüğünde, doğal aerosol grubunda yer alan deniz aerosollerinin dünya atmosferik bileşenlerinin önemli bir kısmını teşkil ettiği görülmektedir. Buna bağlı olarak da her yıl 1000–10,000 Tg deniz tuzu aerosolü atmosfere verilmektedir [2] ki, sadece bu değer doğal aerosollerin %30-75'lik bir kısmını oluşturmaktadır [3].

Deniz aerosolü oluşumunda etkin bir mekanizma olan köpüklü dalga, rüzgar etkisiyle oluşan dalga kırılmaları sonucu meydana gelmektedir. Dolayısıyla doğal aerosoller küresel ısı dengesi, iklim ve ekosistemler üzerinde çok büyük bir paya sahiptirler. Özellikle rüzgar hızı; deniz aerosollerinin oluşumları, kimyasal bileşimleri ve atmosferdeki döngülerini köpüklü dalga mekanizmasına etki ederek değiştirir [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Köpüklü dalga ile deniz aerosolü oluşumu, bulut yoğunlaşma çekirdeklerinin konsantrasyon artışı, yansıma durumunu tetikleyerek, atmosferik ısı dengesi üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca global aerosol yükü de köpüklü dalga ile doğru orantılıdır. Deniz tuzlarının mineral yapılarına bağlı olarak yansıma ve absorpsiyon ile, yüzey soğumalarına neden oldukları [11, 12] ve güneşten gelen solar radyasyonu yansıtarak temiz arkaplan atmosferin ısı özelliklerini kontrol ettikleri belirlenmiştir [13]. Öte yandan deniz tuzu aerosollerini güneşten gelen ısının atmosferin alt seviyelerinde absorbe olmasıyla ısınmaya, dolayısıyla alçak seviye enverzasyon oluşmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak atmosferik stabilitenin kuvvetlenmesiyle konveksiyon hareketleri zayıflamaktadır [1].

Deniz aerosollerinin konsantrasyon ve bileşimi, örnekleme zamanı ve bölgesine göre farklılık göstermektedir. Özellikle atmosferik olayların gece ve gündüz farklılıkları, mevsimsel farklılıklar (yağış, sıcaklık vb. etkiler) deniz suyu özellikleri, deniz aerosolü oluşumunu, miktarını ve taşınımını değiştirebilir. Antropojenik kaynak etkileri deniz aerosolü içeriği için bir diğer önemli faktördür. Dünya üzerinde bu yönde yapılmış çalışmalar mevcuttur, örnekleme metodu güçlüğü nedeniyle literatürde yapılmış tüm çalışmalar global ve bölgesel ölçekte deniz aerosollerinin nasıl oluştuğu ve dağılımı hakkında net yargılar oluşturamamışlardır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, genellikle oluşum, taşınım, bileşen analizi, PM bileşim ve boyut dağılımları üzerine olan etkileri ve iklim etkileri üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir [5, 14, 15, 16, 17, 18,]. Bu etkilerin incelenmesi bir çok kıyı şehri için önem arz etmektedir. Örneğin Avrupa'da deniz tuzu aerosollerinin partikül madde konsantrasyonu üzerine etkisinin oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Manders vd. [19], yaptıkları çalışmada Avrupa'da 89 şehirde deniz kaynaklı aerosol etkisini tahmin etmek amacıyla  $\text{Na}^+$  konsantrasyonlarını belirlemiş ve yıllık ortalama deniz aerosolü konsantrasyonunu  $0,3\text{-}13 \text{ ug/m}^3$  olarak tespit etmişlerdir. Deniz aerosolü takibinde ( $\text{Cl}^-$ ) klorür yerine ( $\text{Na}^+$ ) sodyum iyonu esas alınmaktadır, zira  $\text{NaCl}$  yapısındaki  $\text{Cl}^-$  atmosferdeki nitrik asit gibi asidik gazlarla tepkimeye girerek klorik asit ( $\text{HCl}$ ) formuna dönüşmektedir [20, 21]. Kuzey Atlantik ve Avustralya'da yapılan çalışmalarda ise, deniz aerosollerinin boyut dağılımı incelenmiştir [22, 23, 24, 25]. Bu çalışmalarda ince aerosollerin organik kısmının dönemsel şartlardan etkilendiği görülmüştür. Özellikle biyolojik aktivitenin fazla olduğu zamanlarda bu sonuç doğrulanmıştır. Yüksek biyolojik aktivite dönemlerinde, ince

aerosol fraksiyonunda suda çözünmeyen organik maddeler tespit edilmiş [26, 27, 28] olup, bu durum uydu verileriyle doğrulanan klorofil-a konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir.

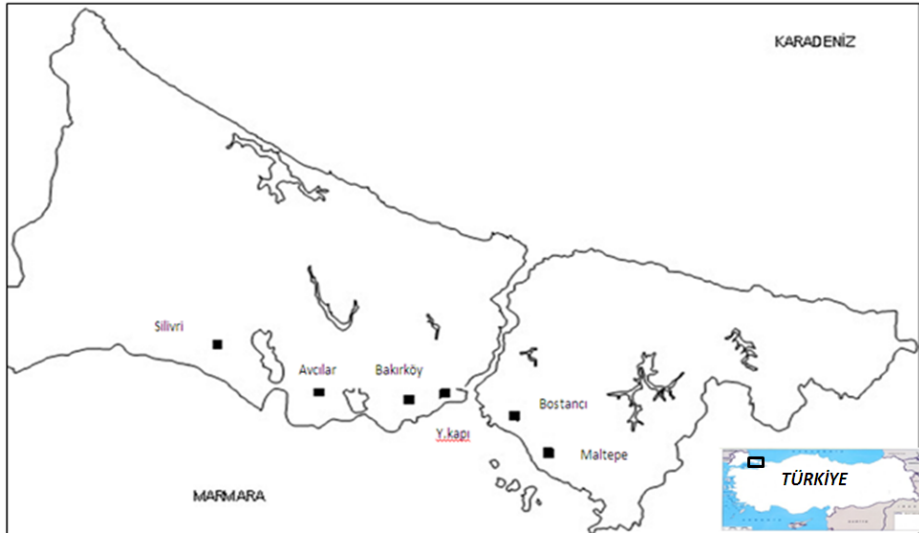
Chameides ve Stelson [29] yaptıkları çalışmada troposferin alt seviyelerindeki halojen kimyası ile ilgili deniz aerosollerinden kaynaklanan HCl'in gaz fazdaki  $H_2SO_4$  ve  $HNO_3$  ile yerdeğiştirme tepkimelerini incelemişlerdir. Bu şekilde aerosol yapısından klorür ayrılmasıyla, kaba moddaki aerosollerin havadan nem tutma ve optik özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan değişiklikler atmosferik proseslerin de farklılaşmasına neden olmaktadır.

Deniz aerosolü yapısındaki aşındırıcı içeriğin (deniz tuzu) kıyıya yakın yerleşim bölgeleri ve yapılar üzerine olan etkileri de materyaller ve insan sağlığı etkileri sınıfında değerlendirilebilir. Deniz suyu kaynaklı bu aerosoller yapılarındaki suyun kaybolması ile havada asılı tuz partiküllerine dönüşmektedir. Aşındırıcı (korrozif) etkisi yüksek olan bu tuz partikülleri [30] rüzgar etkisiyle taşınmakta, atmosferik bazı bileşenlerle tepkime vermekte (kirlenmiş şehir atmosferi) ve birikmektedirler. Dünya nüfusunun yarısının kıyı yerleşimine sahip olduğu göz önüne alınırsa, kirlenmiş deniz atmosferinden kaynaklanan aşındırıcı etkinin önemi ortaya çıkmaktadır. Öte yandan kıyı atmosferinde aşındırıcı etki sadece deniz suyu kaynaklı olmayıp, antropojenik emisyon kaynakları etkisiyle de oluşabilmektedir. Örneğin fosil yakıtların yakılması ve trafik kaynaklı  $SO_2$  atmosferde yeterli su ile tepkimeye girerek  $H_2SO_4$  formuna geçer ki materyaller için yeterince korroziftir. Bu nedenle atmosferin kaotik yapısı gereği deniz aerosollerinin antropojenik aerosol etkileşimleri de dikkate alınarak kaynak katkıları çok iyi analiz edilmelidir.

İstanbul'da Marmara denizi kıyı atmosferinde deniz aerosolü örneklemeleriyle yerel bir değerlendirme yapılmıştır. Kısmen de olsa antropojenik ve doğal aerosol kaynak katkıları belirlenmiştir. Kaynak katkısı tespitleri HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) modeli tahminleri ile doğrulanmıştır

## 2. MATERYAL VE METOT

Aerosol örneklemeleri, İstanbul'da Marmara Denizi kıyısında (Silivri, Avcılar, Bakırköy, Yenikapı, Bostancı, Maltepe) toplam 6 istasyonda 2011 yılı Mart-Ekim ayları arasında gerçekleştirilmiştir. Örneklemeye bölgesi Şekil 1'de gösterilmiştir.

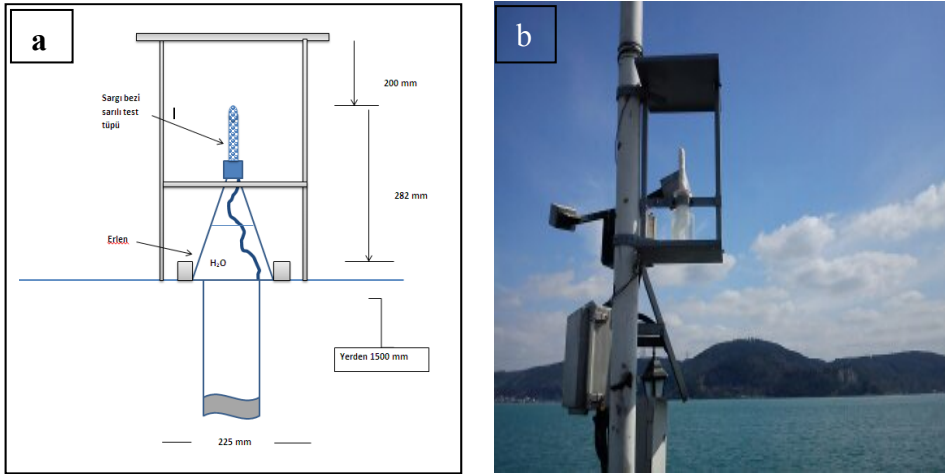


Şekil 1. Örneklemeye İstasyonları

Örnekleme noktaları deniz kıyısı yerleşiminde olmalarına rağmen, aerosol karakteristiklerine etki eden kaynakların farklılığından dolayı çeşitlilik gösterirler. Örnekleme yapılabilecek istasyonların yerleri belirlenirken bazı kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Bu istasyonların; antropojenik emisyon kaynakları etkisinden oldukça az etkilenen ve hava hareketlerini engelleyici yapı ve mekanizmaların olmadığı bir bölgede olmasına dikkat edilmiştir. Her bir istasyonda aylık aerosol örnekleme ASTM-G140 nolu standart metod [31] ile yapılmıştır. Meteorolojik veriler Devlet Meteoroloji İşleri'nden alınmıştır [32]. Ayrıca HYSPLIT model uygulamalarında meteorolojik veriler Global Data Assimilation System (GDAS)'tan sağlanmış [33] ve kullanılmıştır

### 2.1. Aerosol Örnekleme Metodu ASTM-G140 (Wet Candle)

Deniz aerosolü örnekleri Amerikan standart metodu ASTM-G140 Wet Candle (Islak Fital) yöntemi ile toplanmıştır. Örnekleme düzeneği Şekil'2 de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. a. ASTM-G140 Wet Candle cihazı şematik çizimi (ASTM-G140) ve b. örnekleme istasyonlarından bir görüntü.

Sistem, elektrik bağlantısı olmayan (pasif örnekleme yapan), bir örnekleme yüzeyi ve bu yüzeyi koruyan kafes yapıdan ibarettir. Örnekleme yüzeyi 500 ml'lik HDPE şişeye yerleştirilmiş cam bir tüp üzerine sarılı (16x150 cm) sargı bezinden oluşmaktadır. Yüzeyin sürekli ıslak kalması için 500 ml'lik şişe standartta verilen Tip IV saf su ile doldurulmuştur.

ASTM-G140 standart metodunun çalışma prensibi, havadaki aerosollerin ıslak sargı bezi yüzeyine çarparak tutulması şeklindedir. Islak yüzeye tutunan aerosoller zamanla şişe içerisindeki (su + gliserin) sıvıya geçmektedir. Sistemin dört tarafının açık olması rüzgarın esme yönünden etkilenmeksizin aerosol toplanmasını sağlamaktadır. Ayrıca şekil 2'de görüldüğü gibi, üst kısımdaki çatı ile direk olarak yağışa karşı koruma sağlanmıştır. Bir diğer önemli ölçüt ise örnekleme sisteminin yer seviyesinden en az 2 m yukarıda olmasıdır. Bu şekilde yer seviyesindeki etkiler bertaraf edilmiştir. Aerosol örneklerinin toplanma aralığı standartta aylık ya da on beş günlük periyotlar olarak verilmiş; bu çalışmada aylık periyotlarda örnekleme tercih edilmiştir. Her bir örnekleme periyodu sonunda sisteme yeni bir sargı bezi ve şişesi yerleştirilmiştir. Sistemden alınan şişe ve sargı bezi standartta belirlendiği gibi önce çözündürme

işlemine tabi tutulmuştur. Çözündürme işlemi 24 saat boyunca çalkalayıcı yardımıyla yapılmıştır. İz element analizleri için ICP-OES; iyon analizleri içinde IC cihazları kullanılmıştır.

## 2.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma periyodu boyunca toplanan aerosol içerikleri ve değişimleri bölgesel ve dönemsel olarak incelenmiştir. Bu değişimler üzerinde mevsimsel sıcaklık farkları, sıcaklığa bağlı bağıl nem miktarları, yağış, rüzgar hızı ve rüzgar yönü belirleyici faktörlerdir. Atmosferik taşıyım akı miktarı  $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{gün}$  olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında incelenen parametreler iyonlar ve iz element türlerini kapsamaktadır. ASTM-G140 metodu ile sadece akı değerleri hesaplanabildiği için; her bir parametre sıvı faz konsantrasyonları belirlendikten sonra, bu parametrelere ait akılar hesaplanmıştır.

Akı miktar hesabı standartta kullanılan sargı bezi yüzey alanı esas alınarak;

$$A_{\text{ki}} = \frac{X \text{ Parametresi Numune Konsantrasyonu } \left( \frac{\text{mg}}{\text{lt}} \right) \times \text{Numune Hacmi (lt)}}{\text{Örnekleme Süresi (gün)} \times \text{Fital yüzey alanı (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

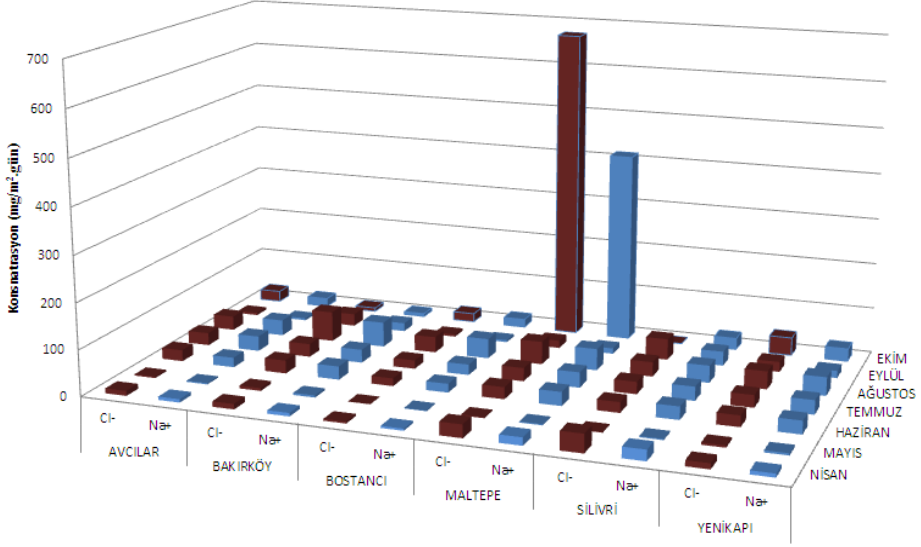
şeklinde ifade edilmiştir.

## 2.3. Marmara Denizi $\text{Na}^+$ ve $\text{Cl}^-$ Akı Değerleri

Altı ayrı istasyonda toplanan aerosol örnekleri, İlkbahar (Nisan, Mayıs), Yaz (Haziran, Temmuz, Ağustos) ve Sonbahar (Eylül, Ekim) olmak üzere üç mevsimsel gruba ayrılmıştır. Toplanan örneklerdeki iyonlar sıralandığında  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  ün en büyük yüzdeye sahip olduğu görülmüştür. Deniz aerosolünü temsil eden  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  akıları Marmara Denizi için 8 aylık değerlerin ortalaması bazında  $34,91 \pm 26,27 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{gün}$  ve  $42,53 \pm 43,49 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{gün}$  olarak belirlenmiştir.

$\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonları akı değerleri her bir istasyon ve dönem için de ayrıca Şekil 3 te verilmiştir. En büyük değerlerin gözlemlendiği aylar, istasyonların konumları da dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Mevsimsel olarak Marmara denizi istasyonlarında (Şekil 4), 2011 yılı içinde ilkbahar ve sonbahara oranla  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyon akılarının en fazla değerleri yazın gözlemlenmiştir. Bu durum yaz mevsiminde gece ve gündüz sıcaklık farklılıklarının diğer mevsimlere nazaran daha fazla oluşuyla ilgili olabilmektedir. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları sıcaklık farklılıkları sırayla; 18,3; 15,7 ve 14,2 °C'dir. Ayrıca yaz mevsimi boyunca en yüksek sıcaklık farklılığı Haziran'da kaydedilmiştir.

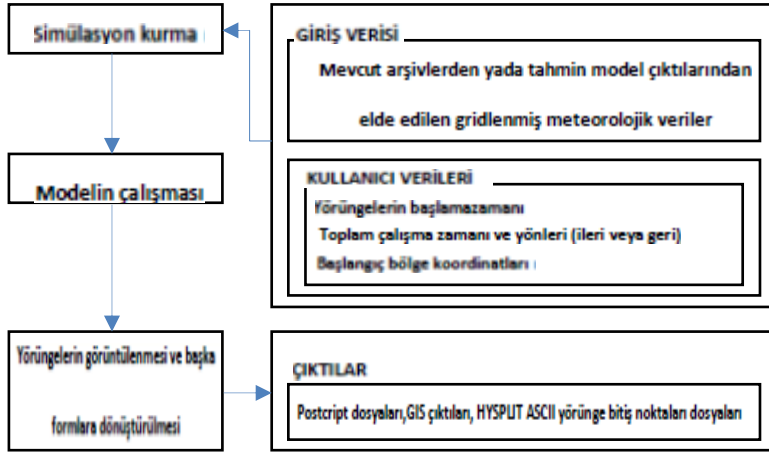


Şekil 3. Nisan-Ekim 2011 dönemi Marmara Denizi kıyı istasyonları Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> iyon akıları

Bölgesel olarak Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> yüksek akı değerleri Silivri’de Nisan’da belirlenmiştir. Maltepe istasyonunda da Nisan ve Ekim aylarında yüksek Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> iyon akıları tespit edilmiştir. Nisan’da görülen yüksek akılar mevsimsel geçişlere bağlı ani rüzgar hızı ve yönüyle ((NNW) 59,5 km/saat) ilgili olmaktadır. Deniz aerosolü oluşumunda etkin olayların; deniz yüzeylerinden yağmur ve kar taneleri ile oluşturulma, deniz suyu ani sıcaklık değişimleri ve rüzgar etkisiyle oluşan köpüklü dalga mekanizması [3] olduğu bilinmektedir. Ekim ayında gözlemlenen yüksek değerler ise, bu ay içerisinde gerçekleşen yağış miktarıyla (52,6 mm) ve rüzgar hızı ve yönüyle (38,6 km/saat (NNE)) ilgili olabilirler. Fakat Maltepe’de görülen Ekim ayındaki pik değerler, büyük ihtimalle ani rüzgar hızıyla dalga çarpmalarının çok fazla miktarda deniz suyunu örnekleme yüzeyine taşımasıyla oluşmuştur. Örneklemlerin yapıldığı istasyonların deniz trafiğinin çok yoğun olduğu deniz otobüslerine ait oluşu da, yüksek akı değerlerine yol açabilmektedir. Fakat Silivri ve Maltepe bu anlamda örnekleme yapılan en sakin istasyonlardır. Dolayısıyla deniz trafiğinden ziyade yukarıda bahsedilen mekanizmaların daha etkili oldukları görülmüştür.

#### 2.4.HYSPLIT MODEL İLE GERİ YÖRÜNGELERİN BELİRLENMESİ

HYSPLIT model ile; çalışma dönemindeki hava parsellerinin gridlenmiş meteorolojik verileri ile geri yörüngeleri belirlenmiştir [34]. Şekil 5’te HYSPLIT modele ait akış diagramı verilmiştir. Modelin çalıştırılmasında, literatürde HYSPLIT modele dair özel bir irtifadan bahsedilmemiştir. Her ne kadar bazı çalışmalarda yerel nedenlerden dolayı yükseklik belirtilmişse de, yükseklik seçimi benzer çalışmalar baz alınarak belirlenmiştir [35, 36, 37]. Örneğin Lin vd., [38] yaptıkları çalışmada enversiyon tabakasının üstünde 750 m’lik irtifada çalışmışlardır. Bu çalışmada 500m yükseklikte 48 saatlik geri yörüngeler belirlenmiştir.



Şekil 4. HYSPLIT model akış diyagramı [39]

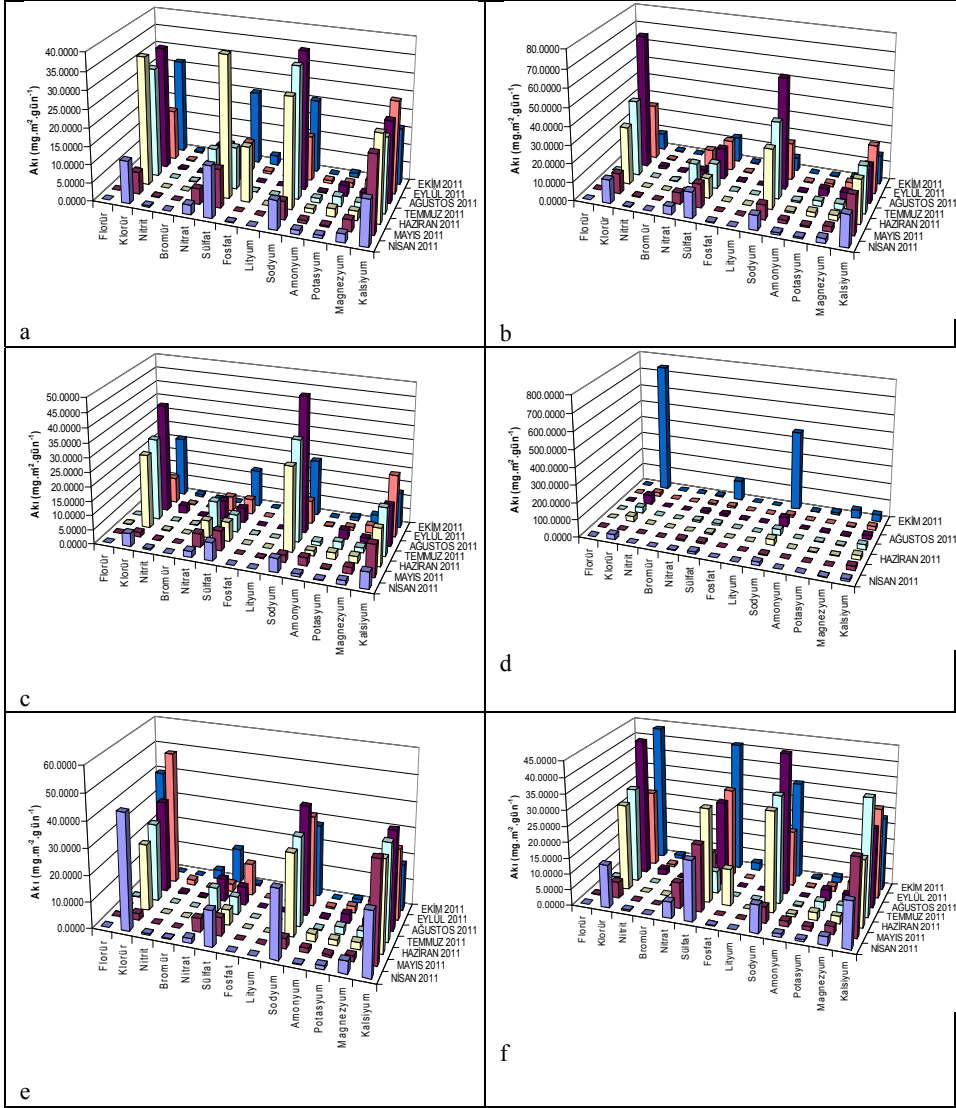
### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Marmara Denizi kıyı atmosferi aerosol bileşenlerinde deniz kaynaklı  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$ , toprak kaynaklı  $\text{Ca}^{+2}$ , Al ve Fe, trafik ve endüstri kaynaklı  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$  (trafik, sanayi vb.) ve antropojenik ya da doğal iz elementlerin kaynak katkıları belirlenmiştir.

Aerosollerin iyon bileşenleri incelendiğinde önemli bir bölümünün deniz kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Her bir parametreye ait akı değerleri belirlendikten sonra,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  bileşimine göre deniz aerosolü takibi yapılmış; diğer iyonlar ve iz element bileşimlerine göre de doğal/antropojenik kaynak katkıları belirlenmeye çalışılmıştır.  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonlarına ait ölçüm sonuçları Şekil 3'te verildiği gibidir. İyon akı değerleri içerisinde  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$ 'ün en büyük yüzdeye sahip oluşu, aerosollerin kaynakları ve meteorolojik şartlarla ilişkilendirilmiştir. Nitekim bu çalışmada kullanılan örnekleme yönteminde birçok kaynak katkısını görebilmek mümkündür.

Rüzgar hızının ve yönünün, sıcaklık farklarının ve deniz trafiğinin atmosferik aerosol içeriğinde deniz aerosolü yüzdesini arttırdığı belirlenmiştir. İyon akılarının bölgesel ve mevsimsel genel durumları Şekil.5'te verildiği gibidir. Örneğin Bakırköy'de iyon akıları incelendiğinde  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$ 'ün yaz döneminde yüksek değerler aldığı görülmüştür, Ağustos ayında ise 60,52 ve 72,94  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  ile en yüksek değerlere ulaştıkları tespit edilmiştir. Rüzgarın bu dönemdeki esme yönünün, bu duruma neden olduğu düşünülmüştür. Silivri  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyon akıları da Bakırköy ile benzer bir trend izlemiştir. Yaz sezonunda gözlemlenen bu tuzluluk artışı, Lee ve Moon'un[40] Güney Kore'de yaptıkları çalışma sonuçlarında da görülmüş ve rüzgar yönü ile ilişkilendirilmiştir. Rüzgarın denizden esme frekansı arttıkça tuzluluk artmaktadır [41]. Öte yandan Marmara denizi Asya yakası kıyı örneklerinin toplandığı (Şekil.5.c) Bostancı için en yüksek  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyon akıları Haziran, Temmuz ve Ağustos'ta 15; 25; 40  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  ve 17,5; 20; 30  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ; Maltepe için (Şekil.5.d) Ekim'de 440  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  ve 720 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  olarak bulunmuştur. Bu pik değerlerle ilgili açıklamalar yukarıda verilmiştir.

Diğer iyonların akı değerlerine bakıldığında  $\text{NO}_3^-$  in ölçüm dönemi boyunca, tüm istasyonlarda  $\text{SO}_4^{-2}$ 'a yakın değerlerde olması dikkat çekicidir.  $\text{NO}_3^-$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyon akı değerleri tüm örnekleme dönemi boyunca 1-15  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  ve 5-40  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  aralığında değişim göstermiştir. Sadece  $\text{NO}_3^-$ 'in Avcılar' da Eylül ayında 67  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$  lük akı değeriyle en büyük paya sahip olduğu görülmüştür. Çalışma döneminde gözlemlenen bu durum trafik yoğunluğunun etkisiyle olabilir.



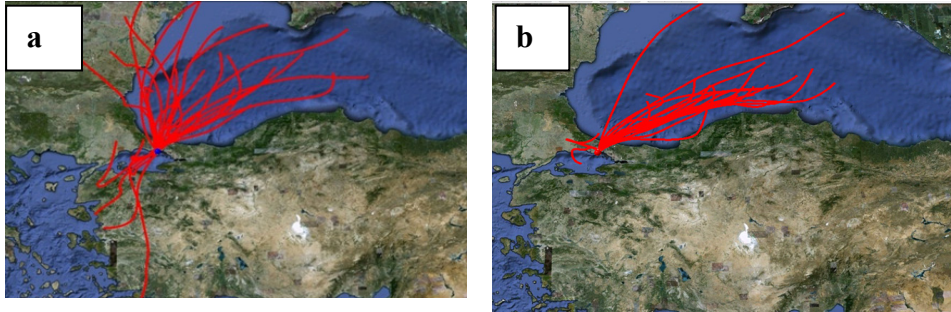
Şekil 5. İyon akı değerlerinin istasyonlara göre dağılımı (a) Avcılar, (b) Bakırköy, (c) Bostancı, (d) Maltepe, (e) Silivri, (f) Yenikapı

Buna paralel olarak iz elementlerin akı değerleri takip edildiğinde, Bakırköy ve Avcılar 'da, Nisan ve Eylül aylarında Mn, Cr, Cu, ve Zn bakımından aerosollerin zenginleşmiş durumda oldukları görülmüştür. Benzer sonuçlar, Yenikapı içinde tespit edilmiştir. Yenikapı ve Silivri'de Nisan ayında Bor değeri diğer ağır metal akılarına oranla yüksektir. Bu bulgular Avrupa Yakasında birbirine yakın istasyonlarda, Eylül ayında antropojenik olarak bir etkinin olduğunu vurgulamaktadır. Söz konusu dönemde yakın trafik ve endüstri katkıları olabileceği gibi, uzun taşınım etkisi de değerlendirilmiştir. Örnekleme periyotlarının uzun bir dönem kapsaması; uzun mesafeli taşınımın da olabileceğini destekler niteliktedir. Uzun taşınım etkisi



HYSPLIT model yardımıyla analiz edilmiştir. HYSPLIT çıktılarına göre Eylül ayında Şekil.6 Marmara denizi kıyısında hava parselleri doğukuzeydoğu (ENE) yönünde taşınmıştır. Rüzgar karadan denize doğru karaları süpürerek esmiştir. Dolayısıyla şehir atmosferindeki trafik, lokal endüstri ve diğer antropojen kaynak katkıları toplam aerosol bileşimi üzerinde bu dönemde etkili olmuştur denilebilir. Silivri, Avcılar ve Bakırköy'de gözlemlenen Zn, Cr, Cu ve Mn gibi bileşenler genellikle yerel kaynaklıdır. Avcılar ve Silivri'nin özellikle Büyükçekmece, Hadımköy, Kıraç gibi sanayinin çeşitli kollarını (otomobil, çimento, gıda, demir-çelik) içeren bölgelere yakınlıkları bu durumu desteklemektedir. Şekil.6'da görüldüğü gibi hava parselleri genel olarak Karadeniz'i geçerek gelmektedirler. Eğer bir uzun mesafelitaşınım etkisi olmuşsa, hava parsellerinin geliş yörüngelerine göre Nisan ve Ekim aylarında Zonguldak Karabük Demir-çelik sanayi; ayrıca özellikle Nisan'da Avrupa ağır sanayi katkılarından söz edilebilir.

Özel olarak Bostancı'da iz element akıları Zn ve B için tüm dönem boyunca artan bir trend izlemiştir. Fakat Ağustos ayında iz element akılarında kısmi bir düşüşün gözlemlendiği de oldukça açıktır. Zn ve B un deniz katkısı ; ile deniz yüzeylerinden taşınmışsa; Ağustos ayındaki sıcaklık farkları nedeniyle denizden gelen aerosol akısındaki azalma Zn ve B akılarının da azalmasına yol açmıştır. Bostancı'da Nisan ayında Cu akısı 0,17mg/m. gün değeriyle sonrasında sırayla Cr, B ve Ni de 0,1; 0,05; 0,05mg/m<sup>2</sup>.gün akı değerleriyle dikkat çekerken; Maltepe'de ise Zn, Cu ve B ortalama akıları Nisan ayında diğer iz elementlere nazaran fazla bulunmuştur. Tuzla sanayi bölgesinin, trafik etkisinin ve uzun mesafeli taşınımların bu zenginleşmeler üzerinde etkili olduğu, HYSPLIT geri yörünge analizleri ile de doğrulanmıştır. HYSPLIT Nisan ayı geri yörünge analizleri de bu yönde destekleyici çıktılar sağlamıştır (Şekil.6).



Şekil 6. a.Nisan -2011 dönemine ait deniz seviyesi günlük hava parselleri;b. Eylül-2011 dönemine ait deniz seviyesi günlük hava parselleri

Öte yandan özellikle Zn ve B un yerkağıu kaynaklı olmaları [42], yani toz fırtınaları ile taşınma durumları da irdelenmiştir. Ülkemiz üzerine Bu dönemde Ürdün ve Mısır üzerinden de toz taşınımı gerçekleşmiştir. Nisan ayı geri yörünge analizleri ile İstanbul üzerine gelen hava kütlelerinin daha yüksek frekansta Karadeniz üzerinden olsa da kısmen güney-güneybatı doğrultulu hava parsellerinde bölge üzerine taşındığı görülmüştür. Aslında bu ilkbahar ve sonbahar geçiş mevsimlerinde genel olarak ülkemize doğru gelen bir Sahra tozu etkisi olmaktadır. Sonuç olarak bu kaynağın Marmara Deniz Aerosol kompozisyonu üzerinde bu dönem içinde kısmen etkin olduğu kanısına varılmıştır.

#### Acknowledgments / Teşekkür

Bu çalışma 110Y179 Nolu TÜBİTAK 1002 hızlı destek programı ile desteklenmiştir. TÜBİTAK 'a maddi desteğinden dolayı, ayrıca istasyonlarını projenin örnekleme süresi boyunca kullanıma sunan İstanbul Deniz Otobüsleri (İDO) İşletmelerine şükranlarımızı sunarız.

**REFERENCES / KAYNAKLAR**

- [1] Satheesh S.K., Krishna Moorthy K., “Radiative effects of natural aerosols: A review”, *Atmospheric Environment* 39, 2089–2110, 2005.
- [2] Winter B., Chylek P., “Contribution of sea salt aerosol to the planetary clear-sky albedo”, *Tellus-B* 49 (1), 72–79, 1997.
- [3] Blanchard D.C., Wookcock A.H., “The production, concentration and vertical distribution of the sea-salt aerosols”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 338, 330–347, 1980.
- [4] Wuj., “Oceanic whitecaps and sea state”, *Journal of Physical Oceanography*, 9, 1064–1068, 1979.
- [5] Monahan E.C., Spiel D.E., Davidson K., “A model of marine aerosol generation via whitecaps and wave disruption”, In: Mohanan, E.C., MacNiochail, G. (Eds.), *Oceanic Whitecaps*. D. Reidel, Norwell, Mass., 167–193, 1986.
- [6] Monahan E.C., O’Muicheartaigh I.G., “Whitecaps and the passive remote sensing of the ocean surface”, *International Journal of Remote Sensing*, 7:627-642, 1986.
- [7] Smith M. H., Park P. M., “Consterdine, I. E., Marine aerosol concentrations and estimated fluxes over the sea “, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 119, 809–824, 1993.
- [8] Andreas E.L., Monahan E.C., “The role of whitecap in air-sea heat exchange and moisture Exchange”, *Journal of Physical Oceanography*, 30, 443-442, 2000.
- [9] Piazzola J., Forget P., Despiau S., “A sea spray generation function for fetch-limited conditions”, *Ann Geophys* 20, 121-131, 2002.
- [10] Guan C., Hu W., Sun J., et., al., “The whitecap coverage model from breaking dissipation parameterizations of wind waves”, *Journal of Geophysical Research* 112: 5031, 2007.
- [11] Laskin A., Gaspar D.J., Wang W., et. al., “Reactions and interfaces as a source of sulfate formation in sea-salt particles”, *Science* 301, 340-344, 2003.
- [12] Mallet M., Roger J.C., Despiau S., et. al., “Microphysical and optical properties of aerosol particles in urban zone during ESCOMPTE”, *Atmospheric Research* 69,73-97, 2003.
- [13] Murphy D.M., Anderson J.R., Quinn P.K., et. al., “Influence of sea-salt on aerosol radiative properties in the Southern Ocean marine boundary layer”, *Nature* 392, 62–65, 1998.
- [14] Smith M.H., Harrison N.M., “The sea spray generation function”, *Journal of Aerosol Science* 29, S189–S190, 1998.
- [15] de Leeuw G., Neele F.P., Hill M., et. al., “Production of sea spray aerosol in the surfzone”, *Journal of Geophysical Research—Atmospheres* 105, 29,397–29,409, 2000.
- [16] Paerl H.W., Dennis R.L., Whittall D.R., “Atmospheric deposition of nitrogen: implications for nutrient over enrichment of coastal waters”, *Estuaries* 25, 677–693, 2002.
- [17] Knipping E.M. and Dabdub D., “Impact of chlorine emissions from sea-salt aerosol on coastal urban ozone”, *Environmental Science and Technology* 37, 275–284, 2003.
- [18] Evans M.C., Campbell S.W., Bhethanabotla V., et. al., “Effect of sea salt and calcium carbonate interactions with nitric acid on the direct dry deposition of nitrogen to Tampa Bay, Florida”, *Atmospheric Environment*, 38 (29), 4847–4858, 2004.
- [19] Manders A.M.M , Schaap M., Querol X., et.al., “Sea salt concentrations across the European continent”, *Atmospheric Environment*, 44: 2434-2442, 2010.
- [20] Seinfeld J. H., Pandis S. N., “*Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change*”, John Wiley & Sons, ABD, 1998.
- [21] Millero F.J., “Physicochemical controls on seawater”. In: Holland, H.D., Turkian, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam (Chapter 6.01). 2004.
- [22] Cavalli F., Facchini M.C., Decesari S., et.al, “Advances in characterization of size resolved organic matter in marine aerosol over the North Atlantic”, *Journal of Geophysical Research* 109 , 2004.

- [23] O’ Dowd C.D., Facchini M.C., Cavalli F., et. al., “Biogenically driven organic contribution to marine aerosol”, *Nature*, 431, (7009), 676–680, 2004.
- [24] Yoon Y.J., Ceburnis D., Cavalli F., et. al., “Seasonal characteristics of the physico-chemical properties of North Atlantic marine atmospheric aerosols”, *Journal of Geophysical Research*, 112, D04206, 2007.
- [25] Sciare J., Oikonomou K., Favez O., et. al., “Long-term measurements of carbonaceous aerosols in the Eastern Mediterranean: evidence of long-range transport of biomass burning”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 5551-5563, 2008.
- [26] Keene W.C., Maring H., Maben, J.R., et. al., “Chemical and physical characteristics of nascent aerosols produced by bursting bubbles at a model air-sea interface”, *Journal of Geophysical Research*, *Atmospheres* 112, D21202, 2007.
- [27] Ceburnis D., O’Dowd C.D., Jennings G.S., et. al., “Marine aerosol chemistry gradients: elucidating primary and secondary processes and fluxes”, *Geophysical Research Letters*, 35, L07804, 2008.
- [28] Facchini M.C., Rinaldi M., Decesari S., et. al., “Primary submicron marine aerosol dominated by insoluble organic colloids and aggregates”, *Geophysical Research Letters*, 35, L17814, 2008.
- [29] Chameides W. L. and Stelson A. W., *J. Geophys. Res.* 97, 20565, 1992; Graedel T. E. and Keene W. C., *Global Biogeochem. Cycles* 9, 47, 1995.
- [30] Muster T.H. and Cole, I.S., “Attachment efficiencies of salt aerosols onto infra- structure and implications for atmospheric corrosion”, *J. Electrochem. Soc.* 152, 125-131, 2005.
- [31] ASTM-G140 Wet Candle Method.
- [32] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Available from: <http://www.mgm.gov.tr/index.aspx>, [Erişim tarihi: April 01, 2011].
- [33] HYSPLIT Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model, Available from <http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrcm.pl>, [Erişim tarihi: June 01, 2011].
- [34] Draxler R.R., Rolph G.D., HYSPLIT (HYbridSingle-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. Model Access via NOAA ARL READY Available from. <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>. 2003, [Erişim tarihi: June 01, 2011]
- [35] Koçak M., Mihalopoulo N., Kubilay N., “Origin and source regions of PM10 in the Eastern Mediterranean atmosphere” *Atmospheric Research*, 92 (4), 464–474, 2009.
- [36] Coz, E., Go’ mez-Moreno, F.J., Pujadas, M., Casuccio, G.S., Lersch, T.L., Artiñano, B., Individual particle characteristics of North African dust under different long-range transport scenarios”, *Atmospheric Environment*, 43 (11), 1850–1863. 2009.
- [37] Dogan G., Güllü G., Tuncel, G., “Sources and source regions effecting the aerosol composition of the Eastern Mediterranean”, *Microchemical Journal*, 88 (2), 142–149. 2008.
- [38] Koçak, K.; “İklim Değişiminde İnsan Faktörü”, İTÜ Meteoroloji Bölümü, 2009.
- [39] Karaca F., Anil I., Alagha O., “Long-range potential source contributions of episodic aerosol events to PM<sub>10</sub> profile of a megacity”, *Atmospheric Environment*, 43, 5713–5722, 2009.
- [40] Lee J.S., and Moon H.Y., “Salinity distribution of seashore concrete structures in Korea”, *Building and Environment*, 41, 1447–1453, 2006.
- [41] Cole IS, Paterson DA, Ganther WD. “Holistic model for atmospheric corrosion. Part 1: theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts.” *Corrosion Engineering, Science and Technology*; 38(2), 129–34, 2003.
- [42] Perwak J., Goyer M., Nelken L., et. al “An exposure and risk assessment for zinc”, Washington DC, Environmental Protection Agency (EPA/440/4-81/016), 1980.