

BOLU İLİ PM₁₀ ve PM_{2.5} ÖRNEKLERİNİN KOMPOZİSYONLARI

Hatice KARADENİZ^{1(*)}, Fatma ÖZTÜRK², Duran KARAKAŞ², Serpil YENİSOY-KARAKAŞ¹

¹Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gölköy Kampüsü, Bolu

²Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gölköy Kampüsü, Bolu

ÖZET

Bu çalışmada, Mart 2013 - Şubat 2014 tarihleri arasında Bolu ili yarı kırsal alanlarından biri olan Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gölköy Kampüsünde bulunan örnekleme istasyonunda kuvars ve teflon filtrelerde PM₁₀ ve PM_{2.5} örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerde metaller, iyonlar, elementel ve organik karbon konsantrasyonları belirlenmiştir. İstasyonda toplam 326 adet PM_{2.5-10} (teflon filtre), 312 adet PM_{2.5} (teflon filtre), 172 adet PM₁₀ (kuvars filtre) ve 166 adet de PM_{2.5} (kuvars filtre) 24 saatlik örnekler toplanmıştır. Teflon filtre örnekleri ikiye bölünerek ultrasonik ekstraksiyon ve asitte çözme işlemlerinden sonra Dionex marka ICS İyon kromatografisi ve Perkin Elmer marka ICP-MS kullanılarak, sırası ile, iyonlar ve metaller için analiz edilmiştir. Kuvars filtre örnekleri ise Sunset marka OC/EC termal optik analizöründe NIOSH 870 protokolü kullanılarak direk olarak organik karbon ve elementel karbon tayinlerinde kullanılmıştır. PM_{2.5} 'da en fazla gözlemlenen elementler Na, Mg, Al, P, Ca, Sc, Ti, Cr, Ce, Zn, Rb, ve Pb'dir. Na, Al, K ve Ca en yüksek aritmetik ortalamaya sahip elementler olarak bulunmuştur. En fazla gözlememlenen katyon ve anyon sırasıyla Na⁺ ve Cl⁻ 'dür. PM_{10-2.5} 'de en fazla gözlemlenen Na, Mg, Al, Fe, Ca gibi elementler daha yüksek aritmetik ortalamaya da sahiptir. Anyon ve katyon ortalama konsantrasyonlarının en yüksek değerleri SO₄²⁻ ve NH₄⁺ a aittir. PM_{2.5} ve PM₁₀'da organik karbon konsantrasyonları elemental karbon konsantrasyonlarından daha yüksek olarak bulunmuştur. Aralık ayından sonra PM_{2.5} ve PM₁₀'da OK/EK konsantrasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. İkincil organik bileşiklerin konsantrasyonlarının birincil organik karbon bileşiklerinin konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. HYSPLİT geri trajektörileri çizdirilmiş ve bölgede deniz, toprak gibi doğal, sanayi ve trafik gibi antropojenik kaynaklı kirleticilere rastlanmıştır.

ABSTRACT

In this study, PM₁₀ and PM_{2.5} aerosol samples were collected on quartz and teflon filters from the station located at Abant İzzet Baysal University Gölköy campus which is one of the suburban area in Bolu, between March 2013 and February 2014. Concentrations of elements, ions and elemental-organic carbon were determined. Totally 326 PM_{2.5-10} (teflon filter), 312 PM_{2.5} (teflon filter) 172 PM₁₀ (quartz filter) and 166 PM_{2.5} (quartz filter) samples were collected. Teflon filters were cut into two pieces and one of the pieces was acid digested and the second was ultrasonically extracted to analyze for ions and elements. Ion determinations were done by using Dionex ICS Ion chromatography and metal determinations were done

* haticekaradeniz@ibu.edu.tr

using Perkin Elmer ICP-MS. Quartz filter samples were directly used for the determination of organic and elemental carbon analysis by using NIOSH 870 protocol using Sunset OC/EC thermal optical analyzer. The most frequently observed elements were Na, Mg, Al, P, Ca, Sc, Ti, Cr, Ce, Zn, Rb, Pb in PM_{2.5}. Sodium, Al, K, Ca were the elements having the highest arithmetic means. Sodium ion and Cl⁻ were the most frequently observed cation and anion. Sodium, Mg, Al, Fe and Ca had the highest arithmetic mean in PM_{10-2.5}. Sulfate and NH₄⁺ had the highest arithmetic means as ions. Organic carbon concentrations were higher than the elemental carbon concentrations both in PM_{2.5} and PM₁₀. Organic Carbon/EC concentrations in PM_{2.5} and PM₁₀ increased after December. Concentrations of secondary organic compounds were higher than concentrations of primary organic compounds. HYSPLIT back trajectories were calculated and pollutants from natural sources like sea and soil and anthropogenic sources like industry and traffic were determined.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Partikül madde, iyonlar, EK/OK, Elementler, Uzun mesafeli taşınım

1. GİRİŞ

Atmosfer troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer olmak üzere beş farklı kısma ayrılır. Troposfer bizim yaşadığımız bölgedir ve bu nedenle atmosferik çalışmalar genellikle bu kısımda yürütülür. Gelişen teknoloji ve insan aktivitelerinin etkisiyle bu katmanda hava kirliliği büyük bir problem olmaya başlamıştır. Genellikle hava kirliliği ‘Canlılara ve insan sağlığıyla etkileşime giren veya zararlı çevresel etkilere neden olan kontaminant veya kirleticilerin havada bulunması’ olarak tanımlanır. Partikül maddeler de bu kirleticilerden en görünür ve anlaşılır olanıdır. Genellikle ince (PM_{2.5}) ve kaba (PM₁₀) partikül madde olmak üzere iki tip partikül madde boyutu ölçülmektedir. Parçacığın boyutları salındıkları kaynak ile ilişkilidir. Örneğin, ilk yanma ürünleri ve havada gerçekleşen parçalanma ve yoğunlaşma prosedürlerinde açığa çıkan ikincil aerosoller ince partiküllerde bulunur. Kaba partiküllerde ise kirliliğin is, tuz, toprak gibi daha görünür kısmıdır (Vallero, 2008).

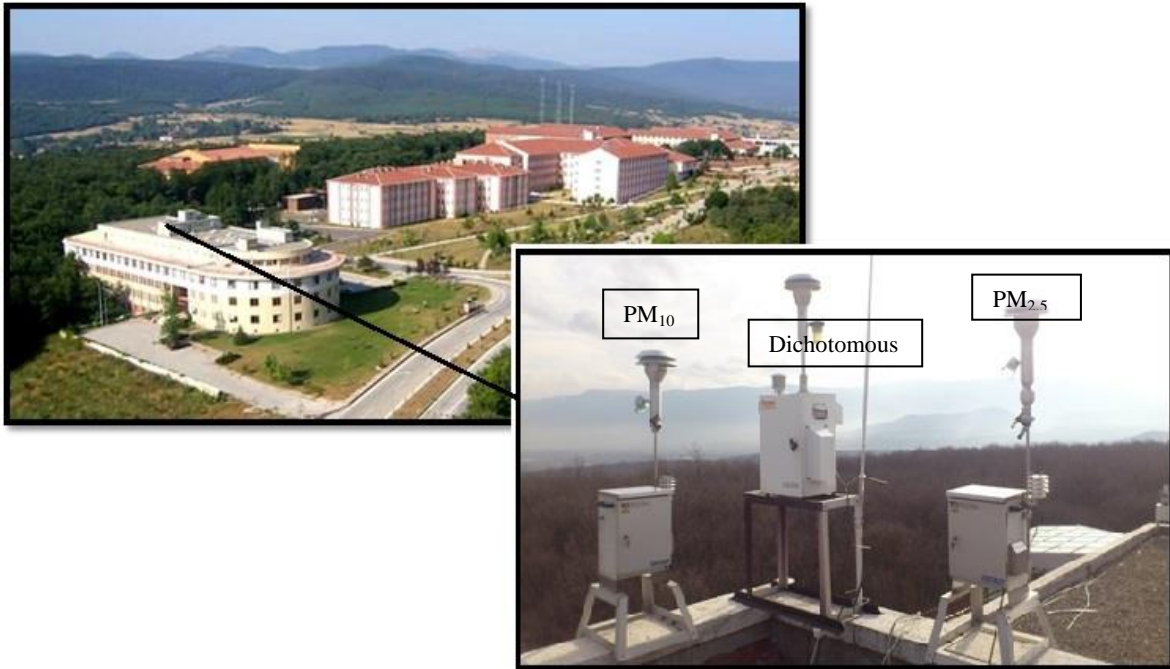
Partikül maddenin içeriği de kaynağından etkilenir. Bu maddeler iyon, metal ve organik ve elementel karbon içerebilirler. Suda çözünebilen iyonik bileşikler aerosollerin temel bileşenidir ve bileşen ince partiküllerin potansiyel sağlık etkisini artırır (Perrone vd., 2010), görünürlüğü azaltır (Tsai ve Cheng, 1999) ve karasal ve sucul ekosisteme zarar verir (Baker vd., 2006). Bu bileşiklerin doğal (denizler, toz fırtınası) ya da antropojenik (biyokütle yakımı, trafik veya endüstriyel aktiviteler) kaynaklı olabilir (Chang vd., 2006; Gildemeister vd., 2007). Ayrıca, atmosfere salındıklarında gazlarla reaksiyona girip ikincil aerosol oluşturabilirler. İnsan sağlığına zararlı olabilecek bir diğer partikül maddeler de elementlerdir. İyonlar gibi doğal ve antropojenik yollarla havaya karışabilirler (Park vd., 2008; Xue vd., 2010; Cheung vd., 2011). Karbonlu aerosollerse organik ve elementel karbon içerirler. Elementel karbon (EC) direk salınırken, partikül fazındaki organik karbon birincil ve ikincil organik kirleticiler olmak üzere iki çeşit olarak bulunur. Birincil organik karbon direk olarak atmosfere salınırken, ikincil organik karbon reaktif organik gazların atmosferik oksidasyonu ve gazdan partikül oluşumu sırasında oluşur. Bu nedenle hava kalitesi yönetiminde büyük bir öneme sahiptir (Gray vd., 1986; Turpin and Huntzicker, 1995; Strader vd., 1999; Schauer vd., 1996).

Bu çalışmada Bolu İli yarı kırsal bölgesinden iki farklı çeşit filtrede toplanan $PM_{2.5}$ ve PM_{10} örneklerinin analizi yapılmış ve sonuçlar istatistiksel ve mevsimsel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla kirlilik gülleri çizdirilmiş ve HYSPLIT geri yörünge programı da kullanılarak kaynaklar belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Örnekleme noktası ve örnekleme

Bolu ili Batı Karadeniz bölümünde; Zonguldak, Karabük, Çankırı, Ankara, Bilecik, Eskişehir, Düzce ve Sakarya İllerine komşu $30^{\circ} 322$ ve $32^{\circ} 362$ doğu meridyenleri ve $40^{\circ} 062$ ve $41^{\circ} 012$ kuzey meridyenleri arasında bulunan bir ilimizdir. Dokuz ilçe ve 511 köye sahiptir. Toplam alanın %17,7'si tarımda kullanılmaktadır. Bu ilde kırsal ve kentsel hava kalitesini etkileyen evsel ısınma, sanayileşme, tarım faaliyetleri ve trafik gibi birçok kirlilik kaynağı bulunmaktadır. Şehir merkezindeki hava kirliliği problemlerinden dolayı, örnekleme şehir merkezine 12 km uzaklıkta bulunan $40^{\circ} 42.864'$ kuzey paraleli ve $31^{\circ} 31.035'$ doğu meridyeni arasında yapılmıştır. İstasyon Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kampüsündeki Rektörlük binasına yerleştirilmiştir (Şekil 1). Örneklemede bir dichotomous, iki partikül madde örnekleme ve bir meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Günlük olarak bir yıl süre ile iki tip filtre (teflon ve kuvars filtre) ile 2 farklı boyutta (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) yapılan örnekleme bir yıl süreyle gerçekleştirilmiştir. Kuvars filtreler örneklemeden önce filtreden gelebilecek organik girişimi azaltmak için $900^{\circ}C$ 'de 3 saat boyunca yakılmıştır. Tüm filtreler örneklemeden önce ve sonra %25 bağıl nem ve $25^{\circ}C$ ortam koşullarında şartlandırılmıştır. Örnekleme sırasında oluşabilecek kontaminasyonu belirlemek için arazi kör örnekleri toplanmıştır. Örnekleme Mart-2013 ve Şubat-2014 tarihleri arasında yapılmıştır.



Şekil 1. Örnekleme istasyonu

2.2. Örneklerin hazırlanması ve analizler

Toplanan teflon filtreler şartlandırılıp tartıldıktan sonra temiz bir bistüri yardımıyla iki eşit parçaya bölünmüş ve her parça tartılmıştır. Filtrenin yarısı metal diğer yarısı da iyon analizlerinde kullanılmıştır. Metal analizleri için kullanılan filtre 4 mL %60 yüksek saflıkta HNO₃, 0.5 mL %40'lık HF kullanılarak Berghof Speedwave® marka mikrodalga fırında çözülmüştür. Çözünen örnekler son hacimleri 25 mL oluncaya kadar deiyonize su ile balon jöje kullanılarak seyreltilmiş ve analize hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler Perkin-Elmer ICP-MS kullanılarak analiz edilmiştir.

Filtrelerin diğer bir yarısı da 7 mL deiyonize su ile ultrasonik banyoda 1 saat boyunca ekstrat edilmiş ve 0,22 µm selüloz asetat filtre kullanılarak süzülükten sonra Dionex ICS 1100 Serisi iyon kromatografi cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Organik ve elementel karbon için kuvarz filtreler kullanılmıştır. Örneklenen filtreler tartıldıktan sonra 1,5 cm² büyüklükte bir parça cihazın fırın kısmına kuvars kaşık üzerine yerleştirilmiştir. Örnekler NIOSH 870 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Karbonatların belirlenmesi için aynı örnekten aynı büyüklükte farklı bir parça alınarak %30'luk HCl asit buharında petri kabında 3 saat bekletilmiş ve parça üzerindeki HCl buharı uzaklaşmaya kadar başka bir petri kabına alınmış ve analiz edilmiştir.

3. SONUÇLAR

Toplam 326 PM_{2.5-10} teflon filtre, 312 PM_{2.5} teflon filtre, 172 PM₁₀ kuvarz filtre 166 adet PM_{2.5} kuvarz filtrenin sonucu istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Partikül madde konsantrasyonlarını belirlemek için teflon filtreler kullanılmıştır. Katyon, anyon ve elementlerin konsantrasyonları teflon filtre örneklerinde hesaplanmıştır. Kuvarz filtrelerde kaba ve ince partikülde organik karbon ve elementel karbon ve toplam karbon tayin edilmiştir.

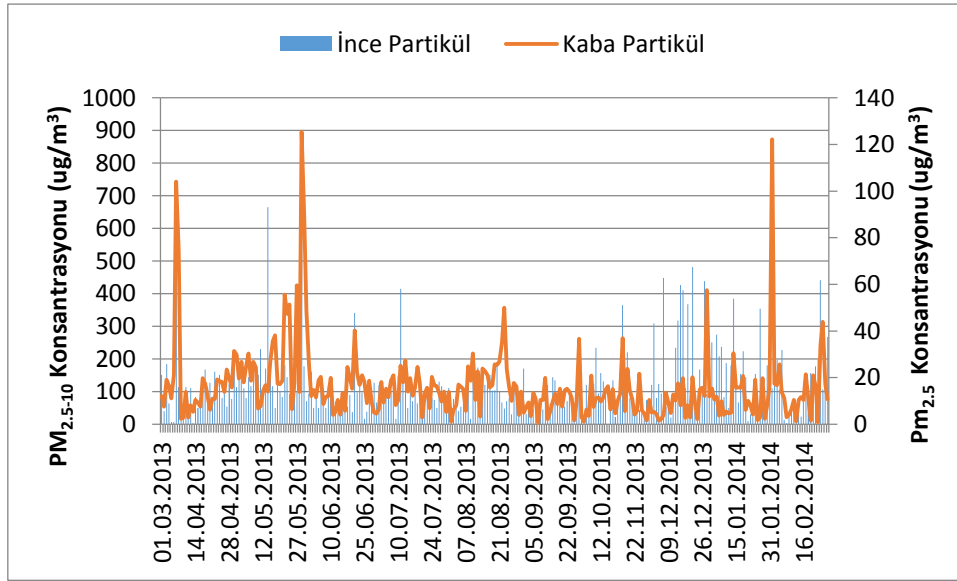
PM_{2.5}'da en çok gözlemlenen elementler Na, Mg, Al, P, Ca, Sc, Ti, Cr, Ce, Zn, Rb, Pb'dir ve Na, Al, K, Ca en yüksek aritmetik ortalamaya sahiptirler. Organik karbon konsantrasyonları elementel karbon konsantrasyonlarından daha yüksektir. En fazla gözlemlenen katyon ve anyon Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarıdır.

PM₁₀'da en fazla gözlemlenen elementler olan Na, Mg, Al, Fe, Ca en fazla aritmetik ortalamaya da sahiptir. Amonyum ve SO₄⁻² ortalama konsantrasyonları diğer anyon ve katyonlarından daha yüksek olarak ölçülmüştür. Organik karbon ve EK konsantrasyonları PM_{2.5} da bulunandan daha düşüktür.

4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

4.1. Toplam partikül madde

PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} konsantrasyonları Şekil 2' de gösterilmiştir. Partikül madde konsantrasyonlarını hesaplamak için teflon filtreler kullanılmıştır. Bütün yıl boyunca PM_{2.5-10} konsantrasyonları, beklendiği gibi, PM_{2.5} konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. PM_{2.5-10} konsantrasyonları Mayıs 2013'de artarken PM_{2.5} konsantrasyonları Bolu ilinde ısınma mevsiminin başladığı Ekim-2013'den sonra artmaktadır.



Şekil 2. Partikül madde konsantrasyonlarının günlük değişimleri

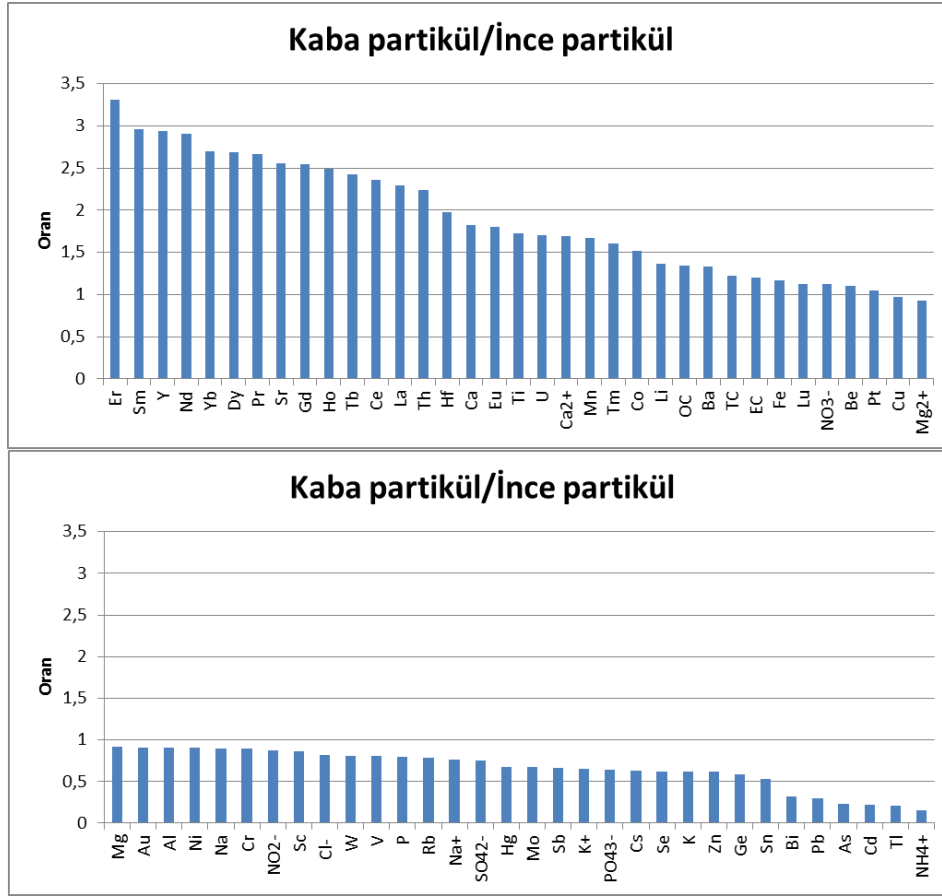
4.2. Elementler

Kaba partikülün ince partiküle oranı kirleticilerin antropojenik veya doğal kaynaklı olduğu hakkında bilgiler vermektedir. Bu nedenle element ve iyonların kaba partikül/ince partikül oranları bulunmuştur. Oran 3,3 ile 0,15 arasında değişmektedir. Samaryum, Y, Nd, Yb, Dy, Pr, Sr, Gd, Ho, Tb, Ce, La, Th, Hf, Ca, Eu, Ti, U, Lu, Be gibi toprak elementleri kaba partikülde bulunmaktadır. Arsenik, Se, Mo, Cd, Sb, Sn, Cs, W gibi antropojenik kaynaklı metaller ince fraksiyonda bulunmuştur (Şekil 3).

Lityum, K, Ti, Ge, As, Hf, Bi, Th, U elementlerinin konsantrasyonları ısınma sezonunda daha yüksek konsantrasyona sahiptir. Kurşun, W, Ho, Er, Cd, Sn, Sb, Cs ve Ce konsantrasyonlarında mevsimsel olarak bir değişiklik gözlenmemiştir. Sodyum, Mg, Al, Sc, Cr, Mn, Ni elementlerinin konsantrasyonları yaz mevsiminde daha yüksek bulunmuştur. PM_{2,5-10}'da As ve Pb'nin konsantrasyonları ısınma mevsiminde yüksekken K, Mn, Fe konsantrasyonları daha düşüktür.

Şekil 4 kış ve yaz mevsimlerindeki elementlerin ince ve kaba partiküllerdeki konsantrasyonların birbirlerine oranlarını göstermektedir. İnce partiküllerde (PM_{2,5}), Lu, Ni, Na, Mn, W, Cr, Sc, Cs, Mg, Tm, Al, Cu ve PM_{2,5-10}'da K, Mn, Fe, Ce, Cs, La, Rb, Cd, Hg, Th, Pr, Yb, Sb, Er, Y, Na, U, Ca, Mg, Co, Dy, K, Ti elementlerinin oranları birden büyük bulunmuştur.

Toprak zenginleşme faktörü PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Toprak elementi olarak Al referans element seçilmiştir. Bu hesaplama göre PM_{2,5}'da Zn, Mo, Sn, Cr, Pb, Cd, As, Sb, Hg, Se için zenginleşme faktörü 10'un üzerinde bulunurken PM_{2,5-10}'da Mo, Pb, Sn, Cu, Cr, Cd, As, Sb, Hg, Se, Zn için zenginleşme faktörü 10'dan büyük bulunmuştur.

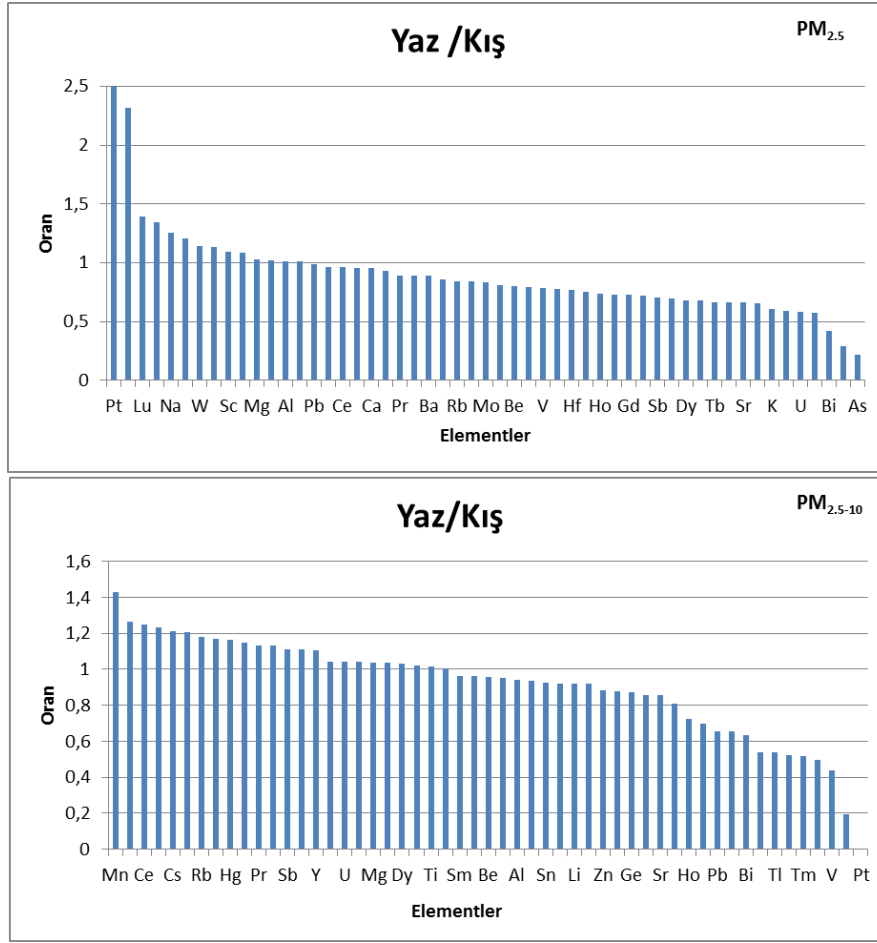


Şekil 3. Kaba partikülün ince partiküle oranı

4.3. İyonlar

Örneklere Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} konsantrasyonları belirlenmiştir. Tayin edilen iyonlardan en yüksek aritmetik ortalamaya SO_4^{2-} sahiptir.

$PM_{2.5}$ genellikle suda çözünen inorganik iyonlar, karbon içeren kirleticiler ve elementleri içerir (Zhang vd., 2014). Bu nedenle $PM_{2.5}$ örneklerindeki iyon konsantrasyonları $PM_{2.5-10}$ örneklerindeki iyon konsantrasyonlarından yüksek çıkmıştır. Sülfat konsantrasyonları yaz mevsiminde daha yüksekken, K^+ konsantrasyonları kış mevsiminde daha yüksek bulunmuştur. K^+ konsantrasyonlarının kış mevsiminde artış göstermesi biyokütle kullanımı ile ilişkilendirilmiştir (Satsangi vd., 2013).

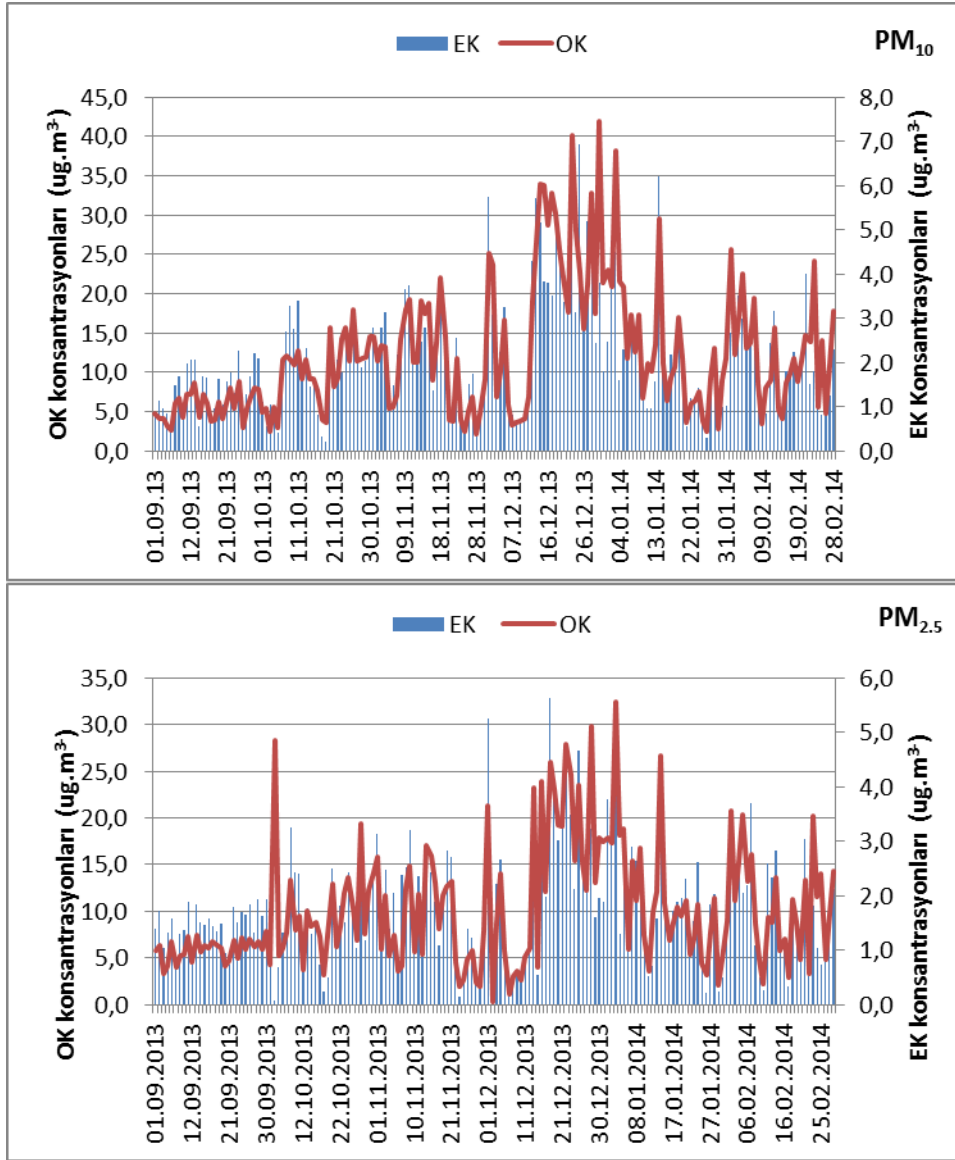


Şekil 4. Kış ve yaz mevsimlerindeki elementlerin ince ve kaba partiküllerdeki konsantrasyonlarının birbirlerine oranları

4.4. Organik/elementel karbon

Altı aylık kuvars filtre örnekleri için PM_{2.5} ve PM₁₀ örneklerinde organik ve elementel karbon analizi yapılmıştır. PM₁₀ organik ve elementel karbonun konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması PM_{2.5}'ten yüksek çıkmıştır.

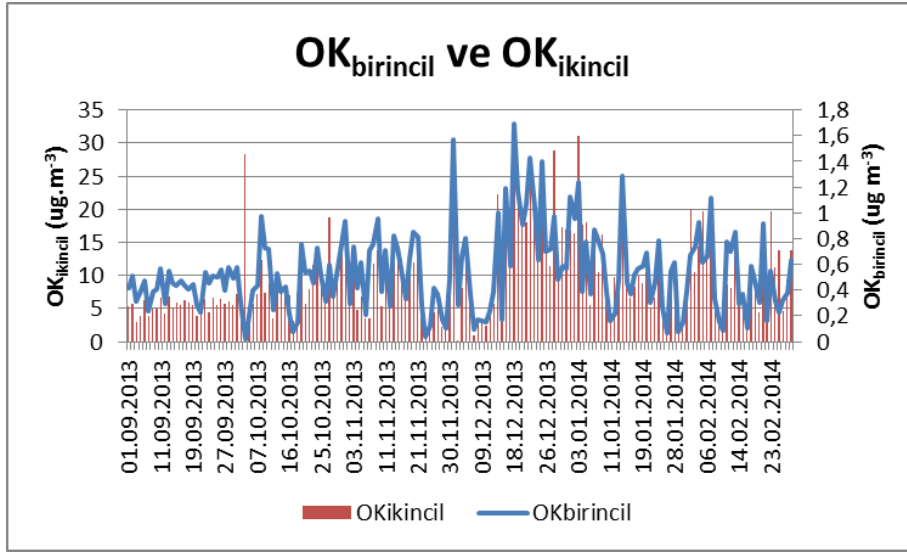
Organik karbon ve elementel karbon günlük değişimleri Şekil 5'de verilmiştir. Aralık ayından itibaren ısınma işlemi arttığı için elementel karbon ve organik karbon konsantrasyonlarının PM_{2.5} ve PM₁₀ örneklerinde artış gösterdiği görülmüştür. Elementel ve organik karbon konsantrasyonlarında farklı partikül boyutunda anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 5. Organik karbon ve Elementel karbon günlük değişimleri

4.5. Birincil ve ikincil organik karbon

Atmosferdeki ikincil aerosol partikül maddeleri organik bileşiklerin oksidasyonu ile oluşmaktadır. Bu nedenle ikincil kirlenmelerin ince partiküllerde belirlenmesi önemlidir. $OK_{birincil}$ ve $OK_{ikincil}$ EK-OK iz metodu kullanılarak hesaplanmıştır. $OK_{ikincil}$ konsantrasyonları $OK_{birincil}$ konsantrasyonlarından yüksek bulunmuştur. $OK_{birincil}$ ve $OK_{ikincil}$ konsantrasyonlarının günlük değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Birincil ve İkincil organik karbonun günlük değişimleri

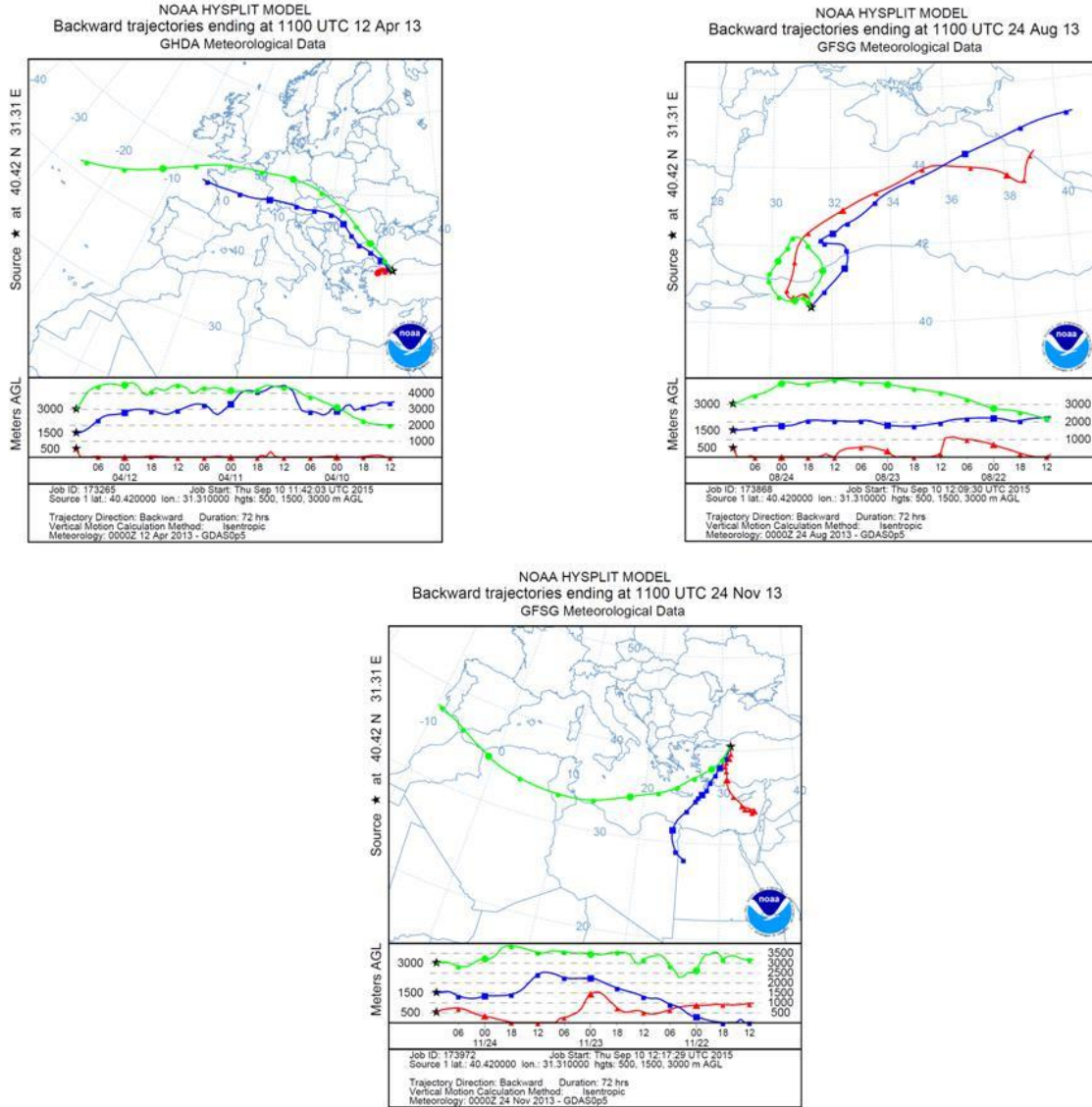
4.6. Rüzgar yönü analizi ve HYSPLIT geri trajektörü modeli

Rüzgar yönü analizi genellikle yerel kaynaklı kirleticilerin kaynaklarını açıklamak için kullanılır. Bu nedenle aylık, mevsimlik ve yıllık rüzgar gülleri çizilmiştir. Bu grafiklere göre Bolu'da baskın rüzgar yönü batı güney batı yönü olmasının yanında kış aylarında doğu kuzey doğu yönünün etkisi de gözlenmiştir.

Örnekleme kampanyası içinde yüksek konsantrasyonların gözlemlendiği günlerde HYSPLIT geri trajektörleri çizilmiştir. Uzun ve kısa mesafeli taşınımın etkisini gözlemlemek için geri trajektörler 3 farklı yükseklikte (500, 1500 ve 3000 m) 72 saatlik olarak hesaplanmıştır. Bazı örneklere ait geri trajektörler Şekil 7'de gösterilmiştir. Çizdirilen grafiklere göre yüksek konsantrasyonlara rastlanan günlerde yerel ve Rusya, Avrupa ve Afrika kıtalarından gelen hava kütlelerinin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu hava kütlelerinde Na, Ca gibi deniz kaynaklı, Al, Ti ve Fe gibi toprak kaynaklı, ve Zn, ve Cu gibi sanayi kaynaklı, Ba ve Pb gibi trafik kaynaklı elementlerin yüksek konsantrasyonlarda çıktığı gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu bilgiler ışığında daha farklı istatistiksel metotlar kullanılarak kaynak belirleme çalışmaları geliştirilmesi düşünülmektedir.



Şekil 7. Bazı günlere ait HYSPLIT geri yörünge trajektörleri

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada TÜBİTAK ÇAYDAG 112Y037 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Baker, A.R., Jickells, T.D., Witt, M., Linge, K.M., 2006. Trends in the solubility of iron, aluminium, manganese and phosphorous in aerosol collected over the Atlantic Oceanic Marine Chemistry 98: 43-58.

Chang, S.Y., Fang, G.C., Chou, C.C.K., Chen, W.N., 2006. Source identifications of PM10 aerosols depending on hourly measurements of soluble components characterization among different events in Taipei basin during spring season of 2004. Chemosphere 65, 792-801.

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

Cheung, K., Daher, N., Kam, W., Shafer, M.M., Ning, Z., Schauer, J.J. and Sioutas, C., 2011. Spatial and Temporal Variation of Chemical Composition and Mass Closure of Ambient Coarse Particulate Matter (PM_{10-2.5}) in the Los Angeles Area. *Atmospheric Environment* 45: 2651–2662.

Gildemeister, A.E., Hopke, P.K., Kim, E., 2007. Sources of fine urban particulate matter in Detroit, MI. *Chemosphere* 69, 1064-1074.

Gray, H.A., Cass, G.R., Huntzicker, J.J., Heyerdahl, E.K., Rau, J.A., 1986. Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon particle concentrations in Los Angeles. *Environmental Science & Technology* 20, 580–589.

Park, K., Heo, Y. and Putra, H.E. (2008). Ultrafine Metal Concentration in Atmospheric Aerosols in Urban Gwangju, Korea. *Aerosol Air Quality Research*. 8: 411–422.

Perrone, M.G., Gualtieri, M., Ferrero, L., Lo Porto, C., Udisti, R., Bolzacchini, E., Camatini, M., 2010. Seasonal variations in chemical composition and in vitro biological effects of fine PM from Milan. *Chemosphere* 78, 1368-1377.

Strader, R., Lurmann, F., Pandis, S.N., 1999. Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter. *Atmospheric Environment* 33: 4849–4863.

Schauer, J.J., Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1996. Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers. *Atmospheric Environment* 22: 3837–3855.

Satsangi, A., Pachauri, T., Singla, V., Lakhani, A., Kumari, K.M., 2013. Water Soluble Ionic Species in Atmospheric Aerosols: Concentrations and Sources at Agra in the Indo-Gangetic Plain (IGP). *Aerosol and Air Quality Research*, 13: 1877–1889.

Tsai, I.T., Cheng, M.T., 1999. Visibility and aerosol chemical composition near the coastal area in Central Taiwan. *Science of the Total Environment* 231: 37-51.

Turpin, B.J., Huntzicker, J.J., 1995. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS. *Atmospheric Environment* 29: 3527–3544.

Xue, Y.H., Wu, J.H., Feng, Y.C., Dai, L., Bi, X.H., Li, X., Zhu, T., Tang, S.B. and Chen, M.F., 2010. Source Characterization and Apportionment of PM₁₀ in Panzhuhua, China. *Aerosol Air Quality Research* 10: 367–377.

Vallero, D., 2008. *Fundamentals of Air Pollution*, Fourth Edition, Elsevier Inc., USA.