

Uludağ Milli Parkında Aerosol Kimyası

Serpil Y. KARAKAŞ, Semra G. TUNCEL

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Kimya Bölümü,
Ankara-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 19.9.1995

Eylül 1993 ile Nisan 1994 tarihleri arasında Uludağ'da günlük toplanan aerosol örneklerinin kimyasal kompozisyonu, temel iyonların derişimleri, değışimleri birbirleri ile ilişkileri ve kaynakları belirlenerek incelenmiştir. Sülfat anyonu $2.14 \mu\text{g m}^{-3}$ 'lük ortalama derişimle aerosol kütesinin % 30'unu oluşturmuştur. Uludağ'da ölçülen kimyasal parametreler arasında ortalama $1.61 \mu\text{g m}^{-3}$ 'lük yüksek bir derişimle Ca^{+2} dışında tüm parametreler diğer kırsal alanlardaki verilerle karşılaştırılacak düzeydedirler. İyon dengesinde, asit yapıcı anyonlar olan SO_4^{2-} ve NO_3^- 'in katyonlara kıyasla kütle olarak ortalama % 30 düşük oldukları görülmüştür. Rüzgar sektörü analizi, katkıda bulunan kaynak bölgelerin ağırlıklı olarak istasyonun güney ve kuzeyinde olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: aerosol, kırsal, rüzgar sektörü analizi, temel iyonlar

Chemistry of Aerosol in Uludağ National Park

Chemical composition of aerosol samples which were collected daily during September 1993 - April 1994 was examined by determining the concentrations and variations of major ions in aerosol samples, determining the binary correlations and the sources of them. Sulfate made up the 30 % of aerosol mass with an $2.14 \mu\text{g m}^{-3}$ average concentration. Measured chemical parameters in Uludağ National Park were comparable with other rural area data expect Ca^{2+} which was higher in our station with an average concentration of $1.61 \mu\text{g m}^{-3}$. Ion balance showed a deficiency of acid forming anions (SO_4^{2-} and NO_3^- for about 30 % on the average. Wind sector analysis indicated that the largely contributing source regions were located to the south and north of the station.

Key words: aerosol, rural, wind sector analysis, major ions.

Giriş

Hava kirliliğinin birçok zararlı etkisinin, atmosferdeki aerosollerden dolayı olduğu iyi bilinmektedir. Aerosoller, atmosferde bulut oluşumu, görüş alanının azalması ve güneş ışıması transferi gibi birçok olayı etkilerler. Bundan başka bulutların, yağmurun ve sisin asitlenmesinde de çok önemli rol oynarlar¹. Aerosollerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen parametrelerin başında atmosferdeki kimyasal dönüşüm, emisyon oranı ve meteorolojik parametreler gelir. Kaynaktan geçici resarvuara taşınım mekanizmaları ve kimyasal dönüşümler aerosol doğasını ve ormanlar gibi biyolojik sistemlere olan muhtemel etkisini saptar. Kırsal bölgelerin aerosol kimyası, dünyanın farklı yerlerinde çalışılmıştır^{1,2,3,4}. Bu araştırmalardaki bulgular, kırsal kesimdeki birçok parametrenin, deniz tuzu ve toprak gibi doğal kaynaklardan gelebilecek olandan yüksek derişimlere sahip

olduğunu göstermiştir. Bu gözlemler sonucunda, antropojenik (insanla ilgili) kaynaklar, yerel emisyonlar ve uzun mesafe kirletici taşınımı önemli faktörler olarak bulunmuştur.

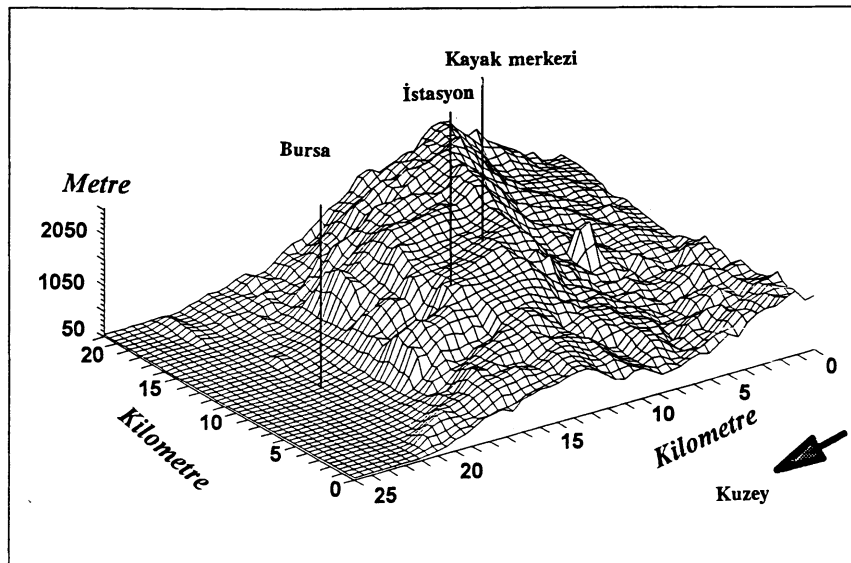
Türkiye’de kentler için üretilen çok büyük bir aerosol veri seti olmasına rağmen^{5,6}, kırsal dağlık kesim için aerosol kompozisyonunu içeren veri yoktur. Bu çalışmada devam etmekte olan EUROTRAC/BIATEX projesinin bir parçası olarak bu boşluğu doldurmak için yapılmıştır. Bu çalışmanın asıl amacı, kırsal dağlık bir alandaki aerosol kompozisyonunu, katkıda bulunan kaynak bölgelerle ilişkili olarak karakterize etmektir.

Bu amaca ulaşmak için, aerosol kütlesinin % 60-70’ini⁷ oluşturan suda çözünen iyonların (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^-) derişimleri ölçülmüştür. Aerosolün çözünen kısımlarının kimyasal kompozisyonu değişik analitik tekniklerle analiz edilmiş ve elde edilen veri istatistiksel testlerle yorumlanmıştır. Ayrıca meteorolojik parametreler kullanılarak aerosol yüküne katkıda bulunan kaynak bölgeler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma Uludağ gibi kırsal, dağlık bir yörede hava kirliliğinin bu derece detaylı çalışıldığı ilk çalışma olması bakımından çok önemlidir.

Deneysel

Örnekleme yeri

Örnekleme yeri, Türkiye’nin yaklaşık üç milyon nüfusuyla beşinci büyük şehri olan Bursa’nın 20 km güneyinde bulunan ve 1685 m yüksekliğe sahip olan Uludağ’ın Sarıalan bölgesindedir. Şekil 1 örnekleme alanının topografik yapısını göstermektedir. Bursa, büyük endüstrileşmeden, kömür yakımından ve coğrafi yapısından dolayı ülkemizin en kirli şehirlerinden biridir. Örnekleme yeri, yüksekliği, yerel meteorolojisi, yerel kirletici noktalarına ve ağaçlara uzaklığı gibi önemli noktalar gözönünde bulundurularak seçilmiştir. Örnekleme yeri, orman içinde 1 km²’lik ağaçsız bir alanın ortasındadır. Çok şiddetli kış koşullarından dolayı ulaşımından ve ölçüm cihazları için gerekli olan elektrikten daha fazla uzaklaşmak mümkün olmamıştır. Örnekleme alanı kayak merkezinin 7 km kadar kuzeyindedir. Örnekleme yerinin 40 km kuzeyinde Marmara Denizi, 200 km batısında ise Ege Denizi vardır.



Şekil 1. Örnekleme Alanının Topografik Özellikleri

Örnek toplanması, hazırlanması ve analizi

Günlük aerosol örnekleme Eylül 1993 ile Nisan 1994 tarihleri arasında yapılmıştır. Aerosol örnekleri cam fiber filitreler üzerinde 25 L/dk.'lık çekiş hızıyla toplanmıştır. Cam fiber filtre 35 mm eninde 30 m boyunda bir rulodur. Bu filtre yüksek çekiş hızına dayanıklı olup, partiküller tarafından kolayca tıkanmaz. Bu çalışmada, çapı 10 μm ' den küçük parçacıklar toplanmıştır. 10 μm ' den büyük parçacıklar rüzgarla yer kabuğundan koparılan lokal toprak parçacıklarıdır. Kaynağı bilinen bu kaba parçacıkları toplamının bir yararı olmadığı gibi, yüksek derişimlerinden dolayı, diğer kaynaklardan gelen elementlerin derişimlerini de kapatmaktadır. Kirleticiler hakkında esas bilgi, 10 μm ' den küçük parçacıklardan alınmaktadır. Hatta bu parçacıklarda 2 μm 'lik partikül çapı sınır alınıp, büyük ve küçük çaplı olarak ayrı ayrı toplamak en ideal durumdur. Küçük parçacıklar geniş yüzey alanına sahip olduklarından, yanma işlemlerinden çıkan birçok element bunların üzerine tutunurlar. Çok küçük olduklarından dolayı yere çökmeden, havada uzun süre kalıp, atıldığı kaynaklardan daha uzun mesafelere gidebilirler. Bu parçacıkları toplamak, hem uzun mesafe taşınımından gelen kirleticiler hakkında hem de yerel kaynaklardan atılan kirleticiler hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada olanaklarımız iki ayrı büyüklükte parçacık toplamaya müsait olmadığı için en azından çok büyük (10 μm 'den daha büyük) olanları atmak için PM-10 denilen başlık kullanıldı.

Örneklemeden sonra filtre kağıtları önce polietilen çantalar içine konmuş, daha sonra da polietilen pötridiş'lere konarak analiz zamanına kadar +4° C'de saklanmıştır. Filtre kör örnekleri de aynı yolla hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanması ve analizi sırasında, kirlenmeyi önlemek için, büyük bir dikkat gösterilmiştir. Bütün hazırlama işleri class-100 temiz bir odada yürütülmüştür. Bütün aerosol örnekleri 10 mL' lik iki kere distile edilmiş deiyonize suya alındıktan sonra ultrasonik çalkalayıcı (Branson model 2200) ile 15 dakika çalkalanmış ve 0.2 μm 'lik nükleopor (selüloz asetat) filtreden süzölmüştür. Elde edilen çözelti, suda çözünen katyon ve anyonların analizi için üçe bölünmüştür. Bölünen çözeltilerden ilki, Vydac anyon değiştirme kolonu ve Jasco model 875 UV/VIS detektör içeren Varian model 2010 tek kolonlu iyon kromatografisinde SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- belirlemesi için kullanılmıştır. Eluent olarak 0.1 mM fitalik asit kullanılmıştır ve bu çözeltinin pH'sı $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak 4.93 ile 4.95 arasında tutulmuştur. Çözeltinin ikinci kısmı, Perkin Elmer model 1100B atomik absorpsiyon spektrometresinde, alev emisyonuyla Na, K, Ca için ve alev absorpsiyonu ile Mg için analizlenmiştir. Üçüncü kısım çözelti ise, Unicam 8625 UV/VIS spektrofotometresi ile 425 nm'de NH_4^+ iyonunu tayin etmek için kullanılmıştır. Amonyum iyonu, Nessler belirteci ile sarı ile kahverengi arasında renkler alabilen bileşikler oluşturduktan sonra tayin edilmiştir.

Tüm kimyasallar ve nitrik asit analitik kalitede Merck ürünleridir. Bütün çözeltiler Nanopore, Ultrapure su arıtım sisteminden elde edilen iki kere distile edilmiş deiyonize suyla hazırlanmışlardır. AAS analizleri için kullanılacak olan polietilen şişeler kullanılmadan en az bir gün önce % 10'luk nitrik asit çözeltisiyle temizlenmişlerdir. AAS analizi için ayrılan örneklere şişelerin yüzeylerine tutunan katyonları çıkartmak için iki veya üç damla süpersaf nitrik asit eklenmiştir.

Aerosolün matriksi fazla karışık olmadığından, suyla yapılan kalibrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu kalibrasyon yöntemi kullanılarak yapılan doğruluk testinde, standart referans maddelerindeki miktarlara en fazla % 14 hata ile yaklaşılmıştır. Tayin sınırları filtre kör örnek değerleri ile 3 standart sapma içinde bulunmuştur. Analitik metotlar, tayin sınırları ve hata değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Örnekleme süresince 184 günlük aerosol örneği toplanmıştır. Aerosol ölçümlerinin ve toplam askıda katı maddenin istatistiksel özetleri Tablo 2'de verilmiştir. Belirsizlikler standart sapmalardır. Sonuçlar, aerosoldeki

bütün iyonların iki katı büyüklükte değişebildiğini göstermektedir. En yüksek değişim deniz ve yer kabuğunun bileşeni olan Mg^{2+} ve Na^+ için gözlenmiştir. Sülfat iyonu aerosol kütesinin en büyük kısmını oluşturmuştur. Anyon ve katyon derişimleri şu sırayı izlemiştir: $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ and $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$. Sülfat iyonunun en yüksek derişimi ($13 \mu g m^{-3}$) kış mevsiminde, NO_3^- 'nin en yüksek ($8.8 \mu g m^{-3}$) derişimi ise ilkbaharda gözlenmiştir.

Tablo 1. Ölçülen İyonların Analitik Parametreleri

İyonlar	Metotlar	Tayın Sınırı ($\mu g m^{-3}$)	Hata(%)
SO_4^{2-}	İK	0.14	4.0
NO_3^-	İK	0.14	14
Cl^-	İK	0.13	7.0
Na^+	AES	0.39	10
K^+	AES	0.004	3.0
Ca^{2+}	AES	0.31	8.0
Mg^{2+}	AAS	0.02	0.30
NH_4^+	kolorimetre	0.33	

İK: İyon Kromatografi

AES: Alevli Atomik Emisyon Spektrometresi

AAS: Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi

Tablo 2. Ölçülen Parametrelerin İstatistiksel Özetleri

Değişkenler ($\mu g m^{-3}$)	N	Ortalama	Standart Sapma	Aralık	
				Minumum	Maksimum
AKM	153	27	43	3.3	379
K^+	178	0.064	0.041	0.0010	0.23
Na^+	174	0.67	1.2	0.0050	12
Ca^{2+}	145	1.6	1.9	0.010	9.0
Mg^{2+}	180	0.12	0.23	0.0010	2.5
NH_4^+	150	1.0	0.83	0.022	4.3
Cl^-	158	0.47	0.61	0.0030	3.8
NO_3^-	168	1.0	1.2	0.011	8.8
SO_4^{2-}	172	2.2	2.0	0.053	13
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	158	1.5	6.8	-13	15
Bağıl nem (%)	158	70	20	25	99
Rüzgar hızı ($m s^{-1}$)	158	2.9	1.8	0.56	9.6

AKM:Askıda katı madde, N:Örnek sayısı

Bu çalışmada elde edilen verilerin diğer kırsal alanlardaki verilerle karşılaştırılması Tablo 3'te verilmiştir. Verilen belirsizlikler standart sapmalardır. Uzak ve kırsal alanlarda gözlenen büyük değişimler yerel kirlenmenin derecesi hakkında karar vermeyi güçleştirmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler, Ca^{2+}

hariç, dünyanın değişik yerlerindeki verilerle karşılaştırılabilir düzeydedir. Tablo 3, Türkiye'nin değişik bölgelerinden de veri içermektedir, bunlar, Akdeniz kıyısı ve Karadeniz atmosferi içindir. Bu veriler de grubumuz tarafından üretilmiştir. Türkiye'nin bölgesel ölçekte aerosol kompozisyonu hakkında genel bir fikir edinebilmek için bu verilerde Tablo 3'e ilave edilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi deniz aerosollerinin Karadeniz ve Akdeniz'e etkisinin Uludağ'a göre fazla olmasından dolayı Na^+ ve Cl^- derişimleri Uludağ'da daha düşüktür.

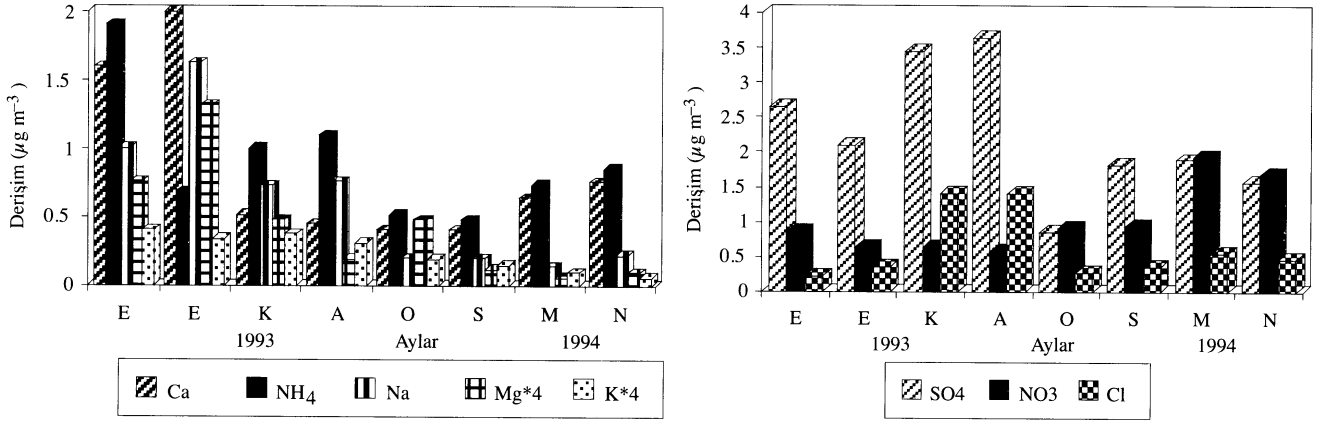
Tablo 3. Dünyanın ve Türkiye'nin Değişik Bölgelerindeki Aerosol İyonlarının Ortalama Düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

	Dünya ⁸	Belçika ⁸ (kırsal)	Karadeniz ⁹ Atmosferi Türkiye	Antalya ¹⁰ Türkiye (kıyı)	Mallikadevi ¹¹ Hindistan (dağ)	Ontario ² Kanada (kırsal)	Bu Çalışma (dağ)
Cl^-	1.1	0.050	2.6±1.8	2.0±3.4		0.14±0.22	0.47±0.61
SO_4^{2-}	1.1		6.7±2.1	5.54±4.08		3.9±2.8	2.1±2.0
NO_3^-			2.6±0.8	1.18±0.84		1.2±2.2	1.0±1.2
NH_4^+				1.4±1.1		1.2±1.2	1.0±0.83
Na^+	0.87	0.14	2.6±2.0	1.9±2.0	0.13±0.060	0.15±0.19	0.67±1.2
K^+	0.12	0.18	0.20±0.070	0.37±0.43	0.11±0.060	0.040±0.12	0.060±0.040
Ca^{2+}	0.20	0.22	0.77±0.88	2.1±1.9	0.40±0.26	0.070±0.18	1.6±1.9
Mg^{2+}	0.17		0.34	0.37±0.33	0.19±0.10		0.12±0.23

Aerosoldeki iyonların derişimleri, kimyasal ve fiziksel dönüşümler, katkıda bulunan kaynak güçleri ve meteorolojik parametreler gibi değişik faktörlere bağlıdır. Bu yüzden birçok iyon bir mevsimden diğerine çok büyük değişiklik göstermektedir. Ölçülen parametrelerin aylık derişimleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Genellikle bir aydan diğerine büyük derişimler gözlenmektedir. Ca^{2+} , Na^+ , K^+ ve Mg^{2+} sonbaharda yüksek derişimlere sahiptirler. Bölgesel ölçekte Ca^{2+} ve K^+ yer kabuğundan gelmektedir, sadece yerleşim bölgelerinden çok uzak okyanus kıyılarında atmosferik derişimlere denizin etkisi gözlenebilmektedir¹². Rüzgarla yer kabuğundan savrulan tozlardan dolayı en yüksek ortalama Ca^{2+} ve K^+ derişimleri sonbahar aylarında gözlenmiştir. Örnekleme bölgesi sonbaharda kuru ama ilkbaharda yağmurludur. Kış boyunca da karla kaplıdır. Bu durum, Eylül, Ekim ve Kasım ayları boyunca yer kabuğundan gelen tozun katkısını artırmaktadır. Aerosolde gözlenen Mg^{2+} ve Na^+ derişimleri genellikle toz ve deniz tuzu parçacıklarından etkilenmiştir. Magnezyum iyonu derişimi denizden uzak alanlarda yer kabuğundan gelmektedir ama denize yakın örnekleme yerlerinde ise denizden etkilenmektedir¹³. Bizim örnekleme alanının 40 km güneyinde olan Marmara Denizi'nin gözlenen Mg^{2+} ve Na^+ derişimlerine katkısı oldukça etkindir. Klorun büyük çoğunluğunun denizden kaynaklandığı düşünülürse, ($\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$) toplamına karşı Cl^- regrasyonu, büyük sayılabilen regrasyon sabiti ile Mg^{2+} ve Na^+ derişimlerine deniz katkısının büyüklüğünü desteklemiştir. Şekil 3, 0,72 korelasyon katsayısıyla regrasyon çizgisini göstermektedir.

Kasım ve Aralık aylarında klor iyonu en yüksek derişime sahiptir. Klor iyonunun en yüksek derişimi ortalama değerin 8 katı kadardır. Bu yüksek Cl^- derişimleri Marmara Denizi'nden istasyona deniz aerosollerini taşıyan yüksek hızlara sahip kuzey rüzgarlarıyla ilişkilidir. Ortalama $\text{Cl}^- / \text{Na}^+$ eşdeğer oranı 0.9'dur. Bu oran çokça kullanılan deniz suyundaki orandan (1.18) düşüktür¹⁴. Sonbaharda büyük Ca^{2+} derişimiyle de ilişkili olarak Na^+ 'unun yer kabuğundan gelen yüksek derişiminden dolayı, bu oran sonbaharda 0.4'e

kadar düşmektedir. Yüksek ortalama oranları kış aylarında görülmüştür. Örnekleme yerinin ülkenin popüler kayak merkezinin 7 km kuzeyinde olmasından, kış boyunca gözlenen Cl^- derişimi taşıtlardan gelen emisyonlarla artmaktadır. Amonyum iyonunun aylık değışimi, sonbahar ve kış aylarında en yüksek olan gübreleme etkinliğiyle aynı zamana denk gelmektedir. Sülfat iyonunun en yüksek derişimi sonbaharda, nitrat iyonunun en yüksek derişimi ilkbaharda görülmüştür.



Şekil 2. İyonların Aylık Ortalama Derişimleri

Tablo 4. $\Sigma(\text{kasyon})/\Sigma(\text{anyon})$ Derişim Oranları

Aylar	$\Sigma(\text{kasyon})/\Sigma(\text{anyon})$
Eylül	4.2
Ekim	1.5
Kasım	1.1
Aralık	0.67
Ocak	0.67
Şubat	0.66
Mart	1.3
Nisan	1.5

Aerosolde toplam katyonun toplam anyona olan eşdeğer oranının 1.44 olması bazı temel anyonların hesaba katılmadığını göstermektedir. Tablo 4, aylık bazda $\Sigma(\text{kasyon})/\Sigma(\text{anyon})$ eşdeğer oranını vermektedir. Eğer tüm iyonlar ölçülüp hesaba katılsa, bu oran 1 olarak bulunur ki, bu çok ideal bir durumdur. Genelde sonbahardaki ortalamaların genel ortalamadan yüksek olması, bu aylarda anyon eksikliğinin diğerlerinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Anyon eksikliği organik asitlerle açıklanabilir. Örnekleme yerinin çam ormanına yakınlığı dikkate alınarak, bu kadar fazla organik asitlerin olması doğaldır. Organik anyonların toplam aerosoldeki anyonlara % 35 katkısı olduğu başka yerlerdeki çalışmalarla da doğrulanmıştır^{15,16,17}. Ca^{2+} , NH_4^+ ve Mg^{2+} bağımsız değişkenler alınarak, SO_4^{2-} ve NO_3^- 'na ayrı ayrı çok değişkenli lineer regresyon uygulanmıştır. Katsayılar, kalanlar ve kısmi korelasyon katsayıları Tablo 5'de verilmiştir. Oldukça yüksek korelasyon artığı ve düşük korelasyon katsayıları, aerosolde gözlenen sülfat ve nitrat iyonlarının derişimlerini nötrale eden katyonlarla açıklanamadığını göstermektedir. Bu da sülfat ve nitrat iyonunun, H_2SO_4 ve HNO_3 formunda olduğunun bir işaretidir. Sonuçlar, SO_4^{2-} 'nin yaklaşık % 60'ının ve NO_3^- 'nin % 90'ının H^+ ile ilişkili olduğunu önermektedir. Yaklaşık SO_4^{2-} 'nin % 25'i ve NO_3^- 'nin % 8'i havadaki kalsiyum tarafından nötrale edilmiştir. Sülfat iyonu için kalan % 75, NH_3 tarafından nötrale edilmiştir. Nitrat iyonunun magnezyum iyonu tarafından nötrale edilen kısmı % 52 ve kalan % 40'da NH_3 ile ilişkilidir. Bununla birlikte açıklanabilen kısım fazla değildir. Bu büyük bir olasılıkla ağaçlardan gelen biyojenik

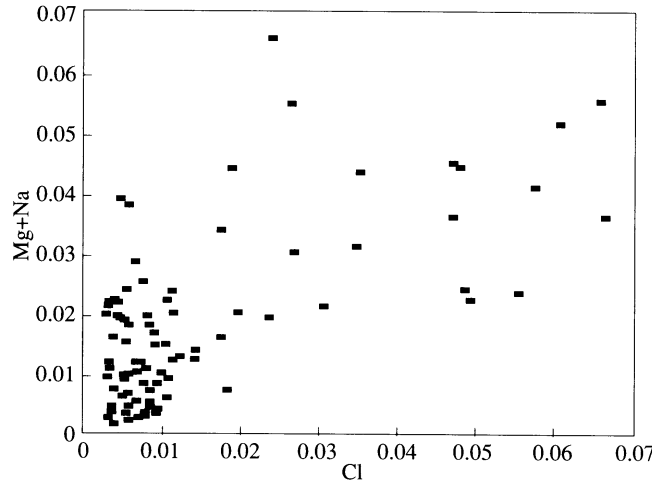
emisyonlardan dolayıdır. Bazı organikler aerosol parçacıklarını ince bir film gibi sararak, H_2SO_4 ve HNO_3 'in nötralizasyonunu engellerler^{18,19}.

Kaynak dağılımı yapmanın diğer bir yolu da, aerosol örneklerini rüzgar yönüne göre ayırmaktır. Örnekleme süresince meteorolojik parametreler 15 dakikalık aralıklarla ölçülmüşlerdir. Şekil 4 bölgedeki genel rüzgar modelini ve sektörleri göstermektedir. Bu bölgede rüzgar çoğunlukla güney yönlerinden ve küçük bir bölümü de kuzey yönlerinden esmektedir. Değişik rüzgar sektörlerindeki ortalama derişimler Tablo 6' da verilmiştir ve verilen belirsizlikler standart sapmalardır. Her parametrenin k, her rüzgar sektöründen j, ortalama kesirli katkısı şu formülle hesaplanır.

$$[C_{kj}]/[C_k] * F_j = 1/N \sum (C_{ik} * F_j) / [C_k]$$

Tablo 5. Çokdeğişkenli Lineer Regrasyon

Sülfat	$[SO_4^{2-}] = a + a_1[Ca^{2+}] + a_2[Mg^{2+}] + a_3[NH_4^+]$		
a	0.81	r^2	0.38
a_1	-0.20	% of r^2 Ca^{2+} 'la açıklanan	25
a_2	5.50	% of r^2 Mg^{2+} 'la açıklanan	0.0
a_3	0.94	% of r^2 NH_4^+ 'la açıklanan	75
Nitrat	$[NO_3^-] = b + b_1[Ca^{2+}] + b_2[Mg^{2+}] + b_3[NH_4^+]$		
b	1.0	r^2	0.11
b_1	-0.02	% of r^2 Ca^{2+} 'la açıklanan	8.0
b_2	-4.9	% of r^2 Mg^{2+} 'la açıklanan	52
b_3	0.36	% of r^2 NH_4^+ 'la açıklanan	40



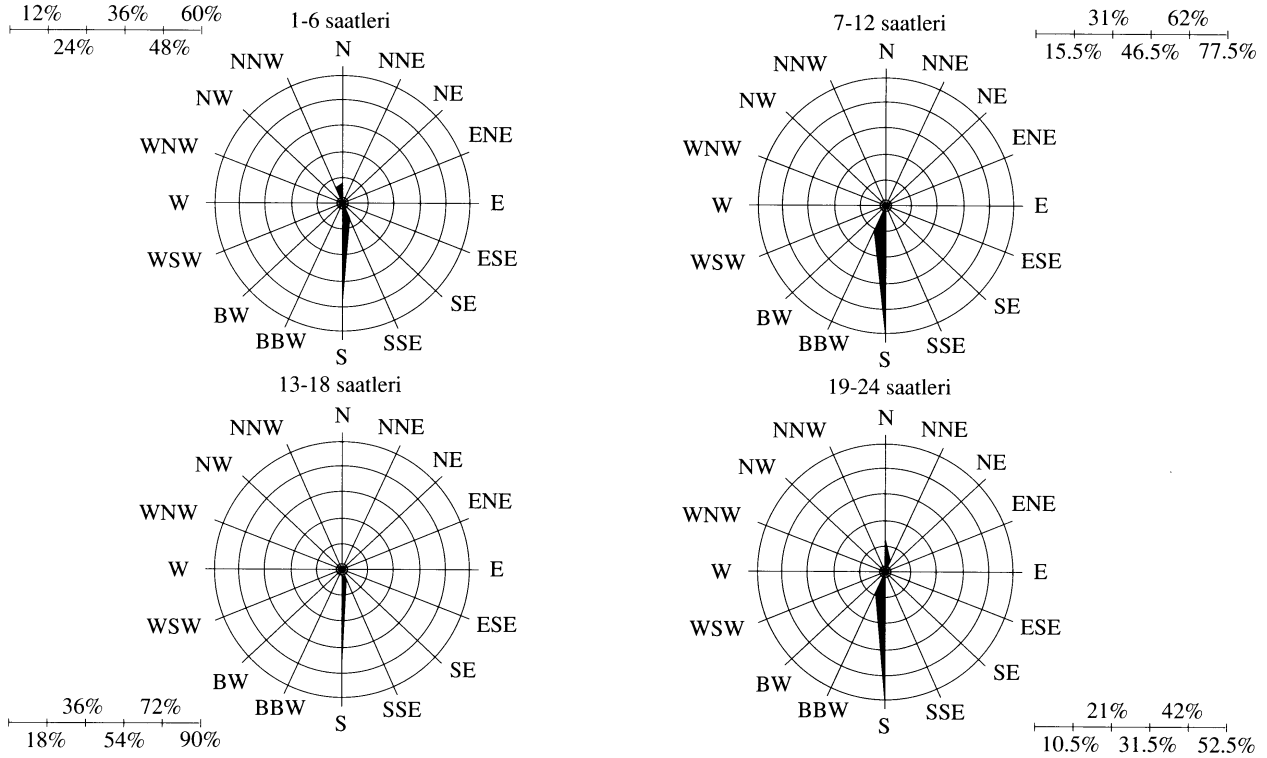
Şekil 3. $(Mg^{2+} + Na^+)$ Karşı Cl^- Regrasyon Grafiği

Burada, F_j sektör j'deki rüzgarların frekansı, C_{ik} parametre k'nın örnekleme süresi boyunca derişimi, C_{kj} parametre k'nın rüzgar sektörü j'de bütün örneklerdeki ortalama derişimi, C_k parametre k'nın bütün örneklerdeki ortalaması ve N'de toplam gözlemlene sayısıdır. Benzer hesaplamalar Vossler ve arkadaşları²⁰ tarafından da yapılmıştır. Hesaplamaların sonuçları Tablo 7'de % katkı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi, bütün parametrelere en büyük katkıyı güney yönleri yapmıştır. Güney rüzgarları örnekleme istasyonunun 40 km güneyinde bulunan bir termik santralin emisyonlarını taşımaktadır. Güney rüzgarları bütün parametrelerin derişimlerine en büyük katkıyı yapmasına rağmen, bu diğer kaynak bölgelerin zayıf olduğu anlamına gelmez. Tablo 7'de elde edilen sonuçlar, Şekil 4'te de görüldüğü gibi, rüzgar frekansının bu yönde yüksek olmasındandır. Tablo 6'ya bakarsak ortalama SO_4^{2-} derişimi en fazla Kuzey ve Kuzeydoğu yönlerindedir.

Bu yönlerden esen rüzgarlar şehir ve endüstri aerosollerini örnekleme alanımıza taşımaktadır. Amonyum iyonu derişimi de Kuzey Kuzeydoğu yönünde en fazladır. Çünkü bu yöndeki alanlarda yoğun bir şekilde ziraat yapılmaktadır. Fakat bu yöndeki rüzgarların esme frekansının küçük olması, yüzde katkısının küçük olmasıyla sonuçlanır.

Tablo 6. Ölçülen Parametrelerin Değişik Rüzgar Sektörlerindeki Ortalama Konsantrasyonları ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Rüzgar Yönü	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	AKM
KKB	0.14 ± 0.090	0.37 ± 0.35	0.84 ± 0.37	0.66 ± 0.26	0.090 ± 0.060	0.53 ± 0.31	0.05 ± 0.04	1.3 ± 0.68	10 ± 8.5
K	1.0 ± 0.89	1.2 ± 0.68	5.0 ± 4.3	1.8 ± 0.98	1.15 ± 0.070	0.83 ± 0.09	0.12 ± 0.04	1.1 ± 0.95	16 ± 4.8
KKD	0.11	1.2 ± 0.74	4.2 ± 1.8	3.3 ± 0.20	0.26 ± 0.17	0.86 ± 0.21	0.13 ± 0.02	1.9 ± 1.4	12 ± 2.0
GGD	0.33 ± 0.33	0.94 ± 1.1	1.5 ± 1.1	0.82 ± 0.61	0.090 ± 0.070	0.34 ± 0.28	0.05 ± 0.03	2.6 ± 2.9	29 ± 70
G	0.31 ± 0.36	1.2 ± 1.5	1.8 ± 1.2	0.82 ± 0.71	0.13 ± 0.31	0.60 ± 1.5	0.05 ± 0.04	1.3 ± 1.5	33 ± 37
GGB	0.41 ± 0.51	0.82 ± 0.61	2.5 ± 1.5	1.4 ± 0.92	0.21 ± 0.17	1.2 ± 1.3	0.09 ± 0.05	1.8 ± 1.5	15 ± 7.4



Şekil 4. Örnekleme Alanındaki Genel Rüzgar Modelleri ve Rüzgar Sektörleri

Sonuçlar

Ortalama derişimlere bakıldığında, SO_4^{2-} aerosol kütlelerinin en büyük yüzdesine sahiptir. Aerosol kimyasında mevsimsel değişimler gözlenmektedir. Yerkabuğu kökenli elementler (Ca ve K) ve SO_4^{2-} sonbahar mevsiminde en yüksek değerlerine sahiptirler. Nitrat iyonunun derişimi de ilkbaharda en yüksek düzeydedir.

İyon dengesinde gözlenen anyon eksikliğinin, ağaçlardan gelen organik asitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sülfat ve nitrat gibi anyonların Ca^{2+} , Mg^{2+} ve NH_4^+ 'la kuvvetli bir ilişki vermemesi onların çoğunlukla H_2SO_4 ve HNO_3 formunda olduklarını ifade etmektedir.

Tablo 7. Derişimlere Farklı Rüzgar Sektörlerinin Yüzde Katkısı .

Parametreler	Rüzgar Yönü					
	KKB	K	KKD	GGD	G	GGB
Mg ²⁺	3.5	2.8	2.5	14	45	31
Na ⁺	1.6	3.3	1.7	12	45	37
K ⁺	2.1	6.1	2.6	18	43	28
Ca ²⁺	2.3	1.0	1.7	32	39	24
NH ₄ ⁺	1.0	7.0	5.1	20	40	26
Cl ⁻	0.40	11	0.10	19	46	23
NO ₃ ⁻	0.70	4.0	1.6	19	59	16
SO ₄ ²⁻	0.90	8.5	2.8	16	47	25
AKM	1.0	1.9	0.60	23	62	11

Temel katkı kaynak bölgeleri güney ve kuzey yönlerindedir. Rüzgar modellerinde ise, güney yönlerinden esen rüzgarların frekansının yüksek olduğu bulunmuştur.

Kuzey rüzgarlarının estiği yönlerde de kuvvetli kaynak bölgeleri olmasına karşın, o yönlerden esen rüzgarların frekansları az olduğundan, derişimlere olan katkıları da azdır. Rüzgar frekansının düşük olması istasyonun kuzeyinde yer alan kaynakların etkisini azaltmaktadır.

Teşekkür

Yazarlar, finans desteğinden dolayı TÜBİTAK'a ve örnekleme süresince yardımlarından dolayı Prof. Dr. U. Özer ve A. Baykal'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

1. D. Sopauskiene ve D.Budvytyte, **Atmospheric Environment**, **28**, 1291-1296,(1994).
2. P.H. Daum, T.J.Kelly, R.L. Tanner, X. Tang, K. Anlauf, J. Bottenheim, K. A. Brice ve H. A. Wiebe, **Atmospheric Environment**, **23**, 161-173,(1989).
3. V.A. Dutkiewicz, J.A.Halstead, P.P.Parekh,A.Khan ve L.Husain, **Atmospheric Environment**, **17**, 1475-1482,(1983).
4. W.R. Pierson, W.W. Brachaczek, R.A. Gorse, S.M. Japar, J.M. Norbeck ve G.J. Keeler, **Environ.Sci. Technol.**, **21**, 679-691,(1987).
5. S.G. Tuncel, S. Üngör, M. Yatın, N.K. Aras ve G. Tuncel, **Proceedings of an International Symposium on Application of Isotopes and Radiation in Conservation of the Environment**, Karlsruhe, Almanya, Mart, pp.459-478,(1992).
6. M. Yatın, S.G. Tuncel, N.K. Aras ve G. Tuncel, **J. Radiational and Nuclear Chem.**, **181**, 401-411,(1994).
7. A.Y. Ali-Mohamed, **Atmospheric Environment**, **25B**, 397-405,(1991).
8. C.A. Pio, I.M. Santos, T.D. Anacleto ve T. V. Nunes, **Atmospheric Environment**, **25A**, 669-680,(1991).
9. G. Hacısalihoğlu, F. Eliyakut, I. Ölmez, T.I. Balkaş ve G. Tuncel, **Atmospheric Environment** **26A**, 3207-3218, (1992).
10. G. Güllü, Ph. D. Thesis in Environmental Engineering. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences.

11. T.N. Mahadevan, B.S. Negi ve V. Meenakshy, **Atmospheric Environment**, **23**, 869-874,(1989).
12. G. Tuncel, N.K. Aras ve W.H. Zoller, **J. Geophys. Res.**, **94**, 13,035,(1989).
13. J. Crawley ve H. Sievering, **Atmospheric Environment**, **20**, 1001-1013 (1986).
14. P.G. Brewer, Minor elements in sea water, R. Chester (Ed.), Chemical oceanography, Vol 1., Academic Press, New York, pp.417-425,(1975).
15. W.C. Keene ve J.N. Galloway, **Atmospheric Environment**, **18**, 2491-2497,(1984).
16. S.F. Guiang, S.V. Krupa ve G.C. Pratt, **Atmospheric Environment**, **18**, 1677-1682,(1984).
17. W.C. Keene, J.N. Galloway ve J.D. Holden, **J. Geophys. Res.**,**88**, 5122-5130,(1983).
18. A.N. Kitto ve R.M. Harrison, **Atmospheric Environment**, **26A**, 2389- 2399,(1992).
19. R.L. Tanner, **Atmospheric Environment**, **16**, 2935-2942,(1982).
20. T.L. Vossler, C.W. Lewis, R.K. Stevens, G.E. Gordon, S.G. Tuncel, G.M. Russwurm ve G.J. Keeler, **Atmospheric Environment**, **23**, 1535-1547,(1989).