

100 835

İSTANBUL'DA ASİT YAĞIŞLARI, KAYNAKLARI VE ETKİLERİ

TC YÜKSEKÖĞRETİM
DOKÜMANASYON

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Hüseyin TOROS
511940021012

100835

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Mart 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Eylül 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Orhan ŞEN (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Selahattin İNCECİK (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mehmet KARACA (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Doğan KANTARCI (İ.Ü.)

Prof.Dr. Ulviye ÖZER (U.Ü.)

EYLÜL 2000

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, özel olarak tasarlanan yağış ölçüm aletleri ile Maslak ve Belgrad Ormanında alınan yağış örnekleri analiz edilerek asit yağışları incelenmiştir. Ayrıca asit yağışlarının oluşumu, etkileri ve olası kaynakları, yağışların geri yönde yörüngeleri incelenerek saptanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları hava kirliliği ile çalışanlara, tarım alanlarının ve ormanların korunması ile ilgili çalışmalara ışık tutacağı kanaatindeyiz.

Bu çalışmayı yöneten ve büyük destek olan sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Orhan ŞEN'e katkılarından dolayı sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarına sürekli yardımlarından dolayı Sayın Prof. Dr. Zekâi ŞEN'e, yardımlarını esirgemeyen ve analizlerin yapılmasını sağlayan başta sayın Prof. Dr. Gürdal Tuncel olmak üzere ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı çalışanlarına, ölçümlerdeki katkılarından ve yapıcı yorumlarından dolayı Prof. Dr. Doğan Kantarcı'ya ve İÜ Orman Fakültesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilimdalı elamanlarına, hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eylül 2000

HÜSEYİN TOROS

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu İle İlgili Yapılan Araştırmalar	2
1.2. İstanbul ve Çevresinin, Coğrafi, Topografik ve Endüstriyel Özellikleri	6
2. HAVA KİRLİLİĞİ VE ASİT YAĞIŞLARI	10
2.1. Hava Kirliliği	10
2.2. Hava Kirliliği Kaynakları	10
2.2.1. Alansal Kaynaklar	10
2.2.2. Çizgisel Kaynaklar	11
2.2.3. Noktasal Kaynaklar	11
2.3. Kirleticiler	13
2.3.1. Kükürt Oksitler (SO_x)	14
2.3.2. Azot Oksitler (NO_x)	16
2.3.3. Karbon Monoksit (CO)	16
2.3.4. Hidrokarbonlar (HC)	17
2.3.5. Asılı Parçacıklar	17
2.4. Hava Kirliliğinin Uzun Mesafelere Taşınımı	18
2.5. Asit Yağışları	19
2.6. Çözelti Asitliliği	20
2.7. İletkenlik	24
2.8. Asit Yağışlarının Etkileri	24
2.8.1. Asit Yağışlarının Su Ekosistemlerine Etkisi	24
2.8.2. Asit Yağışlarının Kara Ekosistemlerine Etkisi	25
2.8.3. Asit Yağışlarının Toprağa Etkisi	26
2.8.4. Asit Yağışlarının Yapılara Etkisi	26

2.8.5. Asit Yağışlarının Bitkiler ve Orman Alanları Üzerindeki Etkisi	26
2.8.6. Asit Yağışlarının İnsan Sağlığına Etkisi	29
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. Araştırma Bölgesi	31
3.2. Veri Toplama	32
3.3. Kimyasal Analiz	34
3.4. Meteorolojik Veri	35
3.4.1. Yörünge Analizi	42
3.4.2. Akım Çizgileri	42
3.4.3. Yörünge Analizi Yapılışı	43
3.4.4. Düşey Kesit Analizi	45
3.4.5. Uydu Resimleri	47
4. YAĞIŞ VERİSİ ANALİZİ	49
4.1. Yağış Sütü İlişkisi	50
4.2. Yağış Geliş Yönleri	59
4.3. Korelasyon Değerleri	69
4.4. İletkenlik Değişimi	73
4.5. Asitliliğin Nötrleşmesi	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	83
EKLER	91
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

İTÜMK	: İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsü
İÜOFAO	: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanı
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
EMEP	: European Monitoring and Evaluation Program
WHO	: World Health Organisation
UNEP	: United National Environmental Program
GAW	: Global Atmosphere Watch
WMO	: World Meteorology Organisation
MERA	: Marine Education Research Association
EPA	: Environmental Protection Agency
GMT	: Greenwich Meridian Time
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. İstanbul Göztepe Meteorolojik verilerin ortalama değerleri	8
Tablo 2.1. Küresel olarak 1989 yılı baz alınarak yapılan kükürt oksit ve azot oksit emisyon tahminleri	14
Tablo 2.2. 1993 yılı tahminlerine göre Avrupa ülkelerinin kükürt dioksit ve azot oksit emisyonları ve bunların birikmeleri	15
Tablo 2.3. Gaz halindeki hava bileşiklerinin sınıflandırılması.	18
Tablo 2.4. 25 °C 'de 1 litre çözeltide hidrojen iyonu değişimi.....	21
Tablo 2.5. Bitki sistemine etkide bulunan hava kirleticileri.....	27
Tablo 4.1. Yağışların kaplara göre dağılımı ve asitlilik oranları.....	50
Tablo 4.2. İTÜMK istasyonunda kaplardaki örnek sayıları ve değişik aralıklarda pH değerlerinin dağılımı.....	51
Tablo 4.3. İTÜMK sıralı örnek ortalamaları ve 6. kaptakine oranları.....	52
Tablo 4.4. İTÜMK sıralı örnekler ortalamaları, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri.....	53
Tablo 4.5. İÜOFAO sıralı örnekler ve 6. kap ortalamaları, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri.....	54
Tablo 4.6. İTÜMK 1. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	55
Tablo 4.7. İTÜMK 2. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	56
Tablo 4.8. İTÜMK 3. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	56
Tablo 4.9. İTÜMK 4. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	56
Tablo 4.10. İTÜMK 5. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	57
Tablo 4.11. İTÜMK 6. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	57
Tablo 4.12. İTÜMK A yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri	59
Tablo 4.13. İTÜMK B yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.....	60
Tablo 4.14. İTÜMK C yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.....	60
Tablo 4.15. İTÜMK D yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.....	60
Tablo 4.16. İTÜMK E yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.....	61
Tablo 4.17. İTÜMK H yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.....	61
Tablo 4.18. İTÜMK yağış analizleri yönlere göre ortalamalar, standart sapmalar, en büyük ve en küçük değerler.....	62
Tablo 4.19. İTÜMK istasyonunda yağışın toplandığı kaplar geldiği yönler ve yüzdeleri.....	62
Tablo 4.20. İTÜMK istasyonu günlük ortalama değerleri.....	63
Tablo 4.21. İTÜMK kaplara göre ortalamaların toplam ile oranları.....	66
Tablo 4.22. İTÜMK yönlere göre ortalamaların toplam ile oranları.....	66

Tablo 4.23. Verilerin dağılımları için kullanılan Kolmogorow-Smirnov test sonuçları.....	67
Tablo 4.24. İTÜMK günlük ortalama değerler için korelasyon matrisi.....	69
Tablo 4.25. İTÜMK yağışlarının genel ve ayrıca günlük ortalama değerlerin yön ve kaplara göre korelasyonları.	70
Tablo 4.26. Asitliliğin nötralleşmesi ($H^+/(SO_4^{2-} + NO_3^-)$).....	76
Tablo 4.27. Değişik istasyonlarda yağış içindeki ana iyon konsantrasyonları..	78



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : İstanbul'da asit yağışı ölçüm istasyonları.....	7
Şekil 2.1 : Bir çözeltide pH değişim ölçeği.....	20
Şekil 2.2 : Asit yağışlarının oluşumu.....	23
Şekil 3.1 : Ölçümlerde kullanılan sistemden görüntüşler.	33
Şekil 3.2 : SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- iyonlarının analizinde kullanılan iyon kromatografi aleti.	35
Şekil 3.3 : Araştırma bölgesinde meydana gelen yağışın geliş yönleri.	36
Şekil 3.4 : 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, yer kartı 00.00 ve 12.00 GMT ve eş sıcaklık eğrileri ($^{\circ}\text{C}$).	37
Şekil 3.5 : 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, 850 mb 00.00 ve 12.00 GMT eş yükselti eğrileri (gpm) ve eş sıcaklık eğrileri ($^{\circ}\text{C}$).	38
Şekil 3.6 : 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, 700 mb 00.00 ve 12.00 GMT eş yükselti eğrileri (gpm) ve eş sıcaklık eğrileri ($^{\circ}\text{C}$).	40
Şekil 3.7 : 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, 500 mb 00.00 ve 12.00 GMT eş yükselti eğrileri (gpm) ve eş sıcaklık eğrileri ($^{\circ}\text{C}$).....	41
Şekil 3.8 : 2-4 Şubat 1998 tarihlerinde eşdeğer potansiyel sıcaklıkve karışma oranı düşey kesiti.	46
Şekil 3.9 : 2-4 Şubat 1998 tarihlerinde potansiyel sıcaklık ile rüzgar yönü düşey kesiti.	46
Şekil 3.10 : 2-4 Şubat 1998 tarihleri arası 6 saat aralıklarla uydu resimleri ve bulutluluk yörüngesi.	48
Şekil 4.1 : İTÜMK günlük ortalama analiz sonuçlarının kaplara göre değişimi.	58
Şekil 4.2 : İTÜMK yağışlarında pH, iletkenlik ve iyonların günlük ortalama değerlerinin yönlere değişimi.	65
Şekil 4.3 : İTÜMK istasyonunda alınan örneklerin pH değerleri.	67
Şekil 4.4 : pH, iletkenlik, anyon ve kotyonların sıklık diyagramları.	68
Şekil 4.5 : İTÜMK toplam anyon ve katyonların ($\mu\text{eq/l}$) dağılımı.	71
Şekil 4.6 : İÜOFAO toplam anyon ve katyonların ($\mu\text{eq/l}$) dağılımı.	71
Şekil 4.7 : İTÜMK istasyonunda alınan örneklerin iletkenlik değerlerinin değişimi.	72
Şekil 4.8 : Ölçüm verilerine göre iletkenlik ile iyonlar arasındaki değişim. . .	73
Şekil 4.9 : SO_4^{2-} ($\mu\text{eq/l}$) ve NO_3^- ($\mu\text{eq/l}$) değişim grafiği.....	74
Şekil 4.10 : ($\text{SO}_4^{2-}+\text{NO}_3^-$) ($\mu\text{eq/l}$) ve ($\text{H}^++\text{Ca}^{2+}+\text{NH}_4^+$) ($\mu\text{eq/l}$) değişim grafiği.	75
Şekil 4.11 : Na^+ ($\mu\text{eq/l}$) ve Cl^- ($\mu\text{eq/l}$) değişim grafiği.....	77
Şekil A.1 : Ölçüm sonuçlarına göre pH değerlerinin yönlere göre değişimi.	92
Şekil A.2 : Ölçüm sonuçlarına göre iletkenlik değerlerinin yönlere göre dağılımı ($\mu\text{S/cm}$).....	92
Şekil A.3 : Ölçüm sonuçlarına göre SO_4^{2-} iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).	93

Şekil A.4	: Ölçüm sonuçlarına göre NO_3^- iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).	93
Şekil A.5	: Ölçüm sonuçlarına göre Cl^- iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).	94
Şekil A.6	: Ölçüm sonuçlarına göre Mg^{2+} iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).....	94
Şekil A.7	: Ölçüm sonuçlarına göre Ca^{2+} iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).	95
Şekil A.8	: Ölçüm sonuçlarına göre Na^+ iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).....	95
Şekil A.9	: Ölçüm sonuçlarına göre NH_4^+ iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı (mg/l).....	96
Şekil A.10	: Ölçüm sonuçlarına göre K^+ iyon konsantrasyonunun yönlere göre dağılımı(mg/l).....	96



SEMBOL LİSTESİ

SO_x	Kükürt oksitleri
SO_2	Kükürt dioksit
SO_4^{2-}	Sülfat
H_2S	Hidrojen sülfür
H_2O	Su buharı
H_2SO_4	Sülfürik asit
H_2O_2	Hidrojen peroksit
HSO_3^-	Süfit asidi
HSO_4^-	Sülfat asidi
NO_x	Azot oksitler
NO	Azot monoksit
NO_2	Azot dioksit
NO_3^-	Nitrat
NH_3	Amonyak
NH_4^+	Amonyum
HNO_3	Nitrik asit
HNO_2	Nitrit asit
H_2CO_3	Karbonik asit
OH^-	Hidroksil iyonu
O_3	Ozon
CO	Karbon monoksit
CO_2	Karbondioksit
Cl^-	Klor
Na^+	Sodyum
Mg^{2+}	Magnezyum
K^+	Potasyum
Ca^{2+}	Kalsiyum
CaCO_3	Kalsiyum karbonat
N_2	Azot
Ar	Argon
Hf	Hidrojen florür

İSTANBUL'DA ASİT YAĞIŞLARI, KAYNAKLARI VE ETKİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul yağışlarının iyon derişimlerinin zaman ve yöne bağı olarak değışimlerinin araştırılması amacıyla şehir içi ve orman alanında kurulan iki istasyondan alınan yağış örnekleri incelenmiştir.

Araştırmada Ekim 1997-Temmuz 1998 tarihleri arasında İTÜ Maslak Kampüsü ve İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanı (Bahçeköy) sahasında alınan yağış örnekleri kullanılmıştır. Yağış örnekleri özel olarak tasarlanmış sistem ile yağışın başlamasından itibaren süre kontrollü alınmıştır. Bu sisteme göre ilk on dakikadaki yağış 1. kapta, 10.-20. dakika arasındaki 2. kapta, 20.-30. dakika arasındaki 3. kapta, 30.-40. dakika arasındaki 4. kapta, 40.-50. dakika arasındaki 5. kapta, 50. dakikadan sonraki yağan yağış 6. kapta toplanmıştır.

Yağışın pH ve iletkenlik değerleri örnek alımından hemen sonra ölçülmüştür. Yağış örneklerinin iyon derişim analizleri ODTÜ Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Burada SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- Varian Model 2010 iyon kromatografisi, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} atomik emisyon, Mg^{2+} atomik absorpsiyon spektrometre ve NH_4^+ spektrofotometre cihazı ile analiz edilmiştir.

Yağışı oluşturan atmosferik sistemlerin geliş yönlerinin belirlenmesinde sinoptik haritalardan (yer kartı, 850 mb, 700 mb ve 500 mb seviye haritaları), radyozonde ve eşzamanlı uydu resimlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca zamansal düşey kesit analizi yapılarak geri yörünge yöntemine üçüncü boyut katılmıştır. Böylelikle geri yörünge tespitinde yağışlı kütlelerin seviyesindeki farklılıklardan doğacak hatalar ortadan kaldırılmıştır. Yörünge analizinde yağışlar geliş yönlerine göre 45°'lik açılar halinde 8 farklı yönde gruplandırılmıştır.

Yağışın iyon derişimleri, sürelerle ve yönlerle göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Veriler Weibull, log-normal veya üstel dağılımlar göstermektedir. İncelenen süre içerisinde 89 farklı günde meydana gelen yağışlardan % 31'i batı-güneybatı, % 24'ü kuzey-kuzeybatı, % 19'u kuzey-kuzeydoğu, % 16'sı batı-kuzeybatı, % 9'u güney-güneybatı ve % 1'i ise güney-güneydoğu yönünden gelmiştir. pH'ı düşük yani asidikliği yüksek yağışlar ise batı-kuzeybatı, batı-güneybatı ve güney-güneybatı yönlerinden gelmiştir. İletkenliğinin büyük olduğu değerler güney-güneybatı, batı-güneybatı ve kuzey-kuzeybatı yönünden gelen yağışlarda elde edilmiştir. SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} ve K^+ iyonlarının derişimleri güney-güneybatı yönünden, Ca^{2+} iyonu batı-kuzeybatı, kuzey-kuzeybatı ve güney-güneybatı yönlerinden, Na^+ iyonu güney-güneybatı ve batı-güneybatı yönlerinden, NH_4^+ iyonu ise batı-güneybatı ve batı-kuzeybatı yönlerinden gelen yağışlarda yüksek çıkmıştır. Yağış içindeki iyon derişimlerinin azalması yaklaşık ilk 10 dakikalık süreden sonra meydana geldiği görülmüştür.

İstanbul yağışları, literatür değerleri ile karşılaştırıldığında dünyanın değişik yerlerindeki ölçüm sonuçlarına göre yüksek oranda anyon ve katyon içermektedir. Bu karşılaştırmada İstanbul yağışlarında SO_4^{2-} , NO_3^- iyonu derişimleri yüksek olmasına rağmen nötralleşmeden dolayı yağışın asitliliği düşük çıkmıştır. Türkiye'de ilk defa özel olarak tasarlanmış bir sistem ile elde edilen veri analizi sonuçları, yapılacak çalışmalar ve planlamalar açısından veri tabanı oluşturacak ve bundan sonraki çalışmalara yeni ufuklar açacaktır.

ACID RAIN, SOURCES AND EFFECTS IN İSTANBUL

SUMMARY

In this study, chemical composition and ions were evaluated separately with respect to duration and direction of İstanbul rain samples. For this purpose two stations were used; one of them is located in an urban area and the other one is located in a forest area.

The rain samples taken from İTÜ Maslak Campus, the urban area, and Forest Research Area of İÜ Faculty of Forestry at Bahçeköy were analyzed. After the initiation of precipitation, the samples were collected by recording the precipitation period using a specially designed system. According to this system, the rain fall during the first ten minutes was collected in the first collecting bottle, the rain fall during 10-20 minute period was collected into second bottle, the rain fall during 20-30 minute period was collected into third bottle, the rain fall during 30-40 minute period was collected into fourth bottle, the rain fall during 40-50 minute period was collected into fifth bottle and the rest of the rain after 50 minutes was collected in sixth bottle.

The pH and conductivity were measured just after the collections. The chemical analyses of rain samples were made at the Environmental Engineering laboratory of METU. Here, the analyses were carried out by the following methods: SO_4^{2-} , NO_3^- and Cl^- ions by a Varian Model 2010 ion chromatography, Na^+ , K^+ and Ca^{2+} ions by atomic emission, Mg^{2+} ion by atomic absorption spectrometry and NH_4^+ ion by spectrophotometric method.

In order to determine the origin of rain, the trajectories of cyclones were analyzed. During the analyses of trajectories the synoptic maps (surface, 850 mb, 700 mb, 500 mb level charts), radiosounding and satellite picture were simultaneously used. In addition, time variant cross section analyses were carried out to determine third dimension for the trajectories. Hence, the error stemming from the level variations of the rain clouds were eliminated. In trajectory analysis rain samples were grouped in 8 different directions having 45° of intervals.

The results are evaluated separately with respect to duration and direction. The results include the Weibull, log-normal and exponential distributions. During the six month period, 89 rainy days were observed. After the grouping the statistics are obtained as follows: 31 % of rain came from west-southwest, 24 % from north-northwest, 19 % from north-northeast, 16 % from west-northwest, 9 % from south-southwest and 1 % from south-southeast intervals. It is found that the precipitation samples having low pH values came from west-northwest, west-southwest and south-southwest directions. The samples with high conductivity came from south-southwest, west-southwest and north-northwest directions. High content of SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} and K^+ ions came from south-southwest directions, high Ca^{2+} ion came from west-northwest, north-northwest and south-southwest intervals, high Na^+ ion came from south-southwest and west-southwest intervals and high NH_4^+ ion came from west-southwest and west-northwest intervals, respectively. Comparison of samples of the first ten minutes with the samples of 10-20 minutes indicated that, during the first ten minutes there is a considerable washing out of pollutants in the atmosphere.

Observations and the measurements indicate that there are high anion and cation concentrations in İstanbul precipitation. High SO_4^{2-} and NO_3^- concentrations are neutralized by alkaline resulting in low average acidity. Comparison with the several cities around the world led to the fact that there are higher ion concentrations in İstanbul's precipitation. The results obtained with this originally designed system are going to form a database for new studies and will open new horizons.

1. GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız yeryüzünü çevreleyen ve canlı yaşamını mümkün kılan atmosfer, ekolojik dengenin devamı için kaçınılmazdır. Yeryüzü-atmosfer dengesinin bozulmadan devam etmesi için araştırmacılar yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalar, doğadaki değişimi anlama ve dengenin devamı için gerekli uyarıları insanlara bildirmeye yöneliktir.

İnsanlar çok eski yıllardan beri yaşamlarını sürdürmek ve daha iyi yaşamak için doğada birçok nesneyi kullanmışlardır. Kömür ve petrol gibi fosil yakıtları, elektrik üretmek, endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtlar, ısınma ve benzeri amaçlar için yakılmaktadırlar. Endüstri devriminden günümüze kadar geçen sürede teknolojinin gelişmesi ve gelişen bu teknolojiler için yeni enerji kaynaklarına gereksinim duyulması insanların farkına varmadan çevrelerini kirletmelerine sebep olmuştur. Bu enerji kaynakları, genellikle kolay bulunması ve kolay kullanılması nedeniyle fosil yakıtlarıdır. Fosil yakıtlarının yanması sonucunda meydana gelen kirleticiler atmosferde değişime uğramaktadırlar.

Atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan kirlilik çeşitlerinden birisi de asit yağışlarıdır. Asit yağışları bitkilere, hayvanlara, toprağa, suya, yapı malzemelerine ve insanlara zarar verebilmektedir. Asit yağışları uzun mesafe taşınım ile binlerce kilometre uzaklara kadar etkisini gösterebilmektedir. Bu yolla oluşan kirliliğin boyutu ülkeler arasında sorun olmaya başlamış ve kirliliği önlemek amacıyla anlaşmalar imzalanmaya başlanmıştır (Rio Declaration, 1992). Herhangi bir ülkedeki kirleticiler, çok uzaklara hatta diğer ülkelere kadar büyük ölçekte meteorolojik hava hareketleri ile taşınabilir. Şayet bu tür meteorolojik hareketler önceden bilinir veya tahmin edilebilirlerse, asit yağışlarının kaynağı ve meydana gelip gelmeyeceği belirlenebilir.

İstanbul, Türkiye'nin nüfus yoğunluğu, endüstri, ticaret, motorlu araçlar ve yakıt kullanımı açısından en büyük şehridir. Coğrafik konumu ve dünya çapında etkinliği nedeniyle de çok büyük önem arz etmektedir. İstanbul için önemli çalışmalardan birisi de şehir içinde oluşan veya uzun mesafe taşınımı ile gelen hava

kirliliğidir. Hava kirliliğinin bu tür etkileri içerisinde en önemli sonuçlarından birisi ise asit yağışlarıdır. Bu nedenle asit yağışlarının belirlenmesi önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; İstanbul yağışlarının iyon derişimlerinin zamanla ve yağışın geldiğı yöne bağılı olarak değışiminin araştırılmasıdır. Bu amaçla biri şehir içi, diğeri de ormanlık alanda olmak üzere iki istasyon kurulmuştur. Bu istasyonlarda alınan yağış örnekleri kimyasal analizlere tabi tutularak incelenmiştir. Bunun yanı sıra incelenen yağışların geliş yönleri geri yönde yörünge analizi ile belirlenerek kaynak-alıcı bölge birlikteliğinin belirlenmesine çalışılmıştır.

1.1. Konu İle İlgili Yapılan Araştırmalar

Literatürde “Asit yağışı” terimi 1872 yılına kadar gitmekle beraber konu ile ilgili çalışmalar 1940’larda İsveç ve bazı Avrupa ülkelerinde izleme ağıının kurulması ile başlamıştır. 1950’lerde İsveçli bilim adamları ilk olarak göllerde asitlilik ($pH < 5.0$) olduğunu saptamışlardır (Cowling, 1982; Walk and Godfrey, 1990). 1955’de İngiltere’de asit yağışları ölçülmüştür. 1960’lı yıllarda bilim adamları bazı göllerde balık nüfusunun azalmaya başladığını tespit etmişler ve bunun nedeninin asit yağışları olduğunu bulmuşlardır (Walk and Godfrey, 1990). Ayrıca 1972 Birleşmiş Milletler Çevre Konferansında asit yağışlarının bölgesel olmadığı vurgulanmıştır. 1980’li ve 1990’lı yıllarda dünyanın değışik ülkelerinde bu konu ile ilgili çok sayıda araştırmalar mevcut olmasına rağmen ülkemizde sınırlı sayıda kalmıştır. Dünyada gelişmekte olan ülkelerin en büyük çevre problemi hava kirliliğidir (Mage, et al., 1996). WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı) ve UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) küresel hava kirliliğı izleme ağı oluşturmıştır. Bu ağı dünya çapında gelişmiş veya gelişmekte olan 35 ülkeyi kapsamaktadır. Nüfusu 10 milyonun üzerinde olan 25 büyük şehirden 20’sinde hava kirliliğı konsantrasyonunun ciddi sağlık problemleri oluşturacağı yapılan bu çalışmada belirtilmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde nüfusu hızla artan şehirler; hava kirliliğini önleyici tedbirler alınmadığı takdirde, gelecek yıllarda çok ciddi hava kirliliğı problemi ile karşılaşacaklardır. Yağışın, atmosferi ve yeryüzünü yıkaması ve temizlemesi nedeniyle yağış suyunda bol miktarda organik maddeler, bakteriler, metaller ve diğeri maddeler bulunmaktadır (Avco, 1970; Malmqvist, 1977; Randall et al., 1981; Ng, 1987). Asit yağışları ile ilgili yapılan bir çok çalışma Gatz (1991) tarafından özetlenmiştir. Bu çalışmaya göre asit yağışları ile 1962-1987 yılları arasında 34

makale yayınlanmıştır. Bunlardan 21 tanesi ABD'de, 8 tanesi Avrupa ve İskandinavya'da yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunluğu, şehirlerde olmak üzere kısmen şehir ve kırsal alanlarda yapılmıştır. Örnekleme alanları 1 km² ile 140 km² arasında değişmektedir. Çalışmalarda ortalama olarak 10 örnek alma istasyonu kullanılmıştır. Bu çalışmalardan 23 örnek alma istasyonunda sürekli açık kaplardan, 13 istasyondan ise ıslak yöntemle, iki tanesinde ise kar örneği alınarak yapılmıştır. Örnek alma periyotları çok değişmekle birlikte, genellikle bir yağış olayından örnek alınarak yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle anorganik anyonlara (SO₄²⁻, NO₃⁻ ve Cl⁻) ve katyonlara (Na⁺, Mg²⁺, K⁺, ve Ca²⁺) bakılmıştır. Bazı çalışmalar ise sadece pH değerine bakmakla sınırlı kalmıştır.

Chicago şehir merkezinde ve yarı kırsal alanda Haziran 1981 ile Mayıs 1982 yılları arasında yağış örnekleri incelenerek geniş şehir alanlarından çıkan emisyonlarının bölgesel yağış kimyasına etkisi araştırılmıştır (Sisterson and Shannon, 1990). Buna göre şehirlerde Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, NO₃⁻ ve Cl⁻ fazla oranlarda, Na⁺ ve SO₄²⁻ birbirlerine yaklaşık eşit olup, H⁺ ise daha az bulunmuştur. Fransa'da geniş alanda MERA/WMO-GAW ağı kullanılarak 13 kırsal istasyonda yağış örnekleri toplanmıştır (Plaisance et al., 1996). Üç coğrafi bölgede aritmetik ortalama esas alınarak kimyasal bileşim belirlenmiş ve sonuçlar 4 kategoride incelenmiştir. Karasal istasyonlardaki ölçüm sonucunda denizin yağış kimyasından çok etkilendiği bulunmuştur. Tomakomai'de yapılan bir çalışmada ağaç altında pH değerinin açık hava yağış pH'sından fazla olduğu görülmüştür (Shibata and Sakuma, 1996). Hırvatistan'ın ormanlık bölgesinde mezo ölçekli günlük yağış örneklerinin kimyasal bileşeni analiz edilmiştir. Amazon ormanları içindeki Calado gölünde Temmuz 1989-Haziran 1990 tarihleri arasında 210 adet yağış ölçümü yapılmıştır. Yağışın şiddetine göre örnekler sınıflandırılarak bunlardan 95 adeti analiz edilmiştir. Ana iyon konsantrasyonlarının orajlı sağanak yağış sistemiyle zayıf ilişkide olduğu bulunmuştur. Yağışın kimyasal konsantrasyonunun anız yakmalarından belirgin olarak etkilenmediği bununla birlikte 1984-90 yılları arasındaki orman tahribinden ise etkilendiği görülmüştür. Asit yağışlarının öncelikle organik asitlerden oluştuğu söylenmiştir (Michael et al., 1997).

Avrupa'da asit yağışları ile ilgili olarak çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. İsveç başta olmak üzere İskandinav ülkeleri, İngiltere ve Orta Avrupa ülkelerinde asit yağışları hakkında yoğun araştırmalar yapıldığı görülmektedir (Gatz, 1991). EMEP (Avrupa ölçme ve değerlendirme programı) modelinin de kullanıldığı uzun

mesafe taşınımının dikkate alındığı Avrupa asitlilik ve amonyum haritaları hazırlanmıştır (Buijsman and Erisman, 1986). Asitliliğe neden olan değişik bileşenlerin 1989 yılı yağış konsantrasyonları, ülkelerin ilgili organizasyonlarından ve EMEP veri tabanından faydalanılarak yağ yağış veri dağılımı hazırlanmıştır. Avrupa'da 824 istasyon verileri dikkate alınmıştır. Geniş veri ağı ile 50x50 km ölçeğinde, sülfat, nitrat, amonyum, hidrojen, sodyum, magnezyum, potasyum ve kalsiyum haritası hazırlanmıştır (Leeuwen et al., 1996). Fransa'nın güneyinde 10 ayrı istasyonda Kasım 1991 ve Mart 1992 tarihleri arasında toplanan yağış örneklerinde anyon (SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^-), katyon (Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , K^+ , ve Ca^{2+}), pH ve iletkenlik ölçülmüştür. Sonuçta şehir merkezlerinde yağış miktarı az, fakat ana iyon konsantrasyonları fazla çıkmıştır. Şehir merkezlerinde pH değeri düşük çıkarken kırsal alanlarda daha yüksek çıkmıştır. Bunun şehir yakınlarındaki CaCO_3 kaynağını teşkil eden toprak yapısından kaynaklandığı varsayılmıştır (Sanusi et al., 1996). İngiltere'nin kuzeyinde kırsal alanda küçük ölçekte yağışın kimyasal kompozisyonunun nasıl değiştiğini belirlemek için geniş hacimli yağış toplama kapları ile 10 ayrı noktada ölçümler yapılarak yağışın kimyasal bileşenlerinin haritaları çıkarılmıştır (Raper, 1996). 1989 ve 1990 yılları yaz aylarında, Hindistan'da yapılan bir çalışmada, yağmur suyu ile akışa geçen suyun analizleri yapılmış ve yağış suyunun, selden 10 defa daha asidik olduğu görülmüştür (Rao et al., 1995).

Türkiye'deki çalışmalarda İzmir sanayi bölgesi yakınında yağışların kimyasal analizi araştırılmıştır (Al-Momani ve diğ., 1995a). İzmir büyük bir yerleşim ve sanayi şehri olduğu için burada aerosol değişimi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır (Şen, 1988). Bu çalışmada makro ölçekteki meteorolojik parametrelerin etkili olduğu görülmüştür. Antalya bölgesinde kuru ve yağ ana iyon bileşenleri araştırılmıştır (Al-Momani ve diğ., 1995b). Ankara'da Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Çevre Mühendisliği binası çatısında Eylül 1989 ve Mayıs 1990 tarihleri arasında 27 günlük yağış örnekleri toplanmıştır. Burası şehir merkezinden 10 km mesafede ve ana kirlenici kaynaklarından uzaktır. Toplanan yağışların pH değeri ölçümü yerinde okunmuş ve parçacıklar süzülerek polietilen kaplara doldurulmuştur. Laboratuvarda alınan numunenin katyon (H^+ , Ca^{2+} , NH_4^+) ve anyon (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda yağışların % 23'ünde pH değerinin 5.6'nın altında olduğu belirlenmiştir. Ankara yağışlarında sülfat, nitrat ve kalsiyum iyon derişimleri fazladır. Ortalama değerleri sırasıyla 150, 62 ve 210 $\mu\text{eq/l}$ 'dir (Tuncel ve Ungör, 1996). Marmara bölgesi Kaz dağlarında yapılan bir araştırmada ise asit yağışlarının

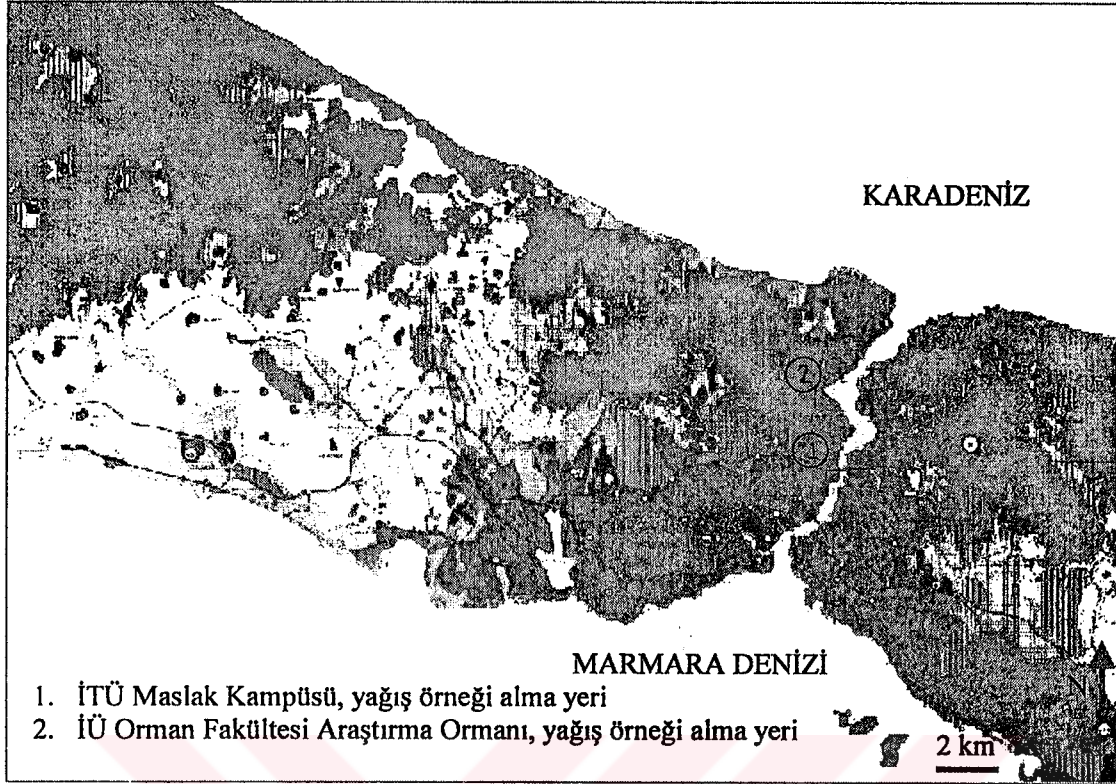
özellikle bir çam (*P.nigra*) türünde olmak üzere yaprak yanıklarına neden olduğu tespit edilmiştir (Bayçu, 1997).

Akdeniz kıyısında Antalya'nın 20 km batısındaki bir noktada günlük yağış örnekleri alınmıştır. Yağışın kimyasal yapısını belirlemek amacıyla element ve iyon içeriği 1992 ve 1994 yılları arasında araştırılmıştır (Al-Momani ve diğ., 1998). Denize yakınlığı nedeniyle deniz tuzu elementleri ve uzun süren kuru yaz mevsiminde toprak bağlantılı elementlerin konsantrasyonları yüksek bulunmuştur. Dünyada bazı yerlerdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında buradaki SO_4^{2-} , NO_3^- 'ün yüksek olmasına rağmen H^+ iyonu nötralleşmeden dolayı düşük çıkmıştır. Element ve iyon konsantrasyonlarında kısa (günlük) ve uzun (mevsimlik) dönemde belirgin değişiklikler gözlenmiştir. Kışın daha kuvvetli rüzgar nedeniyle Na ve Cl gibi tuz bağlantılı element konsantrasyonu artmıştır. Yaz döneminde ise Afrika'dan gelen toz ile beraber yörede toprak işlenmesi ve toprağın kuru olması nedeniyle Bölgesel Al^{3+} ve Fe^{3+} gibi toprak kaynaklı iyonların konsantrasyonları fazla çıkmıştır (Al-Momani ve diğ., 1998). Feneryolu ağaçlandırma alanında yapılan bir araştırmada kuzey rüzgarları ile gelen yağışların pH değeri 4.2-4.5 arasında, güney batıdan esen rüzgarlarla gelen yağışların ise 6.0-7.0 arasında çıkmıştır. Aynı çalışmada Çobançeşme fidanlığında kuzey rüzgarları ile gelen yağışların reaksiyonları 6.0-6.5 pH arasında iken, güney batıdan esen rüzgarla gelen yağışlarda pH değeri 4.2-4.6 arasında ölçülmüş ve bunun nedeni olarak yağış geliş yönlerindeki tozlardan dolayı yağışların nötr oluşu vurgulanmıştır (Kantarıcı, 1986). Ocak ile Kasım 1996 tarihleri arasında Göztepe, Florya ve Bahçelievlerde yapılan ölçümlerdeki yağışların çoğunluğunda pH değeri 5.6'nın üzerinde çıkmıştır (Gülsoy ve diğ., 1997). Yağış pH değerinin kalsiyum ve amonyum iyonları tarafından nötralleştiği belirtilmiştir. Kantarıcı (1986, 1995) tarafından yapılan çalışmalarda asit yağışlarının bitkiler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri belirtilmiştir. İncecik (1996) tarafından İstanbul'un değişik bölgelerinde SO_2 ve toplam asılı parçasık konsantrasyonlarının yoğun olduğu dönemler araştırılmıştır. 1985-1991 döneminde 1989 Kasım ayından sonra yoğun kirlilik meydana gelmiştir. Bu yoğun kirlilik düşük rüzgar hızı ve yüksek basınç sistemi enversiyonu ile açıklanmıştır. Bu incelemede hava kirliliğinin Avrupa yakasında Asya yakasından daha fazla olduğu görülmüştür. İstanbul'da Şen (1995) tarafından yapılan bir çalışmada toplamalı semivariogram tekniği ile kirleticilerin dağılımı araştırılmış ve bu çalışmada SO_2 'nin oksitlenerek sülfürik asit meydana getirdiği vurgulanmıştır.

Kuzeydoğu Atlantik'te deniz yüzeylerindeki havada emisyon değerleri üzerine yapılan çalışmalar daha önce tahmin edilen rakamların çok üstünde çıkmıştır. 1995 yılı rakamları ile bu emisyon miktarı 1.37 milyon ton kükürt dioksit ve 1.94 milyon ton azot oksit şeklindedir (Acid News, 1997). İstanbul boğazından geçen yük tankerlerinin sayısının artması durumunda hava kirliliği açısından tehlike taşıyacaktır. Gemilerden çıkan bilhassa azot oksit ve kükürt dioksit emisyonu boğazda yüksek olan su buharı birleşmesinden oluşacak çığ şeklindeki asit yağışlarının İstanbul boğazının her iki kenarındaki az kalmış bulunan yeşil alanlara ve tarihi binalara zarar verebilecektir.

1.2. İstanbul ve Çevresinin, Coğrafi, Topografik ve Endüstriyel Özellikleri

İstanbul, Türkiye'nin kuzey batısında yer alan Avrupa ve Asya kıtalarının birleştiği bir konumdadır. Marmara Bölgesi'nde yer alan ve İstanbul Boğazı'nın iki tarafından hem Avrupa hem de Asya toprakları üzerinde yayılan, Marmara Denizi'ne ve Karadeniz'e kıyısı olan İstanbul 41 °N enlemi ve 29 °E boylamında yer almaktadır. İstanbul son yüzyıl içinde hızla nüfus ve endüstri yönünden büyüyen bir şehirdir. Türkiye'nin en büyük şehri ve aynı zamanda başta gelen ticaret, sanayi, kültür ve sanat merkezidir. Karadeniz'i Marmara denizine bağlayan boğaz, şehri Avrupa ve Asya yakası olmak üzere ikiye bölmüştür. 1950 yılında bir milyonun altında olan nüfus 1997 sayımlarında 9 milyonu aşmıştır. 1997 sayımlarına göre İstanbul'da 1.151.817 motorlu kara taşıtı bulunmaktadır (DİE, 1999). İstanbul'da endüstri dağınık olmakla beraber Avrupa yakasında Kağıthane, İkitelli, Beylikdüzü ve Çorum hattında yoğunlaşmıştır. Asya yakasında ise Maltepe, Tuzla ve Gebze hattında yoğunlaşmıştır. İstanbul'un kuzey doğusunda yer alan Maslak önemli bir ticaret merkezidir. Belgrad ormanı ise İstanbul'un oksijen yönünden akciğerlerini oluşturmaktadır. Şekil 1.1'de İstanbul ve çevresi ile birlikte araştırma istasyonları görülmektedir.



Şekil 1.1: İstanbul'da asit yağışı ölçüm istasyonları.

Araştırma bölgesine yakın meteoroloji istasyonlarında Kireçburnu boğaz kenarında yer almakta ve kuzey rüzgarlarına doğrudan maruz kalmaktadır. Sarıyer istasyonu ise ağaç altında kalmıştır. Dolayısıyla, İstanbul iklimi hakkında bilgi vermesi açısından Göztepe meteoroloji istasyonu verileri Tablo 1.1'de özetlenmiştir. Göztepe meteoroloji istasyonu İstanbul'un en eski istasyonlarından biri olup uzun bir veri tabanına sahiptir. Verilerin çoğu 62 yıllık bir periyodu kapsamaktadır. İstanbul bölgesine ait iklim özellikleri Karadeniz ve Marmara denizinin etkinliği altında Akdeniz'e geçiş iklim yapısını göstermektedir. Kış ve yaz aylarında bölge üzerinde etkili olan hava kütlelerinin sonucu nem oranı yüksektir. Kış aylarında İzlanda alçak basıncı ile Sibirya yüksek basıncının etkisiyle soğuk ve yağışlı, yazın ise Azor yüksek basıncı ile Arabistan-kuzey Hindistan ekseninde meydana gelen alçak basınç merkezinin etkisi sonucunda sıcak ve yağışsız bir iklim yaşanmaktadır (Şen ve İncecik, 1994). İstanbul, bilhassa kış aylarında cephesel yağış etkisindedir. İstanbul'a gelen siklonik yağışlar çoğunlukla Avrupa kaynaklıdır (Deniz, 1998). 62 yıllık sonuçlara göre ortalama sıcaklık en sıcak ay olan Temmuz ve Ağustos aylarında 23,2 °C, en soğuk ay olan Ocak ayında 5,6 °C'dir. En yüksek sıcaklık ortalaması Ağustos ayında 28,5 °C, en düşük sıcaklık ortalaması en soğuk ay olan Ocak ayında 2,8

°C'dir. 57 yıllık yerel basınç ortalaması 1012 hPa'dır. 62 yıllık buhar basıncı ortalaması 12,7 hPa'dır. Bağıl nemin uzun yıllar ortalaması gün içinde sabah saat 07.00'da %82, Öğle saat 14.00'da %62 ve akşam saat 21.00'de %79'dur. Yıllık ortalama yağış yüksekliği 677 mm'dir. Uzun yıllar ortalamasına göre ortalama rüzgar 2,8 m/s ve hakim rüzgar yönü kuzeylidir.

Tablo 1.1: İstanbul Göztepe Meteorolojik verilerin ortalama değerleri, DMİ, 1998).

PARAMETRELER	Süre Yıl	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Y.Ort
Saat 07 ort. sıcaklık °C	62	4,6	4,4	5,5	9,9	15	19,8	22	21,6	17,7	13,6	10,2	7	12,6
Saat 14 ort. sıcaklık °C	62	7,3	7,7	9,8	15	20	24,7	27,3	27,4	23,9	19	14,2	9,9	17,2
Saat 21 ort. sıcaklık °C	62	5,2	5,2	6,6	10,7	15,1	19,4	21,8	21,8	18,5	14,6	10,9	7,6	13,1
Ort. sıcaklık °C	62	5,6	5,6	7,1	11,6	16,4	20,8	23,2	23,2	19,7	15,5	11,6	8	14
Ort. yüksek sıcaklık °C	62	8,7	9,1	11,2	16,5	21,4	26	28,3	28,5	25	20,2	15,4	11,2	18,5
Ort. Düşük sıcaklık °C	62	2,8	2,7	3,8	7,5	11,8	15,8	18,3	18,4	15,4	11,8	8,5	5,2	10,2
Ort. yerel basınç (hPa)	57	1014	1013	1012	1010	1010	1009	1008	1009	1012	1014	1014	1014	1012
Ort. Buhar basıncı (hPa)	62	7,3	7,2	7,8	10	13,7	17,2	19,7	19,9	16,8	13,7	10,9	8,6	12,7
Saat 07 ort. bağıl nem (%)	62	82	82	83	81	81	77	78	80	83	86	84	82	82
Saat 14 ort. bağıl nem (%)	62	72	70	66	61	60	55	52	52	56	64	68	72	62
Saat 21 ort. bağıl nem (%)	62	81	80	79	77	79	76	77	78	79	82	82	82	79
Ort. bağıl nem (%)	62	79	78	76	73	73	69	69	70	73	77	78	79	75
Saat 07 ort. bulutluluk (0 -10)	62	7,8	7,8	7,3	6,6	5,8	4,2	3,5	3,3	4,1	5,8	7,2	7,6	5,9
Saat 14 ort. bulutluluk (0 -10)	62	7,7	7,3	6,8	5,9	5,1	3,8	2,9	3,2	4	5,6	6,8	7,4	5,5
Saat 21 ort. bulutluluk (0 -10)	62	6,9	6,5	5,7	4,8	3,9	2,8	1,6	1,5	2,5	4,1	5,7	6,5	4,4
Ort. bulutluluk (0 - 10)	62	7,5	7,2	6,6	5,8	4,9	3,6	2,7	2,7	3,6	5,2	6,5	7,2	5,3
Saat 07 ort. top. yağ. mik. (mm)	62	39,1	31,9	26,8	20,3	13,7	9,6	10,3	8,1	18,6	31,4	39,6	48,1	297,5
Saat 14 ort. top. yağ. mik. (mm)	62	25,5	20,9	17	12,5	8,2	7,7	7,7	11,1	13,7	20	21,8	28,8	194,9
Saat 21 ort. top. yağ. mik. (mm)	62	28,1	20	16,9	10,6	9,4	6,2	4,1	4	12,7	17	26	29,7	184,7
Ort. Toplam yağış miktarı (mm)	62	92,4	73,4	61,4	43,2	31,5	23,8	22,2	23,2	44,5	68,2	86,2	107,2	677,2
Günlük en çok yağ. mik. (mm)	62	54	72,8	52,1	50,4	55,6	45,4	59,2	72,1	79,6	81,3	87,8	67,5	87,8
Saat 07 ort. rüzgar hızı (m/s)	57	2,9	2,9	2,5	2,1	1,9	2	2,2	1,9	1,6	1,9	2,2	2,8	2,2
Saat 14 ort. rüzgar hızı (m/s)	57	3,7	3,8	3,9	3,6	3,5	3,8	4,6	4,8	4,2	3,5	3,2	3,5	3,8
Saat 21 ort. rüzgar hızı (m/s)	57	3	2,9	2,6	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,2	2,3	2,8	2,4
Ort. rüzgar hızı (m/s)	57	3,2	3,1	3	2,7	2,5	2,6	3	3	2,6	2,5	2,6	3,1	2,8
En hızlı esen rüzgarın yönü	57	NNE	N	WSW	NE	NNE	NNE	NW	NE	NE	N	SW	NNW	N
En hızlı esen rüzgarın hızı (m/s)	57	27,4	30,9	30,8	22,7	21	25,2	27,7	22,5	23,2	23,2	26,3	24,5	30,9
N rüzgarın esme sayıları toplamı	42	212	197	212	183	204	157	206	190	154	192	156	162	2225
N rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,6	3,4	3,1	3	3,1	3,1	3,3	3,3	3,2	3,2	2,9	3,3	3,2
NNE rüzgarın esme sayıları top.	42	639	603	611	494	542	521	813	861	759	700	478	495	7516
NNE rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,7	3,8	3,5	3,2	3,1	3,2	3,5	3,3	3,1	3	2,9	3,4	3,3
NE rüzgarın esme sayıları top.	42	767	691	1001	915	968	1132	1482	1503	1319	1159	905	787	12629
NE rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,2	3,2	3,4	3	2,9	3,1	3,3	3,2	2,9	2,8	2,7	3	3,1
ENE rüzgarın esme sayıları top.	42	248	216	297	227	250	231	305	334	322	356	255	212	3253
ENE rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	2,9	2,9	3,2	2,5	2,3	2,4	2,6	2,5	2,1	2,4	2,1	2,3	2,5
E rüzgarın esme sayıları top.	42	79	60	63	49	69	48	98	64	78	89	72	91	860
E rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	1,8	1,7	1,8	1,6	1,5	1,7	1,9	1,8	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6
ESE rüzgarın esme sayıları top.	42	98	57	64	48	49	38	27	29	25	41	79	91	646
ESE rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	1,9	1,5	1,5	1,1	1,1	0,8	1,1	1,1	0,9	1,1	1,3	1,7	1,4
SE rüzgarın esme sayıları top.	42	165	95	102	74	55	55	26	21	28	60	114	197	992
SE rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	2,3	2	1,8	1,6	1,2	1,4	1,2	1,2	0,9	1,5	1,8	2,1	1,8
SSE rüzgarın esme sayıları top.	42	167	157	98	109	94	86	36	21	34	55	95	168	1120
SSE rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	2,4	2,4	1,6	1,6	1,3	1,3	1	1,1	1,4	1,5	1,7	2,2	1,8

(Tablo 1.1 devamı)

PARAMETRELER	Süre Yıl	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Y.Ort
S rüzgarın esme sayıları top.	42	121	138	121	125	105	103	32	19	30	46	109	186	1135
S rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	2,4	2,2	1,8	2	1,5	1,6	1,3	1,5	1,7	1,3	2,2	2,6	2
SSW rüzgarın esme sayıları top.	42	300	243	235	266	222	237	89	57	93	181	348	366	2637
SSW rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,1	2,8	2,4	2,1	2,2	2	1,9	2	2,2	2,3	3	3,3	2,6
SW rüzgarın esme sayıları top.	42	308	314	261	284	265	210	92	84	135	182	255	320	2710
SW rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,7	3,4	2,9	2,5	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,3	3,2	3,4	2,9
WSW rüzgarın esme sayıları top.	42	158	188	179	209	240	157	88	72	96	137	166	175	1865
WSW rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,6	3,6	3	2,6	2,5	2,7	2,6	2,9	2,6	2,6	3	3,4	2,9
W rüzgarın esme sayıları top.	42	80	81	89	148	154	123	71	64	62	83	84	83	1122
W rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,1	2,9	3,1	2,7	2,6	2,5	2,9	3	2,6	2,5	2,6	2,4	2,7
WNW rüzgarın esme sayıları top.	42	51	31	54	65	47	54	34	30	41	43	56	49	555
WNW rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	2,5	2,6	2,3	2,6	2,5	2,3	2,6	2,4	2,2	2,3	2,7	2,6	2,5
NW rüzgarın esme sayıları top.	42	79	68	56	52	49	64	42	41	38	43	52	88	672
NW rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	2,9	2,7	3	2,6	2,2	2,7	2,5	2,6	2,5	2,5	2,6	3,3	2,7
NNW rüzgarın esme sayıları top.	42	162	166	157	136	118	153	160	123	111	151	181	163	1781
NNW rüzgarın ort. hızı (m/s)	42	3,4	3,4	3,3	3,2	3	2,9	3,3	3,5	3,6	3,3	3,4	3,9	3,4
Ort. güneşl. süresi (saat)	56	02,25	03,15	04,21	06,12	08,24	10,25	11,06	10,23	08,11	05,39	03,41	02,34	06,23
Ort. güneşl. şiddeti (cal/cm2)	11	111,0	170,8	262,2	372,6	457,2	506,7	495,6	440,9	353,2	230,9	139,5	102,9	303,6

2. HAVA KİRLİLİĞİ VE ASİT YAĞIŞLARI

2.1. Hava Kirliliği

Hava kirliliğinin değişik tanımları bulunmakla birlikte genel anlamda, atmosferde gaz, sıvı veya katı şeklindeki yabancı maddelerin, canlı sağlığına ve yeryüzünün ekolojik dengesine zarar verecek konsantrasyon ve süre de bulunmasıdır. Normal şartlarda atmosferin alt tabakasında kuru havanın bileşimi hacim olarak % 78.09 azot (N₂), % 20.95 oksijen (O₂), % 0.93 argon (Ar) ve % 0.03 karbondioksit (CO₂) ve diğer gazlardır (Hill and Petrucci, 1996). Doğal yolla veya insan kökenli kaynaklardan çıkan kirleticiler bu dengeyi bozarak canlılara zarar vermeye başlamaktadır. Yüksek konsantrasyondaki kirleticilerin kısa süre veya düşük konsantrasyondaki kirleticilerin uzun süre atmosferde kalması da zararlı olabilmektedir. Ayrıca alıcılar da etkilenme açısından değişiklikler göstermektedir. Kirleticilerin, hangi miktarının zararlı olduğu gerek uluslararası kuruluşlar, gerekse çeşitli ülkeler tarafından "Hava Kirliliği Standartları" ile tespit edilmektedir.

2.2. Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliği doğal veya insan kökenli kaynaklardan gaz, toz veya sıvı halde atmosfere atılan maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak diğer maddelerle reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Doğal yollar; volkanlar, tozlar, orman yangınları, su yüzeyinden olan atımlardır. İnsan kaynaklı hava kirliliği oluşum sebepleri genel olarak üç grupta toplanmaktadır.

2.2.1. Alansal Kaynaklar

Bu grupta en önemli kaynak konutların ısıtılmasıdır. İstanbul'da son yıllarda doğal gaz kullanımı hızla artmakta ve kükürt değeri az kalori değeri yüksek olan

tamamen ithal veya ithal yerli kömür karışımı yakıt kullanılmaktadır. Isıtmada kullanılan diğer yakıt cinsleri de fuel-oil, motorin, kerosin, gaz ve odundur.

Konut ısıtılmasında ve enerji temininde kullanılan fosil yakıtlar içerisinde en büyük pay kömür ve petrole aittir. Kullanılan yakıtın kalitesi bu tür kaynaklardan gelen hava kirliliği üzerine çok fazla etki yapmaktadır.

2.2.2. Çizgisel Kaynaklar

Bu tür hava kirliliği ulaştırma kaynaklıdır. Yolcu ve yük taşıyan araçların getirdiği kirlilik başlıcalarıdır. Bunlar benzinli, mazotlu ve gaz tribünlü içten yanmalı motorla çalışmaktadırlar. Bu kaynaklardan yanma sonucu karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller madde (PM) kirleticiler olarak atmosfere yayılmaktadır (Şen, 1996).

Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler bakımından en yüksek emisyonlar araçlar tarafından oluşturulmaktadır. Örneğin, karbon monoksit üreten başlıca kirleticiler kaynaklar arasında motorlu araçlar % 66 ile birinci sırada yer almaktadır. Motorlu araçlar % 12 ile en yüksek hidrokarbon emisyonuna ve % 6 ile de en yüksek azot oksit emisyonuna sahip bulunmaktadır. Bunlardan başka özellikle benzinli otomobillerin sebep olduğu kurşun, arsenik ve aldehytler motorlu araç emisyonları içerisinde ön plandadır (İncecik ve diğ. 1994).

2.2.3. Noktasal Kaynaklar

Bu gruptaki kaynaklar fabrikalar, sanayi ve enerji santralleridir. Bu işletmelerde üretim yapmak için gerekli olan enerjiyi sağlamak için kullanılan yakıttan atmosfere kirleticiler çıkmaktadır. Ayrıca noktasal olarak katı atıkların fırınlarda ve açık arazide yanması sonucu kirlenme oluşmaktadır. Yine benzin, boya maddeleri ve kuru temizleme çözeltileri gibi organik maddelerin buharlaşmasından noktasal olarak kirlilik meydana gelmektedir.

Yukarıdaki sınıflandırmanın dışında hava kirleticileri temel kaynak özellikleri itibariyle de gruplandırılmaktadır. Kalitatif olarak daha etkin olan bu tür bir sınıflandırma da motorlu araçlar, endüstriyel tesisler, enerji birimleri ve konut ısıtılması ile ortaya çıkan emisyonlar bu tür bir sınıflandırmanın temel elemanları olarak kabul edilir.

Hava kirliliği içerisinde endüstrinin payı ülkeden ülkeye değiştiği gibi ülkelerin endüstride kullandığı teknolojiye göre de değişiklik göstermektedir. Bilinen hava kirliliği sorunlarının, endüstri dallarına göre sıralaması aşağıdaki şekilde yapılabilir.

Demir çelik ve metal endüstrisi: Bu endüstri içerisinde meydana gelen başlıca kaynaklar yüksek fırınlar, çelik fırınları, tasfiye fırınları ile metal kaplama ve ocaklardır. Bu fırınlardaki işlemlerin sonucunda ise CO, SO₂, kurşun, toz, kül, metal oksit ve dumanlar çıkar.

Maden endüstrisi: Duman ile madenin türüne göre de toz, SO₂ veya CO gazı oluşur.

Kimya endüstrisi: Bu endüstriye ait en temel kaynak kimyasal termik işlemlerdir.

Petrol endüstrisi: Rafinerilerdeki buharlaşma, parçalanma gibi işlemler petrol endüstrisindeki başlıca emisyon kaynaklarını oluşturur.

Kağıt endüstrisi: Kağıt endüstrisinde kullanılan kağıt hamurunun işlenmesi esnasında yüksek miktarlarda buhara gereksinim duyulur. Buharın elde edilmesinde kullanılan fosil yakıtlar nedeniyle de SO₂ kirliliği söz konusudur.

Tekstil endüstrisi: Tekstil endüstrisinden çıkan en önemli kirleticiler çoğunlukla kumaş üzerindeki işlemler esnasında çıkmaktadır. Kumaş üzerinde yapılan çeşitli işlemler ise tozlar, SO₂, organik buharlar ve mistlerin çıkmasına sebebiyet verir.

Çimento endüstrisi: Çimento endüstrisinde hakim kirleticisi partikül olup bunun yanı sıra yakıt kullanımı nedeniyle de kükürt, azot ve karbon oksitler kirlilik yaratmaktadırlar (İncecik, 1994).

Günümüzde elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan yakıtlar içerisinde en ön planda kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar gelmektedir. Bu yakıtlar içerisinde bulunan en önemli elemanın kükürt olması nedeniyle enerji santralleri, yüksek miktarlarda yakıt kullanmaları nedeniyle en fazla SO₂ kirlenmesine yol açan kirleticilerdir. Bunun sonucu olarak, kükürt dioksit ve azot oksitler toprak ve suyun asitleşmesine sebep olan gazlardır. Bu nedenle enerji santralleri hava kirleticilerinin uzun menzil taşınımına yol açmaları bakımından günümüzün en kritik hava kirliliği yaratan kaynakları olmuş ve olmaya da devam etmektedir.

2.3. Kirleticiler

Kirleticiler atmosferde yer alış durumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler şeklinde iki temel sınıfta toplanırlar. Birincil kirleticiler kaynaktan atmosfere doğrudan neşredilen kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan doğal bileşenler ile birincil kirleticiler ve atmosferik özellikler yardımıyla meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşurlar.

İkincil kirleticilerin oluşmasında fotokimyasal reaksiyonlar önemli rol oynar. Fotokimyasal reaksiyonlarda değişime uğrayan madde miktarı absorblanan güneş radyasyonu miktarı ile orantılıdır. Yazın meydana gelen fotokimyasal smog'un sebebi araç emisyonları ve etkin güneş ışınımlarıdır. Atmosferdeki indirgenme ve yükseltgenme tepkimelere tipik örnekler şunlardır.

1. İndirgenme Reaksiyonları: Yüksek konsantrasyonda SO_2 , parçacık, yüksek nem ve düşük sıcaklık gerektiren reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar sonunda meydana gelen hava kirliliği ilk önce teşhis edilen hava kirliliği olduğundan klasik hava kirliliği olarak ta isimlendirilir. Kömür ve fuel oil'in birlikte kullanıldığı şartların gerçekleştiği ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde oluşur. Kuzey Amerika, Orta Avrupa ve Türkiye'de büyük şehirlerde görülen hava kirliliği bu tiptir.

2. Yükseltgenme Reaksiyonları: Yeterli konsantrasyonda NO_x 'ler, O_3 , düşük nem ve ılık sıcaklık şartlarında oluşan reaksiyonlardır. Kaynağı genelde fabrika ve motorlu araçlardır.

Hava kirliliğinde, önem ve kaynak açısından beş önemli birincil kirletici mevcuttur. Bunlar tüm kirleticilerin hemen hemen % 90'nını teşkil ederler.

Önemli birincil kirleticiler;

1. Karbon monoksit (CO)
2. Kükürt oksitleri (SO_x)
3. Azot oksitleri (NO_x)
4. Hidrokarbonlar (HC)
5. Asılı parçacıklar (PM)

2.3.1. Kükürt Oksitler (SO_x)

Kükürt oksitlerin çoğunluğu sabit kaynaklarda fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelirler. Fosil yakıtlar (petrol, kömür vd.) % 0.5 ila % 6 arasında kükürt içerirler. Petrol ve kömür gibi fosil yakıtların yanması sonucunda kükürt çoğunlukla SO₂ şeklinde atmosfere yayılır. Atmosferde kükürdün yoğunlaşma fazındaki şekli ise SO₄²⁻ dir. Kükürt dioksit yanıcı olmayan renksiz bir gazdır. Yarılanma hızı 24 saat olup atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır. Atmosfere atılan kükürt oksit emisyon miktarının büyük çoğunluğunu insan etkinlikleri oluşturmaktadır (Tablo 2.1). SO₂'nin dönüşüm reaksiyonları katalitik ve fotokimyasal olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Katalitik oksidasyonlar yüksek nem ve partikül konsantrasyonunda meydana gelen oksidasyonlardır (Bufalini, 1971). Temiz havada, homojen reaksiyonlar yoluyla SO₂ çok yavaş olarak SO₃'e oksitlenir. Eğer su varsa hızlı olarak sülfürik asite dönüşür. Kükürt dioksit atmosfere çıktıktan sonra bir dizi reaksiyona uğramaktadır (Akman, 2000).



SO₂'nin katalitik oksitlenmesinde SO₂'nin oksitlenme oranı enerji santrallerinin baca gazlarında temiz havaya göre 10 ila 100 kat daha fazla görülmüştür (Gartell et. al., 1963). Demir, magnezyum, kalsiyum ve sülfat iyonlarının varlığında SO₂ su damlaları içinde çözünür ve çabukça oksidize olarak sülfürik asite dönüşür. Bu reaksiyonda demir, magnezyum, kalsiyum ve sülfat iyonları katalizör görevindedir.

Tablo 2.1: Küresel olarak 1989 yılı baz alınarak yapılan kükürt oksit ve azot oksit emisyon tahminleri (milyon ton/yıl) (Graedel et al, 1995).

Kaynak	Kükürt oksit	Azot oksit
İnsan kökenli	65	21
Doğal	25	15 – 20

Avrupa ülkelerinden neşredilen kükürt dioksit emisyonları ve birikimleri Tablo 2.2'te verilmiştir. Bütün dünyaya neşrolunan SO₂ emisyonları ise dünya SO₂ konsantrasyonunu

her yıl 0.006 ppm arttırmaktadır. Buna karşılık tüm asit ve sülfatlar yağış yolu ile ancak 43 günlük bir süre içerisinde atmosferden uzaklaştırılmaktadır (İncecik, 1994).

Tablo 2.2: 1993 yılı tahminlerine göre Avrupa ülkelerinin kükürt dioksit ve azot oksit emisyonları ve bunların birikimleri (*1000 ton/yıl) (Acid News, 1995)

Ülke Adı	Kükürt dioksit Emisyonu	Kükürt dioksit Birikmesi	Azot oksit emisyonu	Azot oksit birikmesi
Arnavutluk	60	30	30	9
Avusturya	36	111	182	63
Brüksel	216	214	207	70
Belçika	152	62	350	27
Bosna -Hersek	240	77	54	22
Bulgaristan	711	167	238	31
Hırvatistan	90	73	83	28
Çekoslovakya	710	260	574	70
Danimarka	78	45	264	21
Estonya	120	36	66	13
Finlanda	60	106	253	55
Fransa	568	362	1519	210
Gürcistan	81		188	
Almanya	1948	803	2904	332
Yunanistan	255	111	306	26
Macaristan	414	170	183	48
İrlanda	78	32	122	15
İtalya	1126	299	2053	140
Kazakistan	70		76	
Litvanya	68	65	56	23
Luksemburg	8	5	19	3
Makedonya	5	22	2	6
Moldavya	46	36	35	9
Hollanda	84	71	561	35
Norveç	18	94	225	61
Polonya	1362	822	1140	216
Portekiz	145	37	245	16
Romanya	280	268	443	76
Rusya	1728	1959	2269	690
Slovakya	162	107	184	31
Slovenya	91	32	57	13
İspanya	1158	274	1257	103
İsveç	50	161	399	101
İsviçre	29	42	150	27
Türkiye	177	217	175	68
Ukrayna	1925	896	1097	205
İngiltere	1597	430	2355	117
Yugoslavya	200	139	54	34

2.3.2. Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitlerin ana kaynağı motorlu araçlar ve enerji üretim istasyonlarıdır. Doğal kaynaklarından birisi topraktaki organik çürümelerdir. NO_x'un doğal kaynakları arasında orman yangınları, yıldırım ve topraktaki mikrobiyolojik işlemler vardır. NO_x'in çoğu NO olarak yanma sonucu ortaya çıkar. Hava kirliliği bakımından önemli olan azot oksitler ise NO (azot monoksit) ile NO₂ (azot dioksit) dir. Azot monoksit (NO) renksiz ve kokusuz, oldukça zararsız bir gazdır. Azot dioksit oksitlendiği zaman sarı kahverengi keskin kokulu ve zararlı bir gaz haline gelmektedir. NO ve NO₂ şeklindeki atmosferik konsantrasyonların birleşik değeri NO_x ile temsil edilmektedir. Atmosferde kalıcılık süresi yaklaşık 1 gündür. Malzemeler üzerinde korozyon, insan sağlığı için de toksik özellik taşır. Tablo 2.2'te değişik Avrupa ülkelerinden atmosfere atılan ve buralarda biriken azot oksitin tahmini miktarları görülmektedir. Azot oksitler atmosferde ozon ve su buharı ile aşağıdaki reaksiyonları verirler (Seinfeld, 1975; Beyer, 1993; Buffle and Leeuwen, 1992; Harrison, 1998).



2.3.3. Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olup karbon içeren yakıtların yanması ile ortaya çıkar. Kararlı bir gaz olan karbon monoksitin atmosferde kalıcılık süresi iki aydan fazladır. Bütün dünyada CO emisyonu yılda toplam 232 milyon ton olduğu göz önüne alındığında, bu miktarın dünya atmosferi için yarattığı sorun daha da belirgin olmaktadır. Dünyadaki CO emisyonunun yaklaşık olarak % 70'inden fazlası ulaşım sektöründen gelmektedir. Ayrıca bütün dünyada karbon monoksit oluşumunun aşağı atmosferde kalması halinde ise, bu kararlı gazın her yıl 0.03 ppm artacağı hesaplanmaktadır (İncecik, 1994). Şehir havasında bulunan CO insan sağlığına önemli

etkilerde bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi karbon monoksitin kandaki hemoglobinin hücrelerinin oksijen taşıma kabiliyetini azaltmasıdır

2.3.4. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar, hidrojen ve karbondan oluşan bileşiklerdir. Hidrokarbonlar, daha çok petrol ürünlerinin yanmasından veya endüstriyel çözücülerden meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı emisyonlar dünya genelinde 100 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Ancak, insan kaynaklı emisyonların doğal kaynakların yirmide birini oluşturulduğu düşünülmektedir (Stern, 1977). Ayrıca, doymamış hidrokarbonlar ve aromatiklerin smog (Smoke + Fog) olayının meydana gelmesinde büyük önemi vardır. Hidrokarbonların atmosferde kalıcılık süresi tam olarak bilinmemekle beraber hidrokarbonların önemli bir kısmını oluşturan metanın ömrü 0.94 yıl olarak tahmin edilmektedir (İncecik, 1994). Etilenin bitki büyümesini durdurduğu bilinmektedir. Katran, zift gibi sıvı-katı fazlarda olan yanmamış hidrokarbonlar ise kanser yapıcı etkileri vardır (Okutan, 1993). Aromatik hidrokarbonların kanser yapıcı maddeler olduğu da kabul edilmektedir. Hidrokarbonlar atmosfere başlıca aşağıdaki yollardan girerler (Seinfeld, 1975).

1. Motorlu araç egzozlardan çıkan yarı yanmış ya da yanmamış hidrokarbonlar atmosfere geçer. Bunlar yanında CO, NO, ve NO₂'de vardır,
2. Benzin istasyonlarında, benzin doldururken ve boşaltırken, doymuş hidrokarbonlar atmosfere geçer,
3. Metal, boyama işleri ve kuru temizlemede kullanılan organik çözücüler, buharlaşarak atmosfere geçerler,
4. Organik ürünler, petrol rafinerisi gibi kimyasal imalat yapan fabrikalardan atmosfere kaçarlar.

2.3.5. Asılı Parçacıklar

Asılı parçacıklar atmosferde standart şartlarda katı ya da sıvı olarak bulunan çapları 0.1µm ila 100 µm arasında değişen maddelerdir (İncecik, 1994). Asılı parçacıkların ana kaynaklarını esas olarak çimento fabrikaları, metal endüstrisi ile araçlar oluşturur. Asılı parçacıkların en büyük doğal kaynağı volkanlardır.

Okyanustan yayılan parçacıklar ise çok küçük zerrecikler halinde karaların iç kısımlarına kadar girerler. Buharlaşma sonucunda da sodyum klorür şeklinde denizsel tuz parçacıklarını karalara taşırlar. Deniz tuzları, yağış oluşumu için gerekli olan yoğunlaşma çekirdeklerinin de kaynağıdır. Tablo 2.3'te kirleticilerin sınıflandırılması, birincil ve ikincil kirleticiler ve kaynakları verilmiştir.

Tablo 2.3: Atmosferde bulunan gaz halindeki bileşiklerin sınıflandırılması (Seinfeld, 1975)

SINIF	Birincil Kirleticiler	İkincil Kirleticiler	Kaynaklar
Kükürt içeren bileşikler	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄	Kükürt içeren yakacakların yanmasından
Azot içeren Bileşikler	NO, NH ₃	NO ₂ , MNO ₃	Yüksek sıcaklıkta yanma süresince
Karbon içeren bileşikler	C ₁ -C ₅	Aldehitler, Ketonlar, Asitler	N ₂ ve O ₂ karışımı yakıtların yanması petrolün rafinesi , çözücülerin kullanılması
CO ve CO ₂ bileşikleri	CO, CO ₂	----	Yanma
Hallojen bileşikler	HF, HCL	----	Metalürjik işlemler sonucu

2.4. Hava Kirliliğinin Uzun Mesafelere Taşınımı

Uzun mesafe hava taşınımının iki boyutu bulunmaktadır. Bunlar yatay ve düşey harekettir. Küresel olarak yatay hareket Batı-Doğu yönünde hızlı olurken Güney-Kuzey yönünde daha yavaş taşınım meydana gelmektedir. Düşey hareket ile yeryüzünden troposferin üst katmanlarına ve stratosfere kirletici taşınimleri olmaktadır. Bu taşınım yavaş olmasına rağmen oldukça önemlidir. Örneğin stratosferik ozon tabakasındaki bozulma bu nedendendir. Ayrıca uzun mesafe uçakları tropopoz seviyesi üzerinde uçtukları için bıraktıkları kirleticiler uzun süre etkilerini sürdürmektedirler (Şen, 1996).

Düzenli örnekler toplanmaya başlanıp bunlarında daha asit reaksiyonlu bileşenlerinin olduğu görülünce, yıllar öncesinden endüstrileşmiş İngiltere ve İskoçya'nın merkezlerinden uzaklarda bile kirlenme tehlikesinin boyutları araştırılmaya başlanmıştır (Smith, 1978). Öne sürülen varsayım, insan kaynaklı uçucu kirleticilerin gerek kuru ve gerekse yağışlarla çökmesiyle, merkezlerden yüzlerce hatta binlerce

kilometre uzaklıkta bile ekolojik dengeye zarar verebildiği ve bu şekilde ilk hasarın 60'lı yılların sonlarında İskandinavya'da görüldüğü Cowling (1982) tarafından belirtilmiştir. Her ne kadar uzun menzilli hava kirleticilerinin taşınımında yalnızca tatlı su ekosistemlerinin etkilendiği belgelenebilmişse de bu tarihlerde resmen kanıtlanmamış olmasına rağmen ormanlar, tarım alanları ve toprağında etkilendiği söylenmiştir.

2.5. Asit Yağışları

İnsan etkinliği olarak sanayi, endüstri, tarım ve diğer çevresel işlemler sonucunda birçok atıklar atmosfere atılmaktadır. Fabrikalar, enerji santralleri, motor eksozları ve benzeri kaynaklardan atmosfere atılan kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitleri (NO_x) atmosferdeki taşınımı sırasında bulut içindeki su ile reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucunda sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) oluşur. Oluşan sülfürik asit ve nitrik asitin yağmur, kar, sis ve diğer şekillerde yağışlarla beraber yeryüzüne düşmesine asit yağışları adı verilir. Yağışların normal yağıştan daha fazla asitlik derecesine sahip olmaları, düştükleri bölgeyi (bitkiler, toprak, yapılar, göller, akarsular, denizler vb) kirlletmekte, doğal yapılara ve canlılara zarar vermektedirler.

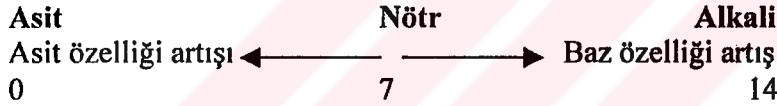
Asit yağışlarına ek olarak kuru birikme olarak adlandırılan bir asitlilik çeşidi daha vardır. Bu ise, gaz ve parçacık şeklinde daha asit reaksiyonlu parçacıkların yeryüzünde birikmesidir. Rüzgar daha asit reaksiyonlu parçacıkları taşır ve bunlar da değişik yüzeylerde (Bitkiler, binalar, arabalar vs) birikirler. Yağışlar esnasında daha önceden birikmiş olan daha asit reaksiyonlu parçacıklar yağışla yıkanarak yeni bir karışım oluştururlar ve bu karışım çok daha asit reaksiyonlu bir yapıya sahip olabilir. Kuru birikme ile asit yağışlarının birlikte meydana gelmesi literatürde asit birikmeleri olarak adlandırılır. Yağışların havadaki gaz ve asılı parçacıkları temizleme görevi yapması nedeniyle de yağış hava kirliliğinde çok önem kazanmaktadır.

Bacalardan çıkan emisyonların sebep oldukları asit yağışlarının yanısıra, atmosfer-bitki örtüsü-toprak yüzeyleri arasındaki kuru ve yaş birikme yolu ile taşınma işlemleri son yıllarda ön planda yer alan araştırma konuları arasındadır. Kükürt bileşiklerinin yağış suyunun asitleşmesindeki payı 2/3'dür. 1/3 oranında ise azot bileşikleri

sorumludur. Bu suretle kükürtten gelen kirlenme tehlikesi daha büyük olacaktır. Asitleşme esasen kükürt dioksit ve azot oksit kirleticilerinin dolaylı bir etkisidir.

2.6. Çözelti Asitliliği

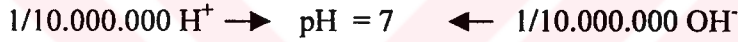
Asit ve baz kimyada iki uç değeri (sıcaklıkta, sıcak ve soğuk gibi) açıklamaktadır. Bir çözeltinin pH değeri 7'nin altında ise asidik, üzerinde ise baziktir. (Şekil 2.1). 7'nin altındaki her pH değeri, bir yüksek değerden 10 defa daha asit reaksiyonludur. Örneğin pH 3, pH 4'ten 10 defa daha asidik ve pH 9, pH 8'den 10 defa daha baziktir (Tablo 2.4). Asit ve baz karışımı birbirlerinin etkilerini nötralleştirirler. Latince “potentii hydrojenii” kelimesinin baş harflerinden dolayı söylenen pH, çözeltideki hidrojen iyonu miktarını gösterir. Hidrojen (H^+) iyonlarının derişimi asitliliğin ölçüsüdür. Negatif yüklenmiş hidroksil iyonları (OH^-) alkaliliği temsil eder. Tablo 2.4'den görüldüğü gibi H^+ ve OH^- eşit olduğunda nötr ortam oluşur. Matematik olarak bir litre çözeltideki mol cinsinden hidrojen iyonu derişiminin negatif logaritmasıdır, $pH = -\log[H^+]$.



Şekil 2.1: Bir çözeltide pH değişim ölçeği.

Tablo 2.4: 25 °C 'de 1 litre çözeltide hidrojen iyonu değişimi.

PH	H ⁺	OH ⁻
0	1	0.00000000000001
1	0.1	0.00000000000001
2	0.01	0.00000000000001
3	0.001	0.00000000000001
4	0.0001	0.00000000000001
5	0.00001	0.00000000000001
6	0.000001	0.000000001
7	0.0000001	0.00000001
8	0.00000001	0.0000001
9	0.000000001	0.000001
10	0.0000000001	0.0001
11	0.00000000001	0.001
12	0.000000000001	0.01
13	0.0000000000001	0.1
14	0.00000000000001	1



25°C sıcaklıkta 1 lt suda $\cong 10.000.000$ su molekülü bulunur. Yani $10.000.000 \text{ H}^+$ $10.000.000 \text{ OH}^-$ vardır. Saf su nötr bir yapıya sahiptir (pH=7). Saf su bazı iyonlar ile karıştığında ya bazik ya da asidik olur. Örneğin, elmanın pH değeri 2.9-3.3, limonatanın pH değeri 2.2-3.0 'dır. Deterjanlar ve Amonyum bazik özelliklidir. pH değeri çok düşük veya çok yüksek olan bileşikler reaktiftirlerdir. Yağış pH'sı atmosferde bulunan CO_2 tarafından kontrol edilir. Bu nedenle yağışın pH değeri 5.6 civarındadır (Gay, 1983). Yağışın pH değerinin 5.6'nın altına düşmesi asit yağışları olarak adlandırılır (Ertürk, 1993). Ancak toprak açısından asitliliğin tampon alanları pH 6.2-8.2 arasında ise Ca^{++} tampon alanı, pH 5.0-6.2 arasında ise silikat tampon alanı, pH 4.2-5.0 arasında ise kolloid tampon alanı, pH 3.0-4.2 arasında ise Al^{3+} tampon alanı ve pH 3.0 için ise Fe^{3+} tampon alanıdır (Kantarıcı, 1987).

Kirlenmemiş yağışın pH değeri 5.6 civarındadır. Yağış suyunun pH değerini düşüren ana etken CO_2 'dir (Zumdahl, 1995; Harrison, 1998).



Çeşitli yollarla atmosfere atılan kükürt dioksit ve azot oksitler su ile reaksiyona girerek yağış suyu pH değerini daha da düşürerek asit yağışlarını oluşturmaktadırlar (Şekil 2.2). Atmosfere karışan kirleticiler hava hareketleri ile yüzlerce km uzaklara kadar taşınabilmektedirler. Taşınma sonucunda meydana gelen yağışlar bir ülkenin sınırları içinde veya bir başka ülke sınırları içinde asit yağışlar halinde düşmektedir. Doğal ve insan yapımı (endüstri, motorlu vasıtalar, termik santraller) kaynaklardan çıkan kükürt dioksit, sülfürik asit'i oluşturmaktadır (Ertürk, 1993; Hill and Petrucci, 1996).



Doğal ve insan yapımı kaynaklardan çıkan azot, atmosferde bir dizi reaksiyona girerek nitrik asit'i oluşturmaktadır.



Bu reaksiyonlar yağışın pH değerini 5.6'dan daha aşağılara düşürür. Meydana gelen reaksiyonun türü ve hızı basınç, sıcaklık, güneş ışığı (direkt veya dolaylı) ve sıvı veya gaz halindeki su buharına bağlıdır. Asit yağışlarında genel olarak H_2SO_4 , (H^+) ve (SO_4^-) , HNO_3 ise (H^+) ve (NO_3^-) iyonlarına ayrılarak yağmur suyu içerisinde çözülmüş olarak taşınmaktadır (Fruen, 1998). Her iki asit de organik ve inorganik maddeleri parçalayan, çözen çok kuvvetli asitlerdir. Sonuçta SO_3 ve NO_2 haline yükseltgenerek çok kuvvetli asitler olan sülfürik (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) meydana gelebilmektedir (Zumdaht, 1995; Calvert, 1984).



Şekil 2.2: Asit yağışlarının oluşumu.

Asitliliğin nötralleşmesi : Yağışların nötralleşmesinde amonyum ve kalsiyum karbonat bileşikleri etkilidir. Bunların yokluğunda doğal ve insan etkinlikleri sonucu kükürt ve azot oksitler nedeniyle yağışın pH değerinin 4.5-5.6 arasında olması beklenir (Charlson and Rodhe, 1982). Atmosfer bazik özelliğe sahip maddeler tarafından yeterince zengin ise yağışın nötralleşmesi ortaya çıkabilir. Bu alkalilerden başlıcaları rüzgar tarafından topraktan getirilen CaCO_3 ve endüstriyel faaliyetler, kanalizasyonlar, göletler, dereler, zirai gübrelemelerden gelen NH_3 'tür (Sanusi et al., 1996; Akman, 2000; Alp, 2000). Ca^{++} ve NH_4^+ değerinin yüksek olması nötralleştirici etki yapar. Kireç yapılı taşların hakim olduğu bölgelerde asit yağışları daha çok nötralleşir. Fakat granit yapılı kayaların bulunduğu bölgelerde bu nötralleşme olmaz. Kireç yapılı bölgelerde aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir (Fruen, 1998; Young, 1991).



2.7. İletkenlik

Su kalitesinin belirlenmesinde araştırılan parametrelerden birisi de suyun iletkenlik değerinin belirlenmesidir. İletkenlik çözelti içinde iki elektrot arasındaki elektrik akımıdır. Elektrik akımı geçişi çözelti içindeki iyonlar tarafından yapılmaktadır. İletkenlik suyun saflığını belirleyen bir özelliktir. Suyun iletkenliği ne kadar az ise içerisindeki iyonlar da o kadar azdır. Su içindeki H^+ ve OH^- iyonlarından dolayı çok az bir iletkenlik vardır. Bu iletkenlik ölçeğinin başlangıcı olarak kabul edilir. İletkenlik “İletkenlik=1/direnç” eşitliği ile ifade edilir. Ölçü birimi olarak Siemens/cm kullanılmaktadır ($\text{S}=\text{Siemens}=\text{Ohm}^{-1}$). Saf suyun iletkenliği $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ civarındadır.

2.8. Asit Yağışlarının Etkileri

Asit yağışları atmosferdeki kimyasalları içerdiği için yeryüzündeki canlı ve cansız varlıklar bundan etkilenmektedir. Bu etkilenme derecesi her nesneye göre farklı olmaktadır. Örneğin, göllerdeki canlılar pH değerinin 5.9 altına düşmesiyle etkilenmeye başlarken bu değer bitkilerde 3 seviyesine kadar düşebilmektedir. Bu konu ile ilgili bilgiler aşağıda kısaca verilmiştir.

2.8.1. Asit Yağışlarının Su Ekosistemlerine Etkisi

Kirleticilerin havadan uzaklaştırılmasında yağışlar büyük rol oynarlar. Fakat bu yolla atmosferden yere inen kirleticiler, yeryüzünde kirlenmeye neden olurlar. Su damlacıkları tarafından yer yüzeyine indirilen partikül ve gaz halindeki kirleticiler topraktan yeraltı sularına sızarak veya doğrudan akış ve yağış halinde yüzeysel su kaynaklarına ulaşırlar.

Asit yağışları tatlı su göllerinde asitliği arttırarak bu göllerde asitliğe duyarlı balık ve yumuşakçaların tür ve miktarının azalmasında etkili olmaktadır. Göller üzerinde kar ve don halinde bulunan asitli tabaka, havanın ilkbaharda ani ısınmasıyla göl ekosistemini bozmaktadır. Bu hızlı değişime ayak uyduramayan canlılar zarar görmektedir.

ABD’de bulunan 100 bin gölün yaklaşık 20 bininde hiç balık kalmamıştır. Halen birçok göle aşırı asitliliği gidermek üzere kalsiyum hidroksit püskürtülmektedir (Yılmaz, 1985). Sülfürik asit (H_2SO_4) balıkların yaşamını sağlayan oksijen, tuz ve gıdaların azalmasına neden olur. Kalsiyum gibi iyonlarda olan azalma balık yumurta üretimine zarar verir. Kalsiyumun az olması balık omurgalarının zarar görmesine neden olur. Azot değişimi balıkların zarar görmesine neden olur. Alüminyum balıklar için çok zararlı olup ölümlere neden olur. pH değerinin 5.9’un altına düşmesi zararlı olmaya başlar. Bazı temel besinleri zarar görür. Bazı türler uzun süre yaşayamazlar. pH 5.5 değerine ulaştığında bir çok balık türü çoğalamaz. Yaşlılar ölür, genç olanlar ise yaşamakta zorlanır. pH 5.0 olduğunda balıklar ölür (Adriano and Johnson, 1989).

2.8.2. Asit Yağışlarının Kara Ekosistemlerine Etkisi

Artan endüstrileşme ve tarıma dayalı sanayiden endüstriye dayalı bir sanayiye geçiş, gelişmekte olan ülkelerde büyük yerleşim alanlarının oluşmasına ve çevreye zarar veren bir çok sanayinin kurulmasına sebep olmuştur. Özellikle, verimli tarım alanları üzerinde sanayi tesislerinin artması ve çevredeki tarım ile orman alanlarının bundan etkilenmesi hem tarım alanlarının azalması hemde tarım ve orman alanlarına verdiği zarar açısından düşündürücüdür. Gelişen sanayi ile birlikte hava kirliliği artmış ve canlıların yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkileri de çok uzun zamandan beri araştırılmaktadır. Özellikle asit yağışları, ozon konsantrasyonundaki değişimler, iklim değişiklikleri tarım ve orman meteorolojisi açısından bir çok risk taşımaktadır. Ancak bu konularda ülkemizde yeteri kadar çalışma yapıldığı söylenemez. Kirleticilerin sadece ekolojik etkileri yoktur, aynı zamanda ekonomik etkileri de vardır. Bilhassa tarımsal üretimde verimliliğin arttırılmaya çalışıldığı ülkemizde hava kirliliğinin, verimin miktar ve kalitesine ne derecede etkide bulunduğu ve tarım ve ormancılığı sınırlayıcı rolünün daha iyi analiz edilmesi gerekmektedir (Şaylan, 1994).

Gün geçtikçe, azalan ve şehrin oksijen kaynağı olan İstanbul ormanları, hava kirliliği ve dolayısıyla asit yağışlarından etkilenebilmektedir. Özellikle yağışların asitleşmesinde sanayi, konut ve ulaşımdan kaynaklanan kükürt dioksit ve azot oksitlerin önemli rolü bulunmaktadır. Bu gazlar yağış ile birleşince kükürt dioksitten sülfürik asit, azot oksitten de nitrik asit meydana gelir. Bu asitler doğrudan ağaçların fizyolojik

yapısına etki ettiği gibi, dolaylı olarak ta toprak asitliğini arttırarak ağaç gelişimini durdurur ve ölümlere sebep olur (Kantarıcı, 1995). Bu nedenle İstanbul için son derece önemli olan Belgrad ormanlarının asit yağışlarından nasıl etkilendiğinin incelenmesi gereklidir.

2.8.3. Asit Yağışlarının Toprağa Etkisi

Asit yağışlarının dolaylı etkileri toprakta da görölür. Asit yağışları, toprağın kimyasal yapısı ve biyolojik koşulları üzerinde etkide bulunarak, bu topraklar üzerinde yetişen bitkilere zararlı olmaktadır. Toprağa erişen sülfürik asit, toprağın asitliliğini yani aktif hidrojen iyonlarının yoğunluğunu arttırmaktadır. Miktarı artan H^+ iyonları, toprağın kolloidal kompleksleri olan kil minarelleri ve humus kolloidleri tarafından tutulmakta olan başta Ca^{++} olmak üzere K^+ , Mg^{++} ve Na^+ gibi bitki besin elementlerinin yerine geçerek, onların topraktan taban suyuna karışmak üzere yıkanmalarına neden olmaktadır. Makro besin elementlerinin bu yolla topraktan yıkanmaları toprağın verim gücünün azalmasına neden olduğu gibi toprakta oluşan yüksek asitliliğin bir kısmı mikro besin elementlerinin de olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Topraktaki asit birikimi, besin elementlerinin bitkiler tarafından kullanılmamasına neden olur. Aynı zamanda asit yağışları, topraktaki demir, alüminyum ve mangan gibi toksit maddelerin açığa çıkmasını sağlar. Bu toksit maddeler ağaçlara ve bitkilere çok zararlıdır (Carlson and Haines, 1989; Kantarıcı, 1986; Kantarıcı, 1992; Karaöz, 1997; Kantarıcı ve Karaöz, 1988).

2.8.4. Asit Yağışlarının Yapılara Etkisi

Asit yağışına maruz kalan özellikle kireç taşları ve mermerlerden inşa edilen tarihi yapılar ve anıtlar orijinal özelliklerini hızla kaybetmektedir. Bu yüzden ölkemizde bulunan çok sayıdaki tarihi yapılar ve anıtlar tehlike altındadır. Asit yağışlarının binalarda meydana getirdiği bir başka zararı da çatı örtüsü olarak kullanılan çinko gibi metal levhalarda görülen yıpranmalardır.

2.8.5. Asit Yağışlarının Bitkiler ve Orman Alanları Üzerindeki Etkisi

Kirleticiler, bitki gelişimine, verimine, fizyolojisine ve biyokimyasal yapısına etki edebilmektedir. Bu zamana kadar hava kirliliğinin tarım ve ormancılık üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla dünyada çeşitli çalışmalar yapılmıştır (WMO, 1993;

Davila ve Catalan, 1986; Cihak, 1986; Heck, 1989; Heck at al., 1986). Özellikle kükürt dioksit (SO₂) ve hidrojen florür (HF) gazlarının bitkilerin biyolojik yapısı üzerinde zararlı etkilerde bulunduğu tespit edilmiştir. Uzun yıllar süren çalışmalar sonucunda bitkilere zarar veren çeşitli gazlar Tablo 2.5'teki gibi belirlenmiştir.

Tablo 2.5: Bitki sistemine etkide bulunan hava kirleticileri (Heck, 1982; WMO, 1993).

Kirletici	Kirletici formu	Ana kirletici kaynağı
O ₃	Gaz	Atmosferik dönüşümler (emisyonlarla, NO ₂ ve hidrokarbonlar ile bağlantılı)
SO _x	Gaz	Güç kaynakları (Termik santraller vs.), Metal eritme işlemleri
NO _x	Gaz	Atmosfere verilen gazlar ve atmosferik dönüşümler (yüksek sıcaklıkta yanma, NO den), gübre üretimi, araç emisyonları
HF	Hidrojen florür	Süperfosfat ve alüminyum eritilmesinden
Etilen	Gaz	Yanma (araç emisyonları), doğal
Cl ₂	Gaz	Fabrika üretimlerinden, arıtma tesislerinden
HCL	Gaz	Doğal
Toksik elementler	Asılı parçacıklar	Eritme ve yakma işlemleri
NH ₃	Gaz	Doğal
H ₂ S	Gaz	Kağıt üretimi, doğal, jeotermal
CO ₂	Gaz	Yanma, doğal
UV-β	Radyasyon	Doğal, stratosfer

Her ağaç hava kirliliği sonucu oluşan gazlara (Kükürt dioksit, Azot dioksit) aynı hassasiyeti göstermez. Mesela meşe, kavak, akçaağaç, kızılğaç ve söğüt ağaçları hava kirliliğine karşı daha az hassastırlar. Hava kirliliği ormanların yanında tarımsal üretime ve süs bitkilerine de zarar verir. Örneğin kükürt dioksit miktarının havada 1.5 ppm'nin üzerinde olması buğday bitkisinin verimini azaltmaktadır. Aynı şekilde elma, patlıcan, domates, lahana ve maydanoz 1.6-2.5 ppm arasındaki kükürt dioksit konsantrasyonlarında gelişimlerini sürdürürken; kiraz, soğan ve mısır kükürt dioksite karşı son derece dayanıklıdır.

Havadaki asılı haldeki kirleticiler sis, yağmur veya kar ile birlikte bitki ve toprak yüzeylerine temas ederler. Toprak yüzeyindeki hava, su ve toprak kirleticilerinin etkisi arttıkça bitki üzerindeki olumsuz etkiler de fazlalaşacaktır (Harvey, 1989). Bu da bitkinin ürün kalitesini ve miktarını olumsuz yönde etkileyecektir. Toprak yüzeyine

yapışan sis, kırağı veya çığ şeklindeki su moleküllerinin, gündüz buharlaşması sonucunda içerdikleri içerdikleri asit yaprak yüzeyinde kalır ve asit yanıklarına sebep olur. Ayrıca, yapraktaki asit birikimi mantarların gelişmesi için de uygun ortam sağlamaktadır.

Asit yağışları sonucunda Orta Avrupa'da son 15 yılda giderek yoğunlaşan orman ölümleri görülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda yağışların kış ayında belirgin olarak daha asit reaksiyonlu özellik kazandığı ve özellikle ağaçların gövdelerinden süzülerek akan suyun asitleşmeyi şiddetlendirdiği anlaşılmaktadır (Eruz, 1995; Kasap, 1995). Asit yağışları, orman ekosistemindeki ağaçlar ve diğer canlılar üzerinde doğrudan zararlı olmaları yanında toprağın doğal özelliklerini bozarak köklerde oluşturdukları zararlı etkilerle olumsuz etkilenmelerine neden olmaktadır. Bu sebeple beslenme ilişkileri bozulan ağaçlar, olumsuz etkilerin sürmesi ya da şiddetlenmesi durumunda ölmektedir (Charles, 1995). Yapraklar bitkilerin özümleme ve en önemli solunum organlarıdır. Bitki bünyesindeki mevcut su ve CO₂ 'i güneş ışığı etkisi ile birleştirip şeker ve aminoasitleri, kısaca organik maddeleri üretmektedir. Üretilen şekerin bir kısmı solunum olayında harcanmaktadır. CO₂ 'in özümlemesi sonucu üretilen karbondioksit solunumla sarfedilenden daha fazla olması halinde bitki yaşayabilmekte, beslenip büyümekte ve meyve vermektedir (Carlson and Haines, 1989; Chew et al., 1980; Çölaşan, 1959).

Asit yağışları bitki yapraklarına, doğrudan veya temas yoluyla zarar vermekte veya yapraktaki gözeneklerin (stomalar) kapakçıklarının açılıp kapanmasını önlemektedir. Solunum boşluklarına girerek CO₂ 'in özümlemesi olayına karışmakta ve asit sentezine sebep olmaktadır. Stomaların fotosentezi kolaylaştırmak için açılması sırasında SO₂ su ile birlikte H₂SO₄'ü oluşturur ve tepkimeye girer. Ancak bitkideki asit birikiminin etkisiyle, klorofil tahribi sonucunda fotosentez yeteri kadar yapılmamakta dolayısıyla bitki solunum için gerekli şekeri sağlayamaması sonucu ölmektedir (Durham, 1990; Kantarcı, 1995).

Yapılan çalışmalar, geniş yapraklı bitki topluluklarının asit yağışlarından daha fazla zarar gördüğünü göstermiştir. Bu da yukarıda bahsettiğimiz, asit birikiminin yapraktaki klorofil tahrip etmesi sonucu meydana gelmektedir. Laboratuvarında yapılan çalışmalarda asit uygulaması durdurulduktan sonra bitkilerde gözle görülür bir gelişme

olmuştur. Kontrollü çevresel şartlar altında asit birikiminin bitkiye verdiği zararı belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu şartlarda yapılan denemelerin sonuçları ile bitkinin arazi koşulları altında asit birikimine olan hassasiyeti bitki türüne bağlı olarak değişebilir. Soya fasulyesinin değişik çeşitleri üzerinde yapılan arazi denemeleri sonucunda bunlardan Asgrov, Corsoy, Habitt çeşitleri asit yağışlarından olumsuz etkilenirken, Williams, Davis ve Wells çeşitleri olumsuz etkilenmemiştir. Bununla birlikte araştırma, yüksek protein içeren soya fasulyesi tohumlarının asit yağışları yüzünden olumsuz etkilendiğini göstermiştir (Harvey, 1989).

Kantarıcı (1995) ve Kasap'a (1995) göre, topraktaki asit birikimi, toprağın kimyasal yapısını bozması nedeniyle, toprak bitki sisteminde birtakım anormalliklere sebep olmakta, ağır metallerle zenginleşmiş besin maddeleri oluşturarak insan sağlığını tehdit etmektedir. SO_2 ve NO_x 'ler stomalar yoluyla ibre ve yaprak dokularına girmektedir. Özellikle SO_2 bir yönden O_2 alımını önlemekte diğer yönden de bünyede H_2SO_4 'e dönüşerek parçalama, yakma yahut kemirme etkisi yapmaktadır. SO_2 'in yaprak ve ibrelerde oluşturduğu sülfürik asitin sünger mezofil hücreleri içerisinde bulunan kloro-plastlardaki magnezyumu giderek kuruttuğu, klorofili ve plazmayı tahrip ettiği dolayısıyla özümlemeyi engellediği, bunların da sonuçta ölüme neden olduğu bilinmektedir.

2.8.6. Asit Yağışlarının İnsan Sağlığına Etkisi

Asit yağışlarının insan sağlığına iki türlü zararı bulunmaktadır. Birincisi asitli hava solunumu veya yağış altında kişilerin vücudun yağış ile doğrudan temas etmesi. Asit yağışlarındaki kükürt ve azot bileşikler astım, kuru öksürük, baş ağrısı, göz, burun ve boğaz tahrişi yapmaktadır. İkincisi ise dolaylı yollardan zararlarının görülmesidir. Bulut oluşum esnasında toplanan kirleticiler uzun mesafe taşınımı ile su kaynaklarına yağış ile karışmaktadır. Asit yağışları topraktaki metallerin çözünmesine ve suya karışmasına da neden olmaktadır. Ayrıca yağış esnasında atmosferde bulunan kirleticiler yağış ile birlikte yere inmektedir. Asitleşen topraklardan kaynaklanan asitliği yükselmiş olan sular, mide asititesini artırarak mide ülserine neden olmakta, ayrıca asit yağışları topraktaki iyodu eriterek, o topraklarda yetişen sebze ve meyvelerin ve içilen suların iyot miktarlarının düşmesine neden olmakta bu ise insanlarda tiroit bezi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Kullanılan bu sular insan sağlığına dolaylı yoldan zarar vermektedir.

Suda çözülen zararlı metaller sebze, meyve ve hayvanlara geçmektedir. Bunların insanlar tarafından tüketilmesi ile ciddi zararlar başlamaktadır. Örneğin cıva hayvanların deri ve diğer organlarında birikmekte bu ise çocuklarda beynin zarar görmesine, sinir sisteminin bozulmasına neden olmaktadır. Diğer çözülmüş metaller hayvanlar yoluyla insanlarda böbrek hastalıklarına neden olmaktadır (Durham, 1990).



3. MATERYAL VE METOD

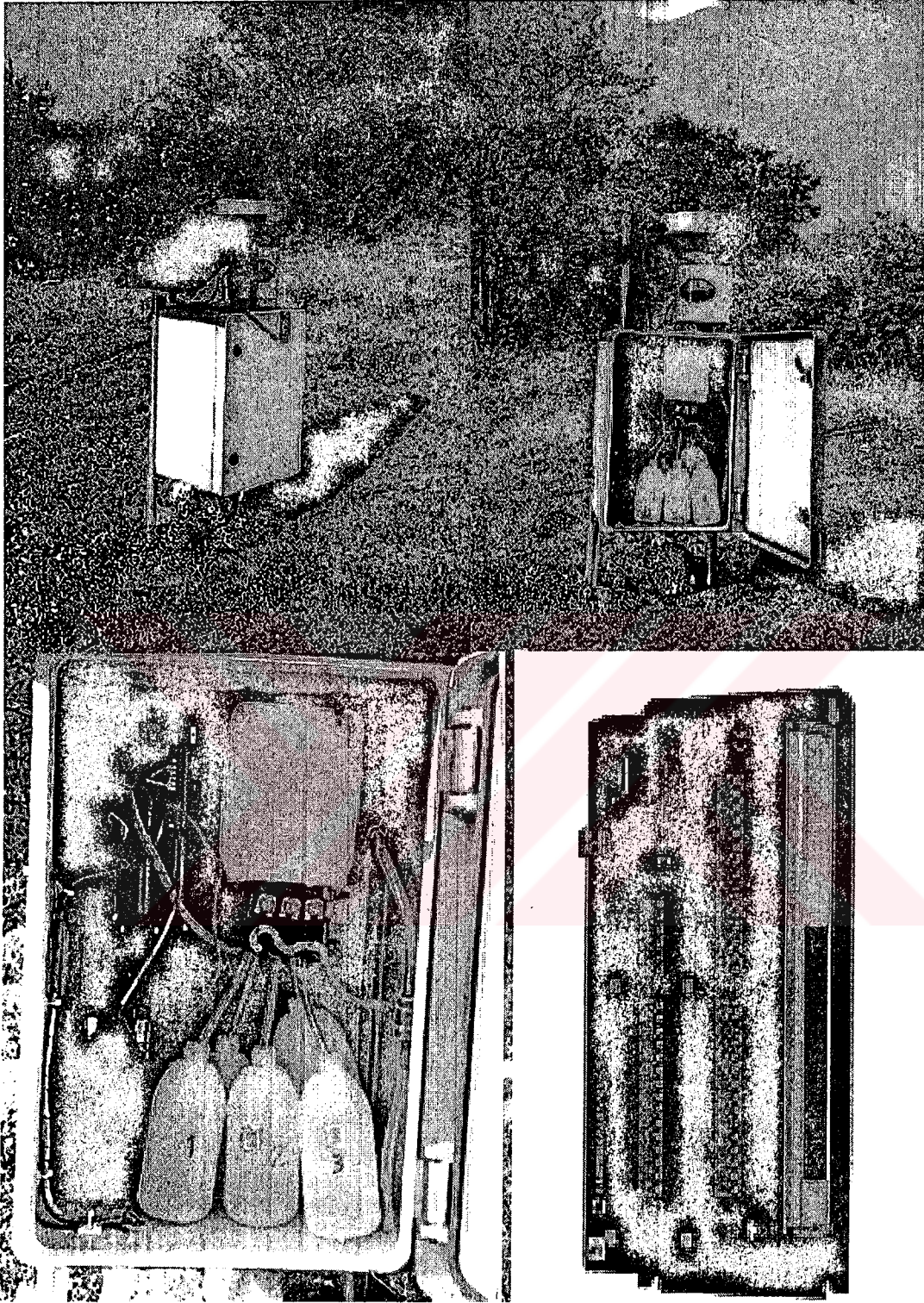
3.1. Araştırma Bölgesi

Türkiye'nin en büyük nüfusuna sahip, endüstri, sanayi, ve ticaret merkezi olan İstanbul'un, aynı zamanda dünya ticareti, coğrafya ve siyaseti açısından da büyük önemi vardır. Ülkemiz ekonomisi açısından çok değerli olan bu ilde hava kirliliği probleminin araştırılması ve saptanması son derece önemlidir. Fakat, özellikle İstanbul'da asit yağışları ile ilgili çalışmaların yeterli derecede olduğu söylenemez. Bu çalışma İstanbul sınırları içinde 2 pilot bölge seçilerek yağış örneklerinin analizini yaparak bu konudaki araştırmalara katkıda bulunmuştur. Bu yerlerin seçiminde topografya, yerleşim ve orman alanı gibi durumlar dikkate alınmıştır. İstasyonlardan biri, Karadeniz kıyılarına yakın olması ve ormanlık bölge içerisinde yer alması nedeniyle Bahçeköy'de İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanı (İÜOFAO) içerisinde seçilmiştir. İkinci istasyon olarak İstanbul'un önemli yerleşim, ticaret merkezi ve trafik yoğunluğunun bulunduğu İTÜ Maslak Kampüsü Meteoroloji gözlem parkı (İTÜMK) seçilmiştir. Şekil 1.1 istasyonların yerleşim yerlerini göstermektedir. İTÜMK ölçüm istasyonunun üniversite kampüsü içinde yer alması ve diğer meteorolojik cihazlar ile aynı mekanda bulunması ölçüm kolaylığı sağlamıştır. İÜOFAO'da ölçüm istasyonu tamamen ormanlık alana yerleştirilmiştir. Seçilen arazi araştırma sahası olması nedeniyle insanların giriş çıkışlarına kapalı bir alandır. İTÜMK'ne 12 km uzaklıkta bulunan diğer sistemde yağışlardan önce ve sonra kontrol edilerek düzenli verilerin alınması sağlanmıştır. Kurulu her iki sistemde güç kaynağı olarak güneş panellerinden faydalanılmıştır.

3.2. Veri Toplama

Bu çalışmada yağışın zamansal ve miktar olarak değişimini belirlemek amacıyla yağışlar otomatik yağış ölçer aletleri ile toplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan aletler özel olarak tasarlanmıştır. Dünyada yaygın olarak kullanılan yağış ölçüm sistemlerinden yağışın ilk başlaması sırasında içindeki iyonların nasıl değiştiği hakkında bilgi elde etmek oldukça güçtür. Mevcut yağış ölçüm aletlerinin yeni tasarlanan sisteme montajı ile ölçüm sistemi orijinallik kazanmıştır. Kullanılan sistem yağışların ölçülmesi, zaman ayar elektronik devreleri, sürelerle göre kaplara aktarımlar, tüm sistemi kontrol eden veri toplayıcı, değişik arazi şartlarına uyumlu olması için güneş paneli ve aküden meydana gelmektedir (Şekil 3.1).

Yağış toplamada Campbell Scientific, Inc. Firmasının ürettiği 0.1 mm hassasiyette olan "TE525 Tipping Bucket Rain Gage" modeli kullanılmıştır. Bu alet 0°-50°C sıcaklıkta ve 0-100% nemlilik derecesinde çalışmaktadır. Bu sistemin çalışması için gerekli enerji 12 V enerji sağlayan bir güneş paneli ile onun beslediği 12V'luk bir kuru pil tarafından sağlanmıştır. Yağış ölçer aletine özel olarak bazı eklemeler yapılmıştır. Bu sayede alet zaman ve miktar sayaçları ile programlanabilmekte ve isteğe göre 6 ayrı kapta yağış örneği alınabilmektedir. Bu çalışmada hem sisteme düşen yağışın belirli zaman aralıklar ile ayrı ayrı kaplara aktarılabilmesi ve hem de yağış miktarının kaydedilmesi bir Campbell CR10X veri toplayıcı tarafından sağlanmıştır. Veri toplayıcı programlanarak zaman ayarı yapılmış olup, gelen yağışın 10'ar dakikalık aralıklar ile (10, 20, 30, 40, 50) 5 ayrı kapta ve 50. dakikadan sonra gelen yağışın ise 6. kapta toplanması sağlanmıştır. Her numune alımından sonra veri toplayıcıda program yeniden başlatılarak, yağış örneklerinin zamansal dağılımı kaydetmeye uygun hale getirilmiştir. Bununla birlikte veri toplayıcıdan, meydana gelen yağışın başlama, bitiş ve miktarları veri depolama organı vasıtasıyla alınarak, büroda bilgisayarda değerlendirmeye uygun hale getirilmiştir.

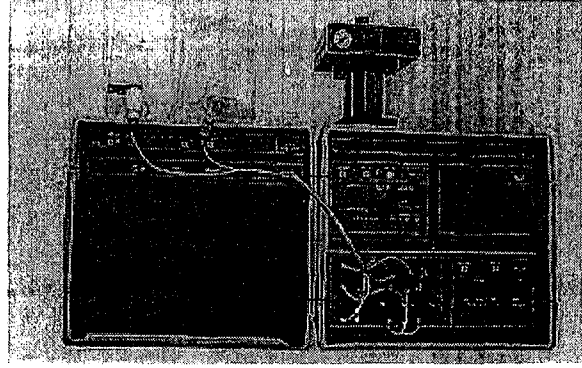


Şekil 3.1: Ölçümlerde kullanılan sistemden görüşler.

Türkiye’de ilk defa uygulanan bu sistem kaplarda toplanan yağış örnekleri, 0.45 µm çapında filtre ile süzülerek temiz polietilen kaplara konularak numaralandırılmış ve kaydedilmiştir. Örneklerin depolandığı kaplar üzerine gerekli bilgiler işlenerek kimyasal analiz için +4°C’de bekletilmiştir. En fazla bekleyen örnek süresi 4 aydır. Polietilen kaplarda depolanan veriler termosla konarak özel kurye ile analiz yerine götürülmüştür. Laboratuvarında yine aynı şartlarda muhafaza edilen numunelerden en fazla 5 aylık bir süre içerisinde analizi yapılmıştır. Düşük sıcaklıklarda polietilen kaplarda bekletilen su örneklerindeki ana iyonlar herhangi bir değişikliğe uğramadan 6 ay korunabilmektedirler (Galloway and Likens, 1976).

3.3. Kimyasal Analiz

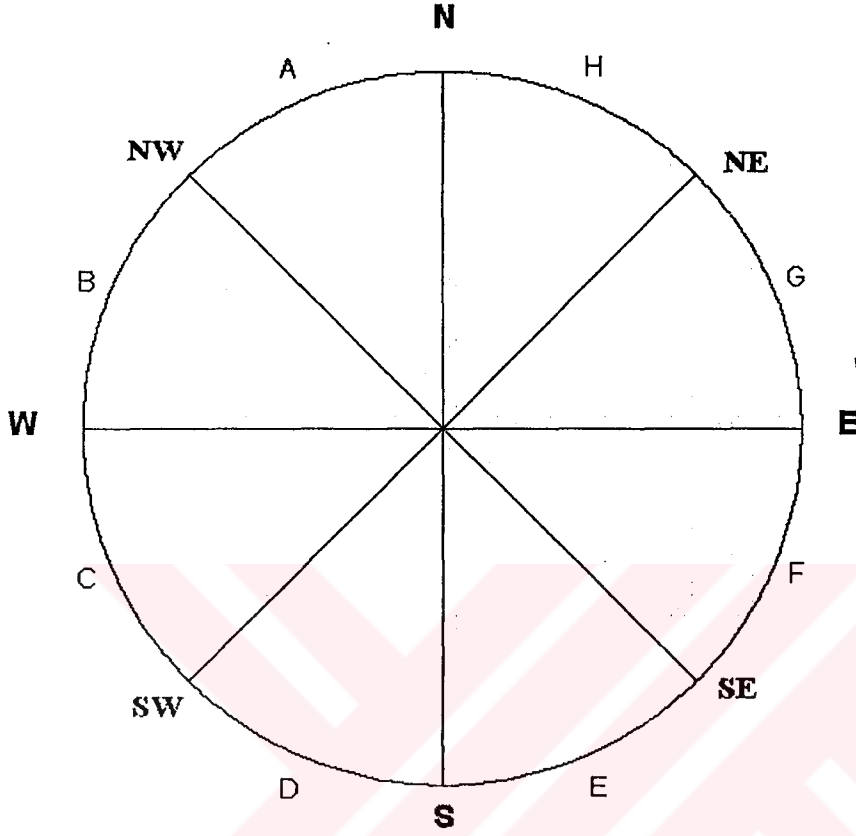
Yağış sonrasında pH ve iletkenlik değerleri hemen ölçülmüştür. Alınan yağış örneklerinin kimyasal analiz için +4°C’de bekletilen numuneler buzdolabından alınarak Ankara’ya ÖDTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmak üzere götürülmüştür (Tuncel, 1998). Polietilen kaplarda depolanan yağış suları Laboratuvarında Class-100 temiz ortamında açılarak 0.2 µm çaplı süzgeçten geçirilerek büyük katı maddelerden arıtılmıştır. Süzülen su üç ayrı kaba ayrılmıştır. Bunlardan birincisi SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- için kullanılmış ve bu analiz bir Varian Model 2010 iyon kromatografi (Şekil 3.2) Vydac anyon değişim kolonu ve JASCO model 875 UV/VIS detector yöntemiyle tespit edilmiştir. İkinci kaba ayrılan örnek Na^+ , K^+ , Ca^{2+} iyonları atomik emisyon ve Mg^{2+} iyonu atomik absorpsiyon spektrometre ile belirlenmiştir. Üçüncü kaba ayrılan su ise NH_4^+ analizi için kullanılmış ve bu spektrofotometre ile analiz edilmiştir. İyonların belirlenmesindeki konsantrasyon limitleri Cl^- için $0.05 \mu g.ml^{-1}$, NO_3^- için $0.16 \mu g.ml^{-1}$, SO_4^{2-} için $0.62 \mu g.ml^{-1}$, Na^+ için $0.11 \mu g.ml^{-1}$, K^+ için $0.03 \mu g.ml^{-1}$, Mg^{2+} için $0.076 \mu g.ml^{-1}$ ve Ca^{2+} için $0.12 \mu g.ml^{-1}$ ’dir.



Şekil 3.2: SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- iyonlarının analizinde kullanılan İyon kromatografi aleti.

3.4. Meteorolojik Veri

Olası kirletici kaynaklarının belirlenebilmesi için yer ve yukarı seviye meteorolojik haritaları, Göztepe radyosonde verisi ile klimatolojik veri kullanılmıştır. Klimatolojik veri için İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Meteoroloji Parkı'nda yapılan gözlemlerden faydalanılmıştır. Yağış geliş yönlerinin belirlenmesinde uydu verilerinden de yararlanılmıştır. Yağışlı günden üç gün geriye gidilerek elde edilen haritalardan faydalanılmıştır. Yörünge analizi sonuçları karşılaştırmalarda kolaylık sağlaması açısından 8 ayrı yöne göre değerlendirilmiştir. Bu yönler sırasıyla A, B, C, D, E, F, G ve H şeklinde gösterilmiştir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bu gruplama sırasıyla N-NW (kuzey-kuzeybatı) aralığından başlamak üzere saat ibresinin ters yönünde ilerleyen yönlerdir.

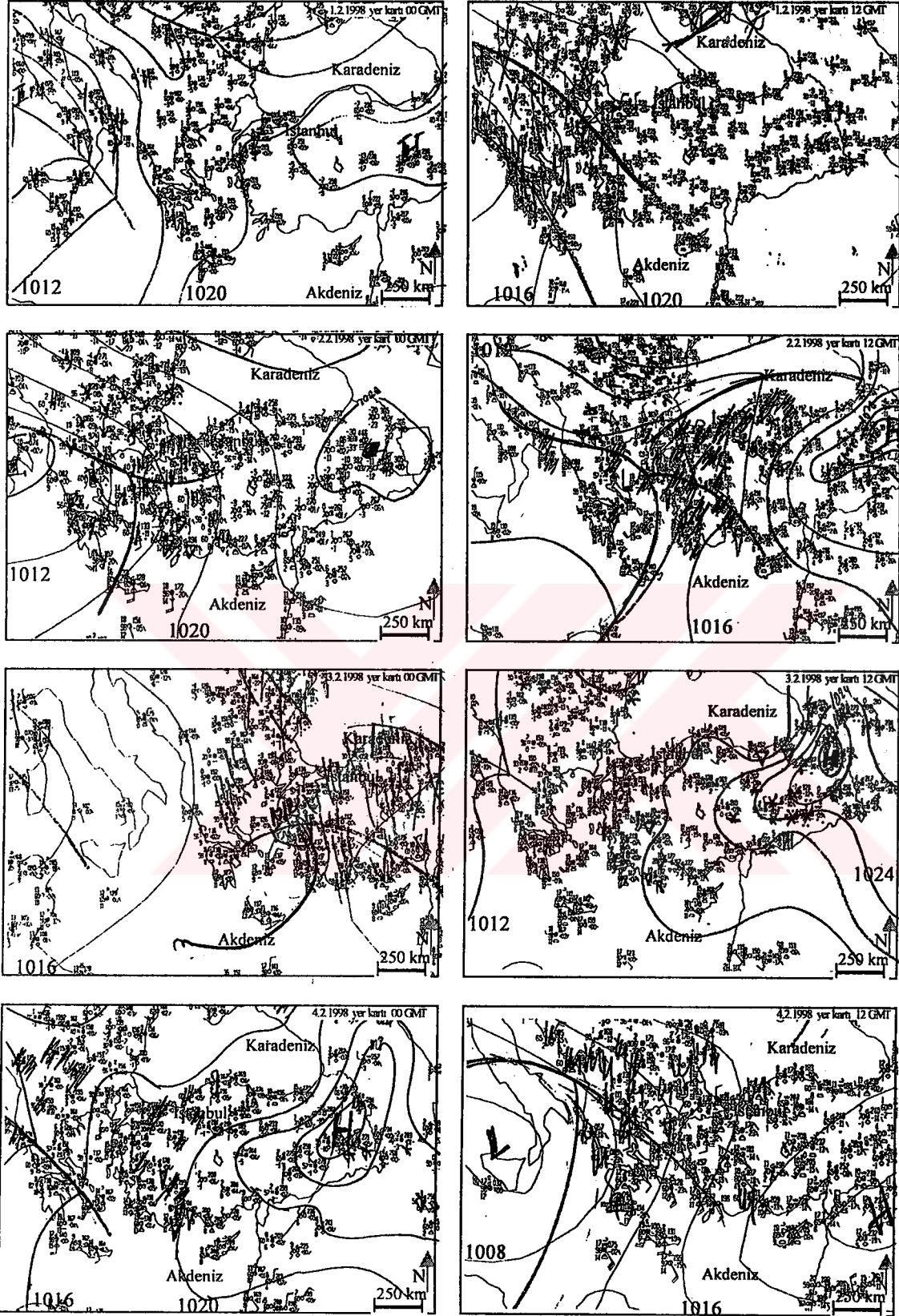


Şekil 3.3: Araştırma bölgesinde meydana gelen yağışın geliş yönleri.

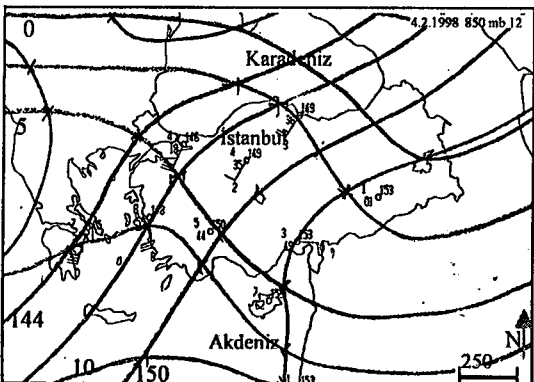
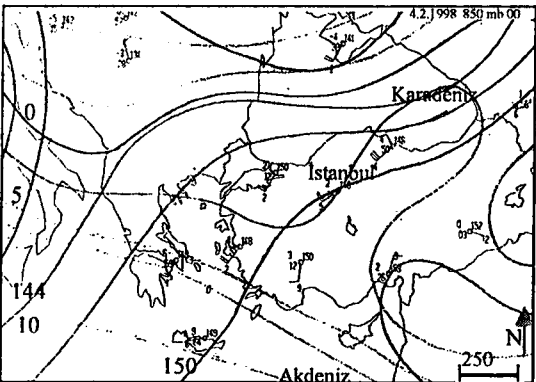
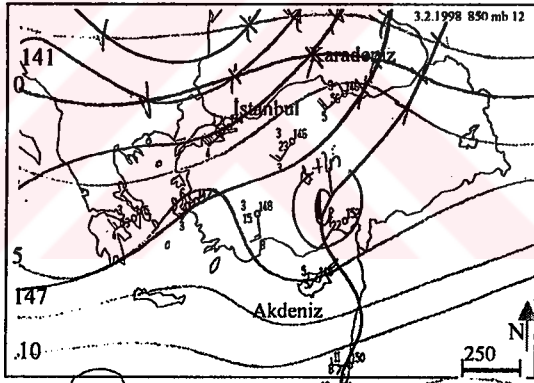
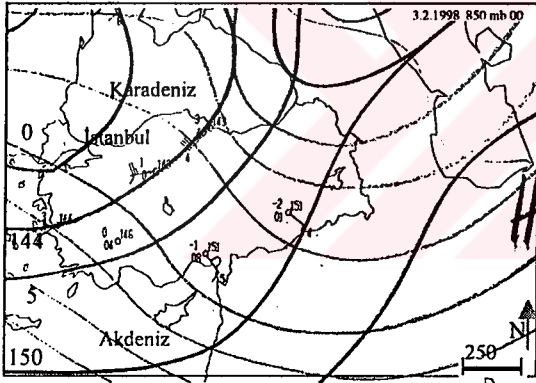
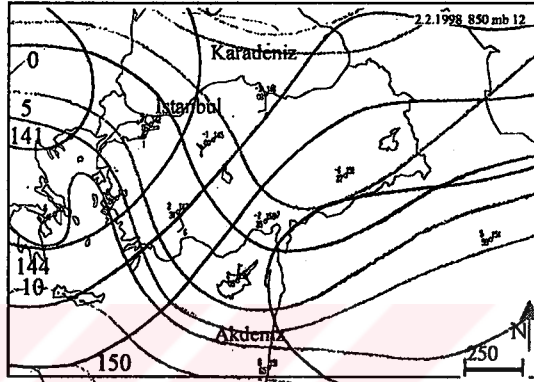
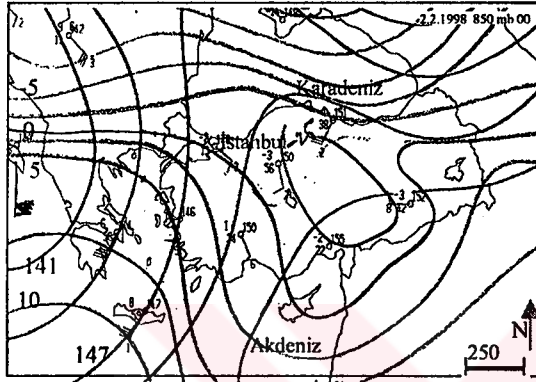
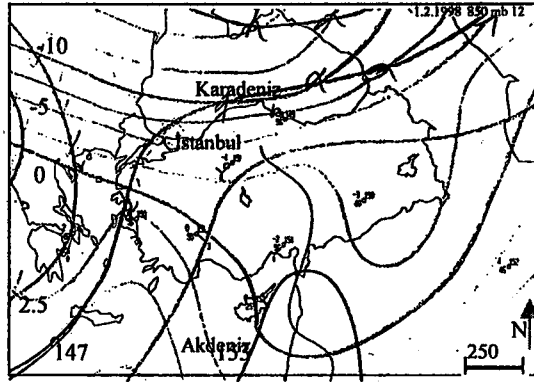
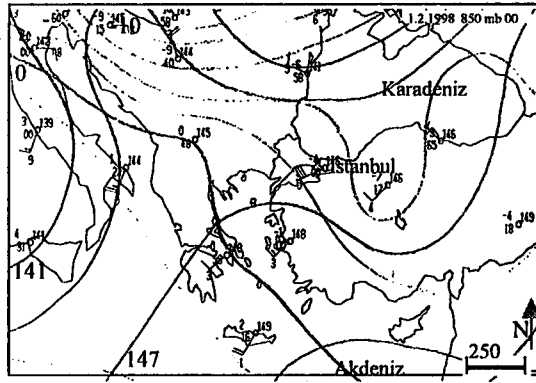
Çalışma içerisinde örnek teşkil etmesi açısından sadece 4 Şubat 1998'deki yağış ile ilgili haritalar verilmiştir. Haritalar genel olarak;

Yer kartları: Yer seviyesindeki atmosferik olayları, cepheleri ve cephelerin hareketinin en iyi gözlendiği haritalardır. Bu haritada eğriler eş basınç değerlerini gösterir. İstasyon bilgileri ise, geçmiş, o anki hava durumu ile rüzgar sıcaklık, bulutluluk, çiğ noktası sıcaklığı gibi değerlerdir. Şekil 3.4'te 4 Şubat 1998 tarihinde meydana gelen yağıştan 3 gün öncesine kadarki yer kartı haritaları verilmiştir.

850 mb seviye haritası: Sıcaklığın yatay olarak taşınımının en iyi gözlendiği haritalardır. Yaklaşık 1550 m yüksekliktedir. Buradaki eğriler eş yükselti eğrilerini gösterir. Yağış bulutunun olduğu seviyedir. Aynı zamanda bu haritada eş sıcaklık eğrileri vardır. Şekil 3.5'de 1, 2, 3 ve 4 Şubat 1988 günlerindeki 00.00 GMT ve 12.00 GMT haritaları verilmiştir.



Şekil 3.4: 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, yer kartı 00.00 ve 12.00 GMT ve eş sıcaklık eğrileri (°C).

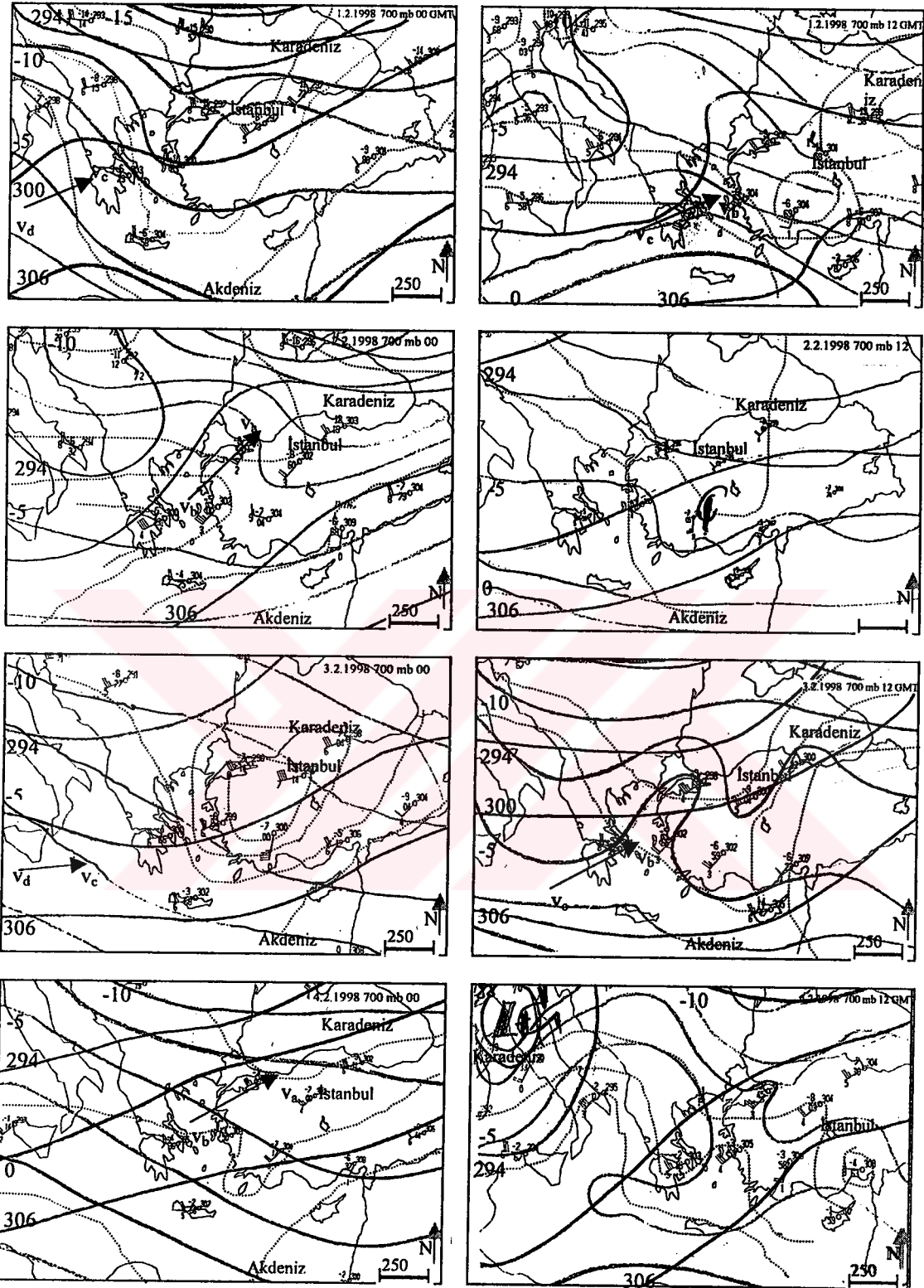


Şekil 3.5: 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, 850 mb 00.00 ve 12.00 GMT eş yükselti eğrileri (gpm) ve eş sıcaklık eğrileri ($^{\circ}\text{C}$).

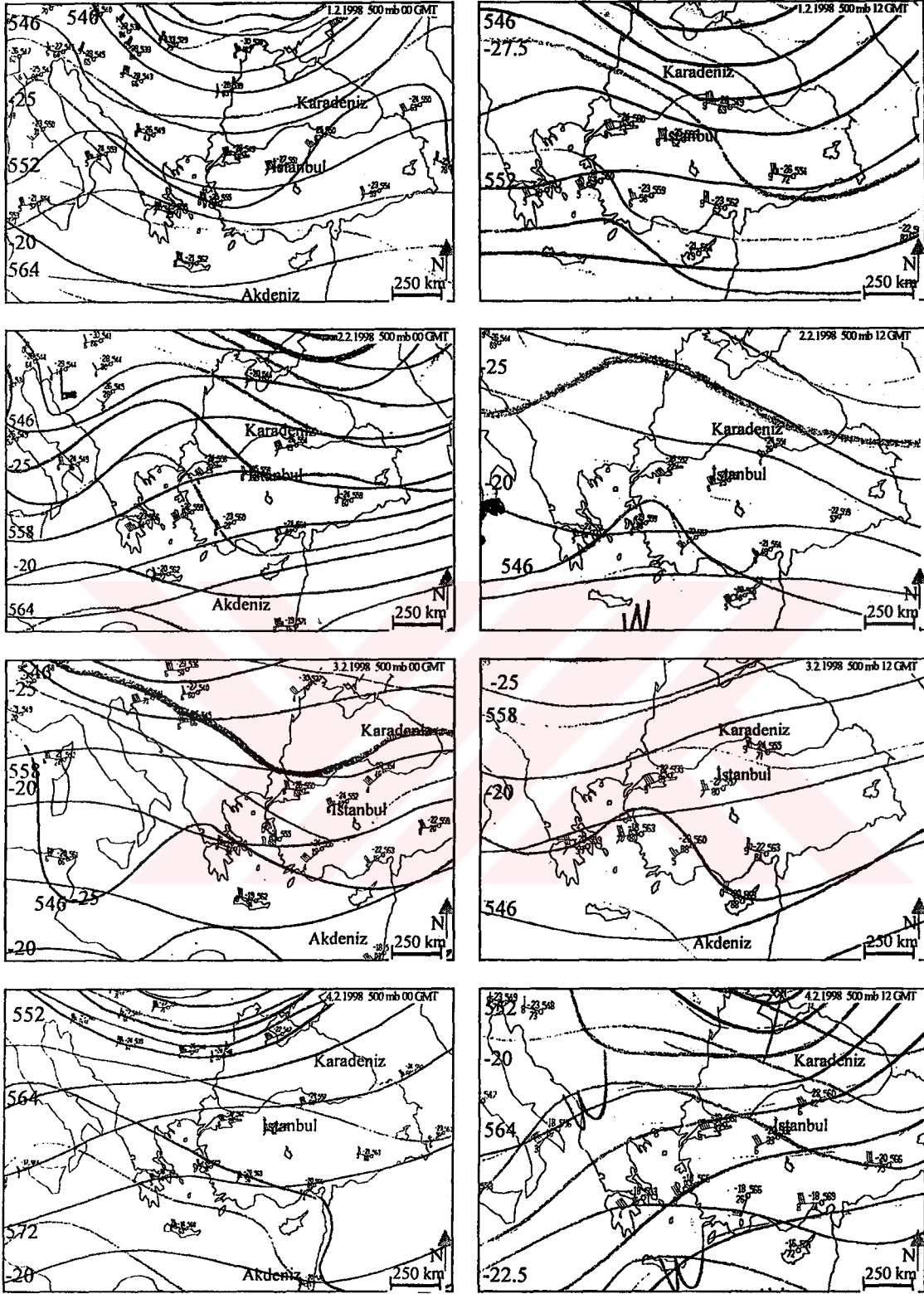
700 mb seviye haritası: 850 mb haritalarında olduğu gibi sıcaklığın yatay olarak taşınımını bu haritalarda da görmek mümkündür. Yaklaşık 3000 m yüksekliktedir. Basınç seviyesi olarak düşünöldüğünde atmosferin %30'u bu seviyenin altındadır. Bu seviye aşağı troposferde yer almakta ve yüzey sürtünmesi görölmemektedir. Bu haritalar vasıtasıyla bir bölgeye sıcak veya soğuk hava taşınımının olup olmadığının tespiti yapılır. Şekil 3.6'da 1, 2, 3 ve 4 Şubat 1998 günlerine ait haritalar verilmiştir.

500 mb seviye haritası: Yer seviyesindeki meteorolojik şartların etkilendiği, atmosferik hareketlerin (oluk ve sırtların) en iyi gözlendiği seviyedir. Bunun nedeni ise 500 mb seviyesinin orta troposferde yer almasıdır. Bu bölgede aşağı atmosfer ile üst troposferik hareketlerin jet akımları (maksimum rüzgar) ile birleştiği yerdir. Bu seviye yaklaşık 5500 m yüksekliktedir (Şekil 3.7).





Şekil 3.6: 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, 700 mb 00.00 ve 12.00 GMT eş yükselti eğrileri (gpm) ve eş sıcaklık eğrileri (°C).



Şekil 3.7: 1-4 Şubat 1998 tarihleri arası, 500 mb 00.00 ve 12.00 GMT eş yükselti eğrileri (gpm) ve eş sıcaklık eğrileri (°C).

3.4.1. Yörünge Analizi

Bir bölgede meydana gelen asit yağışlarının hava kirliliği kaynağı değişiklikler gösterebilir. Yağış içerisindeki kirleticiler bazen yakın çevreden gelirken; bazen de binlerce km uzaktaki kaynaklardan etkilenebilir. Kaynağın bilinmesi ise olayın fiziksel olarak doğru yorumlanmasını ve sonuçların daha güvenilir olmasını mümkün kılar. Kaynaktan çıkan kirleticiler (gaz, sıvı veya katı) atmosferde meteorolojik şartlar ve topografyaya bağlı olarak hareket eder (Pack et al., 1978) Kirleticiler hava hareketleri ile yer değiştirdiğinde, hava parselinin yörüngesini bilmek gerekmektedir. Su buharı ile reaksiyona giren daha asit reaksiyonlu kirleticilerin hareketinde ise bulutların takibi yapılabilir. Bu konuda uydu teknolojisinin gelişmesi araştırmacılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada hava parsellerinin yörünge analizinde uydu resimleri ile bulut takibi yapılmıştır.

Yörünge analizinde takip edilen yollardan en önemlisi meteorolojik hava haritalarının kullanılmasıdır. Bu haritalar üzerinde rüzgar yön ve hızından faydalanarak akım çizgileri oluşturulur ve yörünge analizi yapılır, (Saucier, 1955; Djuric, 1995; Kadioğlu, 1996). Jeostrofik rüzgarların yön ve/veya hızının bir anlık paternlerini göstermek için, izobarlar ve konturlar kullanılmaktadır. Halihazır rüzgarın yön ve hızının paternlerini göstermede ise akım çizgileri ve eş rüzgar şiddetleri kullanılmaktadır (Sarı ve Kadioğlu, 1997). Yörünge analizinde yer kartı, 850 mb, 700 mb ve 500 mb hava haritalarından faydalanılmıştır. 700 mb hava haritaları ve kullanılan yöntemi aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır. 1-4 Şubat 1998 tarihleri arasındaki 12'şer saatlik haritalar Şekil 3.5-3.8 arasında sunulmuştur. Yağış olduğu günlerdeki radyozonde verilerinden bulut taban ve tavan yüksekliğinin hangi seviyede olduğu atmosferik düşey kesit analiziyle belirlenmiştir. Geri yörünge analizinde bu seviye dikkate alınmıştır (700 mb veya 850 mb).

3.4.2. Akım Çizgileri

Harita üzerinde yatay hava hareketleri iki tür eğri ile gösterilir. Bu eğriler eş rüzgar yönleri ve eş rüzgar şiddetleridir. Eş rüzgar şiddetleri rüzgar akış yoğunluğunu yani hızını gösterir. Bu parametrelerin tespitinde çeşitli yöntemler kullanılır. Ancak en tutarlı yöntem akış hatlarının çizilmesidir.

Akım çizgileri, bir anlık akış paternindeki rüzgarlardan teğet olarak geçen eğriler serisidir. Serbest havadaki akımın tespiti yer seviyesindeki basınç hattına göre daha basit ve rüzgar hakkında daha fazla fikir verir. Sadece yer kartına bakarak bütün rüzgar raporlarını değerlendirmek zordur. Bu özellikle rüzgar hızının çok düşük olduğu bölgelerde neredeyse imkansız hale gelir. Rüzgar ile ilgili istediğimiz bütün raporları (gözlemleri) sıhhatli olarak elde edebilmek için bütün verileri tek tek incelemek zorunda kalabiliriz. Böylece kara üzerinde bilgi edinmek mümkün olabilirken, deniz üzerinde daima yetersiz bilgi alınacaktır.

Harita üzerinde işlenen rüzgar yönleri, akım çizgilerinin yatay plandaki eğimlerini verir. Çizilecek akım çizgisi tercihe bağlıdır. Akım çizgisinin dallandığı ve diğerleriyle birleştiği görülür. Bu birleşme noktasında akım çizgilerinin yönü aynı ve rüzgar tek yöne sahip olacaktır. Bu nedenle belli sayıdaki rüzgarın, sakin olduğu alanlar dışında, akım çizgileri sonuçta bir çok farklı açıyla kesişmez veya birleşmezler (Sarı ve Kadioğlu, 1997).

Cephesel süreksizlikler cephe üzerinde biten ya da doğan akım çizgileri ile çizilirler. Akım çizgilerinin hangi sıklıkta çizileceği kişisel seçime kalmıştır. Genelde hızlı akışlar sık akım çizgileri ile belirlenir. Cephe üstündeki hava akımları siklonik rüzgar dönüşünü gösterir. Aynı şekilde jeostrofik rüzgarda kontur sahalarında siklonik rüzgar dönüşünü göstermektedir.

Cephelerde olduğu gibi konverjans her zaman süreksiz değildir. Cephe üstünde olduğu gibi bir örnek olarak durgun konverjans akım çizgileri birbiri içine birleştikleri yerde görülebilirler. Bu konverjans, akımın antisiklonik dönüşü ile ilişkilidir. Süreksiz antisiklonik rüzgar dönüşü atmosferde devam etmez, görülmez (Sarı ve Kadioğlu, 1997).

3.4.3. Yörünge Analizi Yapılışı

Elle çizilen yörüngelerde vektördeki ortalama rüzgar hızı alınır. Yörüngesi çizilecek noktanın vektörel konumu tespit edilir. O vektörde ortalama rüzgar hızı bulunur. Rüzgar hızının $20 \text{ knot} \approx 10 \text{ m/s}$ olduğu durumda, rüzgar saatte $3600 \cdot 10 = 36 \text{ km/saat}$ yol alacaktır. 6 saatlik bir haritada ise $6 \cdot 36 = 216 \text{ km}$ yol alacaktır. 6 veya 12 saatlik dönemler için bulunan değer, harita ölçeği göz önünde bulundurularak işaretlenir. Yörünge akım çizgileri boyunca çizilir.

Yörüngenin hıza bağlı olarak aldığı mesafe ve devamında yapılacak ikinci ve daha fazla 12 saatlik yörüngelerde yön akım çizgilerine göre belirlenir. Her altı saatlik uygulamada bulunacak mesafe sonu ikinci yörüngenin başlangıcıdır. Yapılacak uygulamalar sayısına göre bulunacak noktalar doğrusal olarak birleştirilir.

Bütün bunlar göz önünde tutularak aşağıdaki algoritma ve işlem sırası takip edilmek sureti ile sinoptik kartlar üzerinde hava parsellerinin yörüngeleri yaklaşık olarak belirlenir.

Harita üzerinde başlangıç olarak kabul edilecek herhangi bir nokta veya önem taşıyan kütleden akım çizgilerine paralellik gösterecek doğrusal hat çizilir. 2 Şubat 1998 ve 4 Şubat 1998 tarihlerinde yağın yağışlar için örnek uygulama 700 mb 2.2.1998 00.00 GMT ve 4.2.1998 00.00 GMT kartında üzerinde işaretlenen noktadan geri yönde iz takibi başlatıldı. İstanbul son nokta olarak alındığında burada 2 Şubat'ta 10 m/sn'lik, 4 Şubat'ta ise 15 m/sn'lik eş rüzgar şiddeti çizgisi geçmektedir.

O günkü rüzgar hızına göre geriye doğru çizim başlatılır. Başlangıç noktasındaki eş rüzgar şiddeti değerleri okunur. Ölçekten hazırlanan mesafe skalasında hız karşılığı uzaklık işaretlenir. Bulunan noktadaki hız okunur ve ilk değer ile ortalaması şu şekilde alınır;

$$V(t_1) = \frac{1}{2}(V_a + V_b); = \frac{1}{2}((V_b + V_c); = \frac{1}{2}(V_c + V_d) \quad (3.1)$$

şeklinde devam edilir (Kadioğlu, 1996). Burada;

V: Hız (başlangıç noktasındaki eş rüzgar şiddetleri değeri),

t₁: Hazırlanan yörüngenin süresini gösterir,

V_a: Yörüngenin başlangıç noktası rüzgar hızı,

V_b: İlk adımda geri yönde ulaşılan mesafede rüzgar hızı,

V_c: Bir önceki yörüngenin başlangıç noktası rüzgar hızı,

V_d: Bir önceki geri yönde ulaşılan mesafe rüzgar hızı.

Elde edilen V_a değerinden itibaren ölçeğe göre bulunan uzaklık işaretlenir. Geri yönde 12 saatlik yörünge hareketi gösterilir.

Yapılan analizden, 1.2.1998 veya 3.2.1988 tarihinde İtalya'nın güney bölgesindeki hava parselinin 24 saat içinde İstanbul'a ulaştığı yörüngeden anlaşılmaktadır. Belirlenen noktadan itibaren 12 saat sonunda yörünge uygulaması akım

çizgisine paralel olarak hareket ettiği varsayımına göre 24 saat içinde İstanbul üzerine geldiği tespit edilmiştir. Diğer yağışlı günlerinde aynı yöntem takip edilmiştir.

Meteorolojik şartların geldiği yerin özelliğini taşıyacağı kabul edildiğinden geliş noktasının tespiti çok önemlidir. Yüksek seviye ya da yer kartında önemli olan veya beklenen kütle dikkate alınarak yörünge hazırlanması gerekir. Elle hazırlanan yörüngelerde sadece havanın yatay hareketi tespit edilebilir. Hava akımının hızı kısa mesafelerde değişken (ortalama yüksek değer içeriyorsa) ise yörüngeler olumlu sonuçlar verecektir. Düşey değişim dikkate alınmadığı için çoğu zaman yörüngeler yardımıyla yapılacak tahminler olumlu sonuç vermeyebilir. Bu çalışmada geri yörünge tespitinde düşey kesit analizi yapılarak üçüncü boyut getirilmiştir.

3.4.4. Düşey Kesit Analizi

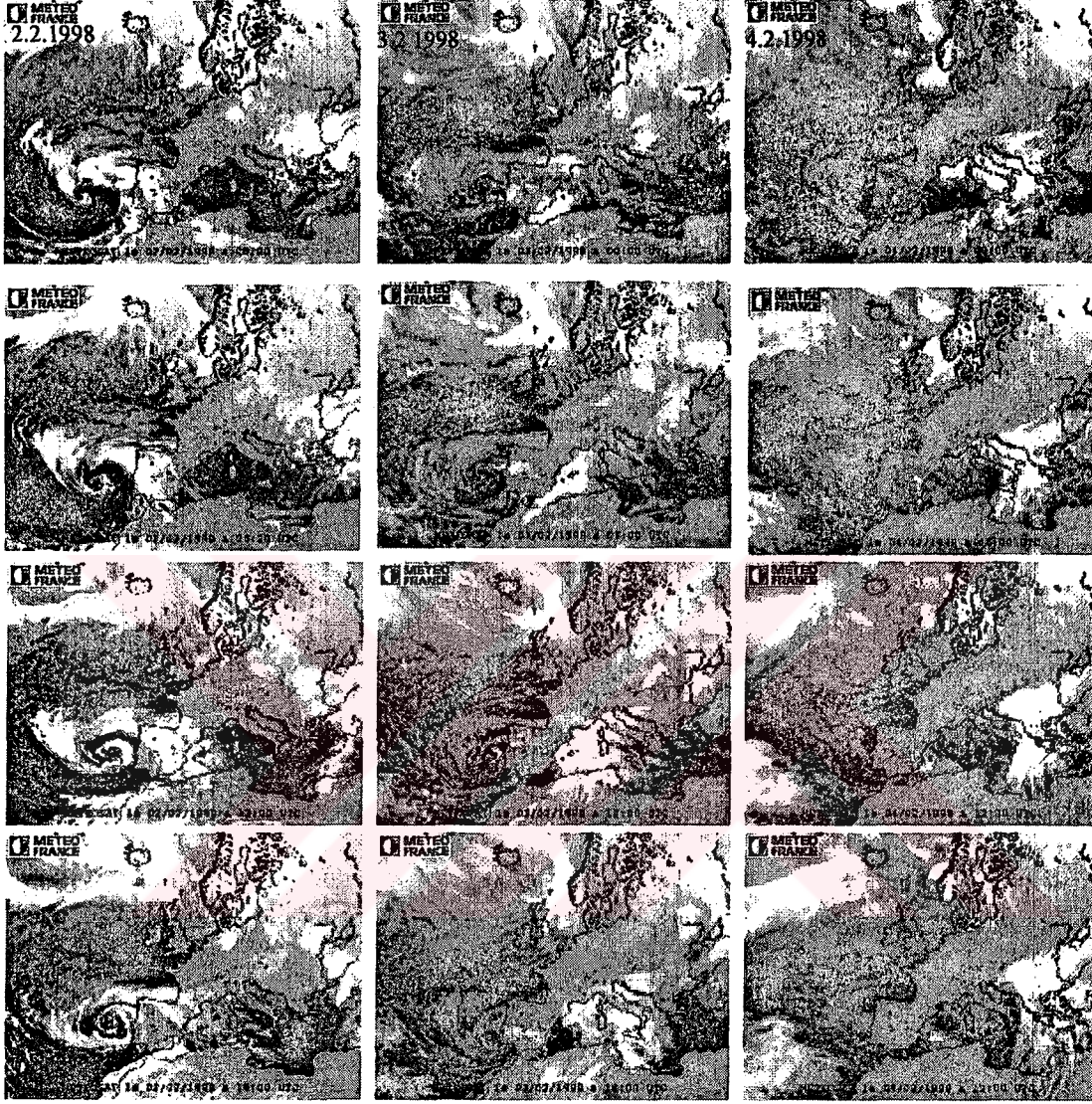
Radyozonde verileri kullanılarak atmosferin düşey yapısının incelenmesidir. Günde 2 defa 00.00 ve 12.00 GMT saatlerinde atmosfere atılan radyozonde aleti atmosferin düşey kesiti ile ilgili meteorolojik bilgileri vermektedir. Düşey kesit analizinde aynı saatte farklı istasyonların incelenmesi ile uzaysal atmosfer şartları belirlenir. Bir istasyonda değişik zamanlar alınarak düşey kesitin zamanla değişimi hakkında bilgiler elde edilir. Bu çalışmada Göztepe meteoroloji istasyonu radyozonde verileri kullanılarak yağış öncesi zamansal atmosferik düşey kesitler analiz edilmiştir. Örnek olarak 4 Şubat 1998'de meydana gelen yağışın geri yönde yörüngesini bulmak için, kullanılan 2-4 Şubat 1998 tarihleri arasındaki 12'şer saatlik aralıklarla atmosferik düşey kesitte eş potansiyel sıcaklığın ve karışma oranının değişimi Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekil 3.9'de ise 2-4 Şubat 1998 tarihleri arasındaki potansiyel sıcaklık ile rüzgar yönü düşey kesiti görülmektedir.

Şekillerde Göztepe 2-4 Şubat 1998 tarihine ait 12'şer saat aralıklarla alınmış temp rasatları ile çizilmiş zaman-düşey kesitleri verilmiştir. Bu kesitlerden görüldüğü üzere 4 Şubat 1998 gecesi İstanbul'da gözlenen yağış öncesi orta troposferde hafif bir kararsızlık oluşmuştur. Yeryüzü yakınındaki kararlılık ve hemen onun üzerindeki kararsızlık Şekil 3.8'te eşdeğer potansiyel sıcaklık Şekil 3.9'da potansiyel sıcaklık konturlarının 2 Şubat 1998 saat 12.00'dan itibaren bir gün boyunca yükseklikle açılması diğer bir deyişle eşdeğer potansiyel sıcaklığın orta troposferde yükseklikle azalma hızının düşmesi bu seviyedeki kararsızlığın bariz işaretidir.

Bu kararsızlık eşdeğer potansiyel sıcaklık eğrilerinde daha belirgin olarak görülmektedir. Eşdeğer potansiyel sıcaklık tanımından bu değer neme bağlı olarak değiştiğinden nemde de önemli bir değişiklik olmuştur. Diğer bir deyişle kararsızlıktan dolayı nemdeki değişimin sıcaklıktan daha fazladır. Bu nedenle bu kararsızlık şartlı kararsızlık olarak görülebilir. Bir gün sonra aşağı seviyedeki rüzgarların kuzeybatıdan-güneybatıya dönmesi ile aşağı seviyedeki kararsızlık zayıflamıştır. Güneyli rüzgarların neden olduğu alçak seviyedeki sıcak adveksiyon yer yüzeyi ile orta troposfer seviyeleri arasındaki sıcaklık farkının artmasında önemli rol oynamıştır. 3 Şubat 1998 12.00 GMT'de nemdeki önemli artış ile beraber 900-600 mb arasındaki belirgin kararsızlık alanın "soğuk damlayı" gösterdiği söylenebilir. Bu soğuk damla 4 Şubat 1998 12.00 GMT'de İstanbul üzerinde yerini nispeten daha kararlı bir havaya bırakmıştır. Görüldüğü gibi zaman kesitlerinin bu şekilde incelenmesi yağışların oluşum mekanizması hakkında yararlı bilgilerde verebilmektedir. Yağışların siklonik, cephesel, orografik ve konvektif olup olmadığı, onları içeren hava parsellerinin takip edilmesinde gözönüne alınması gereken önemli bilgiler arasında yer almaktadır. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da görüldüğü gibi 4 Şubat 00.00 GMT'de yağışa neden olan soğuk damla içeren hava parseli takip edilmiştir. Çalışmadaki diğer yağışlı günler için aynı yöntem takip edilmiştir.

3.4.5. Uydu Resimleri

Yağışların gelme yerlerinin belirlenmesinde internet yoluyla alınan değişik uydu resimlerinden faydalanılmıştır. 2-4 Şubat 1998 tarihleri arasında altı saatlik aralıklarla METEOSAT uydusundan alınan bulutluluk Şekil 3.10'te görülmektedir. Uydu resimleri 6'şar saatlik zaman aralıkları ile incelenmiştir. Uydu teknolojisi ile yaklaşan bulutluluk ve diğer meteorolojik parametrelerin takibi ile yağış gerçekleşmeden önce ölçüm cihazları kontrol edilerek daha düzenli veri elde edilmiştir.



Şekil 3.10: 2-4 Şubat 1998 tarihleri arası 6 saat aralıklarla uydu resimleri ve bulutluluk yörüngesi.

4. YAĞIŞ VERİSİ ANALİZİ

İstanbul'da asit yağışları ile ilgili yapılan bu çalışma, Ekim 1997-Temmuz 1998 tarihleri arasında İTÜ Maslak Kampüsü (İTÜMK) ve Bahçeköy İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanı (İÜOFAO) sahasında alınan yağış ölçümelerini içermektedir. Yağış örneklerinden İTÜMK'de 153 adedi, İÜOFAO'de ise 34 adedi değerlendirmeler sonucunda incelemeye alınmıştır. Maslak'ta elde edilen verilerin 64 adedi kimyasal analize tabi tutulmuştur. Belgrad Ormanı'nda alınan örneklerin ise tamamının kimyasal analizi yapılarak incelenmiştir. Kimyasal analizlerin yapılmasındaki güçlüklerden biri de anyon ve katyon verilerinin pH ve iletkenlik verilerine göre daha az olmasıdır. Anyon ve katyon analizlerinde daha çok sıralı alınan örneklere öncelik verilmiştir. Yağışın meydana geldiği günler için geriye dönük yörunge araştırılmıştır. Yağış süre kontrollü olarak gruplara ayrılmıştır. Örneklerin pH değerleri, iletkenlikleri, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ konsantrasyonları incelenmiştir. Bunlardan Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ toprak ve deniz tuzu kökenli element ve iyonlardır. SO_4^{2-} , NO_3^- ve NH_4^+ ise bulut içerisinde homojen şekilde dağılım gösterir ve geldiği yerin özelliğini taşımaktadırlar. Bunun nedeni, bulut içerisinde yağış damlalarının oluşumu esnasında su zerreciği içerisine giren kirleticilerdir. Tablolarda sırasıyla yağmur suyunun pH, iletkenlik değerleri ($\mu\text{S}/\text{cm}$), yağış içindeki anyonlar mg/l olarak SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , katyonlar mg/l olarak Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , toplanan yağış miktarı (mm), yağış geri dönüş yörüngesi (Yön), 10 m yükseklikteki rüzgar şiddeti (R.şid) m/s olarak, rüzgarın yönü (R.yön), yağış sırasında 2 m yükseklikteki sıcaklık (T, °C) ve 2 m yükseklikteki bağıl nem yüzde olarak (Nem) değerlerini göstermektedir. İÜOFAO değerlerinde meteorolojik gözlemler yer almamaktadır. Bu ölçüm istasyonunun yakın çevre kirliliğinden uzak olması dolayısıyla sonuçları önemlidir. Örneğin, aynı tarihe denk düşen 2.2.1998 tarihinde pH, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ ve H^+ için 1. kap değerleri sırasıyla İTÜMK'de 6.5, 38.9, 19.1, 24.5, 4.1, 55.9, 20.3, 1.6, 3.6, 0.3 ve İÜOFAO'de ise 5.4, 7.0, 3.1, 6.2, 0.6, 3.8, 6.3, 0.4, 0.7,

4.0'dür. Aynı tarihte yağışın C yönünden geldiği ve Maslak verilerinin şehir kirliliğinden çok fazla etkilendiği görülmektedir. Zira Maslak ormanlık alanla şehirsal alanın ortak sınırında şehir tarafında kalan bölgedir.

4.1. Yağış Süre İlişkisi

Yağıştaki kimyasallar yağış periyodu içerisinde değiştiği için örnekler zamana bağlı olarak alınmıştır. Zaman olarak yağış başlamasından itibaren ilk 10 dakikadaki yağış 1. kapta; sonraki 10.-20. dakikalar arası 2. kapta; 20.-30. dakikalar arası 3. kapta; 30.-40. dakikalar arası 4. kapta; ve 40.-50. dakikalar arası 5. kapta toplanmıştır. 50. dakikadan sonraki yağış 6. kapta toplanmıştır. Bu nedenle, 6. kapta toplanan yağış ilk 50 dakikadan sonraki uzun süreli ortalamayı ifade edebilmektedir. Kaplardaki örnek sayılarının eşit olmaması, yağışın sürekli olmamasındandır.

İTÜMK'de elde edilen 153, İÜOFAO'de ise 34 adet yağış verisinin pH değeri anında ölçülmüştür. Bu rakamlara kaplar dahildir. İTÜMK'deki örneklerden 45'i, 1.; 10'u, 2.; 12'si, 3.; 13'ü, 4.; 9 tanesi 5. kaptan ve geri kalan 64 tanesi de 6. kaptan alınmıştır. İÜOFAO'de ise 8'i, 1.; 6'sı, 2.; 5'i, 3.; 3'ü, 4.; 5'i, 5.; ve 7'si, 6. kaptan alınmıştır. Kapların kendi içindeki yüzdeleri Tablo 4.1'te verilmiştir. Her bir ayrı süre için yağışların kendi içinde asitlilik yüzdesine bakıldığında Maslak'ta 1. kap yüzdesi diğerlerinden büyük farklılıklar göstermektedir. Kapların yüzdesi sırasıyla 1. kap % 33; 2. kap % 10; 3. kap % 8; 4. kap % 15; 5. kap % 22; ve 6. kap'ta ise % 23 olarak bulunmuştur. Belgrad ormanında ise yüzdelere sırasıyla % 25, % 17, % 40, % 33, % 20 ve 6. kap için % 29 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1: Yağışların kaplara göre dağılımı ve asitlilik oranları.

Kıaplar	İTÜMK			İÜOFAO		
	Örnek sayısı	pH<5.6 sayısı	%	Örnek sayısı	pH<5.6 sayısı	%
1	45	15	33	8	2	25
2	10	1	10	6	1	17
3	12	1	8	5	2	40
4	13	2	15	3	1	33
5	9	2	22	5	1	20
6	64	15	23	7	2	29

Yağışların pH miktarlarının kaplardaki değişimleri ve yüzdeleri Tablo 4.2’de sunulmuştur. İlk yağışların (1.kap) pH değerlerine bakıldığında %16’nın, 5’in altında; % 30’u, 5.6’nın altında; % 59’u, 5.6 ile 7 arasında; % 11’i ise bazı değerlere karşılık gelmektedir. 2. kapların (10.-20. dakika arası) pH değerleri 5.0 altında yok; %10’u, 5.6’nın altında; % 70’i, 5.6-7.0 arası ve % 20’si, 7.0’ın üzerinde meydana gelmiştir. 3. kaplarda (20.-30. dakikalar arası) % 8’i 5’in veya 5.6’nın altında; %83’ü, 5.6-7.0 arasında ve % 8’i, 7.0’nın üzerindedir. 4. kaplarda (30.-40. dakikalar arası) %15’i 5.0 veya 5.6’nın altında; % 77’si, 5.6-7.0 arasında ve % 8’i, 7.0’nın üzerindedir. 5. kaplarda (40.-50. dakikalar) 5.0’ın altında yok; % 22’si, 5.6’nın altında; % 56’sı, 5.6-7.0 arasında ve % 22’si, 7.0’nın üzerindedir. 6. kaplar (50. dakika sonrası) incelendiğinde % 3’ü, 5.0’ın altında; % 18’i, 5.6’nın altında; % 57’si, 5.6-7.0 arasında ve % 25’i, 7.0’nın üzerindedir.

Tablo 4.2: İTÜMK istasyonunda kaplardaki örnek sayıları ve değişik aralıklarda pH değerlerinin dağılımı.

Kap	Toplam	pH<5.00		pH<5.60		5.60>pH<7.00		pH>7.00	
	Adet	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
1	44	7	16	13	30	26	59	5	11
2	10	0	0	1	10	7	70	2	20
3	12	1	8	1	8	10	83	1	8
4	13	2	15	2	15	10	77	1	8
5	9	0	0	2	22	5	56	2	22
6	65	2	3	12	18	37	57	16	25

Yağış içindeki anyon ve katyonların zamanla azalma göstermesi beklenir (Tuncel ve Ungör, 1996). İTÜMK değerleri dikkate alındığında ilk ve ikinci on dakikalık sürelerde alınan örnek sonuçlarının ortalamaları sırasıyla pH 5.86’dan 6.61’e; iletkenlik 211’den 149 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ’ye; SO_4^{2-} 35’den 27 mg/l^2 ’ye; NO_3^- 9.5’ten 6.6’ya mg/l ; Cl^- 7.8’den 5.1 mg/l^2 ’ye; Mg^{2+} 1.9’dan 1.2 mg/l^2 ’ye; Ca^{2+} 63.2’den 40.5 mg/l^2 ’ye; Na^+ 6.7’den 5.4 mg/l^2 ’ye; K^+ 2’den 1.6 mg/l^2 ’ye; NH_4^+ 4.5’ten 3.9 mg/l^2 ’ye; H^+ 6.1’den 0.3’e düşmüştür. İlk 50 dakika ile sonraki zamandaki birikme arasındaki değişme Tablo 4.3’te sunulmuştur. Sıralı örneklerin sonuçlarına bakıldığında kirleticilerin konsantrasyonları ilk 50 dakika ortalamaları daha sonrasına göre çok daha fazladır. Bu sonuçlara göre pH ilk 50 dakika ortalaması 6.35 iken 50. dakikadan sonraki örneklerin ortalaması 5.99 değerine düşmüştür. Yağış iletkenliğinin 140 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ’ten 86 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ’e düştüğü; SO_4^{2-} ’ün

24.3 (mg/l)'ten 13.2'ye; NO_3^- 'ün 6.1 (mg/l)'ten 4.6'ye; Cl^- 5.3 (mg/l)'ten 5.0'e; Mg^{2+} 1.2 (mg/l)'ten 0.9'a; Ca^{2+} 38.6 (mg/l)'ten 20.7'ye; Na^+ , 4.6 (mg/l)'ten 4.0'a; K^+ 1.1'den (mg/l)'ten 0.6'ya; NH_4^+ 'ün 3.1 (mg/l)'ten 2.4'e düştüğü görülmektedir. Tablo 4.3'te ilk 5 kap değerleri ile 6. kap arasındaki değişme oranları gözükmemektedir. Oranlar dikkate alındığında çoğunluğunun 1'den büyük olduğu yani yağışın ilk zamanlarında konsantrasyonlarının daha büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3: İTÜMK sıralı örnek ortalamaları ve 6. kaptakine oranları.

Kap	pH	ilet. $\mu\text{S/cm}$	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- Mg/l	Cl^- mg/l	Mg^{2+} mg/l	Ca^{2+} Mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	NH_4^+ mg/l	H^+ mg/l
1	5.86	210.70	34.54	9.46	7.85	1.91	63.18	6.67	1.97	4.47	6.09
2	6.61	149.43	26.94	6.62	5.14	1.17	40.53	5.44	1.63	3.92	0.26
3	6.54	135.93	24.36	5.22	5.30	1.14	42.40	4.28	1.16	2.20	1.83
4	6.21	99.21	17.13	4.41	4.24	0.66	22.45	3.35	0.67	2.10	3.72
5	6.53	107.49	18.34	4.99	3.91	1.02	24.25	3.49	0.00	2.73	1.51
ort.	6.35	140.55	24.26	6.14	5.29	1.18	38.56	4.65	1.09	3.08	2.68
6	5.99	85.88	13.21	4.63	5.00	0.94	20.66	4.04	0.62	2.40	3.22
1/6	0.98	2.45	2.61	2.04	1.57	2.02	3.06	1.65	3.19	1.86	1.89
2/6	1.10	1.74	2.04	1.43	1.03	1.24	1.96	1.35	2.63	1.63	0.08
3/6	1.09	1.58	1.84	1.13	1.06	1.21	2.05	1.06	1.87	0.92	0.57
4/6	1.04	1.16	1.30	0.95	0.85	0.70	1.09	0.83	1.09	0.88	1.16
5/6	1.09	1.25	1.39	1.08	0.78	1.08	1.17	0.86	0.00	1.14	0.47

Yağış içindeki iyonlar temizlendiği için iletkenlik zamanla azalmaktadır. SO_4^{2-} , NO_3^- ve NH_4^+ zamanla azalma gösterdiği için yakın mesafedeki kaynaktan geldiği hipotezini doğrulamaktadır. Cl^- nin kaynağı yakın mesafe ve deniz olduğu için doğal olarak zaman içinde düşüş yapması beklenmektedir. Tablo 4.3'de görüldüğü üzere atmosferin yağışın ilk zamanlarında yıkanma göstererek kaynağın yakın bölgeden olduğunu göstermektedir. Kapların 6. kapa oranlarına bakıldığında bilhassa ilk 10 dakikada atmosferin çok fazla temizlendiğini söylemek mümkündür. Yağış içindeki kirleticilerin değişimi ilk dakika ile 50. dakikadan sonraki ortalaması karşılaştırıldığında büyük oranda azalma göstermektedir. Bu elemanlar için (pH, ilet, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+) değişim oranları sırasıyla, 0.98, 2.45, 2.61, 2.04, 1.57, 2.02, 3.06, 1.65, 3.19, 1.86, 1.89'dir. pH haricindekilerde yarı yarıya azalma görülmektedir.

Yağışların her kap için ayrı ayrı analiz (ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum) değerlerinin İTÜMK sonuçları Tablo 4.4'de İÜOFAO sonuçları ise Tablo 4.5'de sunulmuştur.

Tablo 4.4: İTÜMK sıralı örneklerin ortalamaları, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri.

	Kap	pH	ilet μS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.Ş. m/s	R.yön	T °C	Nem
Ortalama	1	5.86	211	34.54	9.46	7.85	1.91	63.18	6.67	1.97	4.47	6.09	0.7	3.5	182	7.4	84
	2	6.61	149	26.94	6.62	5.14	1.17	40.53	5.44	1.63	3.92	0.26	0.2	3.3	172	10.4	73
	3	6.54	136	24.36	5.22	5.30	1.14	42.40	4.28	1.16	2.20	1.83	0.2	3.8	256	10.0	75
	4	6.21	99	17.13	4.41	4.24	0.66	22.45	3.35	0.67	2.10	3.72	0.3	3.8	222	7.8	85
	5	6.53	107	18.34	4.99	3.91	1.02	24.25	3.49	0.74	2.73	1.51	0.1	4	188	8	84
	6	5.99	86	13.21	4.63	5.00	0.94	20.66	4.04	0.62	2.40	3.22	4.5	3.1	174	5.3	93
Std-Sapma	1	0.91	175	28.94	9.73	6.25	1.92	76.46	5.92	3.25	5.09	7.72	1.1	1.6	115	4.4	16
	2	0.17	68	10.68	3.24	2.50	0.47	17.50	2.04	1.00	1.68	0.10	0.1	1.3	140	4.4	18
	3	0.74	61	10.27	2.54	4.32	0.82	32.72	3.93	0.61	1.86	4.38	0.1	1.5	82	4.1	13
	4	0.79	34	6.21	2.18	3.36	0.26	10.65	2.57	0.54	1.21	7.64	0.2	1.3	118	4.6	13
	5	0.73	42	8.02	2.62	1.86	0.72	10.39	1.71	0.13	1.79	3.45	0.1	2	115.2	5	17
	6	0.82	82	16.88	6.31	4.34	1.56	38.48	4.11	0.80	3.20	3.94	3.7	1.4	101	3.8	8
Maksimum	1	6.94	624	93.94	30.55	24.45	6.80	240.00	20.30	13.29	19.50	22.91	4.3	5.9	353	15.1	100
	2	6.82	220	38.25	9.27	8.79	1.70	58.10	7.70	2.78	5.43	0.37	0.2	5.2	353	14.5	93
	3	7.20	203	40.59	8.64	13.73	2.60	101.50	10.70	1.78	4.89	11.75	0.4	5.9	357	14.5	90
	4	6.96	146	25.39	8.16	12.09	1.20	37.20	8.61	2.15	4.52	22.91	0.9	5.3	357	13.7	100
	5	7.24	177	30.50	10.14	7.20	2.30	36.10	5.94	0.87	6.51	9.33	0.2	7	342	15	98
	6	7.42	345	70.69	28.54	13.73	6.90	164.00	14.70	3.49	12.01	13.18	12.0	6.8	327	12.5	100
Minimum	1	4.64	28	3.63	0.12	1.76	0.22	0.77	1.24	0.07	0.20	0.11	0.1	0.7	20	2.1	52
	2	6.43	62	12.60	1.99	3.49	0.83	23.10	3.73	0.99	1.69	0.15	0.1	2.4	20	5.5	52
	3	4.93	50	9.00	2.66	1.38	0.24	11.20	0.64	0.33	0.61	0.06	0.1	1.8	122	3.3	52
	4	4.64	38	4.07	1.14	1.65	0.20	3.30	1.10	0.26	0.51	0.11	0.1	1.8	54	2.3	66
	5	5.03	68	8.07	2.08	2.25	0.61	13.80	1.96	0.56	1.18	0.06	0.1	2	13.3	1	50
	6	4.88	10	0.10	0.12	0.51	0.08	0.47	0.38	0.06	0.34	0.04	0.1	1.5	38	0.5	77

İTÜMK verilerinde her kap için pH standart sapmalarının değeri pH için genelde tüm kaplarda eşit seviyededir. Bütün kaplarda pH ortalama 6 civarında iken standart sapma değerleri 2. kap hariç 0.7 civarındadır. İletkenlik değerlerinde 1. kap ortalaması 211 ve standart sapması 175, diğer kaplarda ise sırasıyla 2. kapta 149'a 68; 3. kapta 136'a 61; 4. kapta 99'a 34; 5. kapta 107'ye 42; 6. kapta 86'a 82'dir. SO₄²⁻ değerleri için 1. kapta standart sapma ortalamaya yakın iken 2, 3, 4, 5. kaplarda ortalamanın yarısı civarında, 6. kapta ise ortalamanın üzerinde çıkmıştır. NO₃⁻ konsantrasyonunda 1. ve 6. kaplarda çok değişkenlik göze çarpmaktadır. 1. ve 6. kap standart sapmaları ortalamanın üzerindedir. 2, 3 ve 5. kaplarda ise standart sapmalar ortalama değerin yarısı büyüklüğündedir. NH₄⁺ konsantrasyonlarında 1. ve 6. kaplarda standart sapmalar ortalama üzerinde diğer kaplarda ise yarısı büyüklüğündedir. Cl⁻ değerlerinde standart sapmalar, ortalamadan biraz daha aşağı değerlerdedir. Genel olarak değerler

incelendiğinde iletkenlik, SO_4^{2-} , NO_3^- ve NH_4^+ değerlerinin 2, 3 ve 5. kaplarda kısmen az salınımlar yaparken ilk 10 dakikada ve 50. dakikadan sonraki örneklerinde çok değişiklik göstermektedir. Standart sapmalar birinci kapta daha yüksektir. Sıralı örnekler göz önüne alındığında en büyük değerler pH hariç 1. kaplarda en küçük değerler Mg^{2+} , Cl^- ve NH_4^+ hariç 1. kapta gözlenmiştir.

İÜOFAO sıralı örnekler göz önüne alındığında, ortalama değerleri için en küçük ve en büyük değerler sırasıyla pH, SO_4^{2-} ve Ca^{2+} için 3. ve 1. kaplar; NO_3^- için 3 ve 2. kaplar; Cl^- için 4 ve 1. kaplar, Mg^{2+} için 5 ve 2. kaplar Na^+ , K^+ ve NH_4^+ için 4 ve 1. kaplarda gözlenmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: İÜOFAO sıralı örnekler ve 6. kap ortalamaları, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri.

	Kap	pH	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	Mg^{2+} mg/l	Ca^{2+} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	NH_4^+ mg/l	H^+ mg/l
Ortalama	1	6.48	42.62	6.46	7.51	1.76	38.94	8.12	1.42	3.26	1.13
	2	6.38	33.06	7.76	5.90	2.76	29.78	5.00	0.65	1.69	1.29
	3	5.96	8.09	3.11	3.39	0.68	11.20	4.36	0.28	0.84	2.79
	4	6.08	12.99	3.94	2.95	0.49	15.96	2.70	0.27	0.55	3.57
	5	6.17	15.53	4.56	3.35	0.47	11.32	3.12	0.35	1.26	1.29
	6	6.35	29.22	8.39	7.85	1.86	24.46	5.86	0.69	1.51	2.02
Std-Sapma	1	0.77	40.08	5.89	7.01	1.71	37.70	6.60	1.13	5.02	1.69
	2	0.67	20.04	3.66	3.20	2.45	46.82	3.47	0.84	0.52	2.34
	3	0.76	6.29	0.98	2.30	0.50	13.89	3.75	0.25	0.52	3.28
	4	0.94	8.73	0.95	1.95	0.17	15.66	2.31	0.15	0.11	5.77
	5	0.65	17.76	3.90	2.56	0.26	10.77	2.06	0.19	1.37	1.24
	6	0.90	59.30	12.54	9.88	2.74	51.75	8.50	1.36	2.21	3.09
Maksimum	1	7.57	110.54	18.23	23.15	5.30	98.70	21.70	3.25	14.34	3.98
	2	7.02	53.28	12.06	10.07	5.30	83.80	7.01	1.61	2.26	6.03
	3	6.90	15.39	3.99	6.52	1.40	32.50	8.61	0.63	1.52	7.59
	4	6.64	21.35	4.67	5.19	0.64	32.70	5.34	0.44	0.67	10.23
	5	7.11	46.43	11.11	7.29	0.78	29.00	5.90	0.53	3.27	3.16
	6	7.27	162.57	36.25	29.84	6.90	130.00	22.70	3.47	5.74	8.13
Minimum	1	5.40	2.40	1.48	1.30	0.17	0.77	0.89	0.07	0.10	0.03
	2	5.22	7.09	3.39	0.90	0.18	0.85	1.00	0.05	0.91	0.10
	3	5.12	0.91	1.70	1.03	0.20	0.73	1.09	0.07	0.34	0.13
	4	4.99	3.93	2.86	1.72	0.30	1.68	1.10	0.16	0.47	0.23
	5	5.50	2.18	1.45	1.22	0.17	1.29	1.09	0.11	0.27	0.08
	6	5.09	1.08	1.32	0.89	0.13	0.94	0.68	0.05	0.13	0.05

İÜOFAO'de tüm kaplar göz önüne alınarak bakıldığında, standart sapmaların en küçük ve en büyük olduğu kaplar ise sırasıyla pH için 5 ve 4; SO_4^{2-} için 6 ve 3; NO_3^- , Cl^- ve Mg^{2+} için 4 ve 6; Ca^{2+} ve Na^+ için 5 ve 6; NH_4^+ için 3 ve 1. kaplarda gözlenmiştir.

Standart sapmaların parametrelerin çoğunda 6. kaptan olmalarının nedeni, bu kaptan biriken yağış serisinin değişken olmasıdır. Bu özellik diğer istatistiklere de yansımıştır. Gene sıralı örnekler göz önüne alındığında en büyük değerlerin ise H^+ derişimi hariç 1. kaptan, en küçük değerler ise pH 4. kaptan; SO_4^{2-} ve Ca^{2+} için 3. kaptan; NO_3^- 5., Cl^- , K^+ 2., Mg^{2+} 1. veya 5., NH_4^+ , Na^+ , H^+ 1. kaptan meydana gelmiştir.

İTÜMK'de yağışların kaplara göre analiz sonuçları Tablo 4.6-5.11 arasında verilmiştir. Yağışlar her zaman aynı miktar ve şiddetlerde meydana gelmemektedir. Yağış örnekleri sonuçlarının daha net olarak ifade edilmesi açısından değişik sınıflara ayrılarak tablolarda sunulmuştur. Aşağıdaki tablolar yağışların kaplara göre analiz sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 4.6: İTÜMK 1. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	pH	ilet. $\mu S/c$	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	Mg^{2+} mg/l	Ca^{2+} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	NH_4^+ mg/l	H^+ mg/l	Yağ. mm	Yön	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
10/01/98	6.94	362	63.04	3.45	4.72	2.40	101.2	5.90	1.42	3.58	0.11	0.3	A	4.7	256	8.8	82
17/01/98	6.63	376	93.94	24.28	19.24	6.80	240.0	17.76	13.29	11.71	0.23	0.1	D	0.7	51	5.3	100
21/01/98	6.07	57	11.90	2.03	2.66	0.46	12.50	1.56	0.43	1.11	0.85	0.3	E	2.4	122	13.7	66
22/01/98	6.72	80	16.26	2.15	2.05	0.61	18.10	1.85	0.49	2.29	0.19	0.5	H	2.3	91	15.1	53
24/01/98	5.79	56	4.61	1.07	5.90	0.26	3.04	1.81	5.88	0.61	1.62	0.2	H	5.8	311	2.1	100
29/01/98	4.93	36	5.36	2.10	6.91	0.32	1.60	1.67	0.23	0.74	11.75	4.3	B	1.6	298	2.2	96
02/02/98	6.48	298	38.92	19.07	24.45	4.10	55.90	20.30	1.61	3.64	0.33	0.2	C	5.5	51	3.9	97
04/02/98	4.83	96	19.94	3.21	1.76	0.45	16.00	1.24	0.12	0.91	14.79	0.7	C	4.8	43	6.3	100
13/02/98	6.94	312	51.97	7.76	8.39	2.20	77.50	7.00	1.01	3.07	0.11	0.2	A	2.4	261	12.3	73
17/02/98	4.70	199	39.36	5.23	2.60	1.05	55.30	3.56	0.49	1.86	19.95	0.2	B	5.9	234	11.8	77
02/03/98	6.40	624	86.13	24.60	13.66	5.10	208.0	12.90	2.55	9.68	0.40	0.4	B	2.5	20	5.5	93
06/03/98	6.89	469	65.59	30.55	10.36	2.60	180.5	9.90	2.33	19.50	0.13	0.1	B	3.1	353	8.0	82
09/03/98	6.70	227	31.21	10.73	8.95	1.90	42.80	7.10	1.68	6.31	0.20	0.2	C	5.2	194	14.5	52
20/03/98	5.02	216	36.34	15.79	6.83	2.80	53.80	8.08	1.54	4.93	9.55	0.1	B	3.9	233	5.3	83
22/03/98	4.64	33	3.63	0.12	2.68	0.22	0.77	1.38	0.08	0.20	22.91	2.5	B	3.5	228	3.4	94
22/03/98	5.00	28	4.33	1.18	4.63	0.27	0.91	1.68	0.07	0.24	10.00	0.4	C	4.0	30	3.6	84
30/03/98	4.98	114	14.66	7.54	7.69	0.96	6.20	9.77	0.36	5.53	10.47	0.7	C	1.9	313	4.6	99
Ortalama	5.86	211	34.54	9.46	7.85	1.91	63.18	6.67	1.97	4.47	6.09	0.67		3.54	182	7.4	84
Std.	0.91	175	28.94	9.73	6.25	1.92	76.46	5.92	3.25	5.09	7.72	1.09		1.59	115	4.4	16
Mak.	6.94	624	93.94	30.55	24.45	6.80	240.0	20.30	13.29	19.50	22.91	4.30		5.87	353	15.1	100
Min.	4.64	28	3.63	0.12	1.76	0.22	0.77	1.24	0.07	0.20	0.11	0.10		0.70	20	2.1	52

Tablo 4.7: İTÜMK 2. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	pH	ilet. µS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	Yön	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
21/01/98	6.43	62	12.60	1.99	3.49	0.97	23.10	7.70	2.78	1.69	0.37	0.2	E	2.4	122	13.7	66
02/03/98	6.66	220	38.25	8.32	4.71	1.70	58.10	4.90	1.12	4.96	0.22	0.2	B	2.5	20	5.5	93
06/03/98	6.82	137	27.04	6.89	3.55	0.83	40.40	3.73	0.99	3.61	0.15	0.1	B	3.1	353	8.0	82
09/03/98	6.51	179	29.88	9.27	8.79					5.43	0.31	0.1	C	5.2	194	14.5	52
Ortalama	6.61	149	26.94	6.62	5.14	1.17	40.53	5.44	1.63	3.92	0.26	0.15		3.30	172	10.44	73
Std.	0.17	68	10.68	3.24	2.50	0.47	17.50	2.04	1.00	1.68	0.10	0.06		1.31	140	4.38	18
Mak.	6.82	220	38.25	9.27	8.79	1.70	58.10	7.70	2.78	5.43	0.37	0.20		5.21	353	14.53	93
Min.	6.43	62	12.60	1.99	3.49	0.83	23.10	3.73	0.99	1.69	0.15	0.10		2.36	20	5.53	52

Tablo 4.8: İTÜMK 3. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	pH	ilet. µS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	Yön	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
10/01/98	7.20	186	29.13	5.69	2.89	1.30	101.5	4.04	1.26	1.99	0.06	0.2	A	4.7	255.6	8.8	82
21/01/98	6.51	78	15.74	2.88	3.64	0.74	21.10	4.45	1.78	1.32	0.31	0.2	E	2.4	122.3	13.7	66
13/02/98	6.86	165	29.29	5.72	5.27					1.01	0.14	0.3	A	1.8	285	11.5	81
17/02/98	4.93	91	21.11	2.66	1.38	0.65	23.50	1.58	0.49	0.61	11.75	0.2	B	5.9	234.4	11.8	77
06/03/98	6.90	50	9.00	2.80	2.18	0.24	11.20	0.64	0.33	0.78	0.13	0.1	B	3.2	342	6.4	90
09/03/98	6.68	179	25.63	8.16	8.03	1.30	48.50	8.360	1.68	4.89	0.21	0.1	C	5.2	193.9	14.5	52
16/03/98	6.68	203	40.59	8.64	13.73	2.60	48.60	10.70	1.40	4.79	0.21	0.4	H	3.7	357.4	3.3	75
Ortalama	6.54	136	24.36	5.22	5.30	1.14	42.40	4.28	1.16	2.20	1.83	0.21		3.84	255.80	9.99	75
Std.	0.74	61	10.27	2.54	4.32	0.82	32.72	3.93	0.61	1.86	4.38	0.11		1.50	82.38	4.08	12
Mak.	7.20	203	40.59	8.64	13.73	2.60	101.5	10.70	1.78	4.89	11.75	0.40		5.87	357.40	14.53	90
Min.	4.93	50	9.00	2.66	1.38	0.24	11.20	0.64	0.33	0.61	0.06	0.10		1.82	122.30	3.25	52

Tablo 4.9: İTÜMK 4. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	pH	ilet. µS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	Yön	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
21/01/98	6	68	13.88	2.44	2.46	0.62	16.30	1.66	0.53	1.42	0.47	0.1	E	2.4	122.3	13.7	66
23/01/98	7	87	14.47	2.36	3.04	0.57	20.60	2.00	2.15	2.02	0.22	0.3	H	5.0	239.5	13.2	68
24/01/98	6	38	4.07	1.14	2.13	0.20	3.30	1.35	0.52	0.51	0.76	0.9	H	5.2	311	2.3	100
02/02/98	6	109	16.49	6.59	12.09	1.20	26.60	8.61	0.75	2.36	0.33	0.3	C	5.3	54.76	3.7	98
13/02/98	7	145	24.48	4.99	4.01	0.80	37.20	4.62	0.46	1.05	0.30	0.2	A	1.8	285	11.5	81
17/02/98	5	76	18.00	2.88	1.65	0.43	14.90	1.10	0.37	0.91	22.91	0.3	B	4.4	132.8	11.0	87
02/03/98	7	120	21.99	5.07	2.50	0.67	32.20	1.77	0.60	3.17	0.17	0.2	B	3.0	54.21	4.7	98
06/03/98	7	146	25.39	8.16	3.44	0.72	36.00	4.35	0.66	4.52	0.11	0.1	B	3.2	342	6.4	90
16/03/98	7	110	18.50	4.58	8.46	0.79	21.30	6.49	0.44	2.23	0.23	0.3	H	3.7	357.4	3.3	75
20/03/98	5	93	13.98	5.85	2.63	0.59	16.10	1.58	0.26	2.83	11.75	0.2	B				
Ortalama	6.21	99	17.13	4.41	4.24	0.66	22.45	3.35	0.67	2.10	3.72	0.29		3.78	222.11	7.75	85
Std.	0.79	34	6.21	2.18	3.36	0.26	10.65	2.57	0.54	1.21	7.64	0.23		1.27	117.85	4.58	13
Mak.	6.96	146	25.39	8.16	12.09	1.20	37.20	8.61	2.15	4.52	22.91	0.90		5.34	357.40	13.72	100
Min.	4.64	38	4.07	1.14	1.65	0.20	3.30	1.10	0.26	0.51	0.11	0.10		1.82	54.21	2.29	66

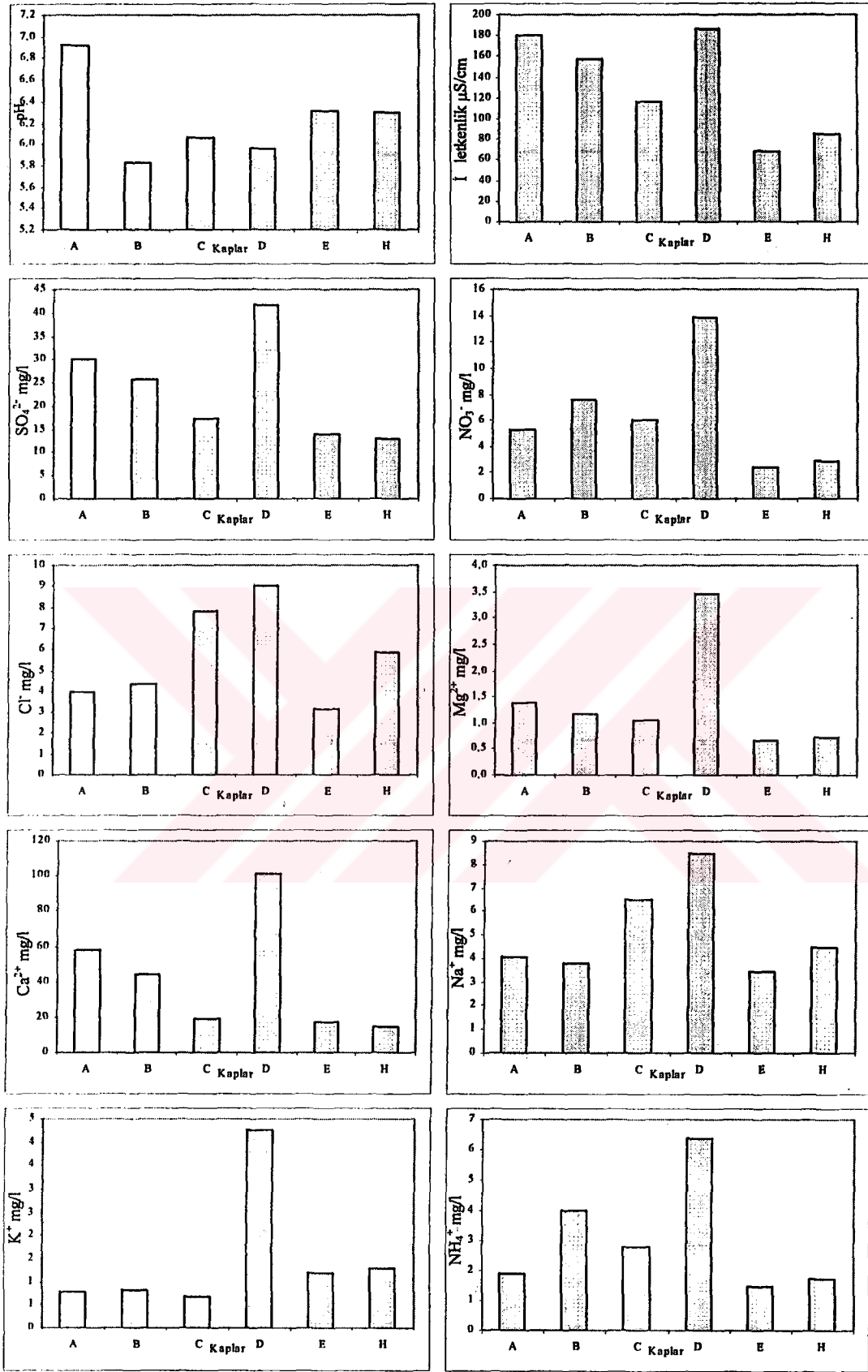
Tablo 4.10: İTÜMK 5. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değeri.

Tarih	pH	ilet. μS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. Mm	Yön	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
10/01/9	7.24	144	24.6	5.11	2.64	2.30				2.26	0.06	0.2	A	4.7	255.6	8.8	82
21/01/9	6.41	71	14.1	2.08	3.92	B				1.18	0.39	0.1	E	1.5	231.3	13.0	78
02/03/9	6.38	117	22.6	5.12	2.94	0.81	36.1	3.05	0.87	2.53	0.42	0.2	B	3.0	54.21	4.7	98
06/03/9	6.94	104	17.3	4.99	2.25	0.61	29.6	1.96	0.56	2.90	0.11	0.1	B	3.2	342	6.4	90
09/03/9	6.95	177	30.5	10.1	7.20					6.51	0.11	0.1	C	6.8	212.4	15.2	50
16/03/9	6.76	68	8.07	2.53	5.68	0.75	13.8	5.94	0.78	1.28	0.17	0.2	H	3.5	13.3	0.6	97
20/03/9	5.03	72	10.9	4.95	2.71	0.65	17.5	3.00	0.73	2.43	9.33	0.1	B	4.0	207.9	4.5	94
Ortalama	6.53	107	18.3	4.99	3.91	1.02	24.2	3.49		2.73	1.51	0.14					
Std.	0.73	42	8.02	2.62	1.86	0.72	10.3	1.71		1.79	3.45	0.05					
Mak.	7.24	177	30.5	10.1	7.20	2.30	36.1	5.94		6.51	9.33	0.20					
Min.	5.03	68	8.07	2.08	2.25	0.61	13.8	1.96		1.18	0.06	0.10					

Tablo 4.11: İTÜMK 6. kap yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değeri.

Tarih	pH	ilet. μS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	Yön	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
22/11/97	5.95	21	0.95	1.79	1.22	0.16	2.03	0.71	0.401	0.88	1.12		C				
25/11/97	7.31	112	26.76	6.42	11.47	1.4	26.3	10.7	1.071	1.86	0.05		C				
10/01/98	7.04	39	5.13	2.06	2.44	0.29	6.6	1.54	0.123	0.71	0.09	2.50	A	3.30	236.90	6.20	89
18/01/98	6.45	345	70.69	28.54	13.73	6.9	164	14.7	3.49	10.39	0.35	0.1	D	2.4	37.7	6.8	98
21/01/98	6.12	75	14.59	2.96	2.90	0.58	13.5	2.04	0.536	1.99	0.76	0.60	E	2.50	58.20	12.50	77
23/01/98	5.51	69	5.59	1.52	0.51	0.16	3.23	0.38	0.139	0.64	3.09	6.90	H	1.50	160.30	8.60	100
24/01/98	5.24	37	5.15	1.82	4.24	0.38	2.12	4.37	0.445	1.21	5.75	5.40	H	3.80	327.00	1.80	100
02/02/98	5.16	28	3.45	0.12	0.89	0.09	1.4	0.43	0.061	0.71	6.92	8.50	C	5.20	58.90	3.60	100
14/02/98	6.68	85	12.37	7.26	1.57	0.4	21.8	1.06	0.386	1.48	0.21	0.90	A	2.90	181.70	8.50	88
18/02/98	4.88	73	7.75	6.18	2.78	0.39	4.8	1.6	0.216	1.25	13.18	8.40	B	3.60	220.80	9.10	92
03/03/98	5.31	209	34.95	8.85	6.27	1.07	55.4	4.21	1.503	3.64	4.90	0.70	B	1.90	45.10	3.50	97
07/03/98	7.42	181	26.74	6.94	3.80	2.5	54.9	3.4	1.099	12.01	0.04	2.60	B	1.60	194.00	4.70	96
09/03/98	6.06	39	6.10	2.11	2.00	0.32	4.33	1.39	0.116	0.81	0.87	7.30	C	4.00	195.00	12.40	80
11/03/98	5.80	10	0.10	1.03	1.69	0.11	0.7	0.65	0.072	1.42	1.58	5.9	D	3.8	326.8	2.6	100
12/03/98	4.95	14	1.38	1.44	1.47	0.08	0.47	0.75	0.211	1.99	11.22		D	2.0	284.1	0.7	100
17/03/98	6.83	98	10.68	2.90	13.27	1.03	14.7	9.79	0.699	1.96	0.15	1.50	H	3.00	218.50	1.40	78
21/03/98	5.30	58	7.40	1.73	6.52	0.62	6.2	4.89	0.205	0.74	5.01	1.40	B	2.40	98.60	3.80	98
24/03/98	5.25	48	4.22	1.52	8.43	0.67	2.03	6.1	0.202	0.34	5.62	8.00	C	2.80	276.40	0.50	89
27/03/98	6.57	90	7.08	2.77	9.79	0.79	8	7.98	0.788	1.59	0.27	12.0	C	6.8	44.2	4.2	95
Ortalama	5.99	86	13.21	4.63	5.00	0.94	20.66	4.04	0.62	2.40	3.22	4.54		3.15	174.36	5.35	93
Std.	0.82	82	16.88	6.31	4.34	1.56	38.48	4.11	0.80	3.20	3.94	3.69		1.35	100.92	3.79	8
Mak.	7.42	345	70.69	28.54	13.73	6.90	164.0	14.70	3.49	12.01	13.18	12.00		6.80	327.00	12.50	100
Min.	4.88	10	0.10	0.12	0.51	0.08	0.47	0.38	0.06	0.34	0.04	0.10		1.50	37.70	0.50	77

İTÜMK istasyonu yağış örneklerinin analiz sonuçlarının kaplara göre değışimleri Şekil 4.1'te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere birinci kaptaki yağışın asitliliği fazla daha sonraki kaplarda ise azalmaktadır. Özellikle 1. kap ile 2. kap arasındaki bu fark belirgindir. Bu değışim iletkenlik ve diğeri elementlerde de gözlenmektedir.



Şekil 4.1: İTÜMK günlük ortalama analiz sonuçlarının kaplara göre değişimi.

4.2. Yağış Geliş Yönleri

Yağışın kimyasal içeriği geldiği bölgenin de etkisi altında olduğu için örnek alınan yağışın geldiği yönler önem kazanmaktadır. Yönlere göre kimyasal analiz sonuçlarının konsantrasyon değerleri değişimi Şekil B.1-B.10'da yer almaktadır. Şekillerde kirletici konsantrasyon değerleri şiddetlerine göre rüzgar gülü ile ayrılmıştır. Büyüklük yüzdesi halkalar halinde olup merkezden dışa doğru büyümektedir. Yüzdelere tüm yönlerden gelenler içerisindeki payı göstermektedir. pH'ın küçük değerleri B, C ve D yönünden gelen yağışlarda bulunmuştur (Şekil A.1). İletkenlik büyük değerleri daha çok D yönünden ve daha sonra sırasıyla C ve A yönünden gelen yağışlarda ortaya çıkmıştır (Şekil A.2). SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} ve K^+ iyonlarının yüksek olduğu yağışlar ise D yönünden gelmiştir (Şekil A.3, A.4, A.5, A.6, A.7). Ca^{2+} derişiminin en büyük değerleri B, A ve D yönlerinden meydana gelmiştir (Şekil A.8). Na^+ 'nın büyük değerleri D ve C yönlerinde görülmüştür (Şekil A.9). NH_4^+ konsantrasyonunun yüksek olduğu değerler ise C ve B yönlerinde meydana gelmiştir (Şekil A.10).

Yağışların geliş yönlerine göre analiz sonuçları Tablo 4.12-17'de verilmiştir. Tablolarda verilerin her yöne göre ortalamaları, standart sapmaları, en büyük ve en küçük değerleri yer almaktadır.

Tablo 4.12: İTÜMK A yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	Kap	pH	ilet. µS/cm	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	Mg^{2+} mg/l	Ca^{2+} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	NH_4^+ mg/l	H^+ mg/l	Yağ. mm	R.şid m/s	R. yönü	T °C	Nem %
10/01/98	1	6.94	362	63.04	3.45	4.72	2.4	101.2	5.9	1.421	3.58	0.11	0.30	4.7	256	8.8	82
10/01/98	3	7.20	186	29.13	5.69	2.89	1.3	101.5	4.04	1.259	1.99	0.06	0.20	4.7	256	8.8	82
10/01/98	5	7.24	144	24.69	5.11	2.64	2.3				2.26	0.06	0.2	4.7	256	8.8	82
10/01/98	6	7.04	39	5.13	2.06	2.44	0.29	6.6	1.54	0.123	0.71	0.09	2.50	3.3	237	6.2	89
13/02/98	1	6.94	312	51.97	7.76	8.39	2.2	77.5	7	1.006	3.07	0.11	0.20	2.4	261	12.3	73
13/02/98	3	6.86	165	29.29	5.72	5.27					1.01	0.14	0.30	1.8	285	11.5	81
13/02/98	4	6.53	145	24.48	4.99	4.01	0.8	37.2	4.62	0.462	1.05	0.30	0.20	1.8	285	11.5	81
14/02/98	6	6.68	85	12.37	7.26	1.57	0.4	21.8	1.06	0.386	1.48	0.21	0.90	2.9	182	8.5	88
Ortalama		6.93	180	30.01	5.26	3.99	1.38	57.63	4.03	0.78	1.89	0.14	0.60	3.31	252	9.53	82
Std.		0.24	108	19.14	1.86	2.17	0.92	41.29	2.35	0.53	1.03	0.08	0.80	1.28	33	2.05	5
Mak.		7.24	362	63.04	7.76	8.39	2.40	101.50	7.00	1.42	3.58	0.30	2.50	4.73	285	12.32	89
Min.		6.53	39	5.13	2.06	1.57	0.29	6.60	1.06	0.12	0.71	0.06	0.20	1.82	182	6.20	73

Tablo 4.13: İTÜMK B yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih		pH	ilet. μS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
29/01/98	1	4.93	36	5.36	2.10	6.91	0.32	1.60	1.67	0.23	0.74	11.75	4.3	1.6	298	2.2	96
17/02/98	1	4.70	199	39.36	5.23	2.60	1.05	55.3	3.56	0.494	1.86	19.95	0.2	5.9	234	11.8	77
17/02/98	3	4.93	91	21.11	2.66	1.38	0.65	23.5	1.58	0.493	0.61	11.75	0.2	5.9	234	11.8	77
17/02/98	4	4.64	76	18.00	2.88	1.65	0.43	14.9	1.1	0.368	0.91	22.91	0.3	4.4	233	11.0	87
18/02/98	6	4.88	73	7.75	6.18	2.78	0.39	4.8	1.6	0.216	1.25	13.18	8.40	3.6	221	9.1	93
02/03/98	1	6.40	624	86.13	24.60	13.66	5.1	208	12.9	2.548	9.68	0.40	0.40	2.54	20	5.53	93
02/03/98	2	6.66	220	38.25	8.32	4.71	1.7	58.1	4.9	1.119	4.96	0.22	0.20	2.54	20	5.53	93
02/03/98	4	6.78	120	21.99	5.07	2.50	0.67	32.2	1.77	0.601	3.17	0.17	0.20	3.03	54	4.71	98
02/03/98	5	6.38	117	22.66	5.12	2.94	0.81	36.1	3.05	0.865	2.53	0.42	0.20	3.0	54	4.7	98
03/03/98	6	5.31	209	34.95	8.85	6.27	1.07	55.4	4.21	1.503	3.64	4.90	0.7	1.9	45	3.5	97
06/03/98	1	6.89	469	65.59	30.55	10.36	2.6	180.5	9.9	2.328	19.50	0.13	0.10	3.09	353	8.00	82
06/03/98	2	6.82	137	27.04	6.89	3.55	0.83	40.4	3.73	0.988	3.61	0.15	0.1	3.1	353	8.0	82
06/03/98	3	6.90	50	9.00	2.80	2.18	0.24	11.2	0.64	0.332	0.78	0.13	0.10	3.16	342	6.36	90
06/03/98	4	6.96	146	25.39	8.16	3.44	0.72	36	4.35	0.664	4.52	0.11	0.10	3.2	342	6.4	90
06/03/98	5	6.94	104	17.39	4.99	2.25	0.61	29.6	1.96	0.561	2.90	0.11	0.1	3.2	342	6.4	90
07/03/98	6	7.42	181	26.74	6.94	3.80	2.5	54.9	3.4	1.099	12.01	0.04	2.60	1.60	194	4.70	96
20/03/98	1	5.02	216	36.34	15.79	6.83	2.8	53.8	8.08	1.539	4.93	9.55	0.10	3.91	233	5.26	83
20/03/98	4	4.93	93	13.98	5.85	2.63	0.59	16.1	1.58	0.256	2.83	11.75	0.2				
20/03/98	5	5.03	72	10.94	4.95	2.71	0.65	17.5	3	0.726	2.43	9.33	0.10	4.03	208	4.55	94
21/03/98	6	5.30	58	7.40	1.73	6.52	0.62	6.2	4.89	0.205	0.74	5.01	1.40	2.4	99	3.8	98
22/03/98	1	4.64	33	3.63	0.12	2.68	0.22	0.77	1.38	0.081	0.20	22.91	2.50	3.50	228	3.40	94
Ortalama		5.83	158	25.67	7.61	4.40	1.17	44.61	3.77	0.82	3.99	6.90	1.07	3.27	205	6.33	90
Std.		0.99	144	20.19	7.46	3.09	1.18	53.45	3.10	0.68	4.62	7.95	2.01	1.15	118	2.80	7
Mak.		7.42	624	86.13	30.55	13.66	5.10	208.00	12.90	2.55	19.50	22.91	8.40	5.87	353	11.79	98
Min.		4.64	33	3.63	0.12	1.38	0.22	0.77	0.64	0.08	0.20	0.04	0.10	1.60	20	2.16	77

Tablo 4.14: İTÜMK C yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	Kap	pH	ilet. μS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
22/11/97	6	6	21	0.95	1.79	1.22	0.16	2.03	0.71	0.40	0.88	1.12					
25/11/97	6	7.31	112	26.76	6.42	11.47	1.4	26.3	10.7	1.071	1.86	0.05					
02/02/98	1	6.48	298	38.92	19.07	24.45	4.1	55.9	20.3	1.605	3.64	0.33	0.2	5.5	51	3.9	97
02/02/98	4	6.48	109	16.49	6.59	12.09	1.2	26.6	8.61	0.753	2.36	0.33	0.3	5.3	55	3.7	98
02/02/98	6	5.16	28	3.45	0.12	0.89	0.09	1.4	0.43	0.061	0.71	6.92	8.50	5.2	59	3.6	100
04/02/98	1	4.83	96	19.94	3.21	1.76	0.45	16	1.24	0.122	0.91	14.79	0.70	4.77	43	6.31	100
09/03/98	1	6.70	227	31.21	10.73	8.95	1.9	42.8	7.1	1.679	6.31	0.20	0.20	5.21	194	14.53	52
09/03/98	2	6.51	179	29.88	9.27	8.79					5.43	0.31	0.10	5.21	194	14.53	52
09/03/98	3	6.68	179	25.63	8.16	8.03	1.3	48.5	8.36	1.683	4.89	0.21	0.10	5.2	194	14.5	52
09/03/98	5	6.95	177	30.50	10.14	7.20					6.51	0.11	0.1	6.8	212	15.2	50
09/03/98	6	6.06	39	6.10	2.11	2.00	0.32	4.33	1.39	0.116	0.81	0.87	7.30	4.00	195	12.40	80
22/03/98	1	5.00	28	4.33	1.18	4.63	0.27	0.91	1.68	0.067	0.24	10.00	0.4	4.0	30	3.6	84
24/03/98	6	5.25	48	4.22	1.52	8.43	0.67	2.03	6.1	0.202	0.34	5.62	8.00	2.80	276	0.50	89
27/03/98	6	6.57	90	7.08	2.77	9.79	0.79	8	7.98	0.788	1.59	0.27	12.00	6.8	44	4.2	95
30/03/98	1	4.98	114	14.66	7.54	7.69	0.96	6.2	9.77	0.36	5.53	10.47	0.7	1.9	313	4.6	99
Ortalama		6.06	116	17.34	6.04	7.83	1.05	18.54	6.33	0.69	2.80	3.44	2.97	4.82	143	7.82	81
Std.		0.81	82	12.52	5.05	5.90	1.07	19.64	5.82	0.63	2.34	4.88	4.28	1.38	99	5.45	21
Mak.		7.31	298	38.92	19.07	24.45	4.10	55.90	20.30	1.68	6.51	14.79	12.00	6.80	313	15.17	100
Min.		4.83	21	0.95	0.12	0.89	0.09	0.91	0.43	0.06	0.24	0.05	0.10	1.90	30	0.50	50

Tablo 4.15: İTÜMK D yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	Kap	pH	ilet. μS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
17/01/98	1	6.63	376	93.94	24.28	19.24	6.8	240	17.76	13.29	11.71	0.23	0.1	0.7	51	5.3	100
18/01/98	6	6.45	345	70.69	28.54	13.73	6.9	164	14.7	3.49	10.39	0.35	0.1	2.4	38	6.8	98
11/03/98	6	5.80	10	0.10	1.03	1.69	0.11	0.7	0.65	0.072	1.42	1.58	5.9	3.8	327	2.6	100
12/03/98	6	4.95	14	1.38	1.44	1.47	0.08	0.47	0.75	0.211	1.99	11.22		2.0	284	0.7	100
Ortalama		5.96	186	41.53	13.82	9.03	3.47	101.29	8.47	4.27	6.38	3.35	2.03	2.22	175	3.85	100
Std.		0.76	202	48.05	14.64	8.90	3.90	120.36	9.05	6.22	5.43	5.28	3.35	1.28	152	2.72	1
Mak.		6.63	376	93.94	28.54	19.24	6.90	240.00	17.76	13.29	11.71	11.22	5.90	3.80	327	6.80	100
Min.		4.95	10	0.10	1.03	1.47	0.08	0.47	0.65	0.07	1.42	0.23	0.10	0.70	38	0.70	98

Tablo 4.16: İTÜMK E yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	Kap	pH	ilet. μS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
21/01/98	1	6.07	57	11.90	2.03	2.66	0.46	12.5	1.56	0.427	1.11	0.85	0.30	2.4	122	13.7	66
21/01/98	2	6.43	62	12.60	1.99	3.49	0.97	23.1	7.7	2.777	1.69	0.37	0.2	2.4	122	13.7	66
21/01/98	3	6.51	78	15.74	2.88	3.64	0.74	21.1	4.45	1.78	1.32	0.31	0.20	2.36	122	13.72	66
21/01/98	4	6.33	68	13.88	2.44	2.46	0.62	16.3	1.66	0.53	1.42	0.47	0.10	2.36	122	13.72	66
21/01/98	5	6.41	71	14.15	2.08	3.92					1.18	0.39	0.1	1.5	231	13.0	78
21/01/98	6	6.12	75	14.59	2.96	2.90	0.58	13.5	2.04	0.536	1.99	0.76	0.60	2.50	58	12.50	77
Ortalama		6.31	68	13.81	2.40	3.18	0.67	17.30	3.48	1.21	1.45	0.52	0.25	2.24	130	13.40	70
Std.		0.18	8	1.38	0.44	0.59	0.19	4.65	2.64	1.04	0.33	0.22	0.19	0.37	56	0.53	6
Mak.		6.51	78	15.74	2.96	3.92	0.97	23.10	7.70	2.78	1.99	0.85	0.60	2.50	231	13.72	78
Min.		6.07	57	11.90	1.99	2.46	0.46	12.50	1.56	0.43	1.11	0.31	0.10	1.50	58	12.50	66

Tablo 4.17: İTÜMK H yönünden gelen yağış ölçüm ve iyon derişimlerinin değerleri.

Tarih	Kap	pH	ilet. μS/c	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.şid m/s	R.yön	T °C	Nem %
22/01/98	1	6.72	80	16.26	2.15	2.05	0.61	18.1	1.85	0.485	2.29	0.19	0.50	2.3	91	15.1	53
23/01/98	4	6.65	87	14.47	2.36	3.04	0.57	20.6	2	2.148	2.02	0.22	0.3	5.0	239	13.2	68
23/01/98	6	5.51	69	5.59	1.52	0.51	0.16	3.23	0.38	0.139	0.64	3.09	6.90	1.50	160	8.60	100
24/01/98	1	5.79	56	4.61	1.07	5.90	0.26	3.04	1.81	5.88	0.61	1.62	0.20	5.82	311	2.05	100
24/01/98	4	6.12	38	4.07	1.14	2.13	0.2	3.3	1.35	0.522	0.51	0.76	0.9	5.2	311	2.3	100
24/01/98	6	5.24	37	5.15	1.82	4.24	0.38	2.12	4.37	0.445	1.21	5.75	5.40	3.80	327	1.80	100
16/03/98	3	6.68	203	40.59	8.64	13.73	2.6	48.6	10.7	1.396	4.79	0.21	0.40	3.75	357	3.25	75
16/03/98	4	6.63	110	18.50	4.58	8.46	0.79	21.3	6.49	0.442	2.23	0.23	0.30	3.75	357	3.25	75
16/03/98	5	6.76	68	8.07	2.53	5.68	0.75	13.8	5.94	0.784	1.28	0.17	0.20	3.5	13	0.6	97
17/03/98	6	6.83	98	10.68	2.90	13.27	1.03	14.7	9.79	0.699	1.96	0.15	1.5	3.0	218	1.4	78
Ortalama		6.29	85	12.80	2.87	5.90	0.74	14.88	4.47	1.29	1.75	1.24	1.66	3.76	239	5.16	84
Std.		0.59	48	11.06	2.27	4.61	0.71	14.12	3.65	1.71	1.27	1.85	2.43	1.32	118	5.25	17
Mak.		6.83	203	40.59	8.64	13.73	2.60	48.60	10.70	5.88	4.79	5.75	6.90	5.82	357	15.12	100
Min.		5.24	37	4.07	1.07	0.51	0.16	2.12	0.38	0.14	0.51	0.15	0.20	1.50	13	0.58	53

İTÜMK verilerinin yağış geliş yönlerine göre ortalamaları, standart sapmaları, maksimum ve Minimum değerleri Tablo 4.18’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde H⁺’nin derişimi mg/l olarak büyükten (asitliliğe göre) küçüğe doğru sıralandığında yönler göre değerler B, 6.9; C, 3.44; D, 3.35; H, 1.24; E, 0.52; ve A, 0.14’dır. İletkenlik değerleri μS/cm olarak D, 186; A, 180; B, 158; C, 116; H, 85; E, 68; şeklinde en fazla D ve en az E yönünden gelen yağışlardır. Anyon ve katyon konsantrasyon değerleri mg/l olarak büyükten küçüğe sırasıyla, SO₄²⁻ için D, A, B, C, E ve H; NO₃⁻ değerleri için D, B, C, A, H ve E; Cl⁻ değerleri için D, C, H, B, A ve E; Mg²⁺ değerleri için D, A, B, C, H ve E; Ca²⁺ değerleri için D, A, B, C, E ve H; Na⁺ değerleri için D, C, H, A, B ve E; K⁺ değerleri D, H, E, B, A ve C; NH₄⁺ değerleri ise D, B, C, A, H ve E yönlerinden gelmiştir.

Tablo 4.18: İTÜMK yağış analizleri yönlere göre ortalamalar, standart sapmalar, en büyük ve en küçük değerler.

	Yön	pH	ilet. µS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yağ. mm	R.şid. m/s	R.yön	T °C	Nem %
Ortalama	A	6,93	180	30,01	5,26	3,99	1,38	57,63	4,03	0,78	1,89	0,14	0,6	3,3	252	9,5	82
	B	5,83	158	25,67	7,61	4,40	1,17	44,61	3,77	0,82	3,99	6,90	1,1	3,3	205	6,3	90
	C	6,06	116	17,34	6,04	7,83	1,05	18,54	6,33	0,69	2,80	3,44	3,0	4,8	143	7,8	81
	D	5,96	186	41,53	13,82	9,03	3,47	101,29	8,47	4,27	6,38	3,35	2,0	2,2	175	3,8	100
	E	6,31	68	13,81	2,40	3,18	0,67	17,30	3,48	1,21	1,45	0,52	0,3	2,2	130	13,4	70
	H	6,29	85	12,80	2,87	5,90	0,74	14,88	4,47	1,29	1,75	1,24	1,7	3,8	239	5,2	84
Std-Sapma	A	0,24	108	19,14	1,86	2,17	0,92	41,29	2,35	0,53	1,03	0,08	0,8	1,3	33	2,0	5
	B	0,99	144	20,19	7,46	3,09	1,18	53,45	3,10	0,68	4,62	7,95	2,0	1,2	118	2,8	7
	C	0,81	82	12,52	5,05	5,90	1,07	19,64	5,82	0,63	2,34	4,88	4,3	1,4	99	5,5	21
	D	0,76	202	48,05	14,64	8,90	3,90	120,36	9,05	6,22	5,43	5,28	3,3	1,3	152	2,7	1
	E	0,18	8	1,38	0,44	0,59	0,19	4,65	2,64	1,04	0,33	0,22	0,2	0,4	56	0,5	6
	H	0,59	48	11,06	2,27	4,61	0,71	14,12	3,65	1,71	1,27	1,85	2,4	1,3	118	5,2	17
Maksimum	A	7,24	362	63,04	7,76	8,39	2,40	101,50	7,00	1,42	3,58	0,30	2,5	4,7	285	12,3	89
	B	7,42	624	86,13	30,55	13,66	5,10	208,00	12,90	2,55	19,50	22,91	8,4	5,9	353	11,8	98
	C	7,31	298	38,92	19,07	24,45	4,10	55,90	20,30	1,68	6,51	14,79	12,0	6,8	313	15,2	100
	D	6,63	376	93,94	28,54	19,24	6,90	240,00	17,76	13,29	11,71	11,22	5,9	3,8	327	6,8	100
	E	6,51	78	15,74	2,96	3,92	0,97	23,10	7,70	2,78	1,99	0,85	0,6	2,5	231	13,7	78
	H	6,83	203	40,59	8,64	13,73	2,60	48,60	10,70	5,88	4,79	5,75	6,9	5,8	357	15,1	100
Minimum	A	6,53	39	5,13	2,06	1,57	0,29	6,60	1,06	0,12	0,71	0,06	0,2	1,8	182	6,2	73
	B	4,64	33	3,63	0,12	1,38	0,22	0,77	0,64	0,08	0,20	0,04	0,1	1,6	20	2,2	77
	C	4,83	21	0,95	0,12	0,89	0,09	0,91	0,43	0,06	0,24	0,05	0,1	1,9	30	0,5	50
	D	4,95	10	0,10	1,03	1,47	0,08	0,47	0,65	0,07	1,42	0,23	0,1	0,7	38	0,7	98
	E	6,07	57	11,90	1,99	2,46	0,46	12,50	1,56	0,43	1,11	0,31	0,1	1,5	58	12,5	66
	H	5,24	37	4,07	1,07	0,51	0,16	2,12	0,38	0,14	0,51	0,15	0,2	1,5	13	0,6	53

İTÜMK yağışlarının geldiği yönler ve yüzdeleri Tablo 4.19'de sunulmuştur. İlk yağış örneklerinin yönlere göre dağılımı dikkate alındığında % 32'si C ve % 27'si A; 2. kaplarda % 40'ı C; 3. kaplarda % 33'ü A ve % 25'i B ve C; 4. kaplarda % 31'i B, % 23'ü C ve E; 5. kaplarda % 44'ü B ve % 22'si C; 6. kapla % 31'i C ve 25'i ise H yönünden gelmiştir.

Tablo 4.19: İTÜMK istasyonunda yağışın toplandığı kaplar geldiği yönler ve yüzdeleri.

kap	Toplam	A		B		C		D		E		H	
	Adet	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
1	44	12	27	9	20	14	32	1	2	1	2	7	16
2	10	2	20	3	30	4	40	0	0	1	10	0	0
3	12	4	33	3	25	3	25	0	0	1	8	1	8
4	13	2	15	4	31	3	23	0	0	1	8	3	23
5	9	1	11	4	44	2	22	0	0	1	11	1	11
6	65	13	20	6	9	20	31	9	14	1	2	16	25

İTÜMK istasyonu günlük ortalama değerler Tablo 4.20'de sunulmuştur. Bu tablo kaplar göz önüne alınmadan o günkü tüm analiz sonuçlarının ortalamasıdır. pH

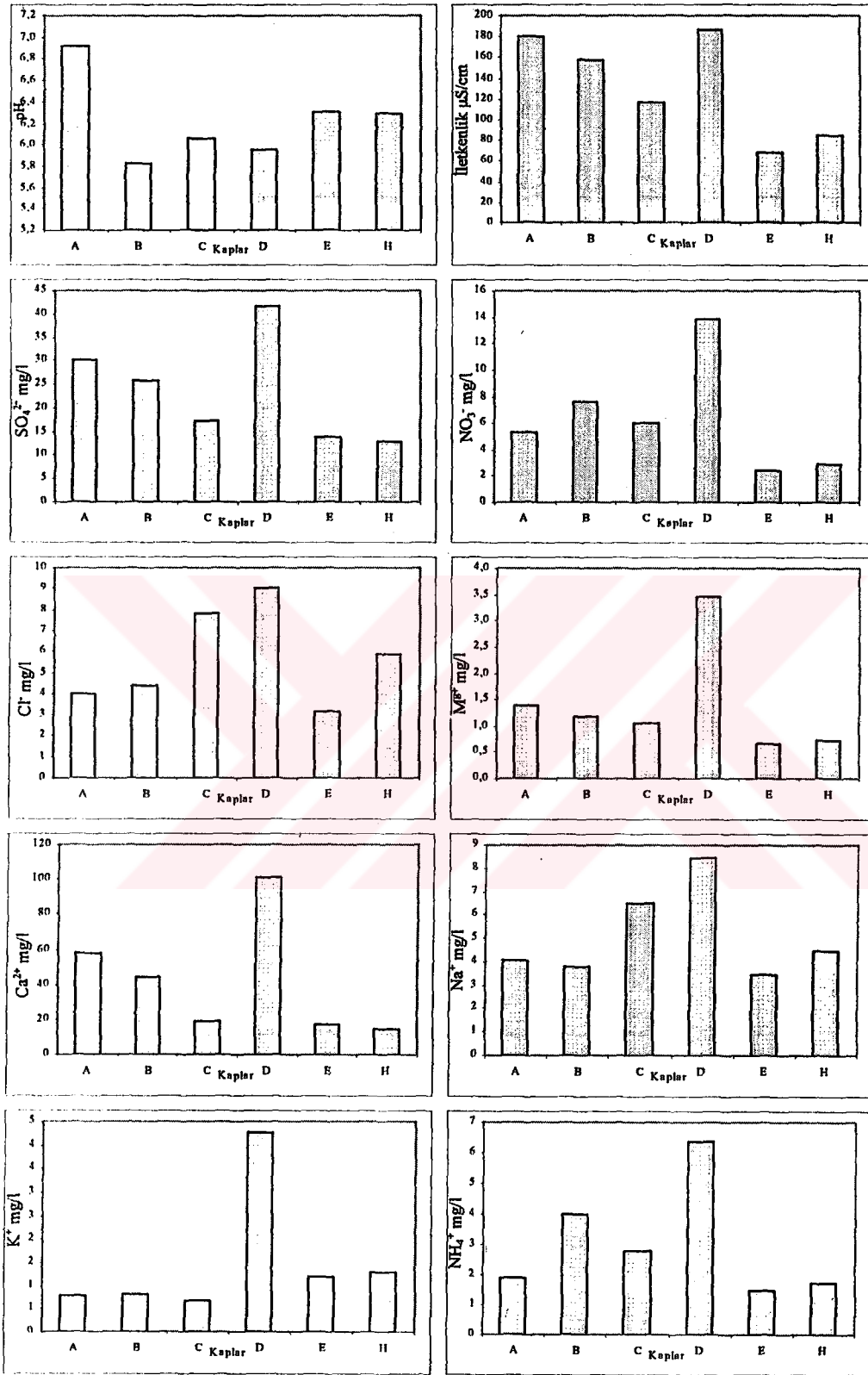
değerlerinin günlük ortalama değerlerine bakıldığında % 34'nün daha asit reaksiyonlu (<5.6) olduğu görülmektedir. Ayrıca günlük ortalama pH değer ve yüzdeleri sırayla 5'in altında % 25; 5-5.6 arası % 9; 5.6-7.0 arası % 56 ve % 9'u bazik (pH > 7.0) değerdedir. Günlük ortalama veriler için geliş yönlerinin yüzdeleri ise sırasıyla, A yönünden % 9, B yönünden % 28, C yönünden %31, D yönünden %3, E yönünden %1 ve H yönünden %16'dır.

Tablo 4.20 İTÜMK istasyonu günlük ortalama değerleri.

Tarih	PH	ilet µS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ Mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	H ⁺ mg/l	Yön
22/11/97	5,95	21	0,95	1,79	1,22	0,16	2,03	0,71	0,40	0,88	1,12	C
25/11/97	7,31	112	26,76	6,42	11,47	1,40	26,30	10,70	1,07	1,86	0,05	C
10/01/98	7,11	183	30,50	4,08	3,17	1,57	69,77	3,83	0,93	2,13	0,08	A
17/01/98	6,63	376	93,94	24,28	19,24	6,80	240,00	17,76	13,29	11,71	0,23	D
18/01/98	6,45	345	70,69	28,54	13,73	6,90	164,00	14,70	3,49	10,39	0,35	D
21/01/98	6,31	68	13,81	2,40	3,18	0,67	17,30	3,48	1,21	1,45	0,52	E
22/01/98	6,72	80	16,26	2,15	2,05	0,61	18,10	1,85	0,49	2,29	0,19	H
23/01/98	6,08	78	10,03	1,94	1,78	0,37	11,92	1,19	1,14	1,33	1,66	H
24/01/98	5,72	44	4,61	1,34	4,09	0,28	2,82	2,51	2,28	0,78	2,71	H
29/01/98	4,93	36	5,36	2,10	6,91	0,32	1,60	1,67	0,23	0,74	11,75	B
02/02/98	6,04	145	19,62	8,59	12,48	1,80	27,97	9,78	0,81	2,24	2,53	C
04/02/98	4,83	96	19,94	3,21	1,76	0,45	16,00	1,24	0,12	0,91	14,79	C
13/02/98	6,78	207	35,25	6,16	5,89	1,50	57,35	5,81	0,73	1,71	0,18	A
14/02/98	6,68	85	12,37	7,26	1,57	0,40	21,80	1,06	0,39	1,48	0,21	A
17/02/98	4,76	122	26,16	3,59	1,88	0,71	31,23	2,08	0,45	1,12	18,20	B
18/02/98	4,88	73	7,75	6,18	2,78	0,39	4,80	1,60	0,22	1,25	13,18	B
02/03/98	6,56	270	42,26	10,78	5,95	2,07	83,60	5,66	1,28	5,09	0,30	B
03/03/98	5,31	209	34,95	8,85	6,27	1,07	55,40	4,21	1,50	3,64	4,90	B
06/03/98	6,90	181	28,88	10,68	4,36	1,00	59,54	4,12	0,97	6,26	0,13	B
07/03/98	7,42	181	26,74	6,94	3,80	2,50	54,90	3,40	1,10	12,01	0,04	B
09/03/98	6,58	160	24,66	8,08	6,99	1,17	31,88	5,62	1,16	4,79	0,34	C
11/03/98	5,80	10	0,10	1,03	1,69	0,11	0,70	0,65	0,07	1,42	1,58	D
12/03/98	4,95	14	1,38	1,44	1,47	0,08	0,47	0,75	0,21	1,99	11,22	D
16/03/98	6,69	127	22,39	5,25	9,29	1,38	27,90	7,71	0,87	2,77	0,21	H
17/03/98	6,83	98	10,68	2,90	13,27	1,03	14,70	9,79	0,70	1,96	0,15	H
20/03/98	4,99	127	20,42	8,86	4,06	1,35	29,13	4,22	0,84	3,40	10,21	B
21/03/98	5,30	58	7,40	1,73	6,52	0,62	6,20	4,89	0,21	0,74	5,01	B
22/03/98	4,82	31	3,98	0,65	3,66	0,25	0,84	1,53	0,07	0,22	16,45	C
24/03/98	5,25	48	4,22	1,52	8,43	0,67	2,03	6,10	0,20	0,34	5,62	C
27/03/98	6,57	90	7,08	2,77	9,79	0,79	8,00	7,98	0,79	1,59	0,27	C
30/03/98	4,98	114	14,66	7,54	7,69	0,96	6,20	9,77	0,36	5,53	10,47	C
Ortalama	6,00	122	20,77	6,10	6,01	1,27	35,31	5,04	1,21	3,03	4,34	
Std.	0,85	90	20,15	6,24	4,44	1,60	50,87	4,26	2,35	3,17	5,74	
Mak.	7,42	376	93,94	28,54	19,24	6,90	240,00	17,76	13,29	12,01	18,20	
Min.	4,76	10	0,10	0,65	1,22	0,08	0,47	0,65	0,07	0,22	0,04	

Yağış sularında pH, iletkenlik ve diğer ana iyonların yönlerine göre ortalama değerleri Şekil 4.2’te gösterilmiştir. Şekilde B yönünden gelen yağışların daha fazla asit reaksiyonlu olduğu görülmektedir. Bu sonuç, Balkan ülkelerinde kullanılan eski teknolojiyle çalışan sanayiden çıkan kirleticilerin fazla olduğunu göstermektedir. Ortalamanın büyük olduğu değerlerin yönleri iletkenlik D ve A; SO_4^{2-} D ve A; NO_3^- D ve B; Cl^- D ve C; Mg^{2+} D ve A; Ca^{2+} D ve A; Na^+ D ve C; K^+ D ve H; NH_4^+ ise D ve B’dir.





Şekil 4.2: İTÜMK yağışlarında pH, iletkenlik ve iyonların günlük ortalama değerlerinin yönlere göre değişimi.

Analiz sonuçlarının kaplara göre ortalamalarının toplamdaki payları Tablo 4.21'de sunulmuştur. Bu oranlar bize kimyasalların miktarlarının ilk yağışta daha fazla olduğunu daha sonra giderek azaldığını göstermektedir.

Tablo 4.21: İTÜMK kaplara göre ortalamaların toplam ile oranları.

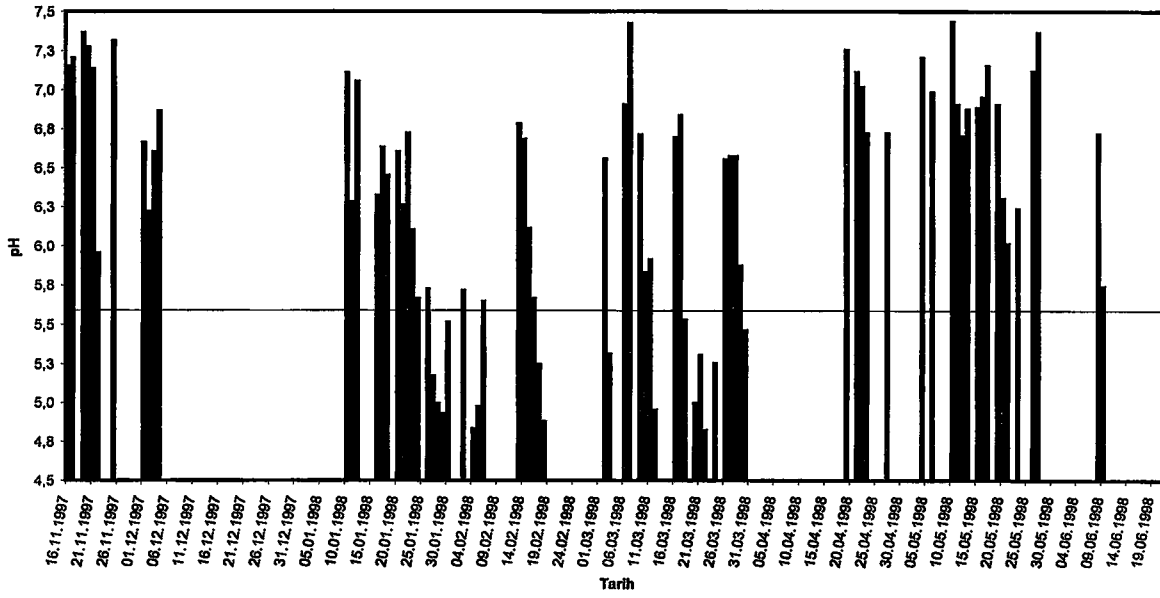
	pH	ilet	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺
(1/Toplam)	0,16	0,27	0,26	0,27	0,25	0,28	0,30	0,24	0,33	0,25
(2/Toplam)	0,18	0,19	0,20	0,19	0,16	0,17	0,19	0,20	0,27	0,22
(3/Toplam)	0,17	0,17	0,18	0,15	0,17	0,17	0,20	0,16	0,19	0,12
(4/Toplam)	0,16	0,13	0,13	0,12	0,13	0,10	0,11	0,12	0,11	0,12
(5/Toplam)	0,17	0,14	0,14	0,14	0,12	0,15	0,11	0,13	0,00	0,15

Kaplar için yapılan hesaplamalar yönler için yapıldığında Tablo 4.22'de sonuçlar bulunmuştur. Asitliliğin haricinde diğer tüm kimyasalların D yönünde arttığını göstermektedir. Özellikle Mg²⁺, K⁺ ve Ca²⁺,da bu çok belirgindir.

Tablo 4.22: İTÜMK yönlere göre ortalamaların toplam ile oranları.

	pH	ilet	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺
(A/toplam)	0,19	0,23	0,21	0,14	0,12	0,16	0,23	0,13	0,09	0,10
(B/toplam)	0,16	0,20	0,18	0,20	0,13	0,14	0,18	0,12	0,09	0,22
(C/toplam)	0,16	0,15	0,12	0,16	0,23	0,12	0,07	0,21	0,08	0,15
(D/toplam)	0,16	0,23	0,29	0,36	0,26	0,41	0,40	0,28	0,47	0,35
(E/toplam)	0,17	0,09	0,10	0,06	0,09	0,08	0,07	0,11	0,13	0,08
(H/toplam)	0,17	0,11	0,09	0,08	0,17	0,09	0,06	0,15	0,14	0,10

İTÜMK yağışları asitlilik açısından pH değerlerinin zamanla değişimi incelendiğinde Ocak ve Şubat aylarında daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Asitlilik değerlerinin incelendiği 80 ayrı gün pH istatistikleri göz önüne alındığında % 21'nin daha asit reaksiyonlu ve bunların ise bölgede hava sıcaklığının düşük olduğu kış günlerinde yaşandığı Ocak, Şubat ve Mart aylarında meydana geldiği görülmektedir. Bu aylarda verilerin kendi içindeki yüzdeleri Şubat ve Mart aylarında % 40'ın Ocak ayında ise % 25'nin daha asit reaksiyonlu olduğunu göstermektedir. Bütün veriler dikkate alındığında Mart ayı asitli yağış yüzdesi % 10, Şubat ve Ocak aylarında ise % 5'tir.

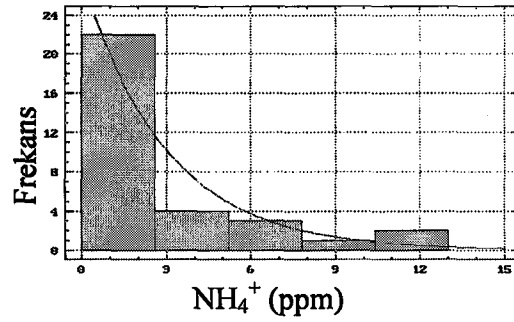
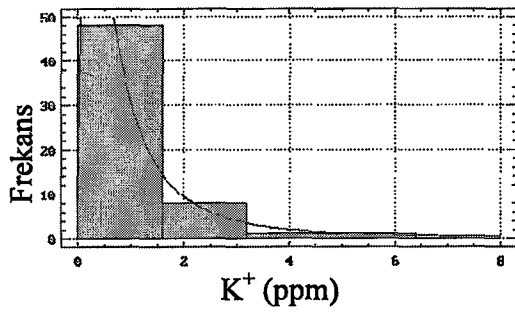
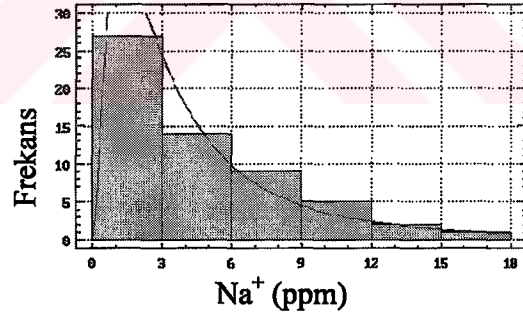
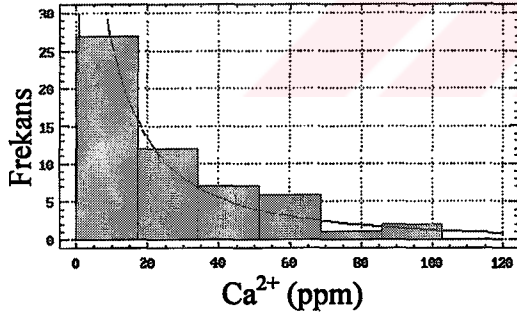
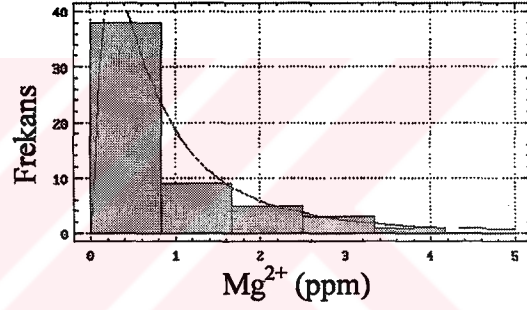
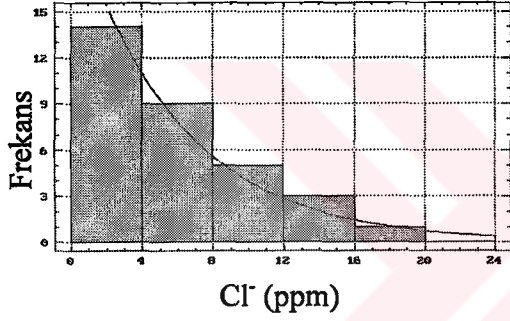
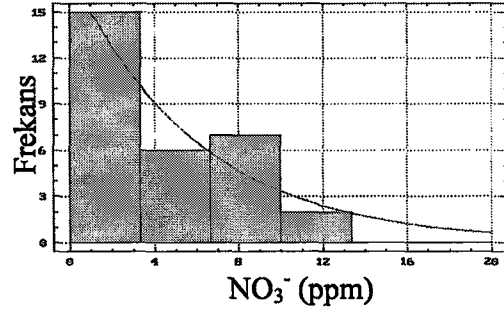
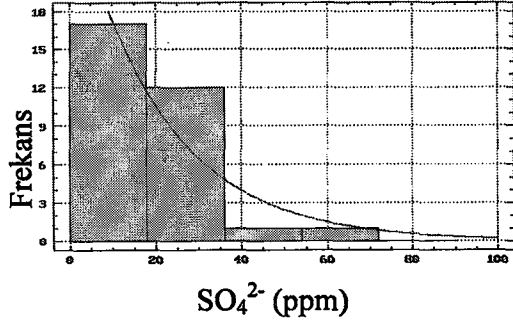
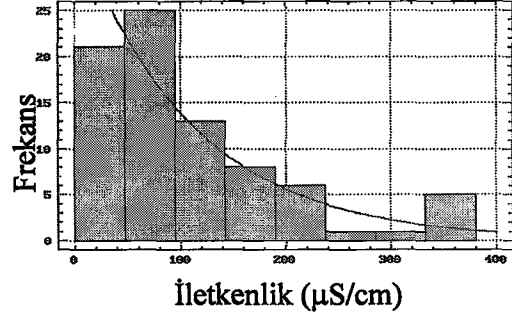
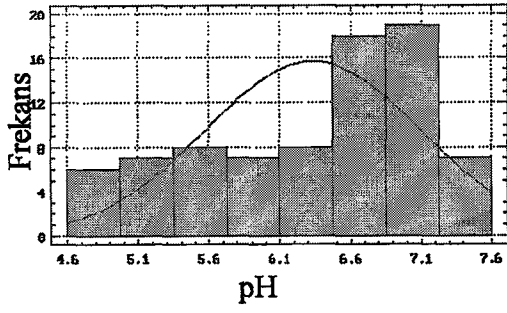


Şekil 4.3: İTÜMK istasyonunda alınan örneklerin pH değerleri.

Verilerin dağılımı Kolmogrow-Smirnov test ile sınanmıştır. İTUMK verilerin daha çok Weibull, log-normal veya üstel dağılıma uyduğu görülmektedir (Tablo 4.23). Verilerin frekans (sıklık) diyagramları Şekil 4.4'de gösterilmiştir. pH frekans histogramı hariç diğerlerinin küçük değerlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum bilhassa Mg^{2+} , K^+ ve NH_4^+ için çok belirgindir. Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- ve iletkenlik değerleri daha yavaş olarak azalmaktadır. pH değerinin ise 7 civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Yağış içindeki kimyasalların kütle yoğunluk fonksiyonları büyük değerlerde seyretmediği görülmüştür.

Tablo 4.23: Verilerin dağılımları için kullanılan Kolmogorov-Smirnov test sonuçları.

Veriler	Log-Normal	Exponansiyel	Weibull
İletkenlik	0.90	0.46	0.99
SO_4^{2-}	0.70	0.94	0.97
NO_3^-	0.72	0.65	0.86
Cl^-	0.84	0.24	0.91
Mg^{2+}	0.97	0.68	0.68
Ca^{2+}	0.68	0.39	0.98
Na^+	0.90	0.76	0.95
K^+	0.69	0.10	0.25
NH_4^+	0.81	0.47	0.32



Şekil 4.4: pH, iletkenlik, anyon ve katyonların frekans diyagramları.

4.3. Korelasyon Değerleri

Yağış içindeki pH, iletkenlik, anyon ve kation değerleri arasındaki ikili korelasyonlar, günlük ortalama veriler kullanılarak parametrik olmayan Spearman sıra korelasyon katsayıları hesaplanarak Tablo 4.24’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yüksek pH değerleri % 95 güvenirlilik seviyesinde Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ ve K^+ ile korelasyon değerleri sırasıyla 0.57, 0.56, 0.55 ve 0.52 çıkmıştır. İletkenliğin en fazla SO_4^{2-} ve Ca^{2+} iyonları arasında olmak üzere diğer iyonlarla da yüksek korelasyona sahiptir. Diğer elementler arasında en fazla SO_4^{2-} , NO_3^- ve Mg^{2+} , Ca^{2+} ile; Cl^- , Na^+ ile; Na^+ , Cl^- ile; K^+ , SO_4^{2-} ile; NH_4^+ ise NO_3^- ile yüksek korelasyonlara sahiptir. Bu değerler kimyasalların kirletici kaynaklarının aynı olduğunu göstermektedir. Yani şehrsel hava kirliliği kaynağını doğrulamaktadır. İletkenliğin pH ve diğerleriyle yüksek korelasyonda olması fiziksel olarak normal bir sonuçtur.

Tablo 4.24: İTÜMK günlük ortalama değerler için korelasyon matrisi.

	pH	ilet	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+
pH	1	0.49	0.49	0.36	0.28	0.57	0.56	0.39	0.52	0.55
ilet		1	0.96	0.88	0.49	0.92	0.96	0.64	0.67	0.78
SO_4^{2-}			1	0.84	0.39	0.87	0.96	0.56	0.67	0.72
NO_3^-				1	0.44	0.80	0.84	0.56	0.58	0.80
Cl^-					1	0.65	0.35	0.93	0.40	0.37
Mg^{2+}						1	0.87	0.80	0.64	0.74
Ca^{2+}							1	0.52	0.71	0.73
Na^+								1	0.47	0.50
K^+									1	0.61
NH_4^+										1

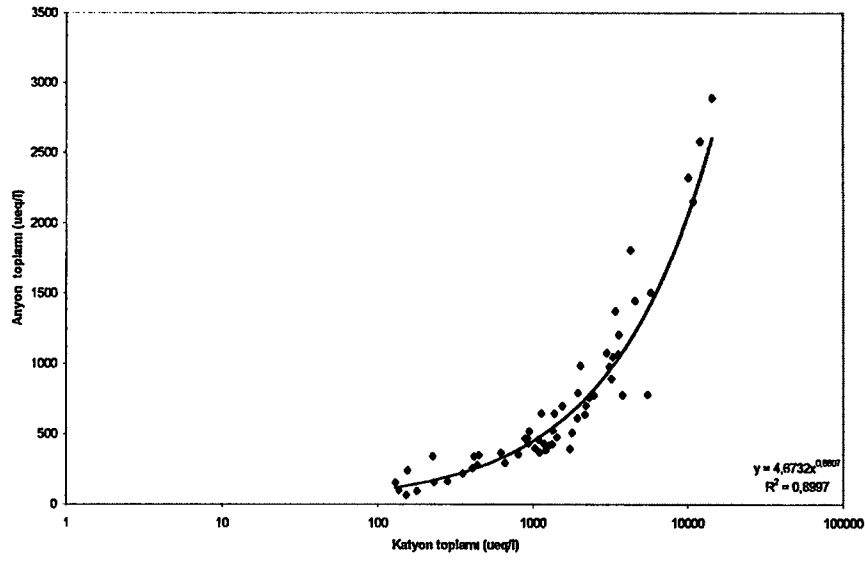
Yağış verilerinin genel, yönlere ve kaplara göre korelasyon değerleri Tablo 4.25’de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre pH ile iletkenlik ve diğer iyonlar arasında korelasyon katsayısı düşük çıkmıştır. İletkenliğin iyonlarla arasındaki korelasyon katsayısı kaplara, yönlere ve bütün verilere göre yüksek değerdedir. Sıralı örnekler dikkate alındığında SO_4^{2-} ’ün diğer anyon ve kasyonlarla ilişkisi kuvvetliden zayıfa doğru sırasıyla Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ ve Cl^- şeklindedir. NO_3^- ’ün ise Mg^{2+} ve Ca^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , Cl^- ve K^+ ’dır. Cl^- ’nin ise Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ ve NH_4^+ ’dır. Mg^{2+} ise Ca^{2+} , Na^+ , NH_4^+ ve K^+ ’dır. Ca^{2+} ’nın ise NH_4^+ , K^+ , Na^+ ve K^+ ’dır. Na^+ ’nın NH_4^+ ile korelasyon

katsayısı 0.57 ve K^+ 'nın NH_4^+ ile 0.49'dur. İyonların kendi aralarındaki ilişkiler yönleri ve kaplara göre genel olandan çoğunlukla daha büyüktür. Anyon ve katyon arasında korelasyon katsayısı 0.95'dir. Zira aynı kirletici kaynaktan gelmektedir.

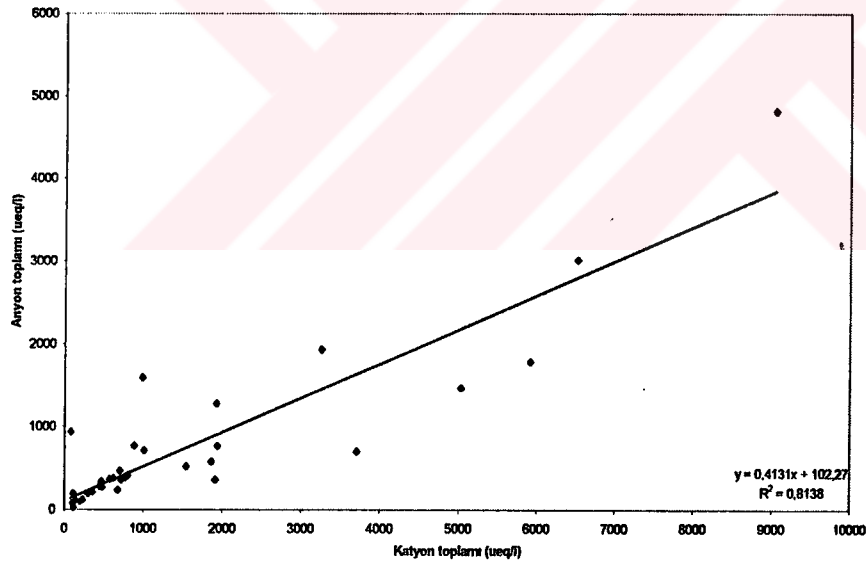
Tablo 4.25: İTÜMK yağışlarının genel ve ayrıca günlük ortalama değerlerin yön ve kaplara göre korelasyonları.

İlişki	Genel	Yön	Kap	İlişki	Genel	Yön	Kap	İlişki	Genel	Yön	Kap
pH, İlet.	0,34	0,03	-0,23	SO_4^{2-} , NO_3^-	0,85	0,90	0,92	Cl^- , Mg^{2+}	0,75	0,68	0,92
pH, SO_4^{2-}	0,34	-0,08	-0,09	SO_4^{2-} , Cl^-	0,59	0,43	0,82	Cl^- , Ca^{2+}	0,55	0,45	0,91
pH, NO_3^-	0,25	-0,47	-0,39	SO_4^{2-} , Mg^{2+}	0,89	0,92	0,88	Cl^- , Na^+	0,94	0,96	0,92
pH, Cl^-	0,28	-0,47	-0,59	SO_4^{2-} , Ca^{2+}	0,95	0,99	0,98	Cl^- , K^+	0,51	0,65	0,83
pH, Mg^{2+}	0,30	-0,26	-0,38	SO_4^{2-} , Na^+	0,69	0,59	0,92	Cl^- , NH_4^+	0,48	0,70	0,74
pH, Ca^{2+}	0,35	-0,09	-0,22	SO_4^{2-} , K^+	0,61	0,70	0,97	Mg^{2+} , Ca^{2+}	0,88	0,95	0,93
pH, Na^+	0,33	-0,40	-0,26	SO_4^{2-} , NH_4^+	0,76	0,82	0,83	Mg^{2+} , Na^+	0,83	0,82	0,91
pH, K^+	0,22	-0,33	-0,11	NO_3^- , Cl^-	0,67	0,70	0,92	Mg^{2+} , K^+	0,67	0,91	0,87
pH, NH_4^+	0,35	-0,62	-0,22	NO_3^- , Mg^{2+}	0,87	0,95	0,96	Mg^{2+} , NH_4^+	0,72	0,90	0,84
İlet, SO_4^{2-}	0,95	0,92	0,99	NO_3^- , Ca^{2+}	0,87	0,90	0,93	Ca^{2+} , Na^+	0,65	0,62	0,96
İlet, NO_3^-	0,86	0,78	0,97	NO_3^- , Na^+	0,75	0,81	0,92	Ca^{2+} , K^+	0,67	0,79	0,95
İlet, Cl^-	0,60	0,32	0,89	NO_3^- , K^+	0,53	0,80	0,93	Ca^{2+} , NH_4^+	0,81	0,83	0,78
İlet, Mg^{2+}	0,83	0,73	0,93	NO_3^- , NH_4^+	0,86	0,98	0,93	Ca^{2+} , K^+	0,54	0,78	0,96
İlet, Ca^{2+}	0,92	0,86	0,98					Na^+ , NH_4^+	0,57	0,78	0,84
İlet, Na^+	0,69	0,43	0,94					K^+ , NH_4^+	0,49	0,80	0,90
İlet, K^+	0,47	0,40	0,96								
İlet, NH_4^+	0,78	0,68	0,86								

Toplam anyon ve katyon dağılımı Şekil 4.5 ve 5.6'de görülmektedir. İTÜMK'de katyonların bulunduğu eksen logaritmik alındığında tüssel fonksiyon tarafından temsil edildiği görülmektedir. İÜOFAO'de ise doğrusal bir dağılım görülmektedir. İTÜMK yağışları içinde kimyasal analizi yapılmayan başka kirleticilerin olduğu Şekil 4.5'ten görülmektedir.

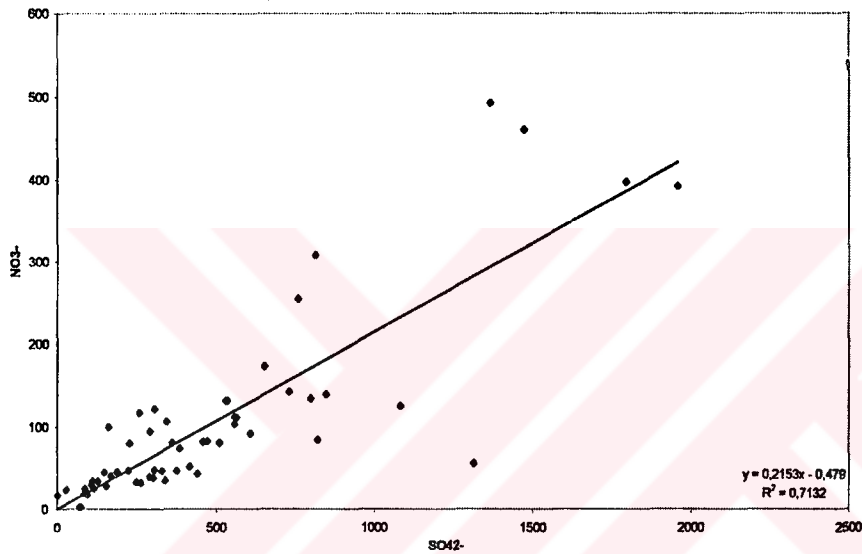


Şekil 4.5: İTÜMK toplam anyon ve katyonların (µeq/l) dağılımı.



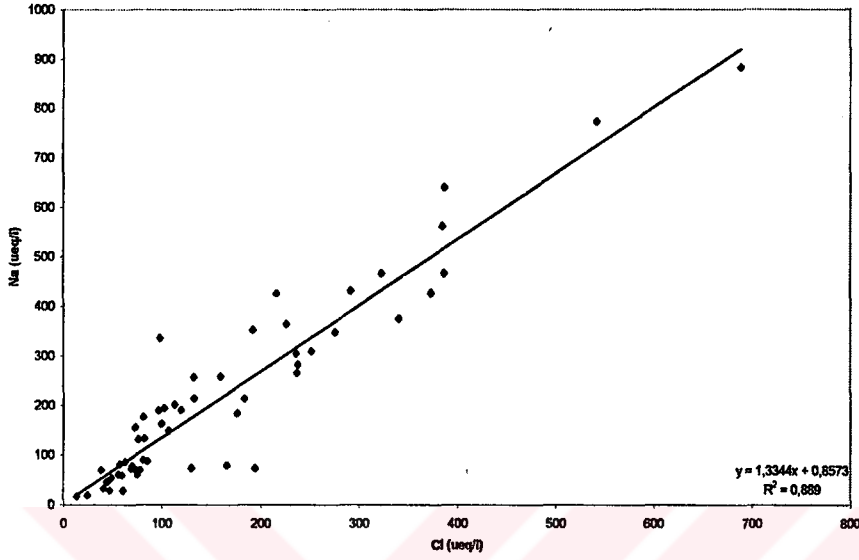
Şekil 4.6: İÜOFAO toplam anyon ve katyonların (µeq/l) dağılımı.

Yağışın asitliği genel olarak % 70 sülfat ve % 30 nitrat kaynaklıdır (NRC, 1983). Bu çalışmada $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ oranı % 79 ve % 21 (4.7) çıkmıştır. Bu sonuçlara göre İstanbul yağışlarında sülfat daha fazladır. Sülfat ve nitrat değişim grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir. Antalya’da yapılan çalışmalarda $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ oranı 1.42, Ege bölgesinde ise 3.0 çıkmıştır (Al-Momani ve diğ., 1995a, 1995b). $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ oranı Japonya ve Çin’de yapılan çalışmalarda 10 civarında çıkmıştır (Amaguchi et al., 1991; Zhao et al, 1988).



Şekil 4.7: SO_4^{2-} (µeq/l) ve NO_3^- (µeq/l) değişim grafiği.

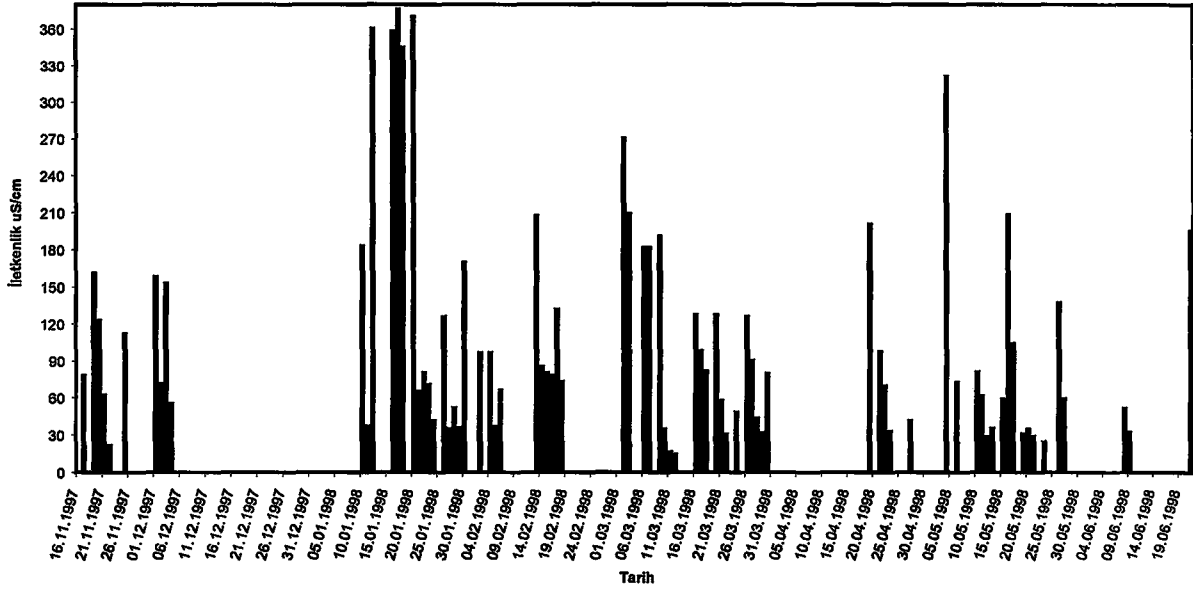
Genel olarak yağış içinde yer alan Na^+ ve Cl^- deniz kaynaklıdır. Deniz suyunda Cl^-/Na^+ oranı 1.8 civarındadır. Bu oranın 1.8’in altına düşmesi karasal kaynaklı Na^+ ’un yağışa karıştığını gösterir (Dulac et al., 1987). Na^+ ve Cl^- ’nin değişim grafiği Şekil 4.8’de görülmektedir. Bu çalışmada bu ortalama Cl^-/Na^+ oranı 0.75 çıkmıştır. Dolayısıyla bu çalışma sonuçlarına göre karasal kaynaklı Na^+ ’nın yağışlara karıştığını göstermektedir.



Şekil 4.8: Na⁺ (µeq/l) ve Cl⁻ (µeq/l) değişim grafiği.

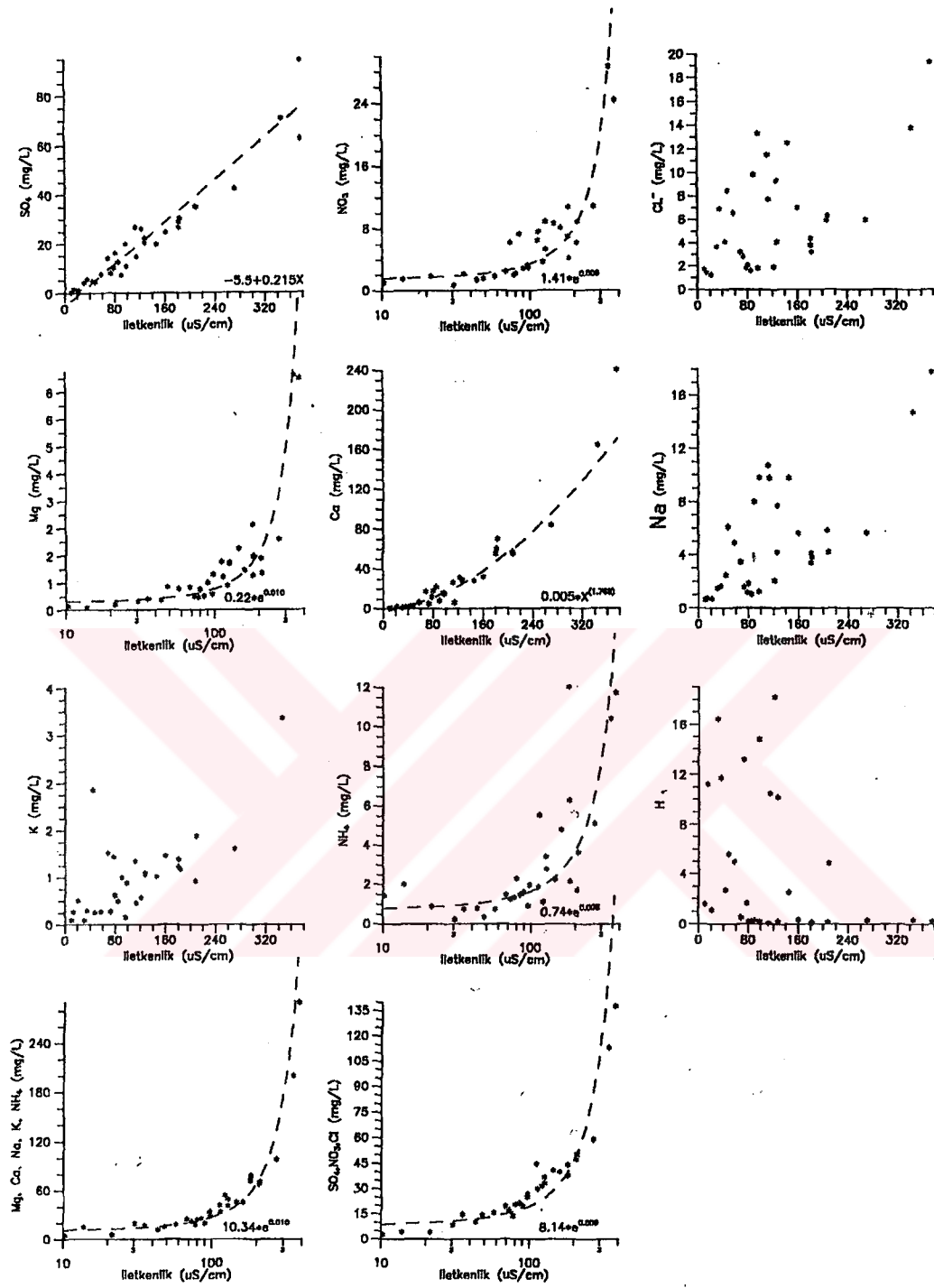
4.4. İletkenlik Değişimi

İTÜMK istasyonunda incelenen yağış örneklerinin iletkenlik değerleri Şekil 4.9'de sunulmuştur. 80 ayrı güne ait değerlerin ortalaması 110.6 µS/cm'tir. Ölçüm değerlerinin % 64'ü ortalamanın altında ve 36'sı üzerinde meydana gelmiştir. Yağışın başlamasından itibaren zamanla iletkenlik değişimi 1. kap ortalaması (145 µS/cm) ortalama değer üzerinde, diğer kaplarda ise ortalamanın altında çıkmıştır. İletkenlik değerleri de yağışın ilk 10 dakikasında iyonların azaldığını göstermektedir.



Şekil 4.9: İTÜMK istasyonunda alınan örneklerin iletkenlik değerlerinin değişimi.

İncelenen süre içerisindeki yağışın iletkenlik değeri ve iyon derişimleri arasında aşağıdaki şekilde görülen bağıntılar elde edilmiştir (Şekil 4.10). İletkenlik ile pH, Cl⁻ ve Na⁺ arasında belirgin bir fonksiyon elde edilememiştir. Bununla birlikte iletkenlik SO₄²⁻ derişimi ile doğrusal, Ca²⁺ derişimi üssel, NO₃⁻, NH₄⁺ Mg²⁺ derişimi, anyonlar ve katyonlar toplamı ile logaritmik ekseninde exponansiyel bir dağılım göstermektedir.



Şekil 4.10: Ölçüm verilerine göre iletkenlik ve iyonlar arasındaki değişim.

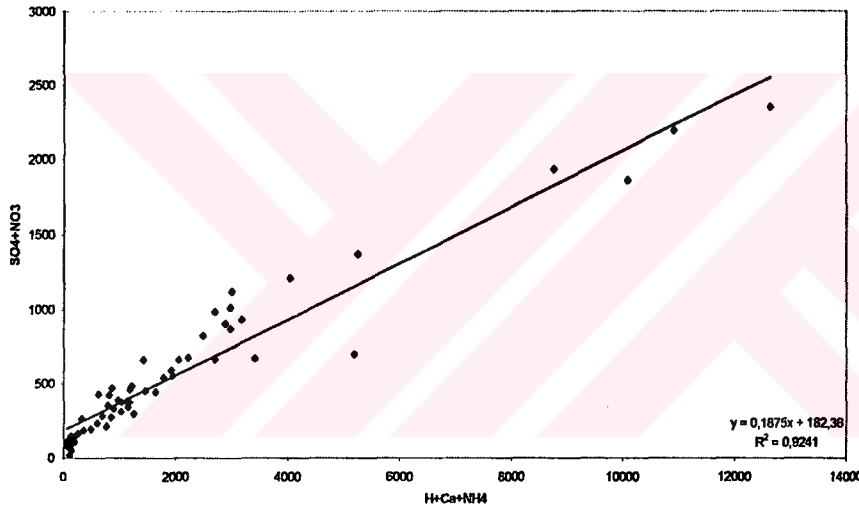
4.5. Asitliliğin Nötralleşmesi

Yapılan çalışmalar asit yağışlarının NH_3 ve CaCO_3 varlığında nötralleştiğini göstermiştir (Camarero and Catalan, 1993). Genel olarak pH değerleri SO_2 ve NO_x miktarıyla ters orantılıdır. Bununla birlikte yağış suyunda yeterince NH_3 ve CaCO_3 varsa SO_2 ve NO_x derişim değerlerinin yüksek oluşu pH değerini düşürmeyebilir (Al-Momani et al., 1995). Yağışın pH'sı asit ve nötralleşme arasındaki orana bağlıdır (Kaya ve Tuncel, 1997). Yağışın asitliliği H_2SO_4 ve HNO_3 'den dolayı ise ve asitlilik nötralleşmemişse $\text{H}^+ / (\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ oranının 2/3 civarında çıkması beklenir (Amaguchi et al., 1991). Tablo 4.26'da bu oranlar sunulmuştur. Bu oran genel olarak 1'den çok küçük değerleri içermektedir. Elde edilen sonuçlar verilerin çoğunlukla nötralleştiğini göstermektedir. $\text{H}^+ / (\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ dengesi ölçümü yapılmayan CaCO_3 , HCO_3^- vs. gibi diğer iyonlar tarafından değiştirilebilmektedir (Losno et al., 1991; Khwaja and Husain, 1990; Al-Momani ve diğ., 1998; Şen ve Al-Daheel, 1986; Şen, 1999; Güleç, 1999). Günlük ortalama değer istatistikleri bu oranda Ca^{2+} ve NH_4^+ 'nın etkisini göstermektedir. Buna göre Ca^{2+} (240 mg/l) ve NH_4^+ (12,01 mg/l) derişimleri en fazla olduğunda pH (7,42) değerinin maksimum olduğu, minimum değerlerinde de Ca^{2+} (0,47 mg/l) ve NH_4^+ (0,22 mg/l) en küçük değerde (pH=4,76) olduğu görülmektedir (Tablo 4.20). Şehir yakınlarındaki CaCO_3 kaynağını teşkil eden toprak yapısından dolayı yağışların nötralleştiği belirtilmiştir (Sanusi et al., 1996). İstanbul'un batı bölgesinde yer alan arazilerden CaCO_3 ve şehirdeki endüstriyel faaliyetlerden dolayı yağış pH değerleri bilhassa batılı yağışlarda yüksek çıkmıştır (Kantarci, 1999; Şen, 1999).

Tablo 4.26: Asitliliğin nötralleşmesi ($\text{H}^+ / (\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$).

Tarih	22/11/97	25/11/97	10/1/98	17/1/98	18/1/98	21/1/98	22/1/98	23/1/98	24/1/98	29/1/98	
H ⁺	1,12	0,05	0,08	0,23	0,35	0,52	0,19	1,66	2,71	11,75	
SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	2,74	33,18	34,58	118,22	99,23	16,21	18,41	11,97	5,95	7,46	
H ⁺ /SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,14	0,46	1,57	
Tarih	2/2/98	4/2/98	13/2/98	14/2/98	17/2/98	18/2/98	2/3/98	3/3/98	6/3/98	7/3/98	
H ⁺	2,53	14,79	0,18	0,21	18,20	13,18	0,30	4,90	0,13	0,04	
SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	28,21	23,15	41,40	19,63	29,75	13,93	53,04	43,80	39,56	33,68	
H ⁺ /SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	0,09	0,64	0,00	0,01	0,61	0,95	0,01	0,11	0,00	0,00	
Tarih	9/3/98	11/3/98	12/3/98	16/3/98	17/3/98	20/3/98	21/3/98	22/3/98	24/3/98	27/3/98	30/3/98
H ⁺	0,34	1,58	11,22	0,21	0,15	10,21	5,01	16,45	5,62	0,27	10,47
SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	32,75	1,13	2,82	27,64	13,58	29,28	9,13	4,63	5,74	9,85	22,20
H ⁺ /SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻	0,01	1,40	3,98	0,01	0,01	0,35	0,55	3,55	0,98	0,03	0,47

Yağışlarda meydana gelen asitlilik H_2SO_4 ve HNO_3 den dolayı ise ve CaCO_3 ve NH_3 tarafından nötralleştiğinde $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ ve $(\text{H}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{NH}_4^+)$ değişimi doğrusal olması beklenir (Al-Momani ve diğ., 1995a). $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ ve $(\text{H}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{NH}_4^+)$ değişim grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir. Bunlar arasında korelasyon katsayısı 0.92'dir. Bu asitliliğin NH_3 ve CaCO_3 tarafından nötralleştiğini göstermektedir.



Şekil 4.11: $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ ($\mu\text{eq/l}$) ve $(\text{H}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{NH}_4^+)$ ($\mu\text{eq/l}$) değişim grafiği.

İstanbul'da yağış pH değerleri dünyanın değişik şehirlerindeki yağış pH değerinden yüksek çıkmıştır. Yağış suyundaki ana anyon ve katyon değerleri karşılaştırıldığında da İstanbul değerleri yüksek çıkmıştır (Tablo 4.27). Kirlilik yönünden İstanbul yağışları Gülsoy ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmada da yüksek değerler içermektedir. SO_4^{2-} ve NO_3^- iyon konsantrasyonları sırasıyla İstanbul Maslak'ta 468 $\mu\text{eq/l}$ ve 100 $\mu\text{eq/l}$ iken bu değerler Colmar(Fransa)'da 147 $\mu\text{eq/l}$ ve 78 $\mu\text{eq/l}$; Albany(New York)'de 68 $\mu\text{eq/l}$ ve 45 $\mu\text{eq/l}$; Ontario(Kanada)'da 64 $\mu\text{eq/l}$ ve 11

$\mu\text{eq/l}$; Matsue(Japonya)'de 265 $\mu\text{eq/l}$ ve 17 $\mu\text{eq/l}$; Chorgcing(Çin)'de 165 $\mu\text{eq/l}$ ve 18 $\mu\text{eq/l}$ çıkmıştır.

Tablo 4.27: Değişik istasyonlarda yağış suyundaki ana iyon konsantrasyonları ($\mu\text{eq/l}$).

İstasyon	Dönem	O.S.	PH	H ⁺	İlet.	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺
İTÜMK	Ekim 1997-Mayıs 1998	57	6,34	0,54	121	468	100	160	101	1887	215	30	170
İÜOFAO	Ekim 1997-Mayıs 1998	34	6,28	1,8	-	549	93	160	236	1041	200	16	82
Antalya*1	Ocak 1992-Aralık 1992		5,17	6,76		66	70	390	94	140	450	121	50
Ankara*2	Eylül 1989-Mayıs 1990	27	6,1	3,7		150	62	-		210	21	19	12
İzmir*3			5,64	2,33		66	23	117					22
Bahçelievler*4	Ocak 1996-Kasım 1997	39	6,5			712	140			188			
Florya*4	Ocak 1996-Kasım 1997	45	6,1			397	445			150			
Göztepe*4	Ocak 1996-Kasım 1998	25	6,3			281	511			251			
Colmar *5, Fransa	Eylül 1991-Mart 1992	19	5,7	10	60	147	78	167	16	166	70	83	140
Hollanda*6			4,1	79		140	47	313	90	60	290	28	78
Albany*7, New York			4,09	81		68	45	8	3	10	5	6	17
Ontario*8, Kanada			4,28	53		64	11	5	3	13	3	1	17
Matsue*9, Japonya			4,72	19,05		165	16,9			28,3	130		19,5
Chorgcing*10, Çin			4,44	36,3		165	18	23	18	42	45	23	64

(*1 Al-Momani ve diğ., 1995b, *2 Tuncel ve Ungör, 1996, *3 Al-Momani ve diğ., 1995a, *4 Gülsoy ve diğ., 1997, *5 Sanusi et al., 1986, *6 Schuurkes and et al., 1988, *7 Khwaja and Husain 1990, *8 Zeng and Hopke 1989, *9 Amaguchi and et al. 1991, *10 Zhao et al., 1988)

Bu çalışma paralelinde ağaç yapraklarında kükürt tespiti için bir araştırma ise Öztürk (1998) tarafından yapılmıştır. Maslak ve Belgrad ormanında ağaçlarda kükürt tespiti ile ilgili, yapraklardan Ocak-Nisan 1998 ayları boyunca örnekler alınmıştır. Yaprak analizinde son üç yılın yaprakları analiz edilmiştir. Maslak'ta bir yaşındaki karaçam ibrelerinde kükürt miktarı 3482 ppm ile 8927 ppm arasında değiştiği, Belgrad araştırma ormanında ise 4423-7516 ppm seviyesinde bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İstanbul'da şehir içi ve orman alanında kurulan iki istasyondan alınan yağış örneklerinin iyon derişimleri, pH ve iletkenliği zamana ve yöne bağı olarak araştırılmıştır. Zamanla olan değişimin belirlenmesi için özel bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem ile Ekim 1997 ile Temmuz 1998 tarihleri arasında İstanbul'da farklı iki istasyonda yağış örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerin pH ve iletkenlik değerlerine ölçüm yerinde bakılmıştır. Kimyasal analizler için polietilen kaplarda +4 °C'de muhafaza edilen yağış suları, özel kurye ile Ankara'ya kimyasal analiz için götürülmüştür. Kimyasal analizler ODTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılmıştır. İncelenen süre içindeki yağışların hangi yönlerden geldiği, iyonların derişim değerlerinin yönlere ve zamana göre değişimleri gösterilmiştir. Devam edecek olan bu çalışmanın ilk bulguları aşağıda çıkarılmıştır.

1. Yağış suyundaki iyonların yağışın başlamasından itibaren azalma gösterdiği dolayısıyla yağışın atmosferi hızla kirleticilerden temizlediği görülmüştür. Yağışların ilk 10 dakika ile 10.-20. dakikalar arasındaki değerleri, ilk on dakikada atmosferde büyük bir yıkanmanın meydana geldiğini göstermektedir.
2. Yağış suyundaki ana iyonlar zamanla azalma göstermektedir. İlk 10 ile 10-20. dakikalar arasındaki yağışın iletkenliği 211'den 149 $\mu\text{S}/\text{cm}'\text{ye}$; SO_4^{2-} derişimi 35'den 27 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$; NO_3^- derişimi 9.5'ten 6.6'ya mg/l ; Cl^- derişimi 7.8'den 5.1 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$; Mg^{2+} derişimi 1.9'dan 1.2 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$; Ca^{2+} derişimi 63.2'den 40.5 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$; Na^+ derişimi 6.7'den 5.4 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$; K^+ derişimi 2'den 1.6 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$; NH_4^+ derişimi 4.5'ten 3.9 $\text{mg}/\text{l}'\text{ye}$ düşmüştür.
3. Asit yağışlarını oluşturan sülfat ve nitrat iyonları derişim değerlerinin dünyanın değişik noktalarında yapılan çalışma değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.
4. Sülfat ve nitrat iyonlarının derişim değerlerinin yağışın ilk zamanlarında azalma ve sonra belli bir değerde varlığını sürdürmesi, bu iyonların hem yakın mesafe ve hem de uzak mesafe kaynaklı olduğunu işaret etmektedir.

5. Şekil A1-A10'da görüldüğü gibi pH, iletkenlik ve iyon derişim değerlerinin yağışın geldiğı yöne bağı olarak değıştiğı gözlenmiştir.

6. Yağıştaki ana iyonların derişimleri Weibull, log-normal veya üstel dağılımlarına uyduğı belirlenmiştir. Buna göre iyon derişim değerlerinin kütle yoğunluk fonksiyonları küçük değerlerde toplanmıştır.

7. İncelenen süre içerisinde batı, kuzeybatı ve güneybatı kaynaklı yağışlarda iyon derişim değerlerinin diğere yönlere göre daha yüksek olduğı belirlenmiştir.

8. pH değeri küçük yağışlar batı-kuzeybatı, batı-güneybatı ve güney-güneybatı; iletkenliğin büyük değerleri (yani yüksek iyon değerleri) güney-güneybatı, batı-güneybatı ve kuzey-kuzeybatı; iyonlarının yüksek olduğı yağışlar sırasıyla SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} ve K^+ için güney-güneybatı; Ca^{2+} için batı-kuzeybatı, kuzey-kuzeybatı ve güney-güneybatı; Na^+ için güney-güneybatı ve batı-güneybatı, NH_4^+ için ise batı-güneybatı ve batı-kuzeybatı yönlerinden gelmiştir.

9. pH değerlerinin yüksek olduğı yağışların geldiğı yönler, asit yağışlarını nötralleştirici etki yapan Ca^{2+} ve NH_4^+ için de söz konusudur.

10. İTÜMK'de ilk 10 dakikadaki yağışların %30'u, İÜOFAO'dekilerin ise %25'i daha asit reaksiyonlu çıkmıştır.

11. İTÜMK ve İÜOFAO'de yağışın pH değerleri sırasıyla en küçük 4.64 ve 4.99, en büyük 7.42 ve 7.57'dir. Kütle yoğunluk fonksiyonları 7 civarındadır. İncelenen süre içerisindeki yağışın pH değerleri, diğere birçok ülkedeki yağış pH değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar yağışların nötralleştini göstermektedir.

12. Nötralleştirici ajan etkisi yapan NH_4^+ derişim değerleri en fazla batı-kuzeybatı yönünden sonra ise batı-güneybatı ve güney-güneybatı yönlerinden gelen yağışlarda görülmektedir. NH_4^+ 'ün kaynakları yakın endüstriyel tesisler, Haliç ve buna bağı dereler ile diğere su göletleri, kanalizasyon, tarımsal alanlardaki gübreleme işlemleri olabilir. Ca^{2+} derişiminin yüksek değerleri batı-kuzeybatı, batı-güneybatı ve güney-güneybatı yönlerinden gelen yağışlarda çıkması İstanbul'un da içinde bulunduğı Trakya yarım adasının jeolojik yapısının da etkisi vardır. Çatalca yarımadasındaki kireç taşları arazisi ölçme noktalarının batısında yer almaktadır. Gerek hergün genişleyen yerleşim alanlarındaki inşaat alanlarından, gerekse yollardan ve

tarlalardan kaynaklanan toz (CaCO_3) havada asılı olarak bulunmaktadır. Yukarıdaki sebeplerden dolayı batılı yağışlar Ca^{++} bakımından zengin çıkmıştır.

13. Fosil yakıt kullanımı ve termik enerji santralleri Avrupa'da SO_2 ve NO_x emisyonları bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Atmosferde hava hareketi uzun mesafeler (ülkeler arası ve kıtalar arası) kat ettiği için, dünya yüzeyinde başta ABD ve Avrupa ülkeleri olmak üzere çok miktarda tüketilen kükürt içerikli enerji kaynaklarının azaltılması gerekmektedir. Avrupa ve bilhassa Balkanlar'da atmosfere atılan kirleticiler Türkiye'nin özellikle Marmara bölgesi için asit yağışları için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Önemli tarım alanlarından biri olan Trakya bölgesi için bu büyük bir tehlike arz etmektedir. Termik santrallerde kükürt değeri düşük kömürler kullanılmalı ve eski teknoloji ile çalışan termik santraller yenilenmelidir. Bu konuda ölçüm eksikliği ve düzensizliği ile bir hava kirliliği ölçüm ağının olmaması bizi kesin sonuçlara götürememektedir.

14. Uzun mesafeli taşınım ile kaynağından yüzlerce ve hatta binlerce km uzaktaki bölgelerde etkilerini gösterebilen asit yağışları konusunda çalışmalar yoğunlaştırılmalıdır. Türkiye'de meteoroloji istasyonlarında yapılan ölçümlerde yağışın miktarı yanı sıra, yağışın kalitesi yani asitlik derecesinin de belirlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Bugün dünyada son derece önemli olan tarımsal meteoroloji alanında ve kültür teknik çalışmalarında özellikle toprak yapısını ve bitki gelişimini etkileyen yağışın pH değerinin ölçülmesi sanayileşmenin gün geçtikçe arttığı ülkemizde son derece önemlidir.

15. Bu çalışma ile toprakların hızla yıkanmasına, dolayısı ile bitki beslenmesine olumsuz etki yapan asit yağışları hakkında bilgiler edinilmiştir. Yağışların kimyasal analiz sonuçları bu konuda çalışma yapan bilim adamlarına bir veri tabanı oluşturacaktır. Bu çalışma devam ettirilerek daha da belirgin sonuçların elde edilmesi gerekmektedir.

16. Konu ile ilgili çalışmaların büyük kuruluşlar ve projeler ile sürekli desteklenmesi gerekmektedir. Alet, ekipman ve analizlerin pahalı olması, fazla yerde örnek almayı zorlaştırmaktadır. Süre kontrollü çalışan sistem yağış kimyasının zamansal ve mekansal değişimini vermektedir. Bu çalışma ilk defa yapıldığından sonuçların daha sonraki çalışmalara yardımcı olması beklenmektedir.

17. İTÜMK ve İÜOFAO'deki ölçümlerle başlayan bu çalışmanın Türkiye'nin diğer bölgelerinde de sürdürmesi planlanmaktadır. Özellikle tarımsal alanlarda ve ormanlık bölgelerde yağış içerisindeki ana iyonların ve asitliliğin saptanması Türkiye ekonomisi açısından önemlidir. Benzer bir çalışmanın ilk etapta tarımsal açıdan Trakya bölgesinde, orman sahaları açısından da Batı Karadeniz, Ege ve Akdeniz bölgelerinde yapılması hedeflenmektedir.

18. Avrupa asit yağışları haritalarının yanında yeni çalışmalarla elde edilecek sonuçların da eklenmesiyle Türkiye'nin de içinde olduğu asit yağışları haritasının çıkartılması gereklidir.



KAYNAKLAR

- Acid News, 1995. Latest Monitoring (European Monitoring & Evaluation Programme), *The Swedish Society for Nature Conservation*, No. 5, Göteborg, Sweden.
- Acid News, 1997. Acid News, *The Swedish Society for Nature Conservation*, No. 1, Göteborg, Sweden.
- Adriano, D. C. and Johnson A. H., 1989. Acidic Precipitation, Volume 2, *Biological and Ecological Effects*. New York, Springer-Verlag.
- Akman, S., 2000. Kişisel görüşme. İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Öğretim Üyesi.
- Al-Momani, I. F., Ataman, Y. O., Anwari, M. A., Tuncel, S.G., Köse, C., ve Tuncel, G., 1995a. Chemical Composition of Precipitation near an Industrial Area at İzmir, Turkey, *Atmospheric Environment*, V 29, No10, 1131-1143.
- Al-Momani, I. F., Tuncel, S., Eler, Ü., Örtel, E., Sirin, G. ve Tuncel, S. G., 1995b. Major Ion Composition of Wet and Dry Deposition in the Eastern Mediterranean Basin, *The Science of the Total Environment*, 75-85.
- Al-Momani, I. F., Aygun, S., Tuncel, G., 1998. Wet Deposition of Major Ions and Trace-Elements in the Eastern Mediterranean Basin, *Journal Of Geophysical Research-Atmospheres* 1998, Vol 103, Iss D7, pp 8287-8299.
- Alp, K., 2000. Kişisel görüşme. İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Öğretim Üyesi.
- Amaguchi, K., Tatano, T., Tanaka, F., Nakao, M. and Gomyoda, M., 1991. An Analysis of Precipitation Chemistry Measurements in Shimane, Japan. *Atmospheric Environment*, 25A, 285-291.
- Avco, 1970. Economic System Corporation, Storm Water Pollution from Urban Land Activity, Report, *National Technical Information Services Document* PB, 195-281.
- Bayçu, G., 1997. Effects of Acidic Precipitation on the Coniferous Species of "KAZ" Mountains in "BİGA" Peninsula, *Air Quality Management at Urban*,

İ.C. YUKSEKÖĞRETİM
DOKÜMANLARI

Regional and Global Scales, September 23-26, İstanbul, Türkiye, 525-529.

- Beyer, L., 1993. Grundkurs Anorganische Chemie. Barth Verlagsgesellschaft mbH, p.145.
- Bufalini, M., 1971. The Oxidation of Sulfur Dioxide in Polluted Atmospheres. A Review, *Environ. Sci. Technol.*, 5, 685.
- Buijsman, E. And Erisman, J., 1986. Ammonium Wet Deposition Flux in Europe. Report No. R-86-5, *Institute for Meteorology and Oceanography, University of Utrecht*, The Netherlands.
- Calvert, J. G., 1984. SO₂, NO and NO₂ Oxidation Mechanisms: Atmospheric Considerations, *Acid Rain Precipitation Series*, Volume 3. Toronto, Butterworth Publishers.
- Camarero, L. and Catalan, J., 1993. Chemistry of Bulk Precipitation in the Central and Eastern Pyrenees, Northeast Spain, *Atmos. Environ.*, 27, 83-94.
- Carlson, C. L. and Haines, B. L., 1989. Acidic Precipitation. "Biological and Ecological Effects" Springer-Verlag New York Inc., Volume 2, 1-50.
- Cehak, K., 1986. Impact of acid rain on forests or the forest decline. *Informal Report*. WMO, Geneva.
- Charles, E. L., 1995. Little, The Dying Of The Trees; The Pandemic In America's Forests, New York. Viking/Penguin.
- Charlson, R. J. and Rodhe, H., 1982. Factors Controlling the Acidity of Natural Rainwater. *Nature*, Vol. 95, pp. 683-685.
- Chew, W. Y. and J. A. Rojaratman, C. N. Williams, 1980, Tree and Field Crops Of the Wetter Regions Of the Tropics., Longman Group Ltd., 1-119.
- Cowling, E. B., 1982. Acid precipitation in historical perspective: critical review, *Environ. Sci. & Technol.*, 16, 110a-123a.
- Çölaşan, E. Ü., 1959. Meteoroloji, İklim ve Ziraat., Ankara Mat., 62-150.
- Davila, M. M. ve Catalan, J. J., 1986. The meteorological aspects of pollution arising from agricultural activities. *Informal Report*. WMO, Geneva.
- Deniz, A., 1998. Türkiye'yi Etkileyen Sinoptik Sistemlerin Klimatolojisi. Doktora tezi, İTÜ.
- DİE, 1999. Devlet İstatistik Enstitüsü, 1997 Türkiye Nüfus Sayımları Sonuçları, <http://www.die.gov.tr/sayimlar.htm>.

- Djuric, D., 1995. Weather Analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, *New Jersey*.
- DMİ, 1998. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşivi, Kalaba-ANKARA.
- Durham, J. L., 1990, Acid Rain Source Book., "Office of Enviromental Proceses and Effects Research", P. 1-15.
- Ertürk, F., 1993. Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliğ Kaynanları ve Kontrolü, Marmara Araştırma Merkezi, Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, S.15-47.
- Eruz, E. ve Caner H., 1995, İstanbul'da Hava Kirliliğinin Bitki Örtüsü Üzerindeki Etkileri, II. Hava Kirlenmesi, Modellenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İ.T.Ü, İstanbul, S. 254-268.
- Fruen L., 1998. The Real World of Chemistry. The Third Edition. Kendall Hunt Publishing Company, Dubuque.
- Galloway J. N. and Likens G.E., 1976. Calibration of Collection Procedures for the Determination of Precipitation Chemistry, J.Wat. Air Soil Pollut. 6, 241-258.
- Gartell, F. E., Thomas, F. W. and Carpenter, S. B., 1963. Atmospheric Oxidation of SO₂ in Coal Burning Power Plant Plumes, Am. Ind. Hygiene Assoc. J., 24.113.
- Gatz, D. F., 1991. Urban Precipitation Chemistry. A review and Synthesis, Atmospheric Environment, Vol. 25B, No 1, 1-15.
- Gay, K., 1983. Acid Rain. Franklin Watts, New York.
- Graedel, T. E., Benkovitz, C. M., Keene, W. C., Lee, D. S. and Marland, G., 1995. Global Emissions Inventories of Acid-Related Compounds Water, Air and Soil Pollution, pp.25-36.
- Güleç, A., 1999. Kişisel görüşme. İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Öğretim Üyesi.
- Gülsoy, G., Tayanç, M., Ertürk, F. ve Karaca, M., 1997. Neutralization of acid precipitation in Istanbul, Turkey., Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales., *Environmental Research Forum* Vol. 7-8., pp. 627-634.
- Harrison, R. M., 1998. Understanding Our Environment: An introduction to Environmental Chemistry and Pollution. University of Birmingham.
- Harvey, H. H., 1989, Acidic Precipitation Volume 4. , "Aquatic Proceses and Lake Acidification", Springer-Verlag New York Inc., 189-195.

- Heck, W. W., 1982. Future directions in air pollution research. In. Effects of Gaseous Air Pollution in Agriculture and Horticulture. M.H. Unsworth and D.P.Ormrod (eds.). *Hutterworth Scientific*, London.
- Heck, W. W., 1989. Assessment of crop losses from air pollutants in the United States. In. Air
- Heck, W. W., Heagle, A. S. and Shriner, D. S., 1986. Effects on vegetation. native, crops, forests. In Air Pollution. A.S. Stern (ed). Vol. 6, *Academic*, 247-350.
- Hill, J. W. And Petrucci, R. H., 1996. General Chemistry, Pentice Hall. P.518.
- İncecik, S., 1994. Hava Kirliliği Kitabı, İ.T.Ü Gümüşsuyu Mat., s. 93.
- İncecik, S., 1996. Investigation of Atmospheric Conditions in İstanbul Leading to Air Pollution Episodes, *Atmospheric Environment.*, V30, 101-108.
- İncecik, S., Şen, O., Kadioğlu, M., Alp, K., 1994. İstanbul'da Hava Kirliliğinin Yüzeysel Su kaynakları Üzerindeki Potansiyel Etkisi. 1. *Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu*, 23-25 Mart, İTÜ, 244-272
- Kadioğlu, M., 1996. Sinoptik Meteoroloji Ders Notları, İTÜ Meteoroloji Müh. Böl. İstanbul.
- Kantarıcı, M. D., Karaöz, Ö., 1998. Türkiye'nin Farklı Ekolojik Bölgelerinde Hava Kirliliğinin Ormanlara Etkisi, Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 21-13 Ekim, 141-147.
- Kantarıcı, M. D., 1986. İstanbul-Feneryolu Ağaçlandırma Alanında Asit Yağışlarının Etkisi ve Bu Yağışların Kaynağı Üzerine İncelemeler.Çevre-86 Sempozyumu, İzmir, 2-5 Haziran, 11-22.
- Kantarıcı, M. D., 1987. Toprak İlmi, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilimdalı, İ.Ü., O.F. Yayınları, Tablo 22, S.267, İstanbul.
- Kantarıcı, M. D., 1992. Zararlı Maddelerin Orman Toprakalarına Etkileri. *Dokuzuncu Türkiye-Almanya-Polonya Çevre Mühendisliği Sempozyumu*, BÜ, 5-7 Ekim, s. 405-422.
- Kantarıcı, M. D., 1995. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerine Doğrudan ve Dolaylı Etkileri, II. Hava Kirlenmesi, Modellenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İ.T.Ü, İstanbul, 234-253.
- Kantarıcı, M. D., 1999. Kişisel görüşme, İ.Ü., Orman Fakültesi, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilimdalı Öğretim Üyesi.
- Karaöz, M. Ö., 1997. Sulphur Concentrations Of Forest Tree Leaves on

Mountainous Area Of Biga Peninsula in Turkey. *Air Quality Mangement at urban, Regional and Global Scales Environmental Research Forum*, İTÜ, İstanbul. Vol. 7.8, p. 530,535.

Kasap, Y., 1995. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri, II. Hava Kirlenmesi, Modellemesi ve Kontrolü Sempozyumu, İ.T.Ü, 280-290.

Kaya, G., Tuncel, G., 1997. Trace Element and Major Ion Composition of Wet and Dry Deposition in Ankara, Turkey. *Atmospheric Environment* Vol. 31, No 23, 3985-3998.

Khwaja, H. A. and Husain, L., 1990. Chemical Characterization of Acid Precipitation in Albany, *Atmospheric Environment.*, 24A, 1869-1882.

Leeuwen, E. P., Draaijers, G. P. J. and Erisman, J. W., 1996. Mapping Wet Deposition of Acidifying Components and Base Cations Over Europe Using Measurements, *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No.14, 2495-2511.

Buffle, J. And Leeuwen, H. P., 1992. Environmental Particles, Environmental Analytical and Physical Chemistry series. Lewis Publishers, V.1. p.83.

Losno, R., Bergametti, G., Carlier, P. and Mouvier, G., 1991. Major Ions in Marine Rainwater with Attention to Sources of Alkaline and Acidic Species, *Atmospheric Environment*, 25, 763-770.

Mage, D., Ozolins G., Peterson, P., Webster, A., Orthofer, R., Vandeweerd, V. and Gwynne, M., 1996. Urban Air-Pollution in Megacities of the World, *Atmospheric Environment*, Vol 30, Iss 5, pp 681-686

Malmqvist, P. A., 1977. Urban Stormwater Pollution Sources, Dep. Of Hydraulics, Chalmers University of Technology, Rap. Ser. A.8

Michael, R. W., Thomas, R. F. and John, M. M., 1997. Chemical Composition and Deposition of Rain in the Central Amozon, Brazil, *Atmospheric Environment*, 31, 2, 207-217.

Ng, H. Y. F., 1987. Rainwater Contribution to the Dissolved Chemistry of Storm Runoff, Proc. IV Inst. Conf. On Urban Storm Drainage, Lausanne.

NRC, 1983. Acid Deposition, Atmospheric Processes in Eastern, North America. A report prepared by the Committee on Atmospheric Transport and Chemical Transformations in Acid Precipitation, pp. 375, *National Academy Press*, Washington, District of Columbia.

Okutan, H., 1993. Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, Marmara Araştırma Merkezi, Kimya

Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli, S.15-47.

- Öztürk, B., 1998. İTÜ Kampüsü ve Belgrad Ormanı'ndaki Karaçamların Yapraklarındaki Kükürt Birikimi, *Tarım ve Orman Meteorolojisi '98 Sempozyumu*. İstanbul, s.176-180.
- Pack, D. H., Ferver, G. J., Heffter, J. L., Telegades, K., Angel, J. K., Hoecker, W. H. and Machta, L., 1978. Meteorology of Long-Range Transport. *Atmospheric Environment*, 12, 425-444.
- Plaisance, H., Coddeville, P., Guillermo, R. And Roussel, I., 1996. Spatial Variability And Source Identification Of Rural Precipitation Chemistry in France, *Science of The Total Environment*, Vol 160, Iss 3, 257-270.
- Randall, C. W., Grizzard, T.J., Helsel, D. R. and Griffin, D. M., 1981. Comparison of pollutant Mass Loads in Precipitation and Runoff in Urban Areas. Scd. Inst. Conf. On urban Storm Drainage urbans, III.
- Rao, P. S. P., Momin, G. A., Safai, A. G. P., and Khemani, L. T., 1995. Rain Water and Throughfall Chemistry in The Silent Valley Forest in South India. *Atmospheric Environment*, V.29, No. 16, pp. 2025-2029.
- Raper, D. W., 1996. Wet Deposition at the Sub-20 km Scale in a Rural Upland Area of England, *Atmospheric Environment*, Vol .30, No.8, 1193-1207.
- Rio Declaration, 1992. Earth Summmit Press Summary of Agenda 21, United Nations Conference on Environment and Development, 3-4 June, Rio de Janeiro.
- Samara, C., Tsitouridou, R., and Balafoutis, C., 1992. Chemical Composition of Rain in Thessaloniki, Greece, in Relation to Meteorological Condition. *Atmospheric Environment*, Vol 26B, 339-367.
- Sanusi, A., Wortham, H., Millet, M., and Mirabel, P., 1996. Chemical Composition of Rainwater in Eastern France, *Atmospheric Environment*, Vol.30, No.1 59-71.
- Sarı, S., ve Kadioğlu, M., 1997. Yörünge Analizi ve İzmir Seli uygulaması, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, *Bildiri kitabı*, 7-9 Ekim Ankara, S. 400-413.
- Saucier, W.J., 1955. Principles of Meteorological Analyssis, Dower Publications, Inc., New York.
- Schuurkes, J. A. R., Maenen, M. J. and Roelofs, J. M., 1988. Chemical Characteristics of Precipitation in NH3- Affected Areas. *Atmospheric Environment*, 22, 1689-1698

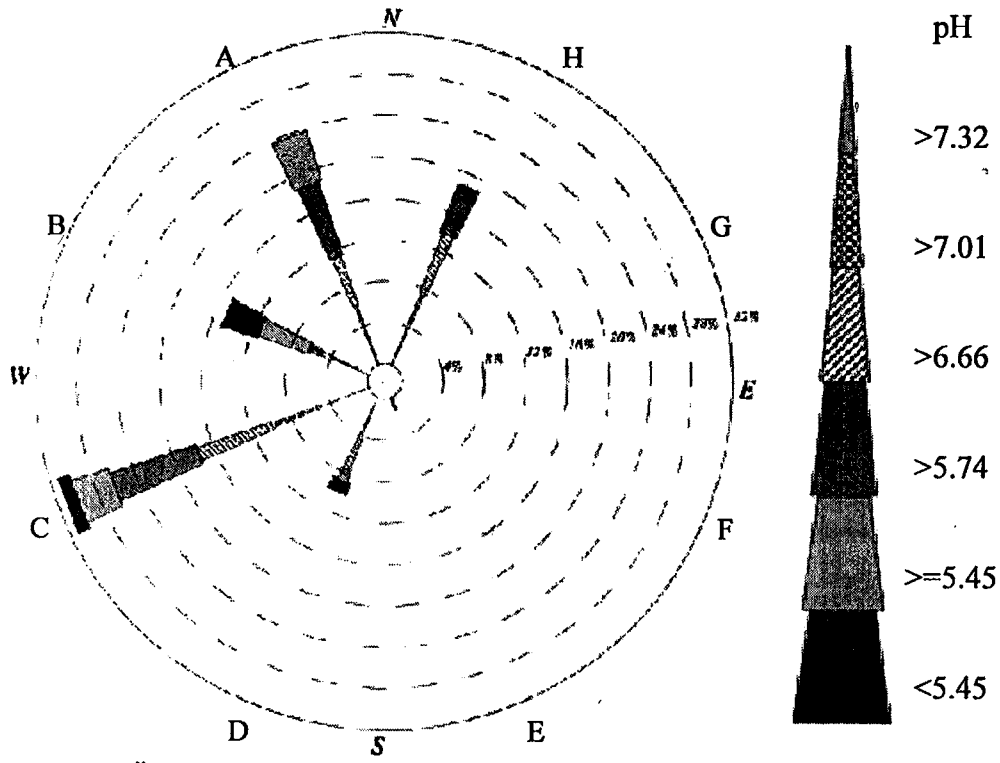
- Seinfeld, J. H., 1975. Air pollution Physical and Chemical Fundamentals, *McGraw-Hill*, USA.
- Shibata, H. and Sakuma, T., 1996. Canopy Modification of Precipitation Chemistry in Deciduous and Coniferous Forests Affected by Acidic Deposition, *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol 42, Iss 1, 1-10.
- Sisterson, D. L. and Shannon, J. D., 1990. A Comparison of Urban and Suburban Precipitation Chemistry, *Atmospheric Environment*, 24b, 389-394.
- Smith, F. B. and Hunt R. D., 1978. Meteorological aspects of the transport of pollution over long distances, *Atmospheric Environment*, 12, 461-470.
- Stern, A. C., 1977. Air Pollution, The Effects of Air Pollution, *Mc Graw Hill Co.* USA.
- Şaylan, L., 1994. Hava Kirliliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkisi, *Hasad Dergisi*, 111, 29-31.
- Şaylan, L., 1998. Tarım ve Orman Meteorolojisi Alanında Durumumuz ve Yapılması Gerekenler, *Tarım ve Orman Meteorolojisi '98 Sempozyumu*, İTÜ, 21-13 Ekim, S.9-20.
- Şen, O. ve İncecik, S., 1994. İstanbul Yağış Artırımı Projesi , *I. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu*, 23-25 Mart 1994, İTÜ, S. 45.
- Şen, O., 1988. Variations of Aerosols at İzmir, Turkey. Determined by Neutron Activation Analysis, Doktora Tezi, İTÜ.
- Şen, O., 1996. The effect of Aircraft Engine Exhaust Gases on the Environment, Bulletin of the Technical University of İstanbul, V.49, No.3-4, 593-605.
- Şen, O., 1998. Air Pollution and Inversion Features in İstanbul. *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 9, No. 4. 371-383.
- Şen, Z., Al-Dakheel, A., 1986. Hydrochemical facies evaluation in Umm Er Radhuma limestone, Eastern Saudi Arabia, *Ground Water*, 24, No. 5., 626-635.
- Şen, Z., 1995. Regional Air Pollution Assessment by Cumulative Semivariogram Technique, *Atmospheric Environment*, V.29, 543-548.
- Şen, Z., 1999. Kişisel görüşme. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Öğretim Üyesi
- Tuncel, S. G., 1998. Yağış Örneklerinin Kimyasal Analizi, ODTÜ Çevre

Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Elemanları.

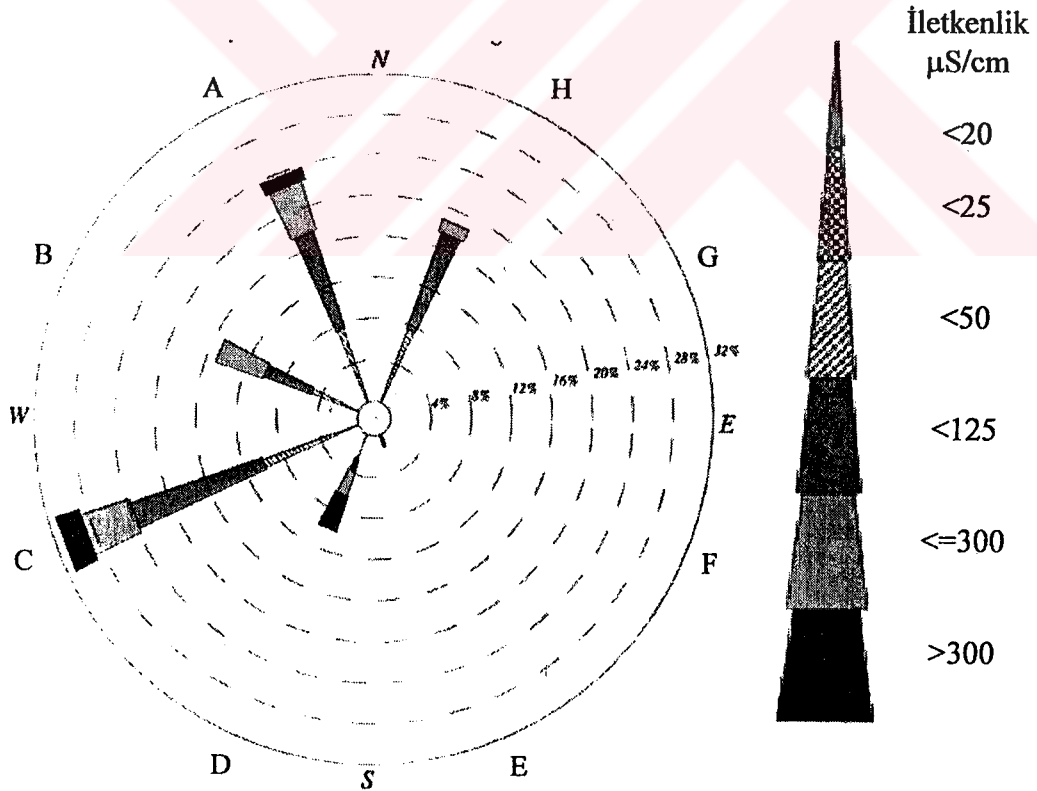
- Tuncel, S. G., Ungör, S., 1996.** Rain Water Chemistry in Ankara, Turkey, *Atmospheric Environment*, V30, No.15, 2721-2727.
- Walk, M. F., and Godfrey, P. J., 1990.** Effects of Acid Deposition on Surface Waters. Journal of New England Water, *Works Association*, Volume 104, Number 4, p. 248-251.
- WMO, 1993.** Assesment of air pollution effects on plants, *Technical Note*, No. 55, WMO No. 556, Geneva.
- Yılmaz, Ö., 1985.** Çevre Kirlenmesi El Kitabı, (Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi), Trabzon.
- Young, T. C., 1991.** Method to Assess Lake Responsiveness to Future Acid Inputs Using Recent Synoptic Water Column Chemistry: *Water Resources Research*, Volume 27, Number 3., p. 317-326.
- Zeng, Y. and Hopke, P. K., 1989.** A Study of the Sources of Acid Precipitation in Ontario, Canada, *Atmospheric Environment* , 23, 1499-1509.
- Zhao, D., Xiang, J., Yu Xu and Chan, W. H., 1988.** Acid Rain in Southwestern China, *Atmospheric Environment*, 22, 349-358.
- Zumdahl, S. S., 1995.** Chemical Principles. Toronto, *D.C. Heath and Company*, p. 171-175.

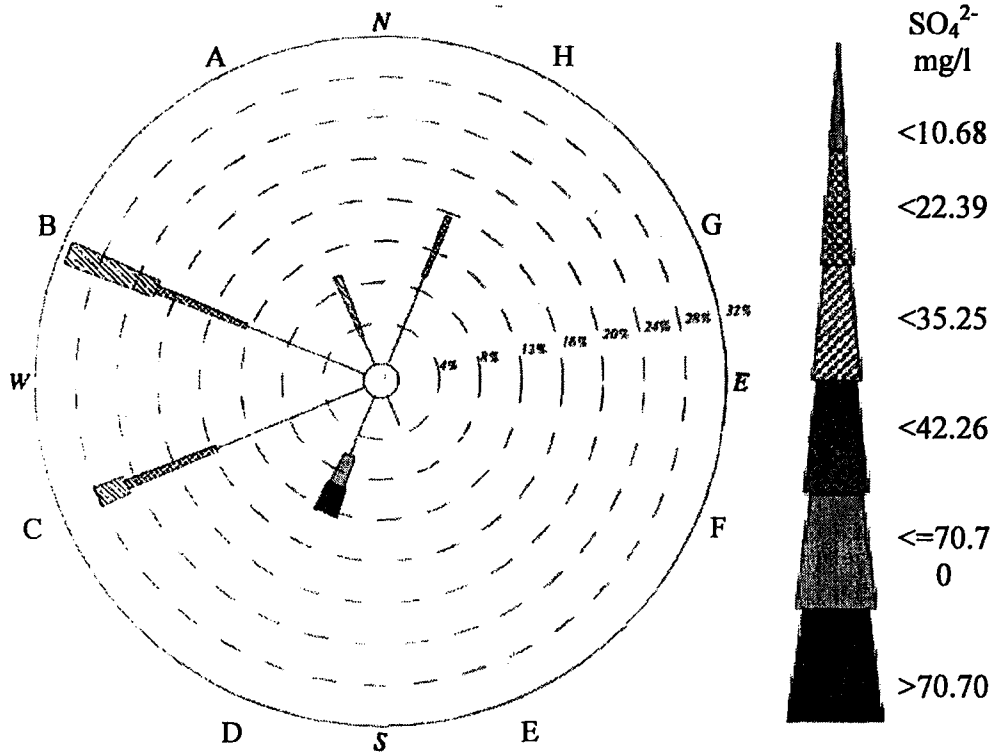
**EK A
ŞEKİLLER**



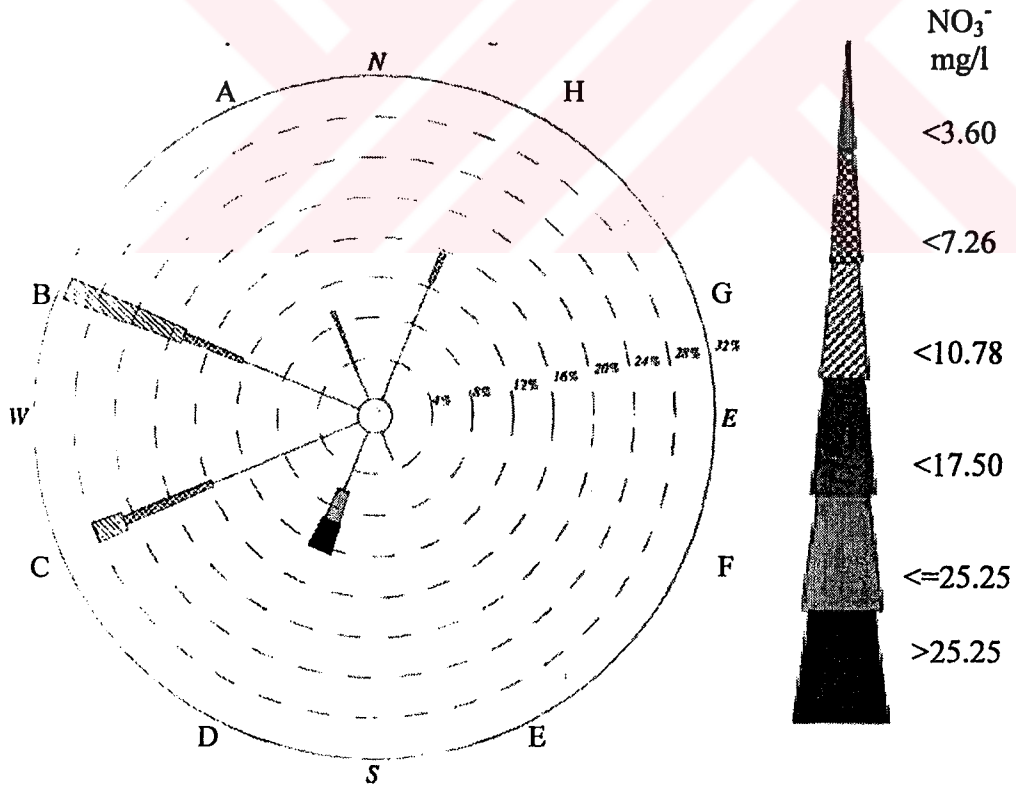


Şekil A.1: Ölçüm sonuçlarına göre pH değerlerinin yönlerle göre değişimi.

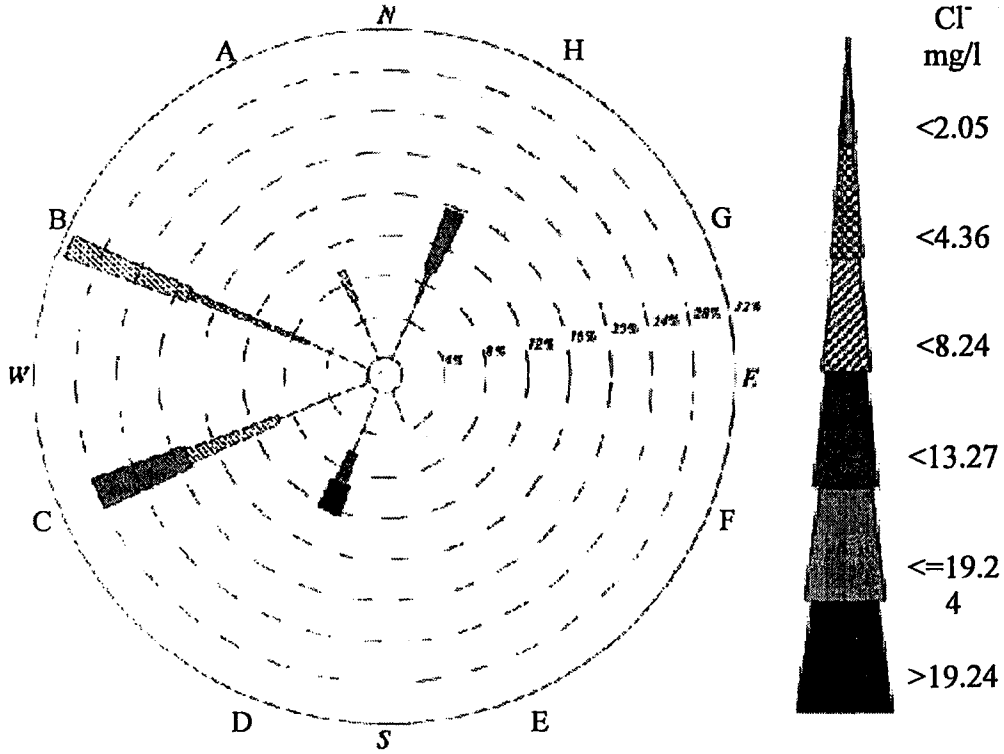




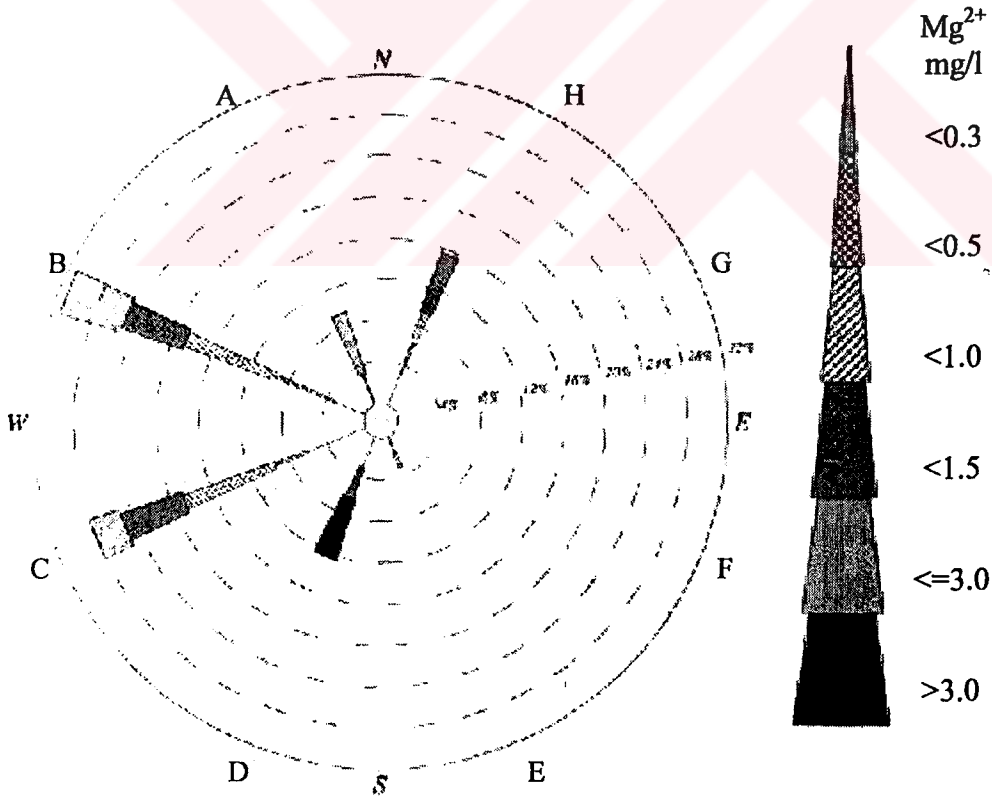
Şekil A.3: Ölçüm sonuçlarına göre SO₄²⁻ iyon konsantrasyonunun yönler göre dağılımı (mg/l).



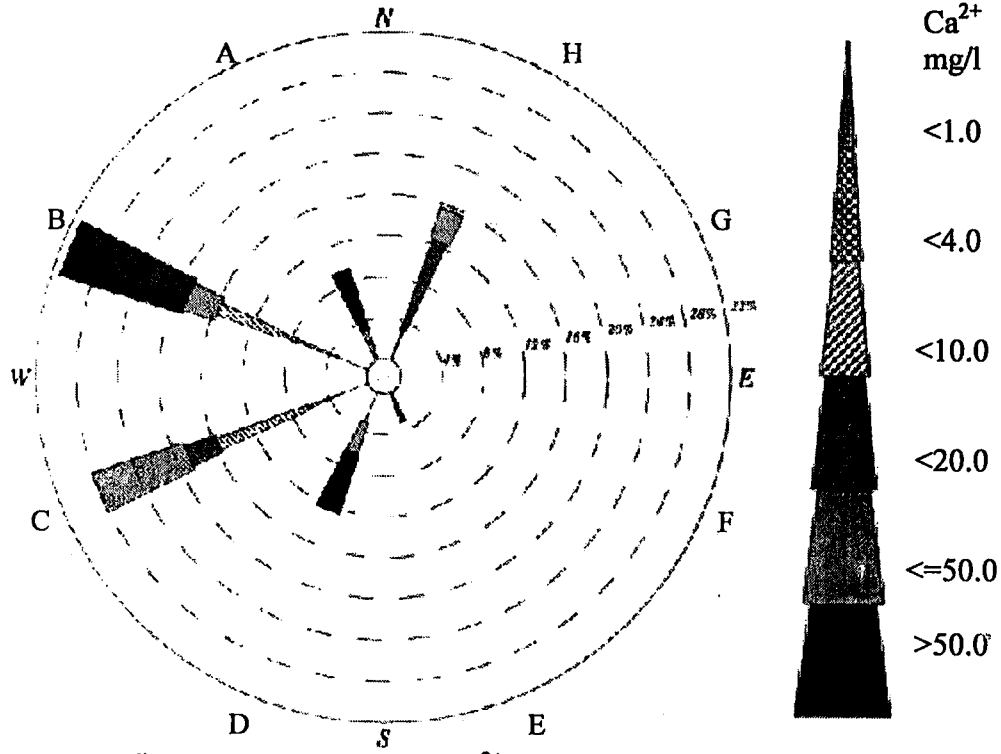
Şekil A.4: Ölçüm sonuçlarına göre NO₃⁻ iyon konsantrasyonunun yönler göre dağılımı (mg/l).



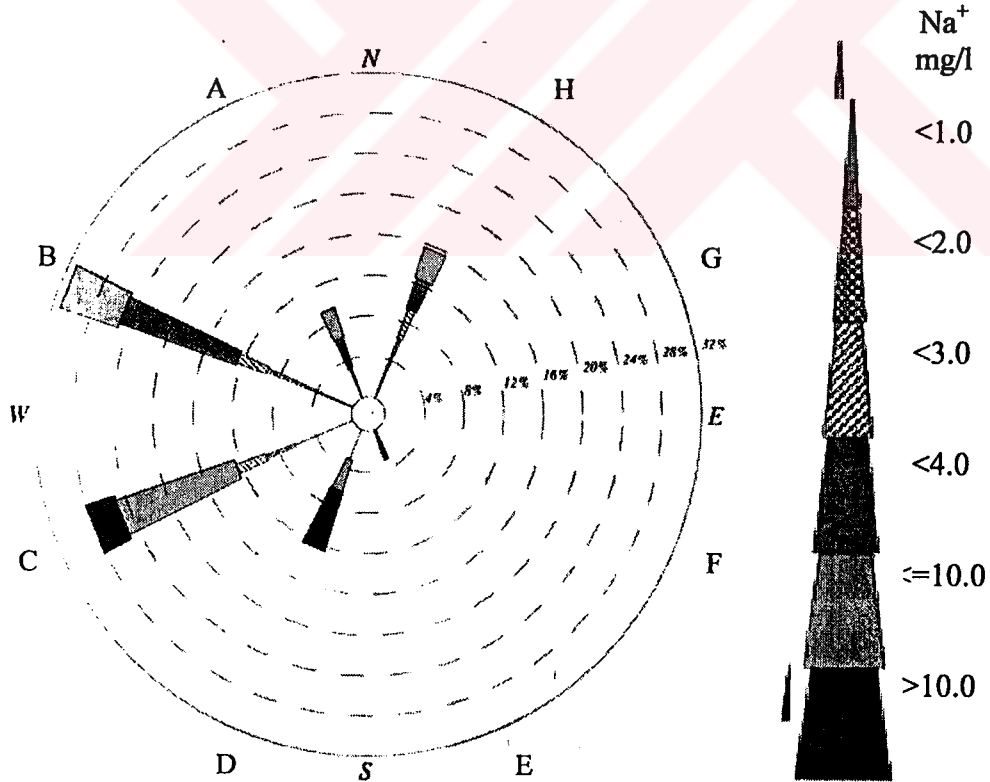
Şekil A.5: Ölçüm sonuçlarına göre Cl⁻ iyon konsantrasyonunun yönlerle göre dağılımı (mg/l).



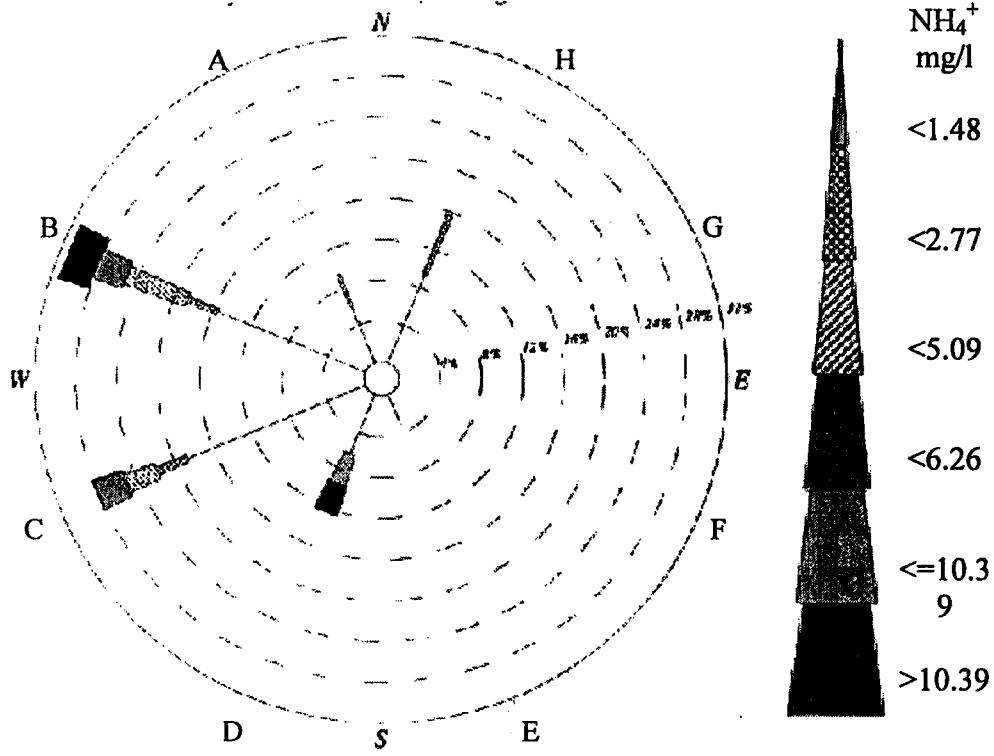
Şekil A.6: Ölçüm sonuçlarına göre Mg²⁺ iyon konsantrasyonunun yönlerle göre dağılımı (mg/l)



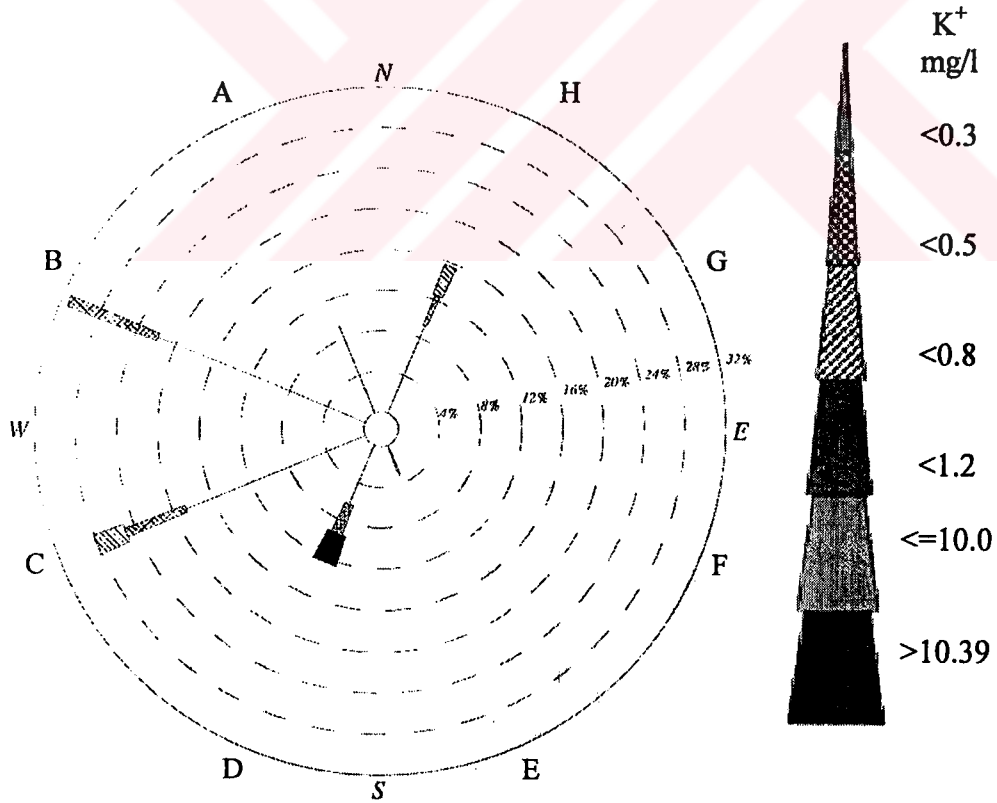
Şekil A.7: Ölçüm sonuçlarına göre Ca²⁺ iyon konsantrasyonunun yönler göre dağılımı (mg/l).



Şekil A.8: Ölçüm sonuçlarına göre Na⁺ iyon konsantrasyonunun yönler göre dağılımı (mg/l).



Şekil A.9: Ölçüm sonuçlarına göre NH_4^+ iyon konsantrasyonunun yönler göre dağılımı (mg/l).



Şekil A.10: Ölçüm sonuçlarına göre K^+ iyon konsantrasyonunun yönler göre dağılımı (mg/l).

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin TOROS 1965 yılında Mersin’de doğdu. 1984 yılında Mersin Dumlupınar Lisesini bitirdi. Aynı yıl İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümüne girdi. Adı geçen bölümü 1989 yılında bitirdi. 1990 yılında aynı Fakültenin Uzay Mühendisliği Bölümü Uzay sistem laboratuvarında uzman olarak göreve başladı. 1991 yılından itibaren aynı Fakültenin Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. 1993 yılında “Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Trend Analizi” konulu yüksek lisans tezini hazırlamıştır. İklim değişimi ve hava kirliliği konusunda yurtiçi ve yurtdışı yayınları bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.