

39770

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DA BAZI HAVA KİRLİLİĞİ PARAMETRELERİNİN
METEOROLOJİK PAREMETRELERLE İLİŞKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜH. FERHAT ŞAHİN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Ocak 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Şubat 1994

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Orhan ŞEN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai ŞEN

Doç. Dr. Selahattin İNCECİK

ŞUBAT 1994 T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Hava kirliliği konusunda, sorunun artmasına paralel olarak yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Beni bu konudaki çalışmaları yapmaya teşvik eden ve bu tezin hazırlanmasında bana her türlü kolaylığı ve yardımı sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Orhan ŞEN'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca zaman zaman bilgi birikimine başvurduğum sayın hocam Prf.Dr. Zekai ŞEN'e , tüm bölüm hocalarıma, tezin hazırlanmasında yardımlarını gördüğüm arkadaşım İlhan Sarı' ya , diğer arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

Ferhat ŞAHİN

Ocak 1994, İstanbul

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Literatür Araştırması	1
1.3. Araştırma Bölgesinin Özellikleri	2
BÖLÜM 2. TEMEL DÜŞÜNCELER VE KAVRAMLAR	5
2.1. Hava Kirliliği Kaynakları	6
2.2. Atmosferde SO_2 ve A.P.M Kirliliği	8
2.2.1. SO_2 Kirliliği	8
2.2.2. A.P.M. Kirliliği	11
BÖLÜM 3. VERİ ÖLÇÜMÜ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ	15
3.1. Veri Ölçümü	15
3.1.1. Meteorolojik Veriler	15
3.1.2. Hava Kirliliği Verileri	16
3.2. Veri Analizi	17
3.2.1. Spearman Rank Korelasyonu	17
3.2.2. Rüzgar Analizi	19
3.2.3. Karasızlık İndeksleri	21
BÖLÜM 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR	25

4.1. Değerlendirme	25
4.2. Meteorolojik - Kirlilik Parametrelerinin İlişkisi	28
4.3. Sonuçlar	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73



ÖZET

Sürekli artan endüstriyel faaliyetler, şehirleşme ve nüfus, hava ve çevre kirliliği gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Hergün nefes alıp verdiğimiz atmosferde, hava kirleticilerinin meteorolojik koşullarla olan ilişkisi bu çalışmanın özünü teşkil etmektedir.

Çalışmada; Kış peryodunda, İstanbul'da bazı bölgelerde ölçülen kükürtdioksit ve partiküler maddenin meteorolojik parametrelerden; sıcaklık, basınç ve basınç sistemleri, nem, rüzgar, yağış, enversiyon ve kararsızlık indeksleri ile olan ilişkileri araştırılmıştır. Bunu araştırırken, dağılımdan bağımsız Spearman Rank Korelasyonu, sınıflandırma ve grafiksel yöntemler kullanılmıştır. Rank korelasyonu kullanılmasının nedeni verilerin bir kısmının normal dağılıma uymuyor olmasındandır. Bulunan sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Kullanılan yöntemlere göre kirletici parametreler ile sıcaklık, basınç ve rüzgar arasında kuvvetli ilişkiler tespit edilmiştir. Diğer parametrelerle de bilhassa aylık dönemler de değişik şiddette ilişkiler tespit edilmiştir. Özellikle yükselti enversiyonun sıkça görüldüğü zamanlarda ilişkilerde meydana gelen bozulmalar ilginç bulunmuştur.

İstanbul'da son senelerde artan hava kirliliği ve bunun meteorolojik koşullarla ilişkisini bilimsel bir yaklaşımla ortaya koymayı amaçladığımız bu çalışma; ileride yapılabilecek kirlilik öngörüsü modellemelerine ışık tutabilirse amacına ulaşmış sayılacaktır.

SUMMARY

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE METEOROLOGICAL PARAMETERS AND SOME POLLUTION PARAMETERS AT ISTANBUL DURING THE WINTER SEASON

The main purpose of this thesis is to search for the relationship between the meteorological and air pollution parameters in Istanbul in a winter period. In this study as the air pollution parameters Sulfur Dioxide (SO_2) and Suspended Particulate Matter have been taken from the Health Directorate of Istanbul at locations Fatih, Şişli, Üsküdar, Bakırköy and Kadıköy. On the other hand meteorological variables are temperature, pressure and its systems, relative humidity, wind speed and direction, precipitation, inversion and instability indices (Showalter [SSI], Cumulative Sums [TTI] and K [KI]) are considered. Meteorological variables are obtained from three stations in İstanbul which are Florya, Göztepe and Atatürk International Airport.

In the first section, the purpose of the study and the topographic, geographic and industrial features of İstanbul in addition to the climatical properties are explained.

In the second section; pollutions, the fundamental structure of the atmosphere, diffusion and the turbulence have been accounted in a general manner. In addition to the areal, line air pollution sources are explained on the basis of sulfure dioxide and particular suspended matter.

In the third section, the measurement locations of the meteorological and air pollution data, measurement methods and time of record are exposed. In the data treatment part of the thesis the Spearman Rank Test, wind analysis methods and instability indices calculation methods are explained with various properties.

The reason of employing rank correlation is due to the reason that some part of the data do not confirm with the normal distribution. In order to obtain homogeneity in the method applied Spearman Rank Correlation is adopted.

The fundamental of this method is the substitution of data values with their ranks and to look at the possible correlation between these ranks. It is possible to use the following relationship:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

where;

D : is the difference between the values.

$$D = X_i - Y_i \quad (2)$$

n : the number of data.

The value of rank correlation varies between (-1) and (+1) similar to the conventional correlation coefficient. According to the (-1) and (+1) values the relationship is perfect but inversely proportional and directly proportional respectively.

From the standard normal distribution the probability of occurrence is given as

$$u(r_s) = \frac{r_s}{\sqrt{n - 1}} \quad (3)$$

and;

$$a = P[(u) > u(r_s)] \quad (4)$$

In this manner for $\alpha < 0.05$ values at %95 significant level H_1 hypothesis is accepted.

On the other hand, during wind analysis Lambert formulation has been used and the following equation is used for its persistence:

$$P = \frac{R}{V} \quad (5)$$

where;

P: Percistance
R: Resultant Wind Speed
V: Mean Wind Velocity

In the third section the manner in which Showalter, Cumulative Sum and K- indices calculation procedures are explained.

In the fourth section the regional distribution of air pollutants are shown in İstanbul and the relationships between the instability indices as well as temperature, pressure, wind, humidity and inversion are explained in detail with necessary interpretations.

The results are drawn from the graphical presentation, calculation of monthly and four-monthly correlation coefficients and the groupings. According to these the conclusions obtained can be given as follows:

1. Sulfur dioxide (SO_2) and Suspended Particulate Matter (SPM) are inversely related to temperature i.e. air pollution concentrations increase with decrease in the temperature and vice versa. However in January this relationship is destroyed but become directly related. The reason for this is thought to be high inversion.
2. SO_2 and SPM and pressure has relationship in such a way that as the pressure decreases the air pollutants decrease. In January the relationship again becomes destroyed. According to the grouping on the basis of dominant pressure as the high pressure exists high air pollution concentrations are determined. Similar statement is valid also applicable with lower pressure
3. SO_2 and SPM and relative humidity shows a weak inverse relationship. However, according to the four-month correlation there appears no relation. In the monthly correlations, the coefficients are calculated as $r_{SO_2} = -0.42$ and $r_{SPM} = -0.34$. On the contrary for Fatih, Şişli and Kadıköy there are destroyments depending on the high inversion in the January.
4. SO_2 and SPM and wind have inversly strong relationships. As the wind intensity increases the air pollutant concentrations decrease. Sometimes increase in the wind intensity causes air pollutant concentration increase and the reason for this is thought to be the pollutant transportation. On the other hand according to the dominant wind direction the pollutants in various districts are grouped.
5. It is observed that SO_2 and SPM and precipitation causes decreament in the air pollution concentration. Since they are very close each other this result especialy appears between Bakırköy and Florya.
6. According to the grouping between SO_2 and SPM and inversion it is observed that as high inversion exists the air pollutant concentration increases. In the case of day and night inversion, nightly inversion yields more air pollutant concentration. According to the surface inversion thickness consideration in grouping, more air pollution concentraions are calculated between 0–110 m than 0–360 m . One of the most important conclusions concerning the inversion is that high inversion causes to the corruption of relationships between air pollution concentrations and temperature, pressure, humidity and instability index.
7. SO_2 and SPM and instability indices have relationships which is directly related to Showalter Index but Cummulative Sums and K- Indices result is reverse relationship. Except the curroptions the January these are

rather normal due to the increment of Showalter stability Cumulative Sums and K-indices expresses instabilities. Additionally, higher pollution concentrations are calculated in the case of stable days than instable days.

It is hoped that the conclusions reached in this study with their meaningful interpretations taking into consideration the meteorological parameters will shed further light for the clarification of air pollutant concentrations in similar environments. Last but not the least the work in this thesis provides preliminary conclusions which should be elaborated in further studied.



BÖLÜM I. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

20. yüzyılın başından itibaren sürekli artan sanayileşme ve nüfus, beraberinde çevre sorunlarını da gündeme getirmiştir. Bunlar içerisinde çevrenin ve havanın kirletilmesi özellikle son yıllarda büyük şehirlerde ciddi problemler ortaya çıkarmıştır. Konu ile ilgilenen bilim adamları artan hava kirliliği ve alınması gerekli önlemler konusunda araştırmalarını hızlandırmışlardır.

Diğer yandan meteorolojik olayların, kirleticilerin atmosferdeki davranışları üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu düşünceden yola çıkılarak, çalışmada: meteorolojik olaylarla kirlilik konsantrasyonları arasındaki ilişki araştırılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada diğer bir amaç da, kirleticilerle meteorolojik parametreler arasında mevcut durumu ortaya koymak ve bir kirlilik öngörüsü yapabilmeye temel oluşturmaktır.

Araştırmada, verilerin normal dağılıma uymamaları nedeniyle rank (sıra) korelasyonu uygulanmıştır. Çalışmada meteorolojik parametrelerle kirlilik parametreleri arasında ilişki araştırılmıştır. Bu meteorolojik parametreler; sıcaklık, basınç ve basınç sistemleri, nem, rüzgar ve yağışdır. Ayrıca bu meteorolojik parametrelerin beraberce oluşturdukları enversiyon, kararlılık, gibi meteorolojik durumlar da tespit edilerek karşılaştırmaya ilave edilmiştir.

Çalışmada kullanılan hava kirliliği verileri, İstanbul Sağlık Müdürlüğü Hıfzısıhha Enstitüsünden alınmıştır. Meteorolojik veriler ise, D.M.İ Genel müdürlüğünden temin edilmiştir.

1.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hava kirliliği problemleri, nedenleri ve çözüm yolları araştırmacıların giderek artan bir şekilde ilgisini çekmiştir. Meteorolojiyle hava kirliliği ilişkisi konusunda direkt ya da dolaylı olarak pek çok araştırmacı çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle değişik kirleticilerin rüzgar ve enversiyonla olan ilişkileri ortaya konmuştur.

Peter A.Scheff, Amerika Birleşik Devletlerinin Chicago şehrinde kovaryans analiz yöntemini kullanarak hava kirleticilerinin nicel tayinini yapmışlardır [1]. Kazutoshi Sasaki; Kükürt, azot ve diğer kirleticilerin uzun mesafe taşınımlarıyla ilgili bir araştırmada meteorolojik parametre olarak rüzgarı kullanmıştır [2]. R.E. Munn, Kanada'nın Toranto şehrinde iki farklı noktadaki partikül kirliliğini istatistiksel yöntem kullanarak incelemiştir [3]. Hidemi K. atmosferik basıncı ve yer rüzgarlarını analiz ederek sinoptik ölçekte uzun mesafe kirlilik taşınımı için gerekli meteorolojik koşulları araştırmıştır [4]. Aidan S. poligonal bir kaynaktan kirletici konsantrasyonlarını Gaussian modelle incelemiştir [5]. Bir başka çalışma da T. Schuman ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada bir dağ yamacında kış sezonunda aerosol ve hidrometeor konsantrasyonları ve onların kimyasal kompozisyonları ile aerosollerin mikrofiziksel ve meteorolojik koşullarda gelişimi incelenmiştir [6]. S. W. Bacon ise yaptığı bir araştırmada, hava kirliliği modellerine yardımcı olmak için İngiltere'nin Kuzey-batı kesiminde bir rüzgar modeli geliştirmiştir [7]. William D. O'Neil Şikago'da ölçülen partikülleri zaman serisi kullanarak modellemişlerdir [8]. Toprağa bırakılan zehirli atıkların hava kirliliğine katkıları Thomas T. Shen ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [9].

Öte yandan Türkiye'de yapılan Hava Kirliliği ile ilgili ilk çalışmalar Tebbnes tarafından 1971 yılında, İstanbul'da yapılan kükürtdioksit ve partikül ölçmeleri ile başlamıştır denebilir [10]. Daha sonra Ankara'da hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşması nedeni ile TÜBİTAK ve NATO destekli bir projeyle kirlilik incelenmiştir [11]. Sebuktekin, İnel (1975) İstanbul'da hava ile taşınan kurşun kirliliğini [12], S. Akçetin, İstanbul havasındaki eser elementlerin dağılımını araştırmıştır [13]. Yine benzer bir çalışma O. Şen tarafından İzmir İli için yapılmıştır [14]. S. İncecik yaptığı bir çalışmada Haliç Bölgesinde Hava Kirliliği ile ilgili meteorolojik parametreleri incelemiştir [15]. A. Ayalp de İstanbul'da Atmosfer Kirlenmesi Konulu bir doktora araştırması yapmıştır [16]. Yine İstanbul'da İ. İşli (1990) tarafından Meteorolojik datalar kullanılarak hava kirleticileri istatistiksel analize tabi tutulmuştur [17]. Burda yapılan çalışmaya benzer bir çalışma ise S. Kırımhan tarafından Erzurum ili için yapılmıştır [18].

1.3. ARAŞTIRMA BÖLGESİNİN ÖZELLİKLERİ

1990 nüfus sayımına göre İstanbul ilinde 7.309.190 kişi yaşamaktadır [19]. Bu rakam kayıtlı statik nüfusu göstermekte olup, turistik ve ticari bakımdan gelenlerle 8-9 milyonluk dinamik bir nüfusa sahip olduğunu söylemek mümkündür. İl genelinde nüfus yoğunluğu km^2 'ye 1280 kişidir. Şehir merkezinde bu yoğunluk daha da artmaktadır.

İstanbul bölgesinde Türkiye sanayi potansiyelinin yaklaşık konut mevcut olup bunun 320.000 adedi işyeridir [20]. Ayrıca 1993 sonu itibari ile İstanbul'da yaklaşık 1.000.000 adet motorlu araç mevcuttur.

1.3.1. BÖLGENİN TOPOĞRAFYASI VE COĞRAFİ DURUMU

İstanbul şehri 5712 km^2 yüzölçümüne sahiptir. Şehrin topoğrafyası birçok vadilerle birbirinden ayrılmış, yaylalar ve tepelerden meydana gelmiştir. Bu gün son derece büyük bir alana yayılmış olan İstanbul şehrinin surlar içinde kalan kısmı 25 km^2 'lik bir alanı kapsamaktadır. İstanbul'u topoğrafya bakımından dört grupta incelemek mümkündür :

1. Batı Bölgesi: Marmara denizinin kuzey kıyısında Kumburgaz'dan Bakırköy'e kadar uzanan 35 km uzunluğundaki bölgeyi içerisine alır. Arazi yükseltisi deniz seviyesinden 200 m 'ye kadar değişmektedir.

2. Merkezi Bölge: Bakırköy'den boğaza kadar uzanan ve Haliç'i merkez alan, Galata köprüsünden Ortaköy'e kadar uzanan bölgedir. Arazi yüksekliği deniz seviyesinden 120 m'ye kadar değişmektedir. Bu bölgede Çırpıcı, Alibey ve Kağıthane dere yatakları bulunmaktadır.

3. Boğaziçi Bölgesi: Bu bölge fazla yüksek olmayan tepeler ve boğaza dik istikamette uzanan vadilerden meydana gelmektedir. Yükselti 430 m'ye kadar değişmektedir. Anadolu kavağına kadar devam eden bu bölgede 16 tane küçük vadi vardır.

4. Üsküdar-Kadıköy Bölgesi: Bölge genel olarak fazla yüksek olmayan tepelerden ve platolardan oluşmuştur. Arazi yükseklikleri deniz seviyesinden 260 m'ye kadar değişmektedir. Bölge içinde Bostancı deresi, kurbağalıdere, İbrahimağa deresi ve Beylerbeyi dere yatakları bulunmaktadır [16].

1.3.2. İSTANBUL‘UN GENEL İKLİM ÖZELLİKLERİ

İstanbul iklimini belirgin bir iklim tipi içerisinde değerlendirmek olanaksız gibidir. Çünkü gezici hava hareketlerinin etkisi altında bulunan il iklimi, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş niteliği gösterirken bazı bölgeler karasal iklim özelliği göstermektedir.

Genel olarak İstanbul bölgesine ait iklim özellikleri Karadeniz ve Marmara Denizinin etkinliği altında Akdeniz’e geçiş iklim yapısını göstermektedir. Kış aylarında İzlanda alçak basıncı ile Sibirya yüksek basıncının etkisi soğuk ve yağışlı; yaz aylarında Azor yüksek basıncı ile Suudi Arabistan-Kuzey Hindistan ekseninde meydana gelen alçak basınç merkezinin etkisi sonucunda sıcak ve yağışsız bir iklim yaşanmaktadır. Ortalama sıcaklık Göztepe verilerine göre Ocak ayı için 5.4 °C, Temmuz ayı için 23.2 °C’tır. Yağış miktarı bakımından farklılıklar göstermektedir. Yıllık yağış ortalaması B.Çekmece’de 557 mm, Büyükaada’da 500 mm, Kumköy’de 716 mm, Şile’de 747 mm, Ömerli’de 818 mm, Bahçeköy’de 1074 mm’dir.

BÖLÜM 2. TEMEL DÜŞÜNCELER VE KAVRAMLAR

Kirleticiler: Kirleticiler, gaz, sıvı, ve katı parçacıklar halinde atmosfere yayılan maddeler olabildikleri gibi havanın doğal bileşenleri içinde bulunan gazlar da olabilir. Motorlu taşıtlardan çıkan eksoz gazları, bacalardan çıkan duman ve endüstriyel atıklar hava kirlenmesine yol açan başlıca maddelerdir.

Atmosfer: Atmosfer, yerküreyi (Litosfer ve Hidrosfer) saran gaz kabuk olarak tanımlanır. Fiziksel olarak renksiz ve kokusuz bir gaz küredir. Makro ölçekte atmosfer, özellikleri farklı olan tabakalardan oluşur. Bunlar yeryüzünden itibaren; Troposfer, Stratosfer, Mezosfer ve İyanosferdir. Bu tabakalar arasındaki geçiş bölgeleri de sırasıyla; Tropopoz, Stratopoz ve Mezopoz adlarını alır [21].

Meteorolojik olaylar genellikle troposfer ve stratosfer tabakalarında meydana gelir. Troposfer hava kirliliği bakımından önemlidir. Troposfer, mikro ölçekte kendi içinde tabakalara ayrılır. Enlemlere ve mevsimlere göre yüksekliği değişen troposferin üst sınırı tropopoz ile tanımlanır. Tropopozun yüksekliği tropik bölgelerde 17 km, kutuplarda 8-10 km civarındadır [22].

Kalınlığı yeryüzünden itibaren 500-1000 m olan atmosfer tabakasına "Atmosferik Sınır Tabakası" bu tabakanın yer yüzünden itibaren 50-100 m'lik kısmına da "Atmosferik Yüzey Tabaka" adı verilmektedir [23]. Atmosferik yüzey tabakada oluşan fiziksel ve kimyasal olayların hava kirliliğine dolayısıyla da insan sağlığına etkisi önemlidir.

Difüzyon: Herhangi bir bölgedeki hava kirliliği konsantrasyonu, sadece kirliliği meydana getiren kaynaklardan çıkan kirlilik miktarına değil, aynı zamanda o andaki meteorolojik şartlara da bağlıdır. Hava kirliliği konsantrasyonuna etki eden önemli meteorolojik faktörlerin başında hava hareketleri ve bu hareketler sonucu meydana gelen difüzyon olayıdır. Meteorolojide difüzyon, bir hava hacminin atmosfer içinde yer değiştirmesidir. Difüzyon, hava sıcaklığına, hava akımlarının hızına ve havada mevcut subuharına bağlı olarak atmosferde üniform bir yayılma meydana getiren olaydır.

Türbülans: Mekanik ve termal olmak üzere ikiye ayrılır. Mekanik türbülans, hava akımının zaman zaman dağal ya da yapay engebelere çarpması sonucu hava akımının hızında ve yönünde meydana gelen ani değişimler sonucu ortaya çıkar.

Termal türbülans ise, yeryüzeyinin güneş ışınları ile ısınması sonucu alt tabakalarda üst tabakalara nazaran daha sıcak bir tabaka oluşur. Bu durum atmosferde kararsız bir durum meydana getirerek türbülansın doğmasına neden olur [16].

2.1. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI

Kirlilik kaynakları genel olarak üç grupta toplanmaktadır.

- a) Alansal Kaynaklar,
- b) Çizgisel kaynaklar,
- c) Noktasal kaynaklar.

a) Alansal Kaynaklar: Bu grupta en önemli kaynak konut ısıtmasıdır. İstanbul'da konut ve işyerlerinde kullanılan ısınma amaçlı yakıt türleri içinde kömür %60 ile önde gelmektedir. Yıllık kömür sarfiyatının yaklaşık %90'ını Kemerburgaz-Çatalca arasında uzanan ve Karadeniz sahiline ulaşan sahadan çıkartılan kömürler oluşturmaktadır. Bu kömürlerin çoğu %20-50 arasında değişen kül, %30 civarında nem ve %1-3 arasında toplam kükürt ihtiva etmekte olup, ısı değeri 2000 ile 4000 kcal/kg arasında değişmektedir [24]. Böyle ısı değeri düşük ve uçucu kül miktarı fazla olan yakıtların tüketilmesi kirlilik konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Isıtmada kullanılan diğer yakıt cinsleri de fuel-oil, motorin, kerosin, gaz ve odundur.

İstanbul'da bir yılda alansal kaynaklarda ısınma amaçlı tüketilen kömür (linyit) miktarı 1989 yılı itibarı ile (endüstri hariç) 460.000 ton, fuel-oil miktarı ise (endüstri hariç) 360.000 ton olarak tespit edilmiştir [25].

b) Çizgisel Kaynaklar: Bu gruptaki kirlilik kaynağı yolcu ve yük taşıyan araçlardır. Bunlar içten yanmalı motorlar ile çalışmaktadırlar. Bu tip motorların genelde üç tipi vardır. Benzinli motorlar, mazotlu motorlar ve gaz türbülolu motorlardır. Bu kaynaklardan yanma sonucu karbon monoksit (CO), azot oksitleri (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküler madde (A.P.M) kirlletici olarak atmosfere yayılmaktadır.

İstanbul'da motorlu taşıtlarda kullanılan benzin ve motorin miktarı 1989 yılı itibarı ile şehir merkezinde yaklaşık 835.000 ton, il sınırları içerisinde ise 940.000 ton

olarak belirlenmiştir [25].

c) Noktasal Kaynaklar: Bu gruptaki kaynaklar fabrikalar, sanayi ve enerji santralleridir. Bu işletmelerde üretim yapmak için gerekli olan enerjiyi sağlamada kullanılan yakıttan atmosfere kirletici çıkmaktadır. Ayrıca noktasal olarak katı atıkların fırınlarda ve açık arazide yanması ya da yayılması sonucu atmosfer kirlenmesi oluşmaktadır. Yine benzin, boya maddeleri ve kuru temizleme çözeltileri gibi organik maddelerin buharlaşmasından noktasal olarak kirlilik oluşmaktadır.

Tablo.2.1.'de A.B.D Sağlık Örgütünün Belirlediği Hava Kalitesi Standartları görülmektedir.

TABLO.2.1. Hava Kalitesi Standartları^a[26].

Kirletici	Standart Tipi	Ort. Zaman	Frekans Parametresi	Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO ₂	1.derece	24 saat	Yıllık max.*	365
	1.derece	1 yıl	Aritm. ort.	80
	2.derece	3 saat	Yıllık max.*	1300
A.P.M	1.derece	24 saat	Yıllık max.*	260
	1.derece	24 saat	Geomtr.ort.	75
	2.derece	24 saat	Yıllık max.*	150

*: Yılda bir defadan fazla olmamalı

a: A.B.D.

2.2. ATMOSFERDE SO_2 VE A.P.M KİRLİLİĞİ

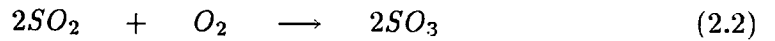
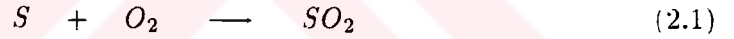
2.2.1. KÜKÜRTDİOKSİT (SO_2) KİRLİLİĞİ

A) Basit Kimyasal Reaksiyonlar:

Atmosferdeki kükürt bileşikler H_2S gibi indirgenmiş formda veya SO_2 , SO_3 gibi oksitlenmiş formda bulunur.

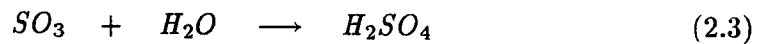
SO_2 havada yanmayan ve keskin bir koku karakteristiğine sahiptir. SO_3 ise, son derece reaktif bir bileşiktir. Kükürt içeren herhangi bir meteryalin yanmasıyla her iki kükürt oksit bileşiği de oluşmaktadır. Herbirinin oluşumu yüksek miktarda oksijenin varlığına bağlı değildir. Yanma olayına paralel olarak yüksek miktarda SO_2 teşekkül edebilir. Ancak SO_3 miktarı ise daha çok reaksiyon koşullarına bağlıdır. Özellikle de sıcaklığa ve SO_x 'e bağlıdır.

SO_2 ve SO_3 'ün oluşumu için basit formüller:



Düşük SO_3 miktarı genellikle (2.2) denkleminle ilgili sıcaklık ve hız faktörlerine bağlı olarak yanma sırasında oluşur. Hız faktörüne bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda SO_3 oluşumu artmaktadır. Düşük sıcaklıklarda reaksiyon çok yavaş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla denge koşulları oluşmamaktadır.

SO_3 'ün havada bir gaz olarak varlığı subuharı miktarının düşük olması koşullarında mümkündür. Yeterince subuharı olduğu zaman (normal koşullarda) SO_3 ve su derhal birleşirler ve sülfirikasidi meydana getirirler.



Diğer taraftan SO_2 bulutların veya sisin içinde çözünür ve H_2SO_3 teşekkül eder. Bu asit de çözünmüş oksijen ile kolayca H_2SO_4 'e yükseltgenir.

SO_3 'e dönüşen SO_2 miktarı havadaki nemin miktarına, yoğunluğuna, güneş ışınlarına ve alkalın materyallerin varlığına bağlıdır. Geceleyin, nem veya sis koşullarında ya da yağmur yağarken SO_2 alkalın su damlacıkları tarafından absorblanmaktadır [27].

B) Kükürtdioksit (SO_2) Kirliliğinin Kaynakları

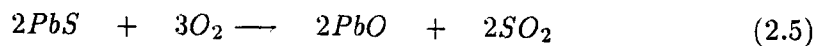
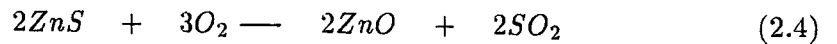
Atmosfere katılan kükürtün yaklaşık 1/3'ü (dünya genelinde) insan aktiviteleri sonucu oluşmaktadır. Bunun çoğunluğu da SO_2 şeklinde bulunmaktadır. Diğer 2/3'lük miktar ise, volkan gibi doğal kaynaklardan gelmektedir.

Kükürt kirliliğinin 2/3 'ünü teşkil eden doğal kaynaklar, eşit bir şekilde dağılmış iken, insan aktivitesi sonucu oluşan 1/3 'lük kısım daha çok şehir alanları üzerinde yersel olarak konsantre olmuşlardır.

Ulaştırma, insan aktivitesi sonucu oluşan kükürt kirliliğinin esas kaynağı değildir. Esas kaynak, durağan kaynaklardaki yakıt tüketimidir. Bu yakıtların büyük kısmını kömür ve fuel oil tüketimi teşkil etmektedir.

Yıllık SO_x kirliliğinin yarıdan fazlası güç kaynaklarından gelmektedir. Endüstriyel işlemler, SO_x emisyonlarında ikinci sırada yer almaktadır.

Bazı kullanışlı elementlerin sülfat filizleri şeklinde olması nedeniyle SO_x 'ler eritme işlemleri sırasında açığa çıkmaktadır. Örneğin sülfid filizleri, bakır ($CuFeS_2$ ve Cu_2S), çinko (ZnS), civa (HgS) ve kurşun (PbS)'nin önemli kaynaklarını teşkil etmektedir. Sülfat filizleri havada konsantre olmakta ve sonra hızla okside (indirgenmekte) olmaktadır. Öte yandan kükürt çoğu metalde istenmeyen bir maddedir. Bir filiz işlendiği zaman oluşan tipik reaksiyonlar aşağıdaki gibidir [27].



C) SO_x Dağılımı ve Konsantrasyonu

Tablo (2.2)'de A.B.D 'nin sekiz şehrinde ölçülen dört farklı SO_2 konsantrasyonu görülmektedir. Bunlar gösterilen zaman periyotlarındaki maksimum konsantrasyonların ortalamasıdır. Bu değerler atmosferin neden olduğu etkilerle birlikte tartışıldığı zaman anlamlı olacaktır.

Daha önceki paragraflarda belirtildiği gibi SO_2 atmosferdeki subuharı ile birleşme eğilimindedir. Böylece H_2SO_4 oluşmaktadır. Bu nedenle SO_2 ile H_2SO_4 seviyelerinin birlikte ölçülmesi, yüksek miktardaki H_2SO_4 'ün tahriş edici etkisinin ve SO_2 'nin atmosferdeki durumunun daha iyi anlaşılması bakımından önemlidir.

TABLO.2.2. SO_2 Konsantrasyonunun ppm Cinsinden Atmosferde Zamanla Değişimi [27].

ŞEHİR	5 dak.	8 saat	1 gün	1 ay
Chicago	1.94	1.02	0.79	0.35
Cincinnati	1.15	0.38	0.18	0.06
Denver	0.96	0.14	0.06	0.03
Los Angeles	0.68	0.13	0.10	0.03
Philadelphia	1.25	0.71	0.46	0.15
St. Louis	1.42	0.36	0.26	0.08
San Francisco	0.33	0.10	0.08	0.03
Washington, D.C.	0.87	0.35	0.25	0.11

Yapılan ölçümler sonucu H_2SO_4 'ün SO_2 'ye oranının aşağıdaki faktörlere bağlı olduğu anlaşılmıştır.

- 1) - Havadaki nem miktarına,
- 2) - Kükürt kirleticilerinin havadaki kalış sürelerine,
- 3) - Havadaki katalitik partiküler madde miktarına,
- 4) - Güneş ışınımına.
- 5) - Yağış miktarına.

D) SO_2 'nin İnsanlar Üzerindeki Etkileri

Kükürt dioksit (SO_2), suda çözünen bir gaz olup kolayca kan dolaşımına girdiği bilinmektedir. Havada en çok rastlanan bu gaz üst solunum yollarında tahrişe, solunum yolları enfeksiyon sıklığının artmasına ve bunların iyileşmesinde güçlüğe neden olur. Bronş astması, bronşit gibi solunum yolu hastalıklarında özellikle çocuklarda ve yaşlılarda etkisi daha açıktır. H_2SO_4 , SO_2 ve SO_4 üst solunum yolları mukozasındaki "cilia" adını verilen temizleme kıllarını felce uğratmakta, müküs salgı bezlerinde büyüme, balgam miktarında artma, epitel dokularda yıkılma ve solunum yolları hastalıklarına neden olmaktadır. [28]

2.2.2. PARTİKÜLER MADDE (A.P.M.) KİRLİLİĞİ

Havada bulunan kirleticiler sadece gaz halinde bulunan kirleticiler değildir. Büyük miktarda katı ve sıvı damlacıklar da vardır. Hava kirliliğini oluşturan bazı kimyasal maddeler atmosfere partiküller ile beraber girebilirler. Tablo(2.3)'de kömür yanması sonucu atmosfere çıkan partiküler maddenin kompozisyonu verilmiştir. Tabloda verilen değerler extrem değerlerdir.

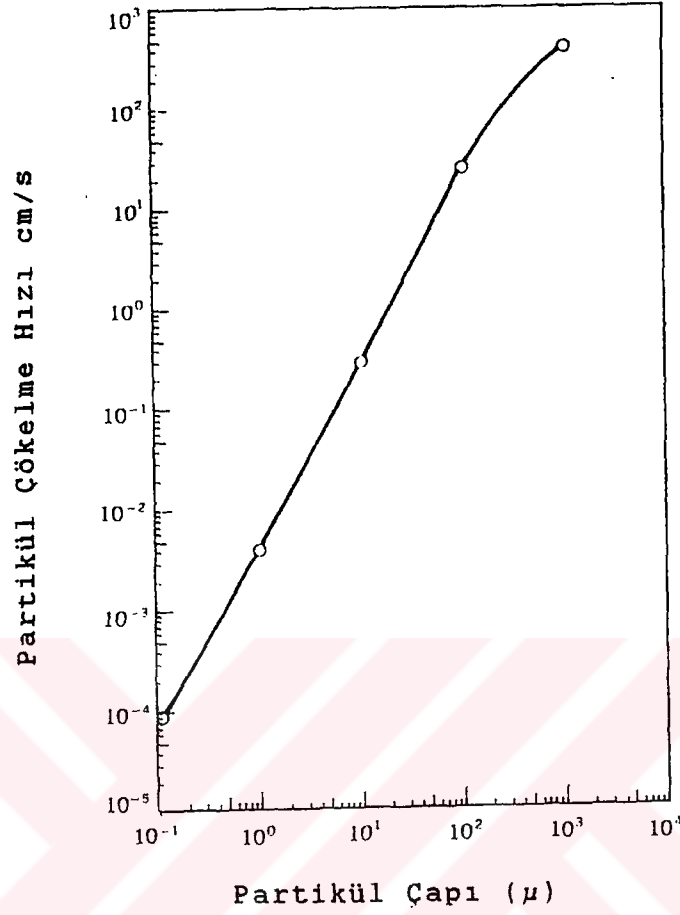
Havadaki maddelerin rastgele değişmelerinden dolayı kimyasal özelliklerin tartışması genellikle partikül halindeki kirleticiler için yapılmaz. Partikül halindeki kirleticilerin en önemli, fiziksel özelliği boyutu (büyüklüğü) dür. Partiküllerin çapları 0.0002μ ile 500μ arasında değişmektedir. Partikül çalışmalarında genellikle (μ), birim olarak kullanılmaktadır ve $1 \mu = 10^{-6}$ m dir.

TABLO.2.3 Partiküler Maddenin Kimyasal Kompozisyonu [27].

BİLEŞİK	YÜZDE
KARBON	0.37 - 36.20
DEMİR (Fe_2O_3 veya FeO_4)	2.00 - 26.80
MAGNEZYUM (MgO)	0.06 - 4.77
CALSIYUM (CaO)	0.12 - 14.73
ALİMINYUM (Al_2O_3)	9.81 - 58.40
KÜKÜRT (SO_2)	0.12 - 24.33
TİTANYUM (TiO_2)	0 - 2.80
KARBONAT (CO_3)	0 - 2.60
SİLİCON (SiO_2)	17.30 - 63.60
FOSFOR (P_2O_5)	0.07 - 47.20
POTASYUM (K_2O)	2.80 - 3.00
SODYUM (Na_2O)	0.20 - 0.90
BELİRSİZ	0.08 - 18.90

Partiküllerin havada asılı kalmaları birkaç saniye ile birkaç ay arasında değişmektedir. Bu süre, "çökme hızına" bağlıdır. Çökme hızı da partiküllerin büyüklüğüne, yoğunluğuna ve havadaki türbülansa bağlıdır. Şekil(2.1) de aynı yoğunluktaki partiküllerin büyüklükleri ve çökme hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu hızlar durgun hava için geçerlidir.

Bu şekilden 0.1μ çaplı partiküllerin 8×10^{-5} cm/sn ve 1000μ çaplı partiküllerin 390 cm/sn hızla çökeldiğini göstermektedir. Yoğunluğa bağlı olarak 2 - 40 μ dan daha büyük partiküller havada asılı kalmayıp çökme eğilimindedirler. Fakat bir kısmı hava hareketleri sonucu havada asılı kalmaktadırlar.



ŞEKİL.2.1. 0° C ve 760 mm Basınç Altında Partikül Çapının Fonksiyonu Olarak 1 g/cm³ Yoğunluktaki Partiküllerin Çökme Hızları.

B) Partiküllerin Kaynakları

Atmosfere karışan partiküler maddeler, volkan patlamaları ve rüzgarın topraktan kaldırdığı toz ve toprak parçacıkları gibi doğal kaynaklardan olabildiği gibi, asbestos, toz (inşaat alanları), uçucu küller (madencilik işlemleri) ve duman (tam olmayan yanma sonucu) gibi insan aktiviteleri sonucu da oluşabilmektedir.

Tüm partikül kirliliğinin yaklaşık 1/3 ü durağan kaynaklardaki yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. İkinci sırayı yine 1/3 e yakın bir oranda endüstriyel işlemler almaktadır. Durağan kaynakların %90'dan fazlasını kömür yanması teşkil etmektedir.

Partiküllerin boyutları ve kaynakları arasında bir ilişki vardır. 10 μ dan daha büyük çaplı partiküller genellikle rüzgar erozyonu ve malzemelerin öğütülmesi

ezilmesi, püskürtülmesi gibi mekanik süreçler sonucu oluşurlar. 1 - 10 μ çaplı partiküller ise daha çok lokal kirleticiler olup; tozlar, yanma olayları ve deniz tuzları şeklinde görülen kirleticilerdir. 0.1 - 1 μ çaplı partiküller tamamen fotokimyasal aerosoller ve yanma olayları sonucu oluşurlar [27].

C) Partiküler Maddenin Birimi

Partiküler madde konsantrasyonu birim hacimdeki toplam "Asılı Partiküler Madde" miktarı (A.P.M) olarak tespit edilir. Genellikle ($\mu \text{ g}/\text{m}^3$) ya da (ppm) olarak ifade edilir.

D) Partiküllerin İnsan Sağlığına Etkileri

Partiküllerin insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili istatistiki çalışmalar, partikül seviyesinin dört katı artmasıyla normal ölüm oranının iki katına çıktığı göstermiştir. Aynı partikül seviyesi artışının astım ve bronşitten ölenlerin sayısını yaklaşık üç katına çıkardığı görülmüştür [28].

Partikül kirliliği insan vücuduna solunum sistemi vasıtasıyla girmektedir ve en önemli etkilerini burada yapmaktadır. Partikül boyutu da partiküllerin solunum sistemine girişinde önemli bir faktör oluşturmaktadır. Solunum sistemi sıvı ve katı partiküllerin ciğerlere girmesine engel olacak koruyuculara sahiptir. Burun kılları büyük partikülleri bir nevi filtre etmektedir. Küçük partiküller ise "mukoza zarları" tarafından tutulmaktadır. Yine bu solunum sistemi içerisinde bulunan ince kılcallar (cilia) partikülleri tuzaklayarak solunum sisteminin dışında tutmaktadır [26].

5 μ 'dan büyük çaplı partiküller genel olarak burun ve boğazda tutulmaktadır. Bir kısmı ise hava boruları ve bronşlar yolu ile ciğerlere geçmektedir. 0.5-5 μ çaplı partiküller bronşlar kadar ciğerlerde de birikmektedir. Bronşlardaki çoğu partikül "cilia" tarafından yaklaşık iki saat içerisinde uzaklaştırılmaktadır. 0.5 μ 'dan küçük partiküller "alveol" denen hava keseciklerinde çökelmekte ve tıkalı akciğer hastalıklarına, taşıdığı kanserojen ve toksik elementlerin etkisi sonucu akciğer ve lenf kanserlerine neden olmaktadır. [28]

BÖLÜM.3. VERİ ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ YÖNTEMLERİ

3.1. VERİLERİN ÖLÇÜMÜ

3.1.1 METEOROLOJİK VERİLER

Meteorolojik veriler Florya , Göztepe ve Atatürk Hava Limanı Meteoroloji İstasyonlarından temin edilmiştir (Şekil.3.1).

Bu verilerden sıcaklık, 24 saatlik ortalama termograf değerlerini; nem, 24 saatlik ortalama hidrograf değerlerini; basınc, 24 saatlik ortalama baragraf değerlerini. basınç sistemleri (12:00 ve 00:00) GMT yer kartı değerlerini; yağış verileri günlük toplam yağış miktarlarını; rüzgar verileri saatlik rüzgar şiddeti ve yönüne göre hesaplanmış günlük hakim rüzgar yönlerini ve 24 saatlik ortalama anemograf değerlerini kapsamaktadır. Ayrıca kararsızlık indeksi değerleri Göztepe Meteoroloji İstasyonu (12:00 ve 00:00) GMT radyosonde verileri analiz edilerek hesaplanmıştır.

Kullanılan veriler, İstanbul'da kış aylarını temsilen Kasım, Aralık 1990 ve Ocak, Şubat 1991 peryodundaki değerleri içermektedir.

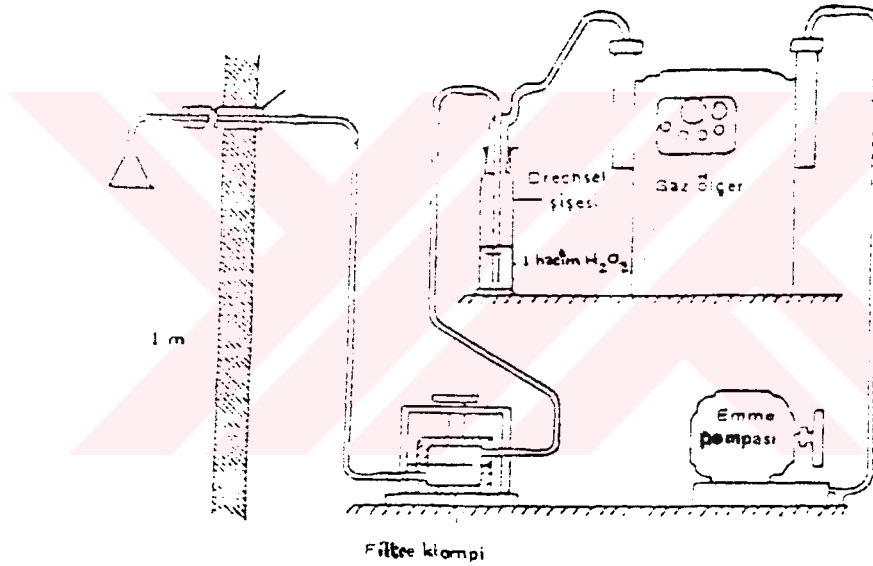


ŞEKİL.3.1 Ölçüm Yerlerinin Şematik Görünümü

3.1.2 HAVA KİRLİLİĞİ VERİLERİ

Hava kirliliği verileri Fatih, Şişli, Üsküdar, Bakırköy ve Kadıköy'den her 24 saatte bir toplanmıştır (Şekil.3.1).

Kirlilik ölçümlerinin yapıldığı istasyonlarda SO_2 ve A.P.M miktarının ölçülmesinde "İngiliz Voluometrik Yarı Otomatik Ölçüm Cihazı" kullanılmıştır (Şekil.3.2).



ŞEKİL.3.2 SO_2 ve Duman Ölçer Sisteminin Şematik Düzeni

1- Asidimetrik Yöntemle Kükürtdioksit (SO_2) Tayini: Bu yöntemle Kükürtdioksit tayini yapılırken şu prosedür takip edilir : Dracher şişesine pH'sı 4.5 'e ayarlanmış %0.3'lük H_2O_2 solisyonundan konulur. Sonra Dracher şişesi cihaza yerleştirilir. Cihazdaki filtre kağıdı değiştirilip sayaç okunur ve cihaz çalıştırılır. 24 saatlik periyotlarda bu işlemler tekrarlanır. SO_2 miktarı aşağıdaki formülden hesaplanır(F.320:kalibrasyon parametresidir.):

$$SO_2 = \frac{F.320 \times \text{Okunan sarfiyat}}{\text{Gecen hava miktarı (m}^3\text{)}} = \mu.\text{gr/m}^3 \quad (3.1)$$

2 - Asılı Partiküler Madelerin Tayini (Ringelman Metodu): Yöntemin esası duman şeklindeki asılı partiküler maddelerin genellikle 24 saatlik zaman peryotlarında 25-50 mm veya 100 mm'lik filtre kağıtları üzerinde toplanmasıdır.

Diyafram tipli bir emme pompasından saatte 1.5-2.4 m³ hava geçirilir. Schneider CA32, Whatman No:1 veya CR/A Glasfiber filtre kağıtları üzerinde toplanan partiküler maddenin, "EEL", "Ptotovolt" tipi bir reflectometre kullanılarak konsantrasyon tayini yapılır [28].

Kirlilik değerleri olarak; Fatih, Şişli ve Üsküdar için Kasım-Aralık, 1990 ve Ocak-Şubat 1991 periyodundaki dört aylık değerler. Bakırköy ve Kadıköy için ise Aralık, 1990 ile Ocak- Şubat, 1991 periyodundaki üç aylık değerler kullanılmıştır.

3.2. VERİ ANALİZİ

3.2.1. SPEARMAN RANK (SIRA) KORELASYONU

A) Kapsamı ve Metodu:

X ve Y değişkenlerinin gerçek değerleri arasındaki korelasyonu hesaplamak yerine her iki serideki değerleri büyüklüklerine göre sıra numaraları (rank) verip ve bu sıra numaraları arasında bir korelasyon araştırılırsa, buna "sıra korelasyonu" ya da "rank korelasyonu" denir. Rank korelasyonu hesabında en çok kullanılan metodlardan biri "Spearman" metodudur. Bu aşağıdaki bağıntıyla verilir [29]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.2)$$

Bu formülde;

D : Değerlerin sıraları arasındaki farklar, $D = X_i - Y_i$

n : Veri sayısı

Sıra korelasyonu katsayısının değerleri de korelasyon katsayısı gibi (-1) ile (+1) arasında değişmektedir.

Standart normal dağılım tablolarından olabilirlik ihtimali;

$$u(r_s) = \frac{r_s}{\sqrt{n-1}} \quad (3.3)$$

olmak üzere;

$$\alpha = P[(u) > u(r_s)] \quad (3.4)$$

şeklinde bulunabilir. Böylece $\alpha < 0.05$ değerleri için %95 güvenirlilik seviyesinde H_1 hipotezi kabul edilir [30].

Sıra Korelasyonunun Uygulanmasında Karşılaşılan Zorluklar:

Sıra korelasyonunda her iki değişkene göre sıra numaraları toplamalarının eşit ($\sum X = \sum Y$) olması esastır. Bazen değişkenlerden birine göre aynı değere sahip, iki değer bulunabilir. Dolayısıyla hangisinin önceki, hangisinin sonraki sırada yer alacağı belli olmayan iki veya daha fazla değerlerle karşılaşılır. Böyle hallerde bunlara karşılık gelen sıra numaralarının ortalaması alınarak bu değerlerden her birine sıra numarası olarak verilir.

B) Sıra Korelasyonunun Kullanıldığı Yerler:

a) Önce, X ve Y nin gerçek değerleri yerine sadece sıraları bilindiği takdirde sıra korelasyonunu uygulamak gerekir.

b) Eęer sıranın önemi, verilerin gerçek değerlerinden daha fazla olduğu takdirde yine sıra korelasyonu tercih edilir.

c) En küçük kareler yöntemi ile regresyon ve korelasyon hesabı, noktaların regresyon doğrusu etrafında normal dağıldığı kabulüne dayanır. Oysa, sıra

korelasyonunun böyle bir kabul yoktur. Bundan dolayı değişkenlerden biri bile bu normal dağılımdan uzaklaşıyorsa korelasyon katsayısı yerine sıra korelasyonunun uygulanması daha uygun olur.

d) Serideki aşırı bir değerin mevcudiyeti gerçek değerler üzerinden hesaplanacak korelasyon katsayısına büyük ölçüde tesir ettiği halde, sıra korelasyonuna tesir etmez. Böyle hallerde de yine sıra korelasyonu tercih edilir.

e) Veriler aşırı bir kıymet ihtiva etmediği zaman uygulanan basit korelasyon katsayısına çok yakın sonuç veren sıra korelasyonu, hesabının daha çabuk olması nedeniyle tercih edilir.

C) Korelasyon Katsayısının Özellikleri:

a - Bilimsel araştırmalarda, en sağlıklı sonuçları verdiği için korelasyon katsayısı tatbikatta en yaygın şekilde kullanılan bir "ilişki" ölçüsüdür.

b - Korelasyon katsayısı, ilişkinin doğrusal olduğu kabulü ile kullanılan bir yöntemdir. İlişkinin eğrisel olması halinde korelasyon katsayısı değil, korelasyon indeksi kullanılır.

c - Korelasyon katsayısı değerlendirilirken hesaba giren veri sayısı (n) önemlidir. Rastgele nedenlerin etkisini daha iyi gidereceği için veri sayısı çoğaldıkça bulunacak sonuca daha çok güvenilebilir.

3.2.2. RÜZGAR ANALİZİ

Rüzgar rastgele bir değişken olarak düşünülürse belli bir periyot içerisinde ortalama değerlerinden söz edilebilir. Fakat rüzgarı yönü ve şiddeti ile beraber düşünürsek vektörel bir büyüklüktür. Rüzgar şiddeti ise skaler bir büyüklüktür. Rüzgar hızının ortalaması; rüzgar hızlarının vektörel ortalaması olarak hesaplanır.

B) Lambert Bağıntısı:

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{\sum W - \sum E + \sum (NW + SW - SE - NE) \cdot \sin(2\alpha)}{n} \\
 &+ \frac{\sum (SSW + NNW - SSE - NNE) \cdot \sin(\alpha)}{n} \\
 &+ \frac{\sum (WNW + WSW - ENE - ESE) \cdot \sin(3\alpha)}{n} \\
 \\
 R_y &= \frac{\sum S - \sum N + \sum (WSW + ESE - WNW - ENE) \cdot \sin(\alpha)}{n} \\
 &+ \frac{\sum (SE + SW - NW - NE) \cdot \sin(2\alpha)}{n} \\
 &+ \frac{\sum (SSE + SSW - NNE - NNW) \cdot \sin(3\alpha)}{n}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

şeklinde ifade edilir.

Bu bağıntıda;

R_x : Bileşke rüzgarın, batı-doğu yönündeki bileşenlerinin ortalaması.

R_y : Bileşke rüzgarın, kuzey-güney yönündeki bileşenlerinin ortalaması.

n : Sakinler de dahil olmak üzere rüzgarın toplam esme sayısı

$\alpha = 22.5$ 'dir.

Rüzgar hızları ortalamasının şiddeti: Batı-Doğu (R_x) ve Güney-Kuzey (R_y) bileşenlerinin kareleri toplamalarının kareköküne eşittir. Bu değer;

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} \tag{3.6}$$

$$R = \sqrt{(R_x^2 + R_y^2)} \tag{3.7}$$

bağıntısıyla ifade edilir.

Rüzgar hızları ortalamasının yönü ise;

$$tg\beta = \frac{R_x}{R_y} \quad (3.8)$$

bağıntısıyla ifade edilir.

β : Rüzgar hızları ortalamasının güney-kuzey yönü ile oluşturduğu açıdır.

c) Rüzgar Sebatlığı

Rüzgar sebatlığı (persistans); Rüzgar hızının ortalamasının, rüzgar şiddetlerinin aritmetik ortalamasına bölünmesi ile elde edilir ve

$$P = \frac{R}{V} \quad (3.9)$$

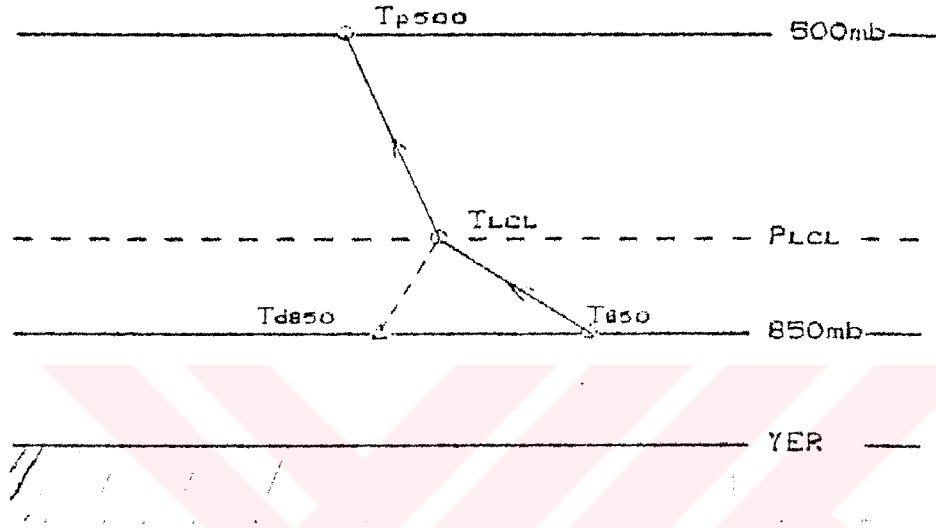
bağıntısıyla ifade edilir [21].

3.2.3. KARARSIZLIK İNDEKSLERİ

A) Showalter İndeksi (SSI):

Showalter indeksi 850 mb'dan 500 mb seviyeleri arasındaki potansiyel kararsızlığı ifade eder. 500 mb'a yükselen hava parselinin 500 mb'daki kaldırma kuvvetini ölçerek hesaplanır. Showalter indeksi aynı zamanda negatif değerlerin LFC (yükselme ile zorlanan Konveksiyon) seviyesinin üzerinde pozitif kaldırma enerjisinin varlığını ve serbest konveksiyon olasılığı anlamına gelen tabakanın gizli kararsızlığı hakkında bilgi de verir.

Showalter İndeksi şu şekilde hesaplanmaktadır: Temp diyagramında 850 mb'ın çiğ noktasından sırasıyla karışma oranı ve kuru adyobatlara paralel olarak önce LCL (yükselme ile doyma seviyesi) seviyesi bulunur. LCL seviyesinden yaş adyobatlara paralel olarak 500 mb' çıkılır ve orada parselin sahip olduğu sıcaklık 500 mb'ın gerçek sıcaklığı ile mukayese edilir (Şekil 3.3), [31].



ŞEKİL.3.3. Showalter İndeksinin Grafiksel Bulunuşu.

$$SI = T_{500} - T_{p500} \quad (3.10)$$

Burada:

SI : Showalter indeksi ($^{\circ}\text{C}$)

T_{500} : 500 mb sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

T_{p500} : 850 mb'dan 500 mb'a yükseltilen parselin sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

Showalter indeksi için kritik değer:

$$SI \leq 3 \quad \text{Kararsız} \quad (3.11)$$

B) Toplam Toplamlar İndeksi (TTI):

Bu indeks, düşey toplamlar indeksi (VT) ile çapraz toplamlar indeksinin (CT) aritmetik toplamı alınarak elde edilmektedir. Bu indeks, sonbahar ve

yaz mevsimlerinde orajlı fırtınaların 12-36 saatlik tahmin ihtimalleri için önemli bir indekstir. Ayrıca düşey toplamlar indeksine paralel olarak konvektif hava etkinliklerini de göstermektedir. Ancak aşağı seviyelerde nemin düşük olduğu durumlarda kuvvetli termal sıcaklık değişimi ile birlikte gereğinden büyük değerlere sahip olabileceğinden bu duruma dikkat edilmelidir [32].

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad (3.12)$$

$$CT = Td_{850} - T_{500} \quad (3.13)$$

$$TTI = VT + CT = T_{850} + Td_{850} - 2T_{500} \quad (3.14)$$

Td_{850} : 850 mb'ın çiğ noktası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).

T_{850} : 850 mb sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).

T_{500} : 500 mb sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).

TTI için kritik değer:

$$TTI \geq +50 \quad \text{Kararsız.} \quad (3.15)$$

C) K İndeksi (KI):

K-İndeksi yazın karasal hava kütlesi, oraj, fırtına potansiyelini tahmin etmeye yardımcı olması için, 850-500 mb sıcaklık farkı, aşağı seviyelerdeki nemin ölçüsü olarak 850mb çiğ noktası sıcaklığı ve düşey nem dağılışının bir ölçüsü olarak 700 mb sipreti bir denklemde aritmetik işleme tabi tutar.

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700}) \quad (3.16)$$

$T_{850,700,500}$ = 850, 700, 500 mb sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

$Td_{(850,700)}$ = 850 ve 700 mb'ın çiğ noktası sıcaklığı

K-İndeksi için kritik değer:

$$KI \leq 26 \quad \text{Kararsız} \quad (3.17)$$



BÖLÜM 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

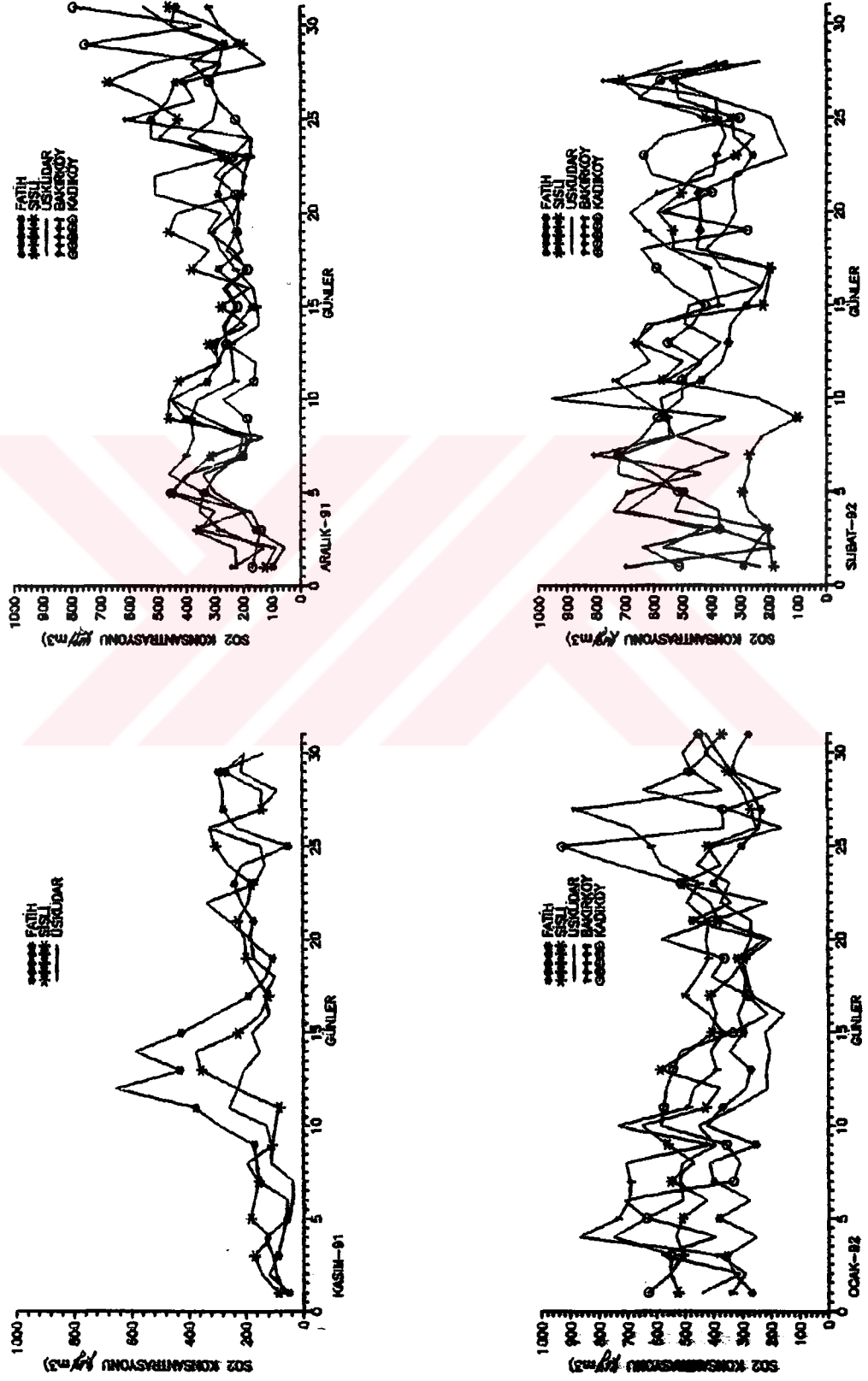
Kirlilik değerleri ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi tespit etmek için sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar için tüm bölgelerin dört aylık peryottaki kirleticilerle olan birlikte değişimlerini gösteren grafikler çizilmiş aynı zamanda dört aylık ve aylık dönemler için sıcaklık, basınç, nem, rüzgar ve kararsızlık indeksleri ile kirleticiler arasında sıra korelasyonu uygulanmıştır. Diğer taraftan yağış, basınç sistemleri, rüzgar yönleri, enversiyon ve havanın kararlı-kararsız oluşuna göre sınıflandırmalar yapılarak tablolar halinde gösterilmiştir.

4.1. DEĞERLENDİRME

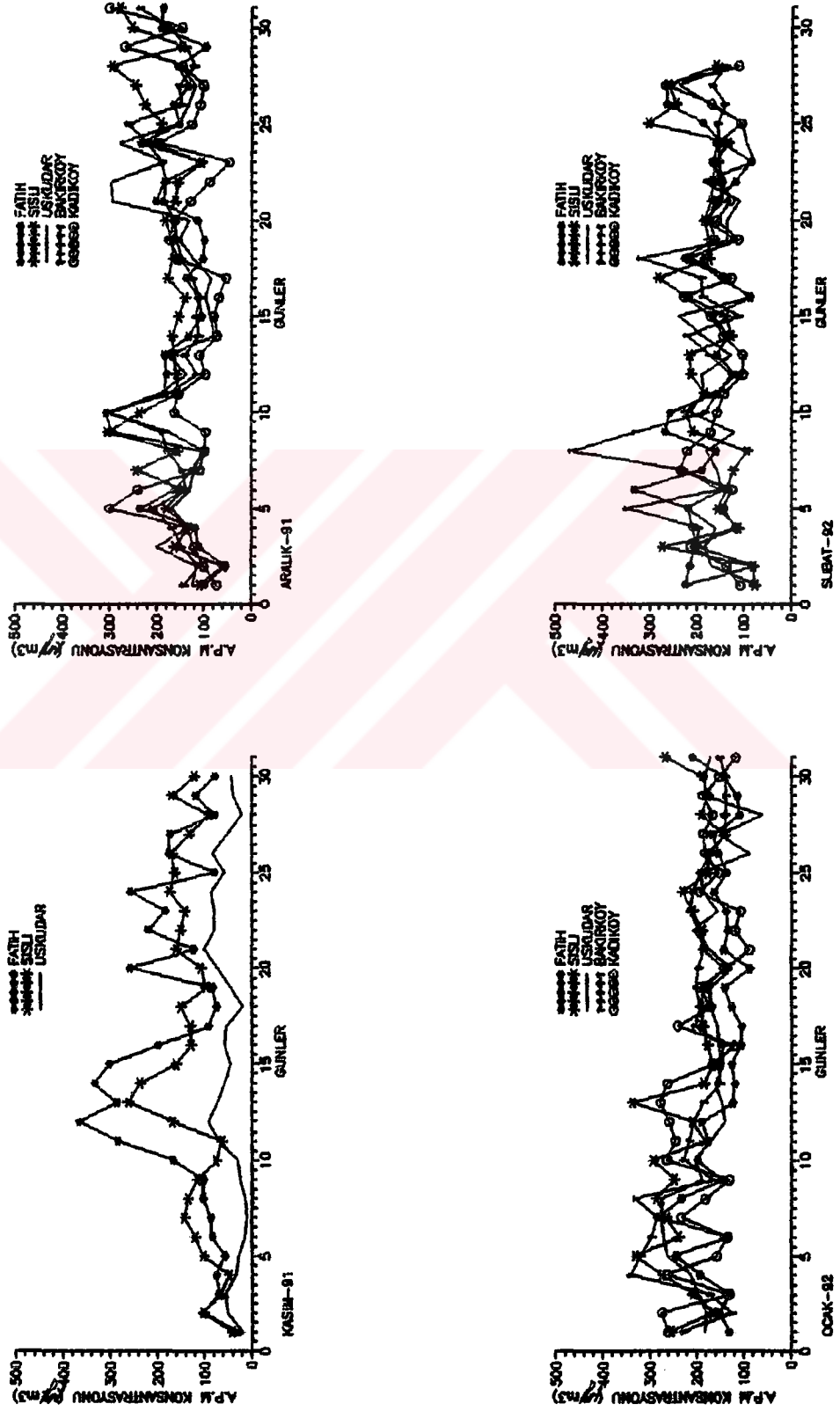
Bölgelere göre aylık ortalama kirlilik değerleri alınarak oluşturulan Tablo 4.1 ve dört aylık pertyot içerisinde kirliliğin dağılımını gösteren grafiklerin incelenmesinden (Şekil.4.1); gerek SO_2 gerekse A.P.M için en düşük değerlerin Kasım ayı içerisinde en yüksek değerlerin ise ocak-şubat ayları içerisinde olduğu görülmektedir. Bölgeler içerisinde ise, en yüksek değerlerin Bakırköy ve Kadıköy bölgelerinde olduğu görülmektedir.

TABLO.4.1 Bölgelerin Aylara Göre kirletici ortalamaları ($\mu g/m^3$)

AYLAR	KASIM		ARALIK		OCAK		ŞUBAT	
BÖLGELER	SO_2	APM	SO_2	APM	SO_2	APM	SO_2	APM
FATİH	224.2	155.1	291.9	154.2	318.8	153.6	400.3	178.7
ŞİŞLİ	186.5	125.3	343.8	181.9	427.7	215.0	378.9	179.5
ÜSKÜDAR	151.7	50.2	322.9	160.1	350.1	188.3	413.2	157.0
BAKIRKÖY	---	---	278.7	164.9	519.6	200.7	528.0	193.9
KADIKÖY	---	---	273.4	136.4	493.0	186.2	519.2	157.4
ORTALAMA	187.5	110.2	302.1	159.6	421.8	188.8	447.9	173.3



ŞEKİL.4.1.(a) Bölgelerin Aylık SO₂ Değişimi



ŞEKİL.4.1.(b) Bölgelerin Aylık A.P.M Değişimi

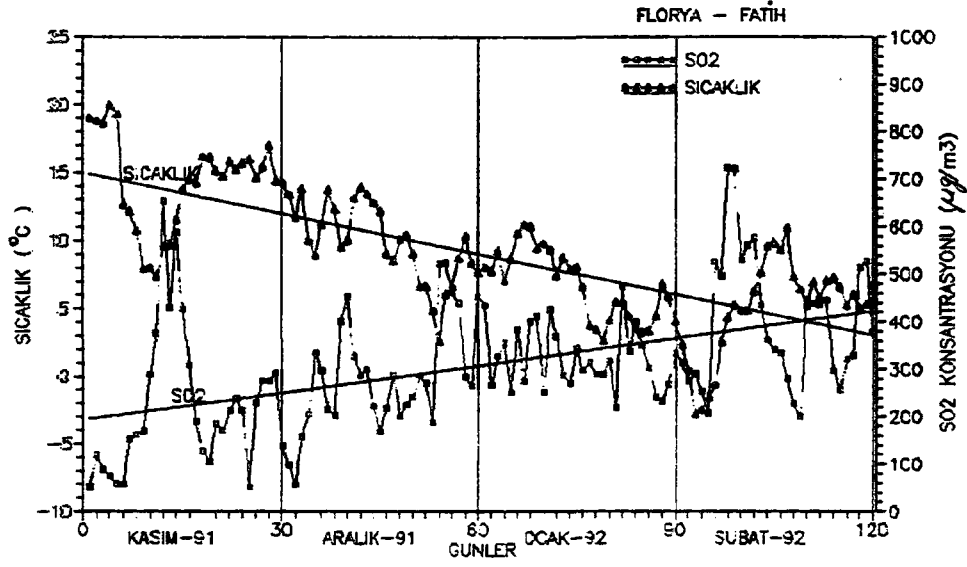
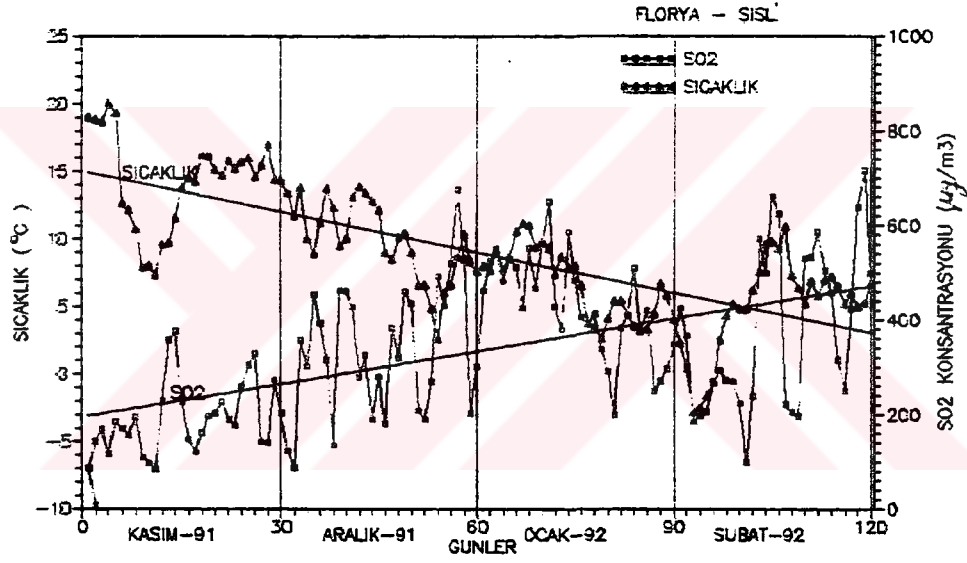
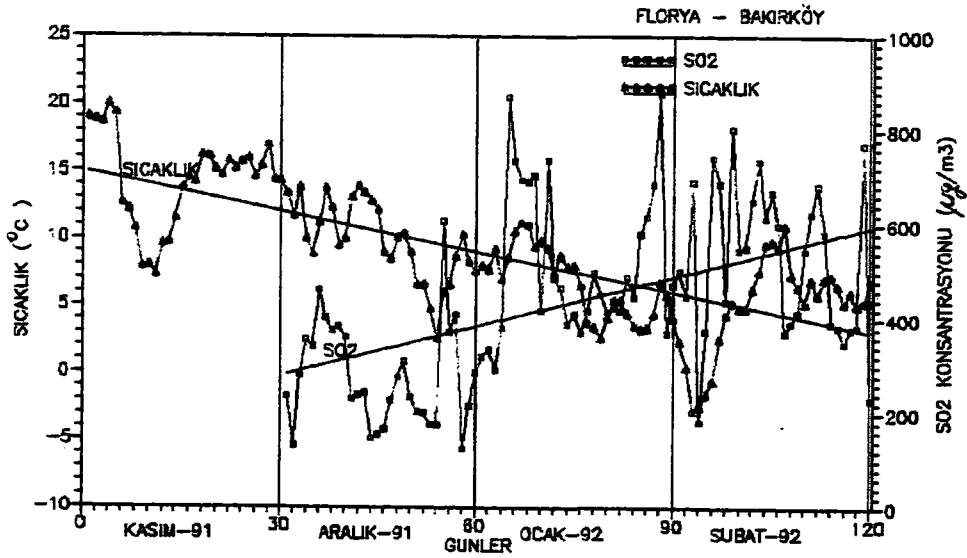
4.2. METEOROLOJİK PARAMETRELER İLE KİRLİLİK PARAMETRELERİNİN İLİŞKİSİ

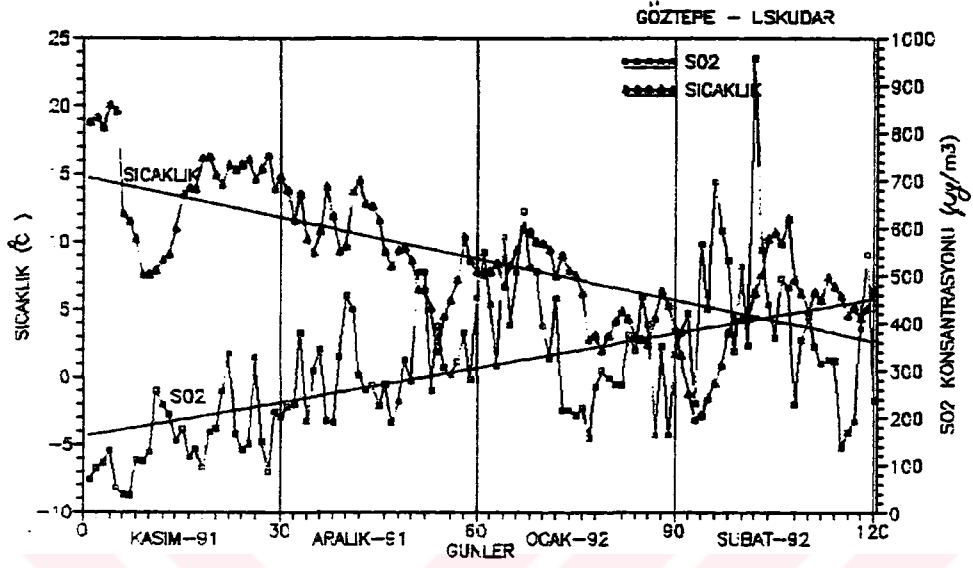
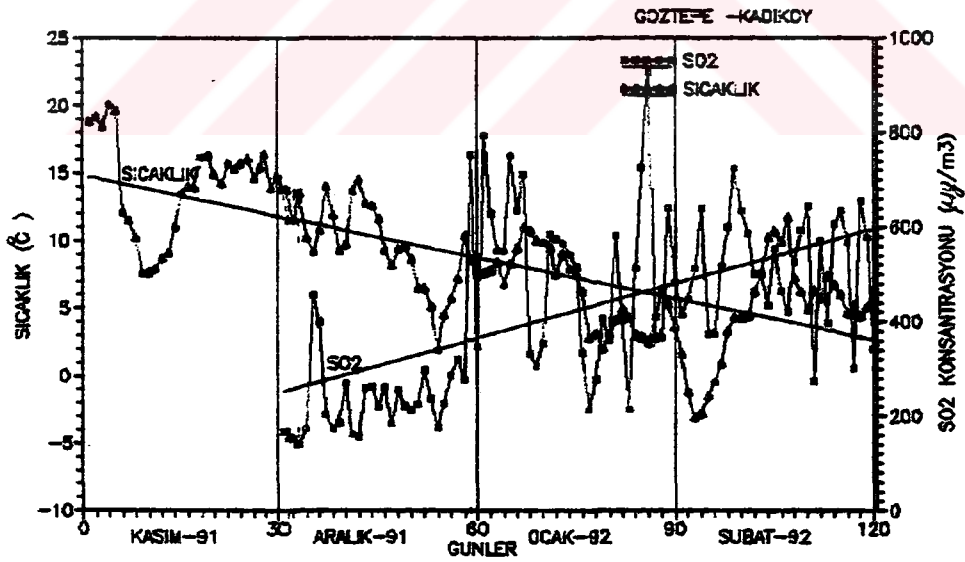
4.2.1. SICAKLIK VE KİRLİLİK İLİŞKİSİ

Bir bölgedeki hava kirliliğinin azalıp veya çoğalmasında en önemli meteorolojik parametrelerden biri sıcaklıktır. Sıcaklığın artması veya azalmasıyla ısınma ihtiyacı da artacak veya azalacaktır. Buna paralel olarak ta atmosfere çıkan kirletici konsantrasyonu artacak veya azalacaktır. Diğer yandan sıcaklığın troposferdeki yükseklikle değişimi -diğer bir deyimle sıcaklık gradyanı- hava tabakasının kararlı-kararsız oluşunda etkili olmaktadır. Bu da kirletici konsantrasyonlarının azalması ya da artmasına neden olmaktadır.

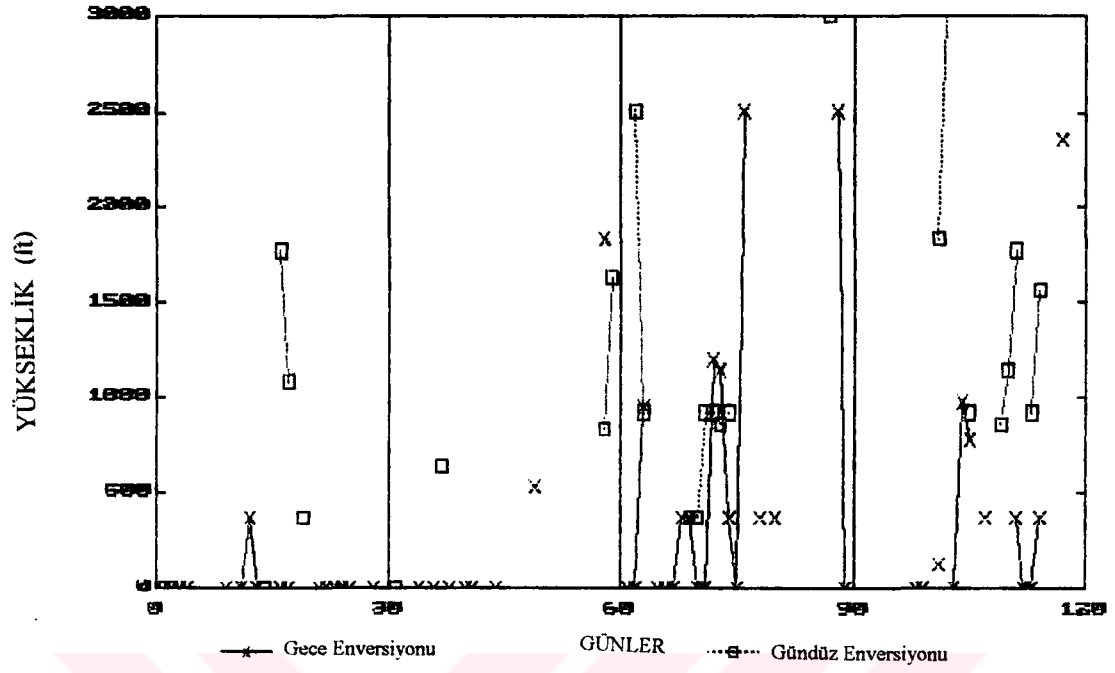
Şekil 4.2 incelendiğinde dört aylık peryotta SO_2 ile sıcaklık arasında ters bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Yani sıcaklık arttıkça SO_2 azalmakta, sıcaklık azaldıkça SO_2 artmaktadır. Nitekim dört aylık dönemdeki Sıcaklık- SO_2 korelasyon katsayıları bölgelere göre farklı şiddette olmalarına karşın negatif çıkmaktadır (Tablo 4.2). Bunun anlamı; sıcaklık ile SO_2 'nin ters yönlü olarak değişimleri demektir. Öte taraftan aylık korelasyon katsayılarına bakıldığında farklı durumlar gözlenmektedir (Tablo 4.3). Özellikle Ocak ayı içerisinde sıcaklık ile SO_2 arasında aynı yönlü doğrusal bir ilişki çıkmaktadır. Bunun nedeni, bu ay içerisinde gece ve gündüz enversiyonlarının ve yükselteli enversiyonun sıkça oluşmuş olmasıdır. Yani, radyasyona bağlı enversiyonlar yerine daha çok çökme (subcidance) ve cephesel enversiyonların bu ayda diğer aylara nazaran sıkça meydana gelmiş olmasıdır. Bu durum Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de görülmektedir.

A.P.M ile sıcaklık arasındaki ilişkiye bakıldığında SO_2 dekine benzer sonuçların çıktığı görülmüştür (Şekil 4.5). Ancak korelasyon katsayıları bazı bölgeler için düşük çıkmaktadır (Tablo 4.2). Aylık korelasyonlara bakıldığında bazı bölgeler için korelasyon katsayıları ilişki yok denecek kadar küçük çıkmaktadır (Tablo 4.3). Bunun nedenini veri sayısının azlığına ve bu aylar içerisinde kirleticiler üzerinde değişik faktörlerin birlikte rol oynamalarına bağlamak mümkündür. Böyle durumlarda bire-bir ilişkileri ortaya koymak bu yöntemle zordur.

ŞEKİL.4.2.(a) SO₂ - SICAKLIK DeğişimiŞEKİL.4.2.(b) SO₂ - SICAKLIK DeğişimiŞEKİL.4.2.(c) SO₂ - SICAKLIK DeğişimiŞEKİL.4.2. Bölgelerin SO₂ - SICAKLIK Değişimi

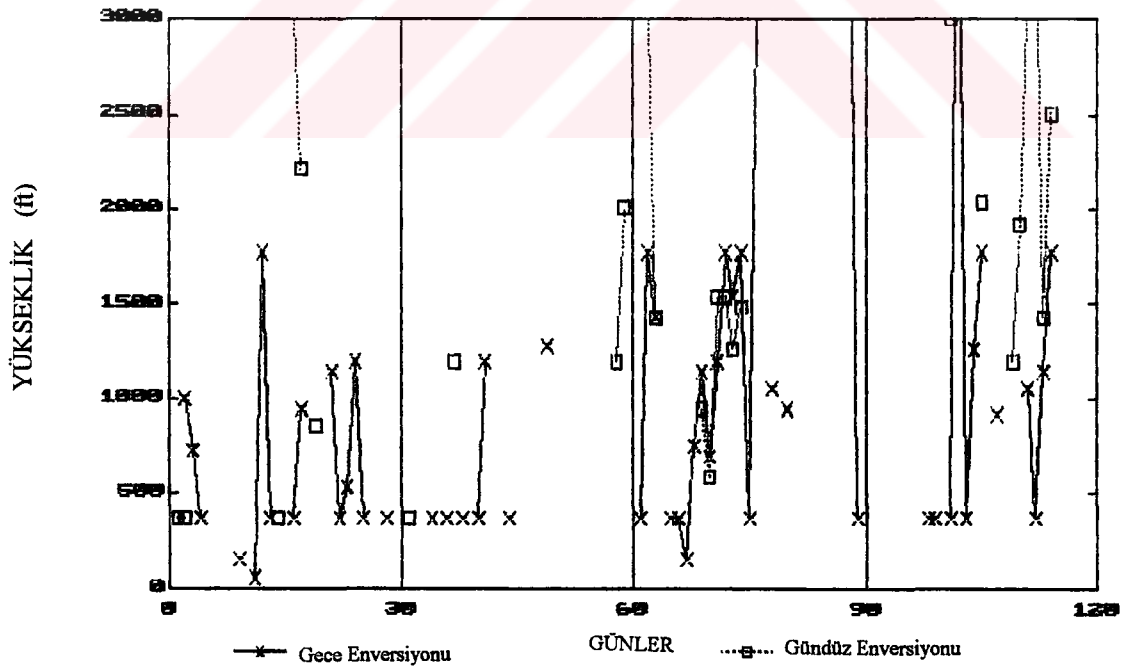
ŞEKİL.4.2.(d) SO₂ - SICAKLIK DeğişimiŞEKİL.4.2.(e) SO₂ - SICAKLIK DeğişimiŞEKİL.4.2. Bölgelerin SO₂ - SICAKLIK Değişimi (Devam)

ENVERSİYON TABAN YÜKSEKLİĞİ

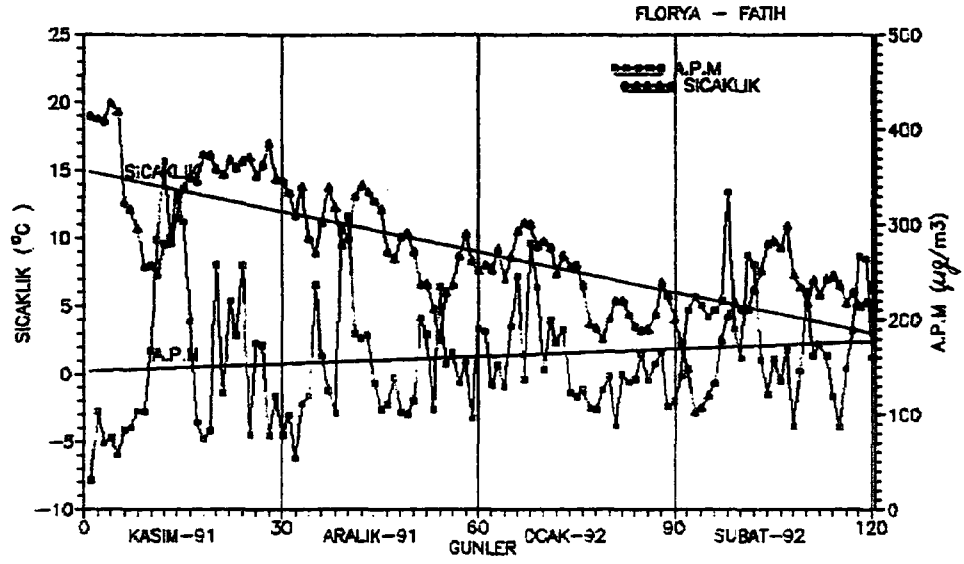


ŞEKİL.4.3. Enversiyon Taban Yükseklikleri

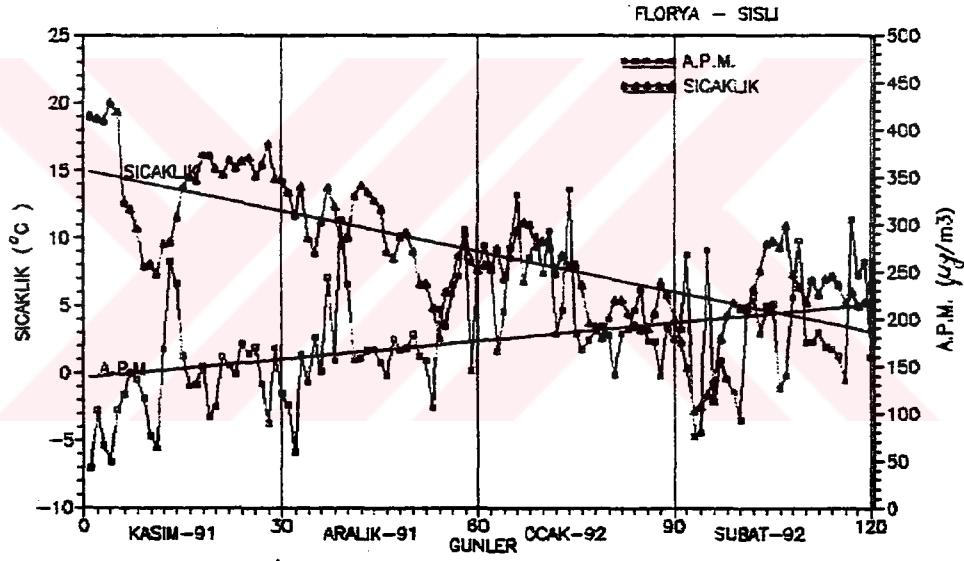
ENVERSİYON TAVAN YÜKSEKLİĞİ



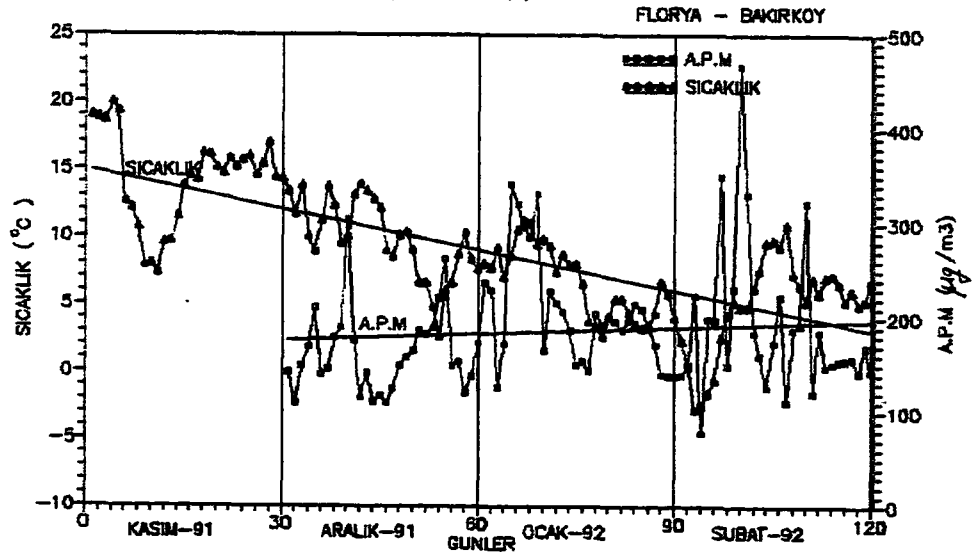
ŞEKİL.4.4. Enversiyon Tavan Yükseklikleri



ŞEKİL.4.5.(a) A.P.M - SICAKLIK Değişimi

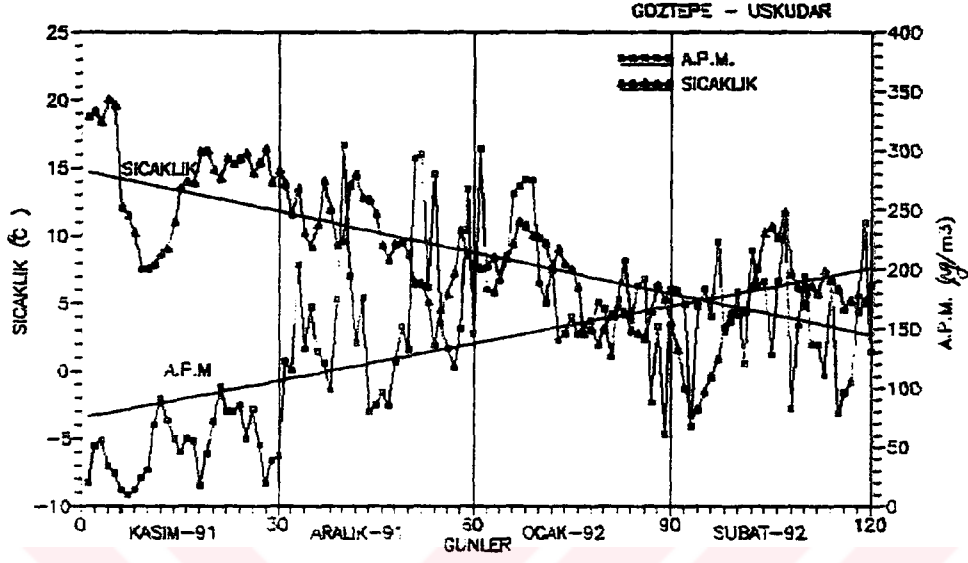


ŞEKİL.4.5.(b) A.P.M - SICAKLIK Değişimi

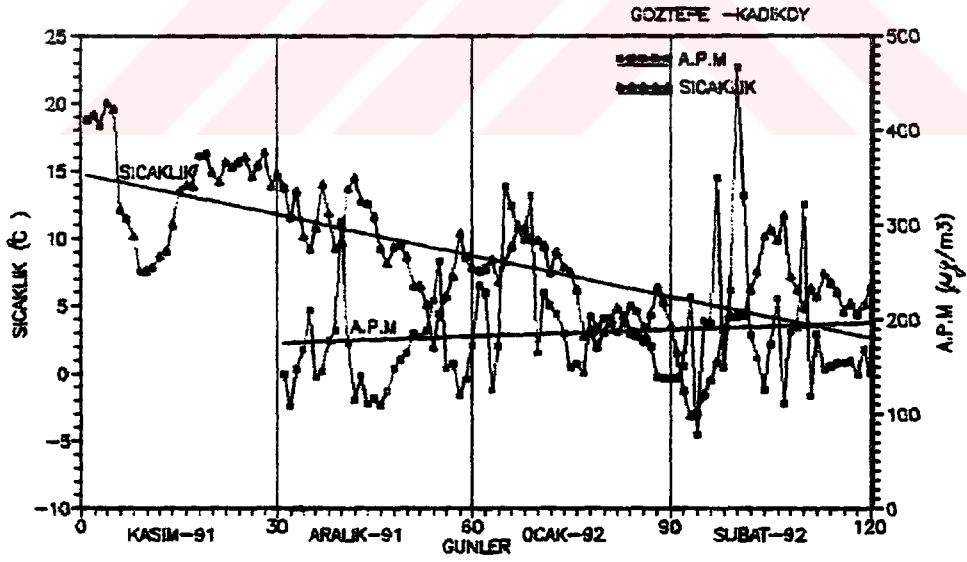


ŞEKİL.4.5.(c) A.P.M - SICAKLIK Değişimi

ŞEKİL.4.5. Bölgelerin A.P.M - SICAKLIK Değişimi



ŞEKİL.4.5.(d) A.P.M - SICAKLIK Değişimi



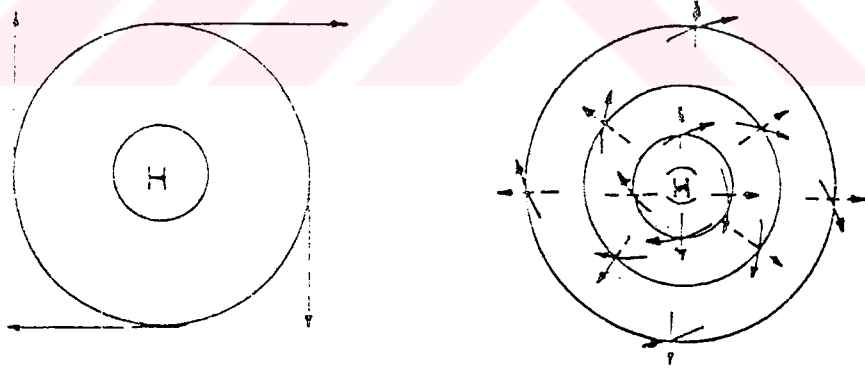
ŞEKİL.4.5.(e) A.P.M - SICAKLIK Değişimi

ŞEKİL.4.5. Bölgelerin A.P.M - SICAKLIK Değişimi (Devam)

4.2.2. BASINÇ VE KİRLİLİK İLİŞKİSİ

Yüksek basınç sistemlerinde, atmosferin aşağı seviyelerindeki sirkülasyon, izobarlardan bir sapma yaparak alçak basınca yöneleceğinden diverjans yani iniç hareketler oluşur. Bu hareketler ise yukarı seviyelerde sıcaklık artmasına ve atmosferin kararlı hale gelmesine neden olur. Yüksek basınç sistemleri (antisiklonlar) genel olarak zayıf rüzgarlar veya durgun alanlar içerirler. Geceleri düşük seviyeli radyasyon tipli enversiyonlarla yukarı tabakalardaki havanın alçalması tipik özelliğidir. Bundan dolayı durgun bir antisiklon hava kirliliği olayı için önemli bir meteorolojik faktör oluşmaktadır [33].

Yüksek basınç alanında kütle taşınımı dışa doğru yani alçak basınca doğrudur. Coriolis kuvvet, basınç gradyanı kuvveti, merkezci kuvvet ve sürtünme kuvvetinin etkisi ile kuzey yarımkürede saat ibrelerinin tersi yönde bir dönüş gözlenir. Sürtünmenin etkisi ile dağılıcı bir akış meydana gelir (Şekil 4.6).



ŞEKİL 4.6 Kuzey Yarımküre'de Y. Basınç Alanının Hareket Yönü.

Alçak basınç merkezlerinde hava cerayanları yatay doğrultuda merkeze doğru ve saat hareketinin tersi istikamettedir (kuzey yarımkürede). Bu hareket vorteks (çeviri) meydana getirerek havanın düşey doğrultuda yukarı doğru hareketini sağlar. Bu durum hava kirleticilerinin uzaklaştırılması bakımından son derece faydalıdır. Alçak basınç sistemlerinde yüksek basınç sistemlerinin aksine konverjans olayına

TABLO.4.2. Bölgelere Göre Dört Aylık Korelasyonlar

FATİH-FLORYA

	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.6779	-0.5180	0.4315	-0.1578	-0.2677
A.P.M	0.6779	1.0000	-0.2824	0.2789	-0.0560	-0.4580

ŞİŞLİ-FLORYA

	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7070	-0.3033	0.1111	0.0657	-0.1672
A.P.M	0.7070	1.0000	-0.3049	0.2185	0.0220	-0.1927

ÜSKÜDAR-GÖZTEPE

	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.8536	-0.4586	0.2365	-0.0327	-0.1687
A.P.M	0.8536	1.0000	-0.4707	0.2466	0.0662	-0.1228

TABLO.4.2. Bölgelere Göre Dört Aylık Korelasyonlar * (Devam)

BAKIRKÖY-FLORYA

	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.4887	-0.3115	0.2010	-0.0526	-0.2256
A.P.M	0.4887	1.0000	-0.2666	0.3375	0.0295	-0.4254

KADIKÖY-GÖZTEPE

	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.5233	-0.3695	0.1746	0.0242	-0.1003
A.P.M	0.5233	1.0000	-0.1391	0.1264	0.2311	-0.2307

* : Bakırköy ve Kadıköy için Üç Aylıktır.

TABLO.4.3.(a) Bölgelere Göre Aylık Korelasyonlar.

FATİH-FLORYA

KASIM	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.8436	-0.5949	0.6839	-0.1504	-0.4176
A.P.M	0.8436	1.0000	-0.5949	0.6299	-0.1560	-0.5533

ARALIK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.8035	-0.5084	0.5343	-0.2411	-0.4275
A.P.M	0.8035	1.0000	-0.3010	0.2168	-0.2362	-0.5816

OCAK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.2915	0.1065	-0.0177	0.2523	-0.2577
A.P.M	0.2915	1.0000	0.3888	-0.3721	0.3521	-0.5759

ŞUBAT	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.6889	-0.2309	0.1785	-0.2643	-0.5453
A.P.M	0.6889	1.0000	-0.5081	0.2579	-0.1282	-0.3668

TABLO.4.3.(b) Bölgelere Göre Aylık Korelasyonlar.

ŞİŞLİ - FLORYA

KASIM	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7007	-0.1146	-0.0932	-0.0365	-0.3128
A.P.M	0.7007	1.0000	-0.4248	0.3318	-0.1199	-0.2384

ARALIK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7585	-0.3138	0.4534	-0.2180	-0.1575
A.P.M	0.7585	1.0000	-0.2339	0.4976	-0.2122	-0.1763

OCAK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.5931	0.5868	-0.4334	0.6199	-0.5775
A.P.M	0.5931	1.0000	0.3848	-0.3939	0.4559	-0.6163

ŞUBAT	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.3227	0.3465	-0.2754	0.1565	-0.3438
A.P.M	0.3227	1.0000	0.2323	-0.3096	0.1250	-0.0185

TABLO.4.3.(c) Bölgelere Göre Aylık Korelasyonlar.

ÜSKÜDAR - GÖZTEPE

KASIM	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINC	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7663	-0.2835	0.3367	-0.4239	-0.4520
A.P.M	0.7663	1.0000	-0.0732	0.2960	-0.3447	-0.7477

ARALIK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINC	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7753	0.0936	-0.0246	-0.1583	-0.3951
A.P.M	0.7753	1.0000	-0.0016	-0.0748	-0.1273	-0.2863

OCAK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINC	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7181	0.3092	-0.4477	0.0362	-0.4708
A.P.M	0.7181	1.0000	0.4597	-0.4310	0.1046	-0.5806

ŞUBAT	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINC	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.7658	-0.1547	0.2691	-0.0345	-0.5508
A.P.M	0.7658	1.0000	0.1051	-0.0841	0.0701	-0.5537

TABLO.4.3.(d) Bölgelere Göre Aylık Korelasyonlar.

BAKIRKOY-FLORYA

ARALIK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.4382	0.0155	0.1956	-0.1317	0.1572
A.P.M	0.4382	1.0000	-0.5404	0.4783	0.0429	-0.4586

OCAK	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.4896	0.1234	-0.0904	0.0150	-0.3498
A.P.M	0.4896	1.0000	0.3936	0.0040	0.1464	-0.5592

ŞUBAT	SO ₂	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO ₂	1.0000	0.4483	-0.0249	0.0942	-0.0548	-0.3305
A.P.M	0.4483	1.0000	-0.3872	0.2754	-0.1076	-0.2348

TABLO.4.3.(e) Bölgelere Göre Aylık Korelasyonlar.

KADIKÖY-GÖZTEPE

ARALIK	SO2	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO2	1.0000	0.3624	-0.4672	0.4253	-0.0101	-0.2795
A.P.M	0.3624	1.0000	-0.1459	0.2092	0.2466	-0.1420

OCAK	SO2	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO2	1.0000	0.2565	0.1496	-0.2562	0.0303	-0.2447
A.P.M	0.2565	1.0000	0.3935	-0.2555	0.3767	-0.4644

ŞUBAT	SO2	A.P.M	SIC.	BASINÇ	NEM	RÜZGAR
SO2	1.0000	0.4927	-0.3242	-0.0219	0.3125	-0.0929
A.P.M	0.4927	1.0000	-0.1740	-0.0526	0.0788	-0.2261

rastlanmaktadır. Bu da kirletici konsantrasyonlarının dağılmasına ve azalmasına neden olmaktadır (Şekil 4.6).

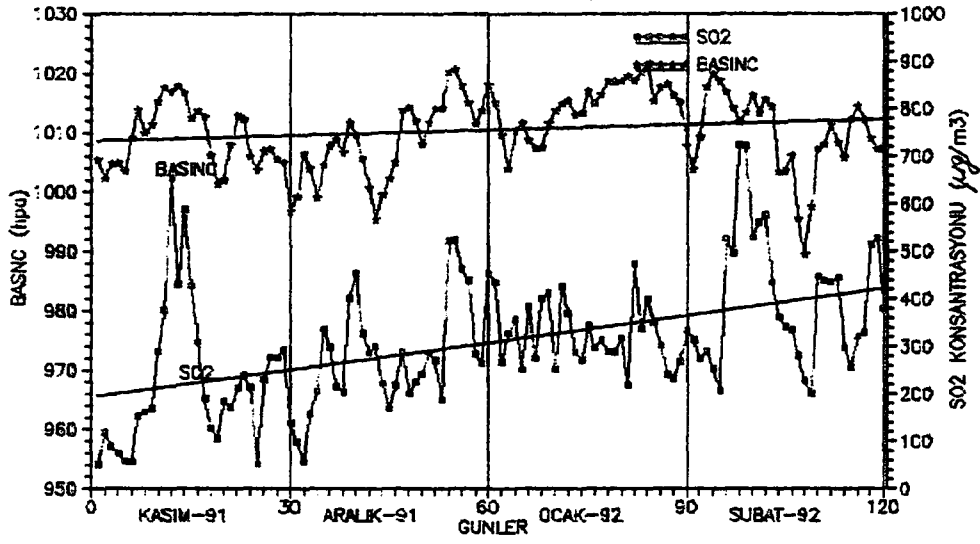
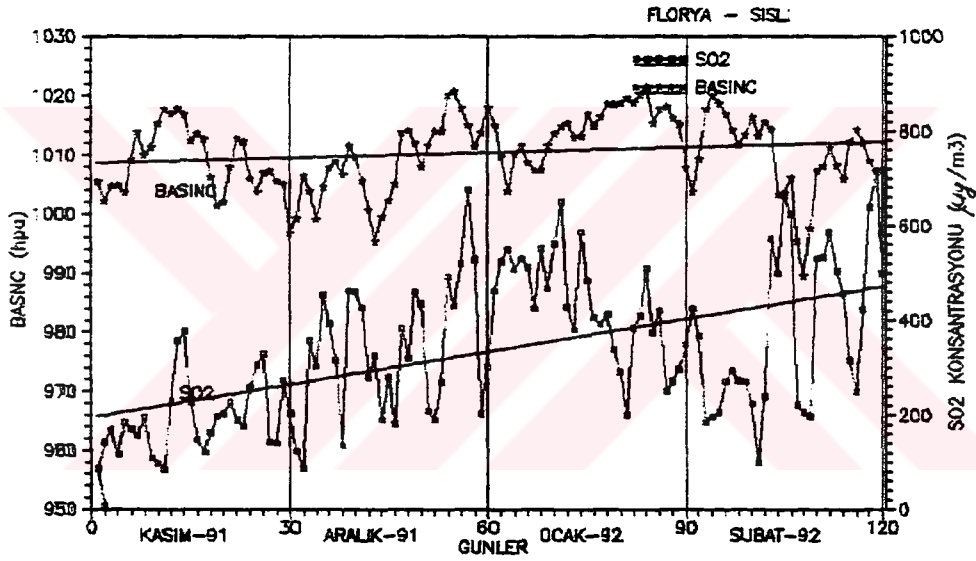
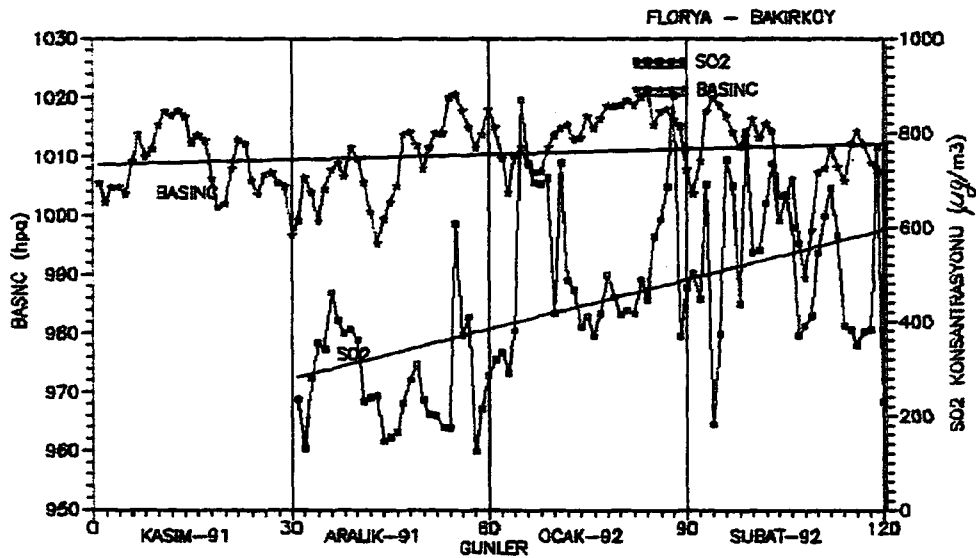
Bu bilgiler ışığında; incelenen peryotta tüm bölgelerin kirlilik değerlerinin ortalaması alınarak oluşturulan basınç sistemleriyle ilgili tablodan; şehir üzerinde yüksek basınç sistemi hakimken yüksek konsantrasyonların, alçak basınç sistemleri hakimken düşük konsantrasyonların ve hakim basınç sisteminin tam olarak belirlenemediği yani "boyun noktası" koşullarında da ortalama bir konsantrasyonun olduğu gözlenmektedir (Tablo 4.4).

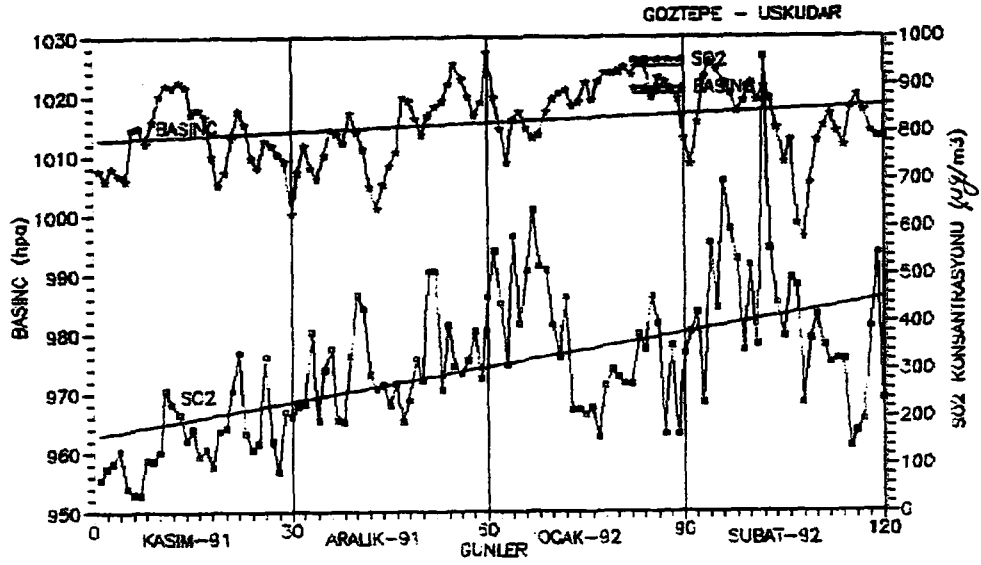
TABLO.4.4. Basınç Sistemlerine Göre Ortalama Kirletici Konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	A.BASINÇ	Y.BASINÇ	A - Y *
SO ₂	287.5	396.1	337
A.P.M	137	177.8	161.8

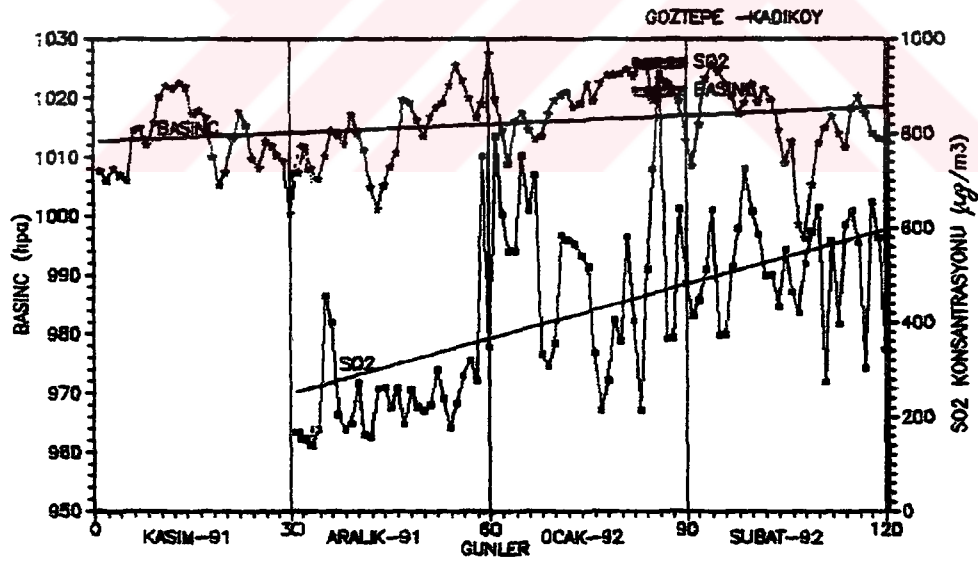
*: Hakim Sistem Belirgin Değil.

Basınçla kirleticiler arasında çizilen grafikten ve hesaplanan korelasyon katsayılarından basınç ile kirleticilerin doğru orantılı olarak değiştikleri görülmektedir. (Şekil 4.7 ve 4.8). Yani basınç arttıkça kirlilik konsantrasyonu artmakta, basınç düştükçe konsantrasyon azalmaktadır. Ancak aylık korelasyonlarda Ocak ayı içerisinde ters yönlü olarak değiştikleri gözlenmektedir. Bunun nedeni yine bu ayda gözlenen gece ve gündüz enversiyonlarıdır. Nitekim bu ayda basınçla sıcaklık arasında da beklenenin aksine ters bir korelasyon çıkmaktadır (Tablo 4.2 ve 4.3).

ŞEKİL.4.7.(a) SO₂ - BASINÇ DeğişimiŞEKİL.4.7.(b) SO₂ - BASINÇ DeğişimiŞEKİL.4.7.(c) SO₂ - BASINÇ DeğişimiŞEKİL.4.7. Bölgelerin SO₂ - BASINÇ Değişimi

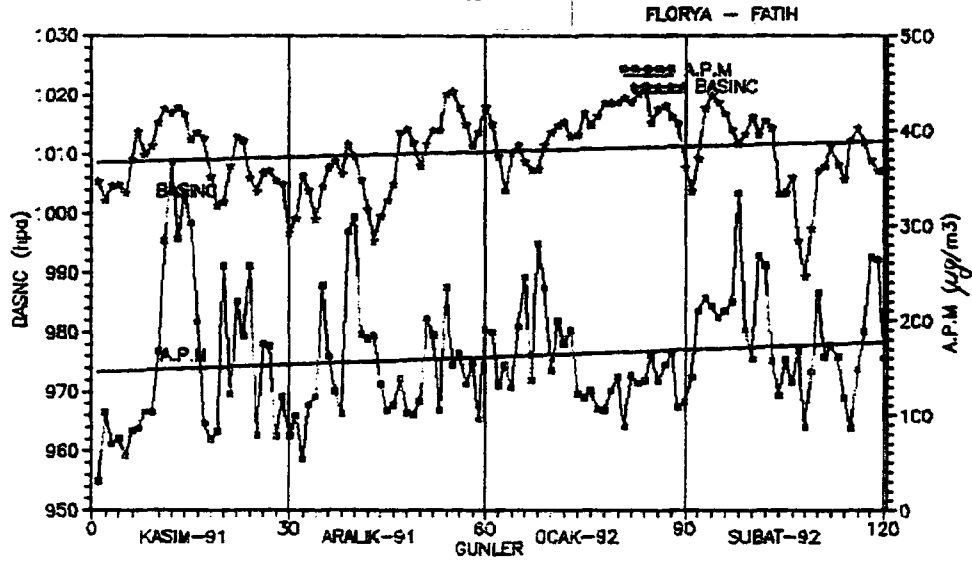


ŞEKİL.4.7.(d) SO₂ - BASINÇ Değişimi

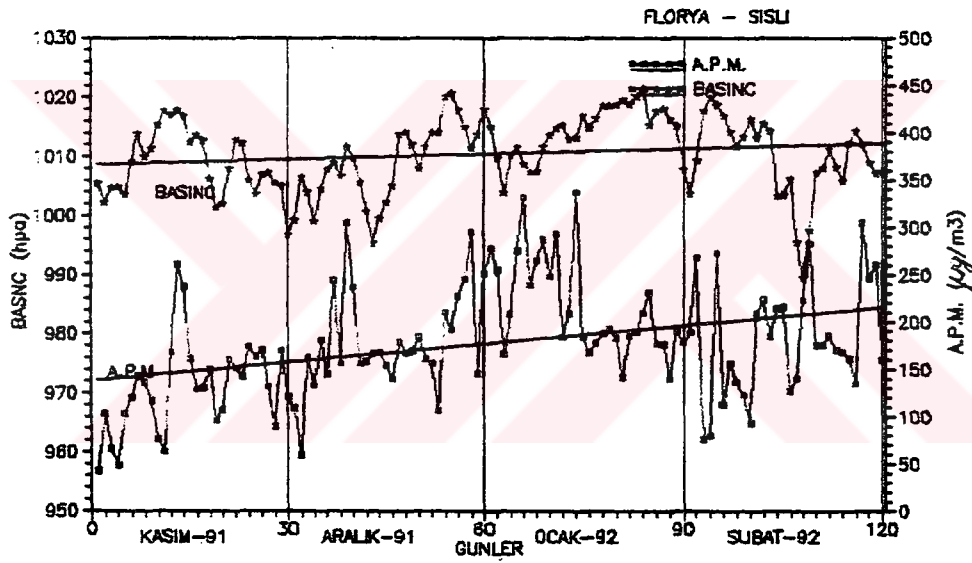


ŞEKİL.4.7.(e) SO₂ - BASINÇ Değişimi

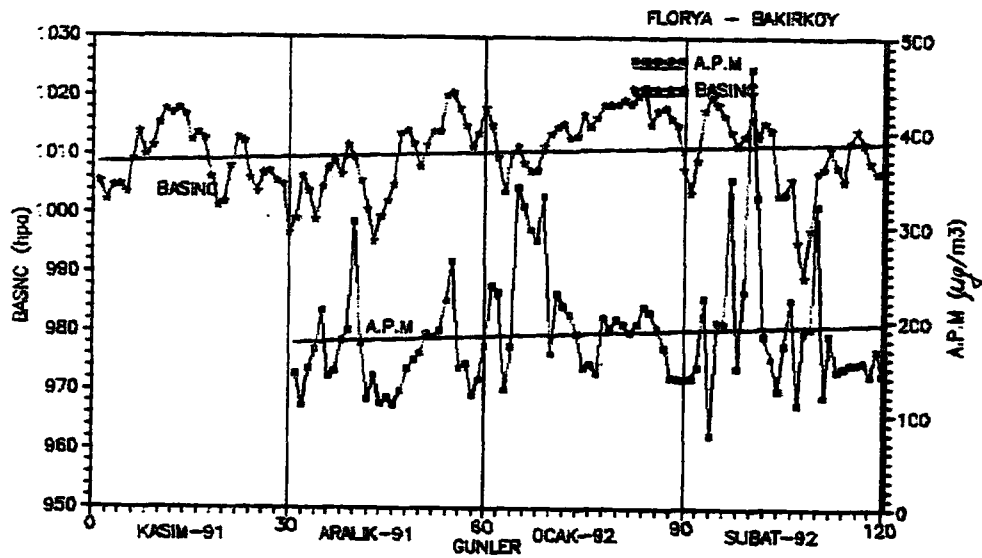
ŞEKİL.4.7. Bölgelerin SO₂ - BASINÇ Değişimi (Devam)



ŞEKİL.4.8.(a) A.P.M - BASINÇ Değişimi.

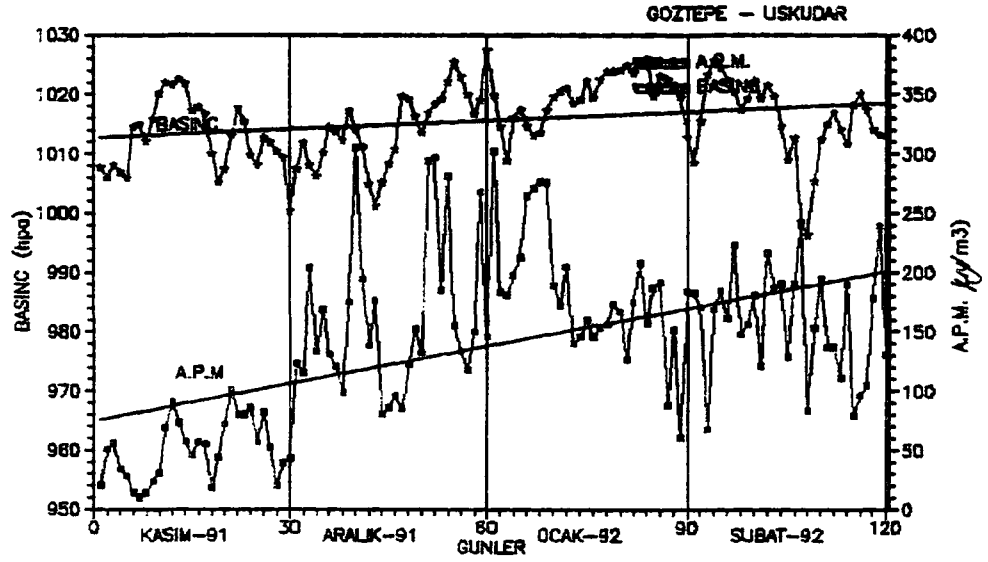


ŞEKİL.4.8.(b) A.P.M - BASINÇ Değişimi.

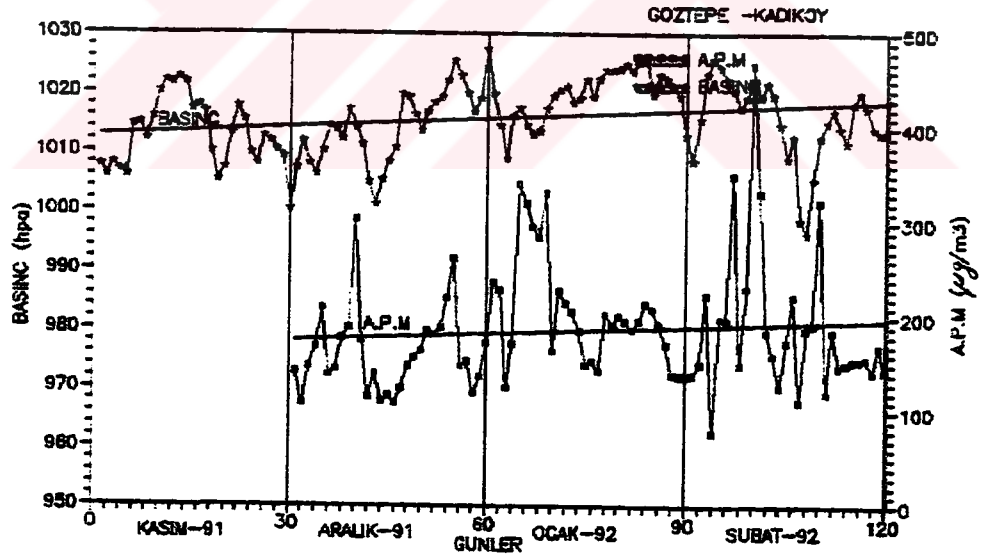


ŞEKİL.4.8.(c) A.P.M - BASINÇ Değişimi.

ŞEKİL.4.8. Bölgelerin A.P.M - BASINÇ D



ŞEKİL.4.8.(d) A.P.M - BASINÇ Değişimi.



ŞEKİL.4.8.(e) A.P.M - BASINÇ Değişimi.

ŞEKİL.4.8. Bölgelerin A.P.M - BASINÇ Değişimi (Devam)

4.2.3. NEM İLE KİRLİLİK İLİŞKİSİ

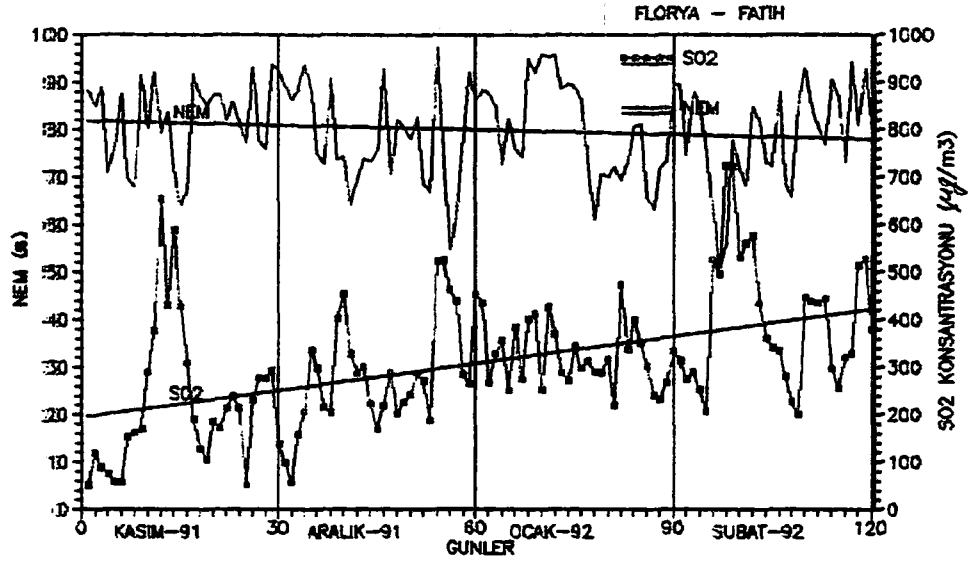
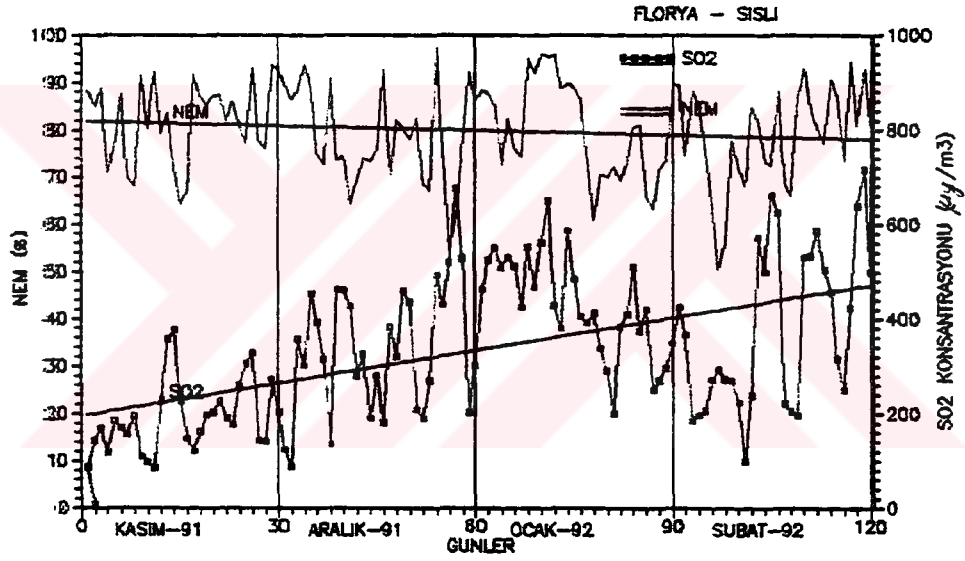
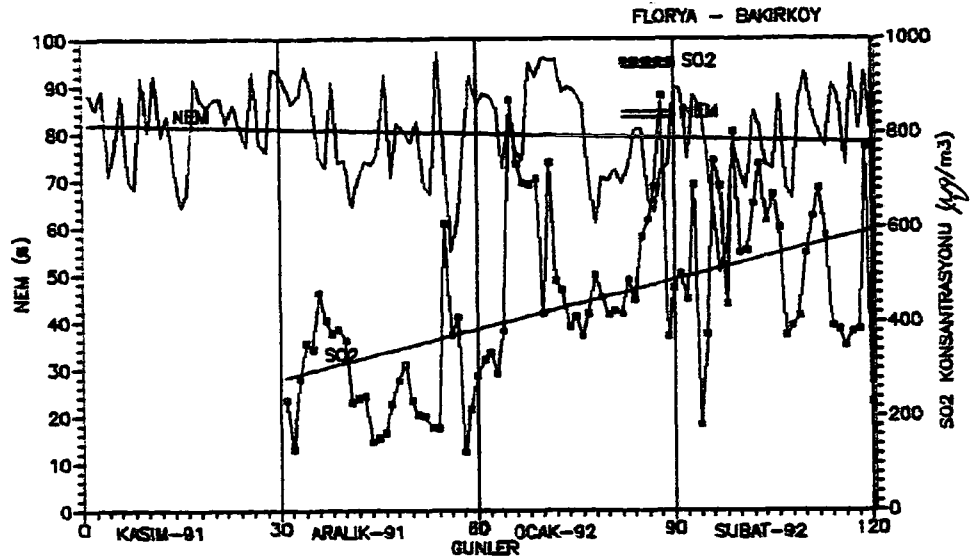
Atmosferde bulunan nem hava sıcaklığının azalması ile yoğunlaşarak sis oluşumuna sebep olur. Hava içerisinde bulunan aerosoller bu yoğunlaşmada çekirdek görevi görürler. Enversiyon olayına ilaveten en önemli hava kirliliği problemleri sislerle beraber ortaya çıkmaktadır.

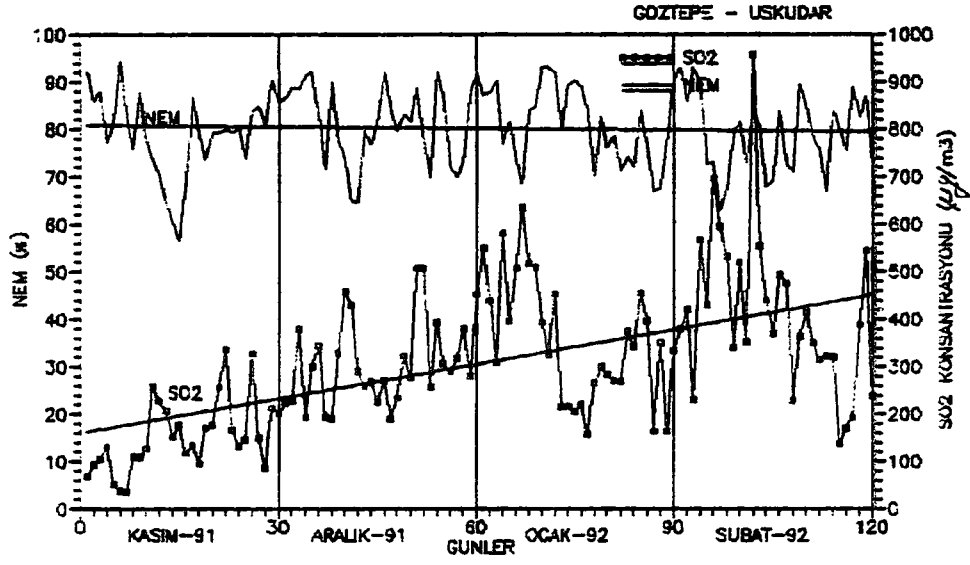
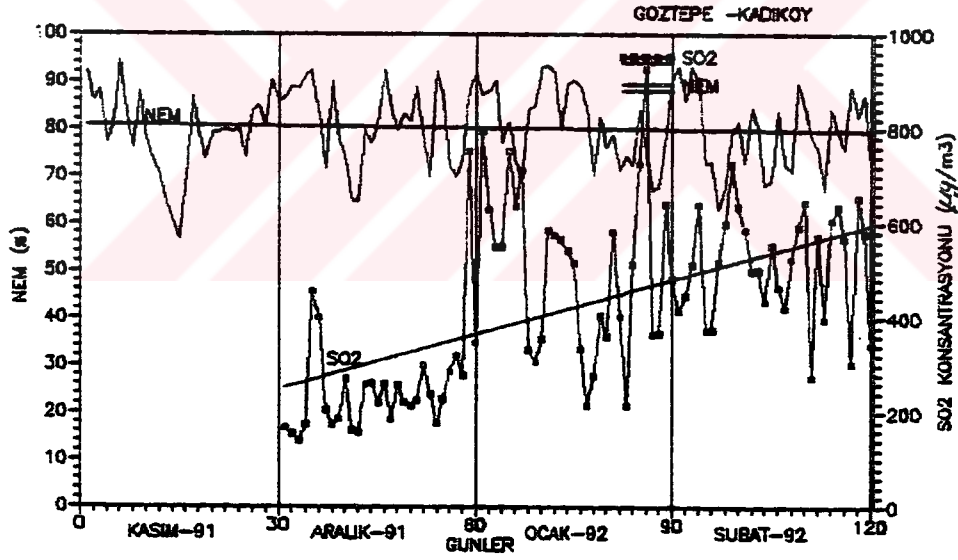
Yapılan bazı araştırmalar havadaki nem miktarının SO_2 'nin SO_3 'e ve H_2SO_4 'e dönüşmesine yardımcı olduğunu göstermektedir [27]. Ancak, yaptığımız çalışmada hernekadar nem ve SO_2 'nin birlikte değişimini gösteren grafiklerde (Şekil 4.9 ve 4.10) aralarında ters yönlü zayıf bir ilişki olduğu görülüyorsa da incelediğimiz datalar üzerinden yapılan dört aylık korelasyonlarda nem ile SO_2 arasında ve nem ile A.P.M arasında belirgin bir ilişki bulunamamıştır (Tablo 4.2). Ancak aylık korelasyonlarda bazı aylar için yüksek korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Örneğin Üsküdar-Göztepe için Kasım ayında $r_{SO_2} = -0.42$ ve $r_{APM} = -0.34$ olarak hesaplanmıştır. Öte yandan Fatih-Florya, Şişli-Florya, Kadıköy-Göztepe bölgeleri için Ocak ayı içerisinde kirleticiler ile nem arasında aynı yönlü bir ilişki çıkmaktadır (Tablo 4.3). Örneğin Şişli-Florya için $r_{SO_2} = 0.62$ ve $r_{APM} = 0.45$ Sıcaklık ve basınçta olduğu gibi bu ayda ilişkinin umulanın aksine çıkmasının nedeni yükselteli inversiyondur.

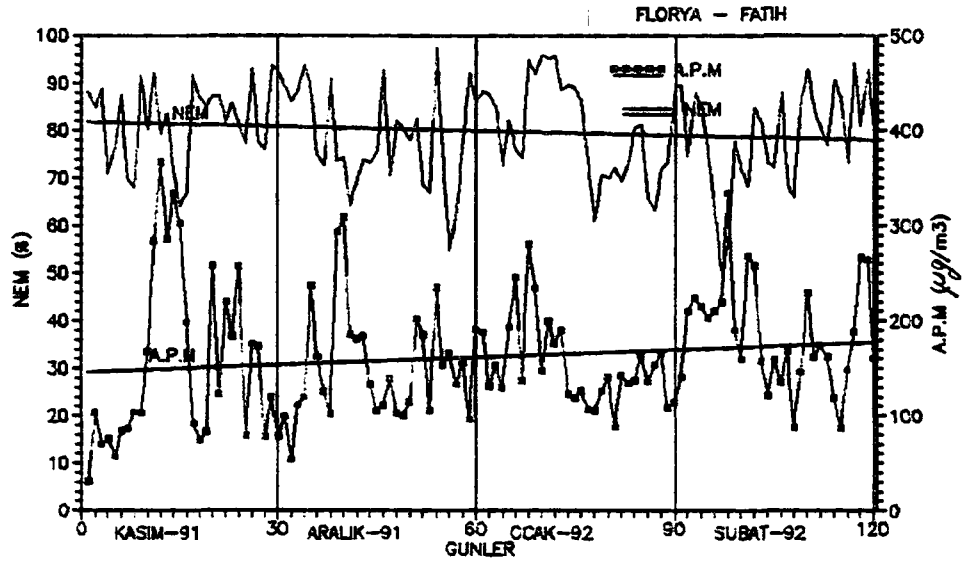
4.2.4. RÜZGAR İLE KİRLİLİK İLİŞKİSİ

Gazlar ve belli bir peryotta havada kalabilecek kadar küçük olan partiküller hava hareketleriyle uzun mesafelere taşınabilirler. Bunun sonucu olarak kirleticiler sadece yerel kirlilik problemlerine değil aynı zamanda da bölgesel kirlilik problemlerine yol açarlar. Bir kaynaktan atmosfere bırakılan kirleticiler çeşitli hava hareketleri ile alıcılara (maruz kalanlara) doğru taşınır. Kirleticilerin atmosfer içindeki hareketi hem yatay hem de düşey doğrultuda meydana gelir. Kirleticisi, havanın bu hareketi ile ne kadar büyük hacimde hava ile karşılaşır o kadar çok seyrelmiş olur ve konsantrasyonu azalır. Kirleticilerin yatay doğrultudaki taşınması üzerinde en etkili meteorolojik faktör rüzgarlardır. Kirleticilerin atmosferde taşınmasında periyodik rüzgarlar ve bölgenin özellikleri etkili olmaktadır. En önemli kirlilik problemleri çok düşük rüzgar koşullarında meydana gelmiştir [33].

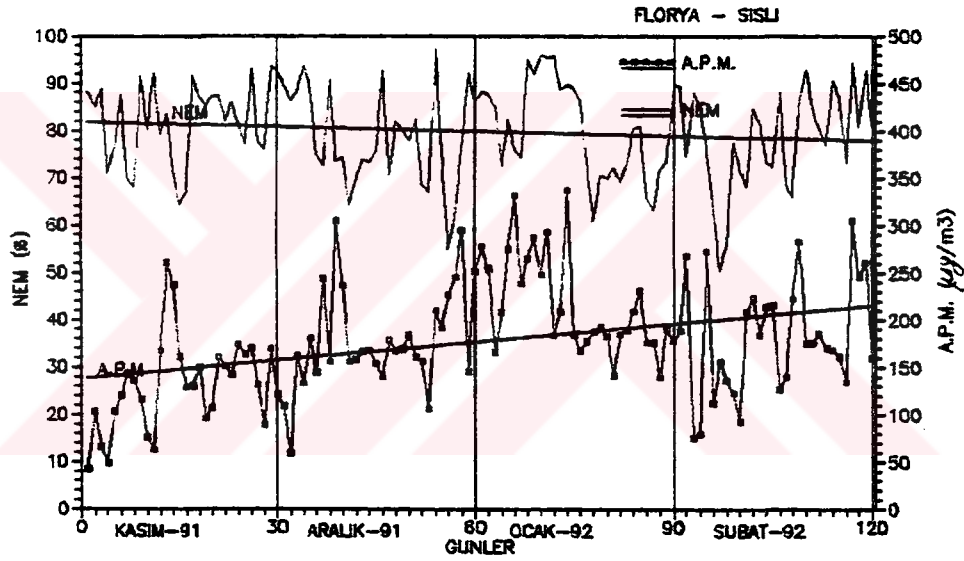
Rüzgar, şiddet ve yön olarak düşünülen vektörel bir büyüklük olduğu için,

ŞEKİL.4.9.(a) SO₂ - NEM DeğişimiŞEKİL.4.9.(b) SO₂ - NEM DeğişimiŞEKİL.4.9.(c) SO₂ - NEM DeğişimiŞEKİL.4.9. Bölgelerin SO₂ - NEM Değişimi

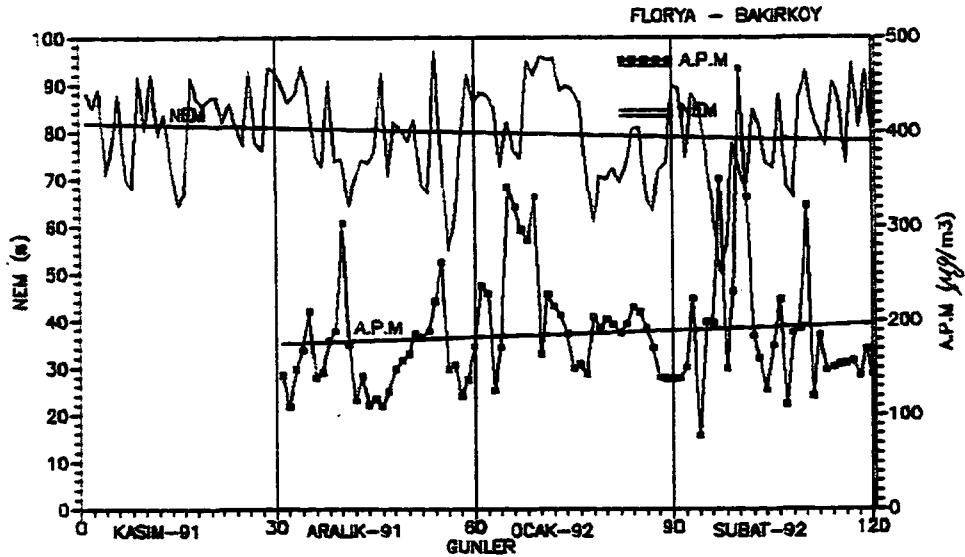
ŞEKİL.4.9.(d) SO₂ - NEM DeğişimiŞEKİL.4.9.(e) SO₂ - NEM DeğişimiŞEKİL.4.9. Bölgelerin SO₂ - NEM Değişimi (Devam)



ŞEKİL.4.10.(a) A.P.M - NEM Değişimi

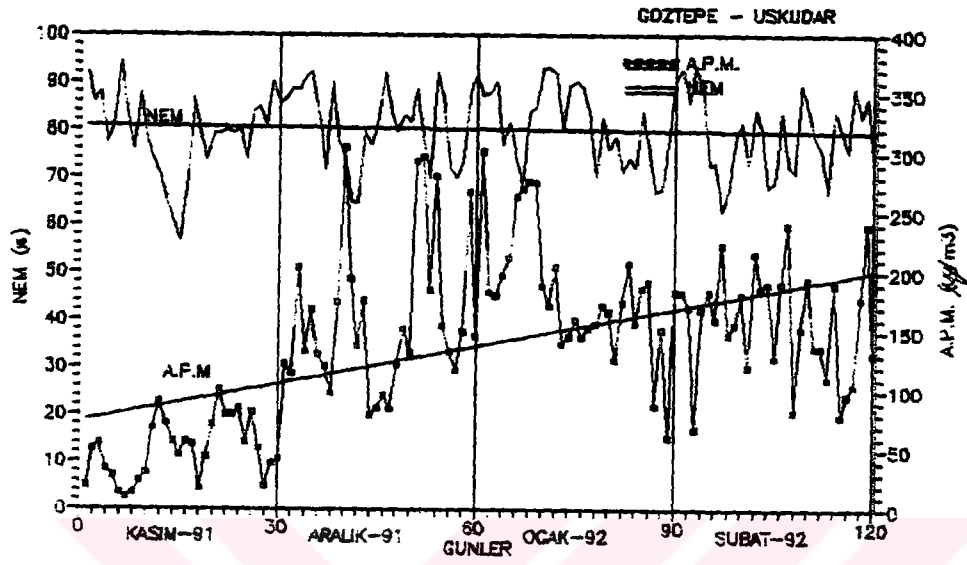


ŞEKİL.4.10.(b) A.P.M - NEM Değişimi

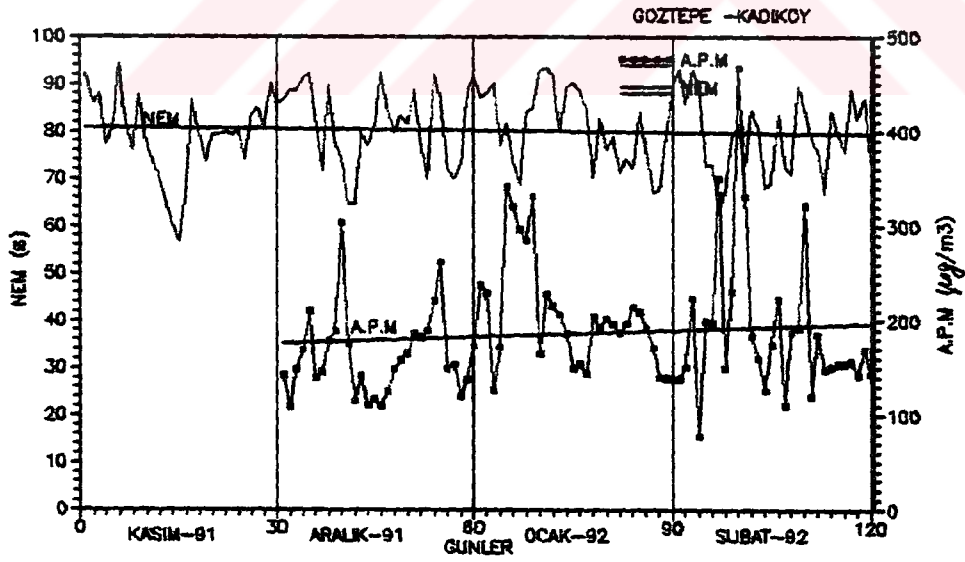


ŞEKİL.4.10.(c) A.P.M - NEM Değişimi

ŞEKİL.4.10. Bölge lerin A.P.M - NEM Değişimi



ŞEKİL.4.10.(d) A.P.M - NEM Değişimi



ŞEKİL.4.10.(e) A.P.M - NEM Değişimi

ŞEKİL.4.10. Bölgelerin A.P.M - NEM Değişimi (Devam)

TABLO.4.5. Hakim Rüzgar Yönlerine Göre Bölgelerdeki Ortalama Kirlenici Konsantrasyonları, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Olarak. 1,2

	ŞİŞLİ		ÜSKÜDAR		FATİH		BAKIRKÖY		KADIKÖY	
	SO ₂	A.P.M	SO ₂	A.P.M	SO ₂	A.P.M	SO ₂	A.P.M	SO ₂	A.P.M
KUZEYİLİ	303.6	162	276.5	134.9	295.5	163.9	404.2	179.1	438.2	149.5
K.DUĞULU	337.8	172	289	137.6	344.4	155.7	408.9	175.6	418.7	159.6
DOĞULU	333.1	178.5	375.3	152.5	388.2	180	439.3	199.9	461.6	173.1
G.DOĞULU	387.7	197.8	332.9	155.0	291.9	153.6	456.9	187.6	259.3	117.3
GÜNEYİLİ	234.6	147.7	271.4	108.7	229.0	150.8	280.0	151.9	311.5	109.3
G.BATILI	280.2	173.7	276	126.7	218.0	128.2	484.0	203.9	452.9	196.3
BATILI	373.3	245.5	336.4	181.9	253.1	136.1	507.3	218.8	336.0	182.5
K.BATILI	246.2	144.6	258	185.0	206.3	120.0	277.1	175.4	238.0	46.0

1 : #67 Rüzgar Persistansının Yukarısı

2 : Fatih-Şişli-Bakırköy için Florya; Üsküdar-Kadıköy için Göztepe Rüzgar Değerleri Kullanılmıştır.

kirleticiler ile rüzgar arasındaki ilişki araştırılırken üç değişik yöntem kullanılmıştır. Bunların ilkinde, incelenen peryotta rüzgar ve kirleticilerin birlikte değişimlerini gösteren grafikler çizilmiştir. ikincisinde lambert bağıntısı (3.5) yardımıyla hakim rüzgar yönleri bulunmuş ve (3.9) bağıntısıyla da bunların persistansları hesaplanmıştır. %67 persistansın altında kalan değerler hesaba katılmadan yönler göre bölgelerin ayrı ayrı ortalama kirletici konsantrasyonları hesaplanıp bir sınıflandırma yapılmıştır (Tablo 4.5). Üçüncüsünde ise, dört aylık ve aylık rank korelasyonu tatbik edilmiştir.

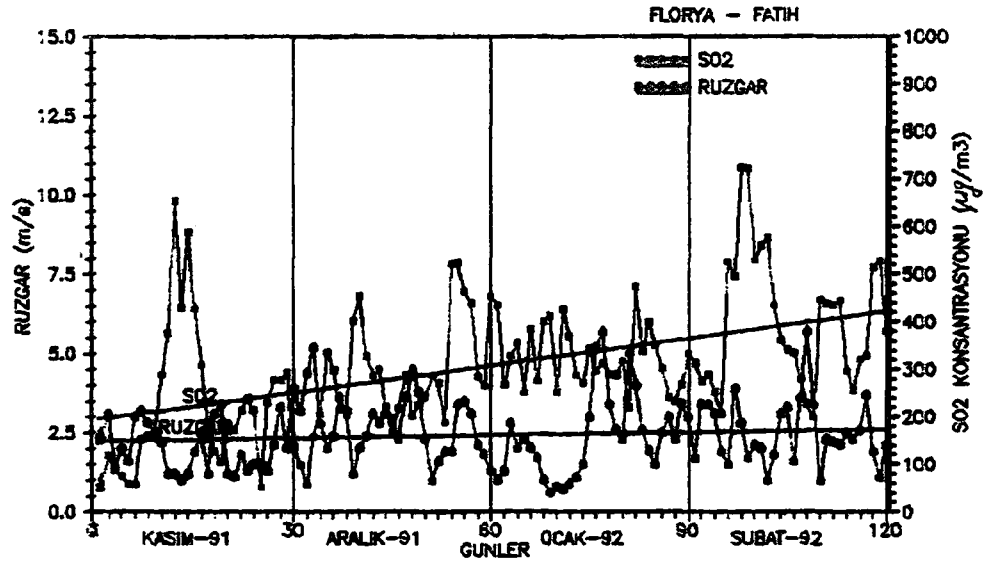
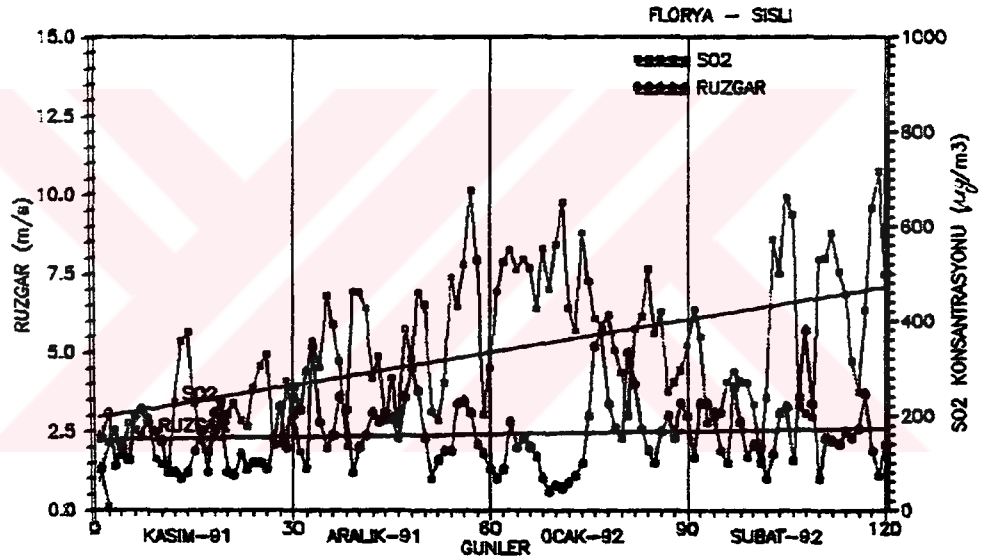
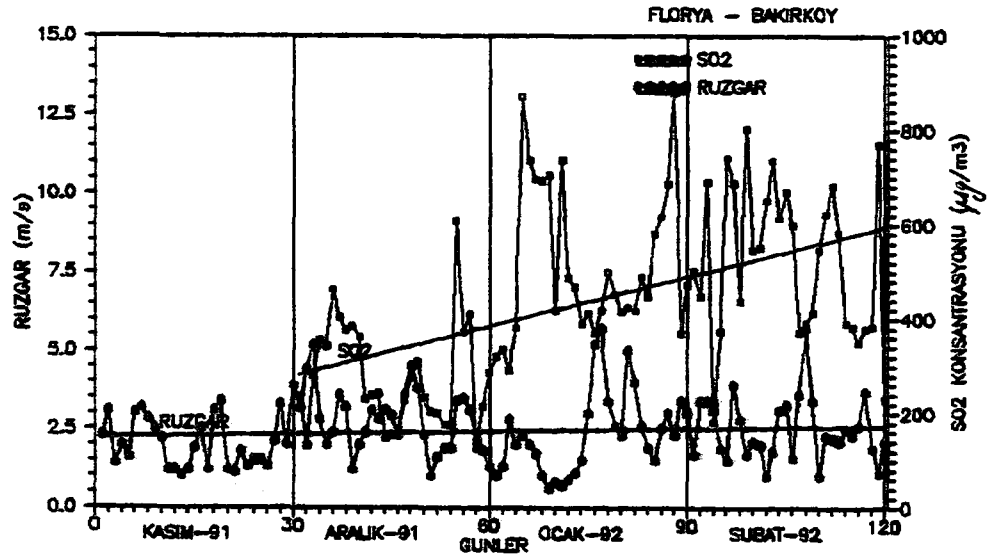
(Şekil 4.11 ve 4.12)'de rüzgar şiddeti arttıkça genel olarak kirletici konsantrasyonlarının azaldığı ancak bazı durumlarda hafif artışlar olduğu görülmektedir. Bu artışın nedenini ölçüm yapılan bölgeye başka kirlilik kaynaklarından bir taşınım olduğu şeklinde açıklamak mümkündür. Korelasyon katsayılarının incelenmesinden (Tablo 4.2 ve 4.3)'den görüleceği gibi kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasında en büyük korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Özellikle A.P.M ile rüzgar şiddeti arasında $r = -0.74$ 'e varan ters yönlü bir ilişki bulunmuştur.

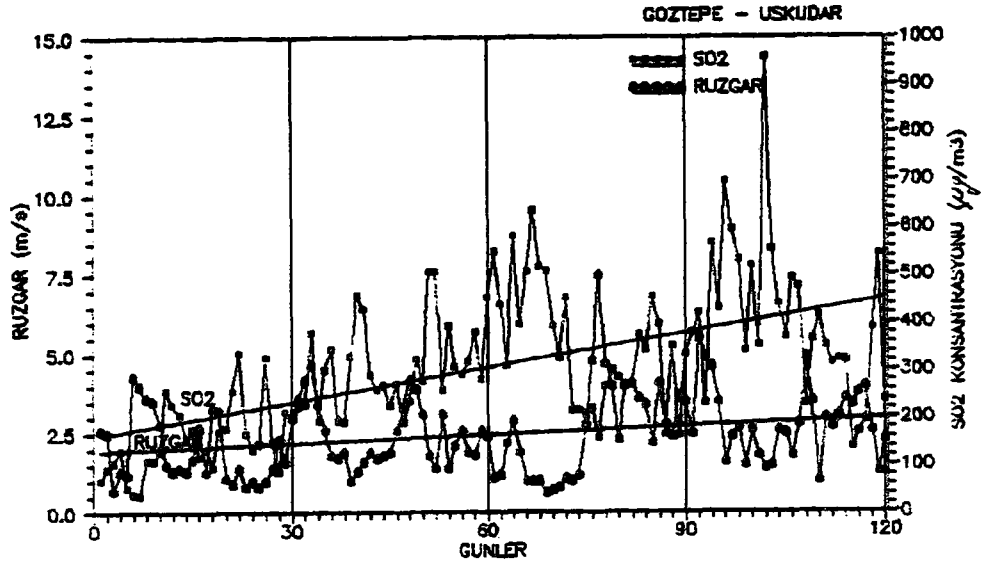
Yönlere göre yapılan sınıflandırmada; SO_2 için Üsküdar, Fatih ve Kadıköy'de en yüksek değerler "Doğulu" , Şişli için "Güney Doğulu" , Bakırköy için "Batılı" yönlerde görülmüştür. En düşük değerler ise; Şişli ve Üsküdar için "Güneyli", Fatih ve Bakırköy için "Kuzey Doğulu" ve Kadıköy için "Güney Doğulu" yönlerde görülmüştür.

A.P.M için en yüksek değerler; Şişli ve Bakırköy için "Batılı", Kadıköy için "Güney Batılı" , Üsküdar için "Kuzey Batılı" ve Fatih için "Doğulu" yönlerde görülmüştür. En düşük değerler ise; Şişli, Fatih ve Kadıköy için "Kuzey Batılı", Üsküdar ve Bakırköy için "Güneyli" yönlerde görülmüştür.

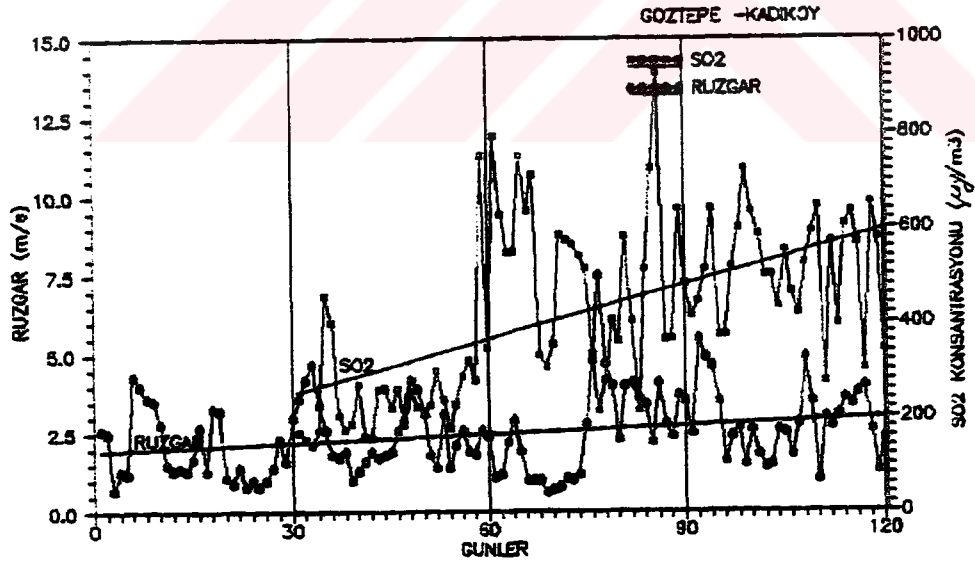
4.2.5. YAĞIŞ KİRLİLİK İLİŞKİSİ

Yağışla ilgili yapılan sınıflandırmada Fatih, Şişli ve Bakırköy için Florya; Üsküdar ve Kadıköy için Göztepe Meteoroloji İstasyonu günlük toplam yağış verileri kullanılmıştır. Sınıflandırmada yağışlı ve yağışsız günler (var/yok) şeklinde ifade edilmiştir ve 1mm'nin altında kalan değerler yağış yok sınıfına dahil edilmiştir. Buna göre tüm bölgelerin ayrı ayrı kirletici konsantrasyonlarının ortalamaları alınarak

ŞEKİL.4.11.(a) SO₂ - RÜZGAR DeğişimiŞEKİL.4.11.(b) SO₂ - RÜZGAR DeğişimiŞEKİL.4.11.(c) SO₂ - RÜZGAR DeğişimiŞEKİL.4.11. Bölgelerin SO₂ - RÜZGAR Değişimi

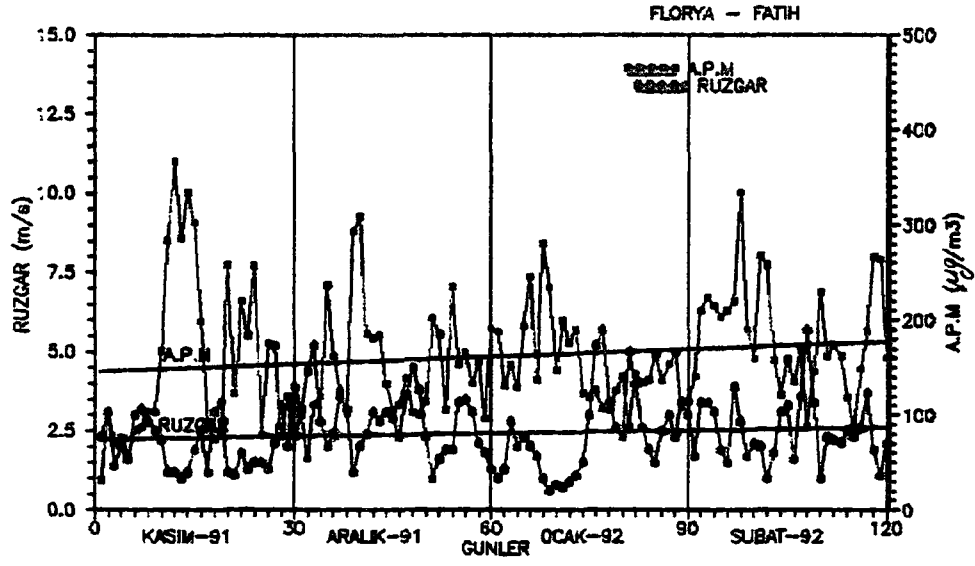


ŞEKİL.4.11.(d) SO₂ - RÜZGAR Değişimi

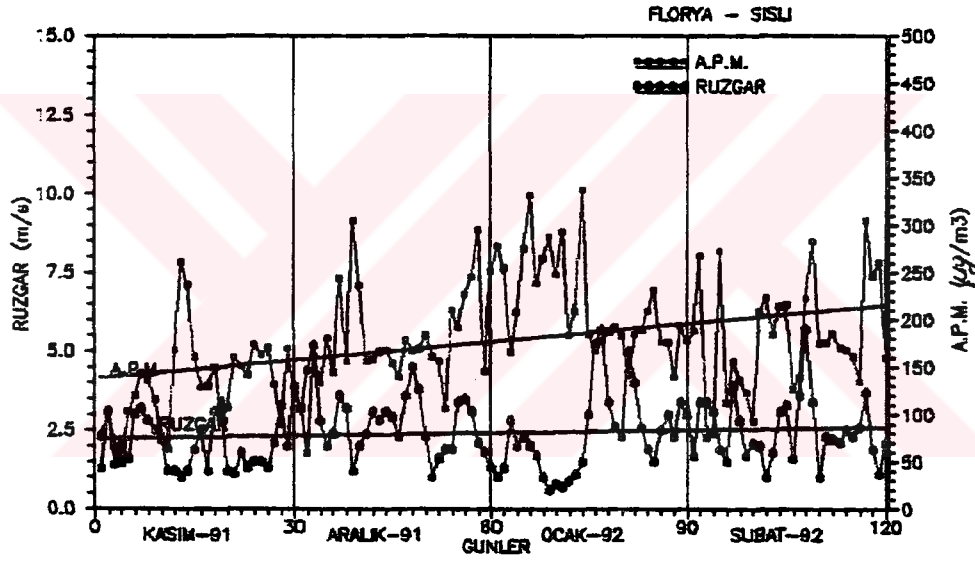


ŞEKİL.4.11.(e) SO₂ - RÜZGAR Değişimi

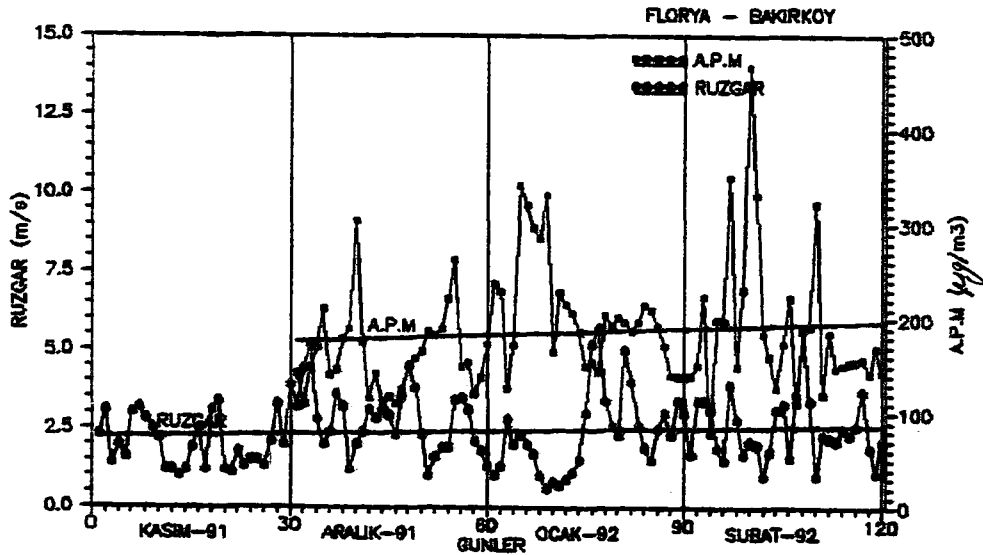
ŞEKİL.4.11. Bölgelerin SO₂ - RÜZGAR Değişimi (Devam)



ŞEKİL.4.12.(a) A.P.M - RÜZGAR Değişimi

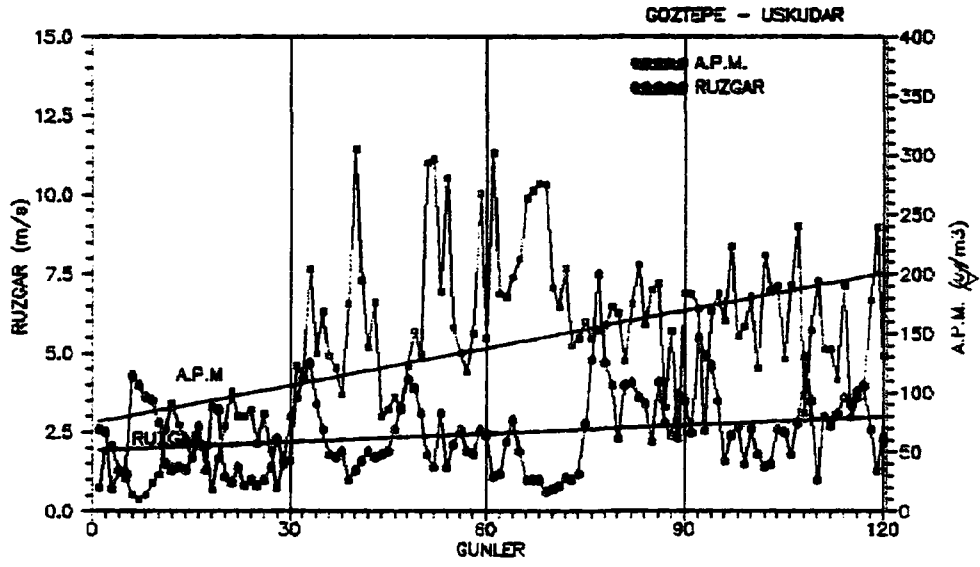


ŞEKİL.4.12.(b) A.P.M - RÜZGAR Değişimi

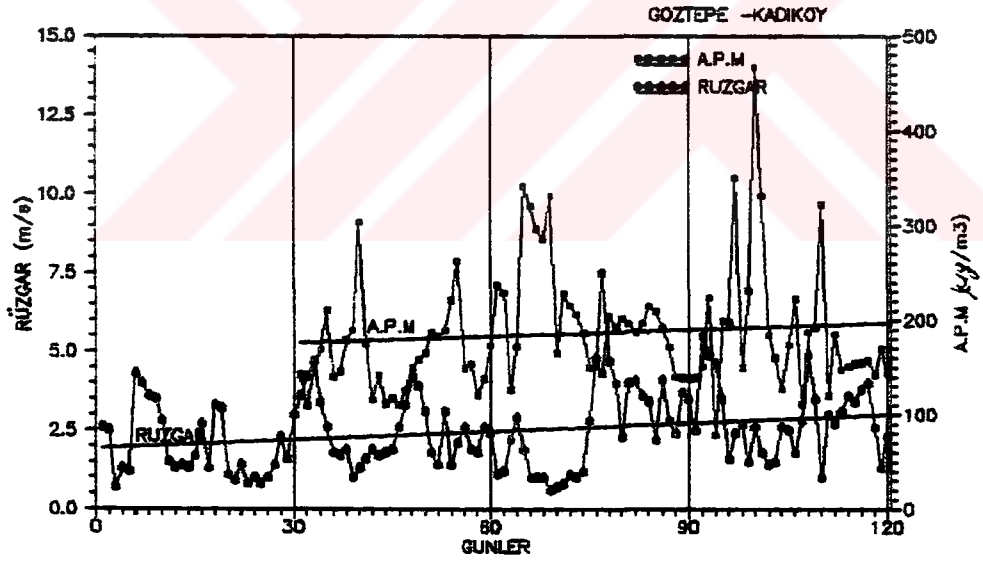


ŞEKİL.4.12.(c) A.P.M - RÜZGAR Değişimi

ŞEKİL.4.12. Bölgelerin A.P.M - RÜZGAR Değişimi



ŞEKİL.4.12.(d) A.P.M - RÜZGAR Değişimi



ŞEKİL.4.12.(e) A.P.M - RÜZGAR Değişimi

ŞEKİL.4.12. Bölgelerin A.P.M - RÜZGAR Değişimi (Devam)

TABLO.4.6. Yağış Durumuna Göre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Olarak Kirletici Konsantrasyonlar ve (%) Olarak Farklar.

BAKIRKÖY	VAR	YOK	FARK				
SO ₂	351.4	504.9	0.44				
A.P.M	163.1	201.3	0.23				
KADIKÖY	VAR	YOK	FARK	SİŞLİ	VAR	YOK	FARK
SO ₂	390.7	464.6	0.19	SO ₂	309.2	353.4	0.14
A.P.M	147.0	175.1	0.19	A.P.M	172.4	180.5	0.05
ÜSKÜDAR	VAR	YOK	FARK	FATİH	VAR	YOK	FARK
SO ₂	284.8	334.1	0.17	SO ₂	268.0	340.5	0.27
A.P.M	136.2	140.7	0.03	A.P.M	147.4	173.8	0.18

farklar % olarak gösterilmiştir (Tablo 4.6).

$$FARK = \frac{|x_1 - x_2|}{x_2} \quad (4.1)$$

x_1 : Yağış yokkenki değer

x_2 : Yağış varkenki değer

Tabloyu incelediğimizde: yağışsız günlerdeki konsantrasyonların yağışlı günlerdekinden daha yüksek olduğunu görebiliriz. Bölgelere göre değişik oranlarda da olsa yağışın kirleticiler üzerinde azaltıcı bir etki yaptığını söyleyebiliriz. Özellikle Bakırköy bölgesi için SO_2 için %44'lük ve A.P.M için %23'lük farklar Florya meteoroloji istasyonu ile olan yakınlığını gözönüne aldığımızda çok önemli bir değerdir.

4.2.6. ENVERSİYON VE KİRLİLİK İLİŞKİSİ

Atmosferde kirlilik konsantrasyonunun artmasına neden olan en önemli meteorolojik olay olarak enversiyonu göstermek mümkündür.

Atmosferde, genel olarak yükseklikle havanın sıcaklığı azalır. Yükseklikle sıcaklık artışı olan tabakalara "enversiyon" tabakası ya da sıcaklık terslenmesi denmektedir. Sıcaklık artışının son bulduğu yer enversiyon tepesidir. Enversiyonlar, genellikle bulut tepelerinin, toz, pus, sis, ve dikine hareketlerin son bulduğu kararlı tabakalardır. Enversiyonları sebeplerine göre üç ana gruba ayırmak mümkündür.

1. Termik kaynaklı enversiyon

- a) Zeminde (yerde) radyasyon veya kondüksiyon neticesinde alt tabakaların soğuması.
- b) Yüksek seviyelerde havanın radyasyonla soğuması.

2. Mekanik kaynaklı enversiyon

- a) Türbülans veya konveksiyon
- b) Subsidans

3. Cephesel enversiyon.

Bu enversiyon tiplerinden ilki, yani alt tabakaların soğuması sonucu oluşan enversiyon, gerektiği kadar ısınamayan veya fazla enerji kaybettiği için çok soğuyan yüzeyler üzerinde görülür. Yüksek seviyelerde meydana gelen termik kaynaklı enversiyon sıklıkla oluşmaz ve önemsizdir.

Mekanik kaynaklı enversiyon, daima zeminden belli bir yükseklikte meydana gelir. Türbülans ve konveksiyon hareketleri, meydana geldikleri tabakalarda atmosferi karıştırırlar. Atmosferde daima bu karışma olayının sona erdiği bir yükseklik sınırı vardır. Türbülans ve konveksiyonla ilgili enversiyon bu seviyede meydana gelir. Bu seviyenin altında bulunan karışmış havanın sıcaklığı, türbülans ve konveksiyon hareketleri sırasında oluşan adyabatik olaylar sonucu değişikliğe uğrar. Alt seviyeler eskiden olduğundan daha sıcak, üst seviyeler ise eskisine nazaran daha soğuk bir hal alır. Böylece bu iki tabaka arasında enversiyon oluşur. Mekanik kaynaklı ikinci tip enversiyon tipi subsidans sonucu oluşandır. Subsidans atmosferde meydana gelen büyük hava kütlelerinin çökmesine denir. Bu hareketin hızı çok yavaş (saatte 150 – 300m) olduğu halde neticeleri önemlidir. Sonuçta alçalan hava adyabatik olarak ısınır, aynı zamanda bağıl nem azalır, bulutlar kaybolur ve yağış olanağı ortadan kalkar. Atmosferde, özellikle antisiklonların uzun zaman kaldıkları alanlarda bu tip enversiyonlara rastlanmaktadır.

Cephesel kaynaklı enversiyon, cephelere bağlı olarak oluşur. Düşey yönde özgül nemin artması ile diğer enversiyon tiplerinden ayrılır [31].

Enversiyonla ilgili üç değişik sınıflandırma yapılmıştır.

1. Enversiyon Tabanına göre: Tabanı yerden başlayan enversiyon (yüzey enversiyonu) durumunda tabanı yerden yukarıda başlayan (yükselteli enversiyon) durumuna nazaran daha düşük kirletici konsantrasyonları gözlenmiştir. İkisi arasındaki fark SO_2 için %22, A.P.M için %14' tür (Tablo 4.7). Bunun nedenini bazı kirletici kaynaklarının yüzey enversiyonu tavan yüksekliğinde veya daha yukarısında olmasına bağlayabiliriz.

TABLO.4.7. Enversiyon Tabanına Göre Kirletici Değerleri

	YÜZEY ENVERSİYONU	YÜKSELTİLİ ENVERSİYON
SO ₂ (µg/m ³)	321.9	394.2
A.P.M(µg/m ³)	154.1	175.4

2. Gece ve Gündüz Enversiyonu: Gece ve gündüz yükseltili enversiyon varken kirletici konsantrasyonlarında önemli bir değişiklik olmamıştır. Geceleyin, gündüzki yüzey enversiyonuna nazaran daha yüksek kirletici değerleri oluşmuştur (Tablo 4.8). Bunun nedeni, özellikle konutlardan atmosfere atılan kirleticilerin akşam saatlerinden itibaren artmış olmasıdır.

TABLO.4.8. Gece ve Gündüz Enversiyonuna Göre Kirlilik Değerleri (µg/m³) Olarak.

ENVERSİYON TÜRÜ		YÜZEY ENV.	YÜKSELTİLİ ENV.
SO ₂	(00Z)	331.6	364.6
	(12Z)	182.5	371.1
A.P.M	(00Z)	157.3	168.9
	(12Z)	108.8	168.1

3. **Enversiyon Kalınlığı:** Yüzey enversiyonuna göre yapılan kalınlık sınıflandırmasında 0 – 110m arasında 0 – 360m arasındakine nazaran daha düşük değerler oluşmuştur (Tablo 4.9). Bu durum, kalınlığın artmasıyla hava hacminin artmasına dolayısıyla da konsantrasyonun düşmesiyle açıklanabilir. Diğer bir deyişle konsantrasyon; birim hacimdeki madde miktarıdır ve kalınlığın artmasıyla hacmin de artması sonucu konsantrasyon düşmektedir.

$$C = \frac{M}{V} \quad (4.2)$$

C : Konsantrasyon

M : Madde miktarı

V : Hacim

TABLO.4.9. Yüzey Enversiyonun Kalınlığına Göre Kirlilik Değerleri.

YÜKSEKLİK	0- 110 m	0- 360 m
SO ₂ (µg/m ³)	339.9	271.7
APM (µg/m ³)	158.6	140.3

Yaptığımız çalışmada elde edilen ilginç bir sonuç; yükselti enversiyonun kirlleticiler ile sıcaklık, basınç ve nem arasında beklenenin aksine ilişkiler çıkarmasıdır. Ocak ayı içerisinde sıcaklık ve basıncın kirlleticilerle olan ilişkisinin umulanın aksine çıkması bu ayda sıkça görülen yükselti enversiyondur.

4.2.7. KARARSIZLIK İNDEKSLERİ İLE KİRLİLİK İLİŞKİSİ

Atmosferde kirleticilerin dağılması veya birikmesi hava kütlesinin kararlı yada kararsız oluşuyla yakından ilgilidir. Herhangibir hava kütlesinin kararlılığı, hava kütlesi içindeki taneciklerin düşey hareketine çevresinin karşı koyması şeklinde

tanımlanır. Hareket eden bir hava kütlesi hareketsiz hale dönebiliyorsa buna "kararlılık", dönemiyorsa "kararsızlık" denir [32].

Kararlılık veya kararsızlık belirli şartlarda azalabilir ya da artabilir. Kararlılığı artıran şartlar :

1. Aşağı seviyelerde soğuma veya yukarı seviyelerde ısınma,
2. Aşağı seviyelerde soğuk hava adveksiyonu veya yukarı seviyelerde sıcak adveksiyon.
3. Bağıl nem miktarının azalması.
4. Çökme nedeni ile sıcaklık artışı ve nem azalması.

Kararsızlığı artıran şartlar :

1. Aşağı seviyelerde ısınma veya yukarı seviyelerde soğuma
2. Aşağı seviyelerde sıcak, yukarı seviyelerde soğuk hava adveksiyonu.
3. Nem miktarının artması.
4. Havanın düşey olarak yükseltilmesi.

Meteorolojide, kararlı-kararsız hava kütlelerinin belirlenmesinde birtakım indeksler kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmada Showalter İndeksi (SSI), Toplam Toplamlar İndeksi (TTI) ve K-İndeksi ile kirletici konsantrasyonları arasında ilişki araştırılmıştır. Bunun için adı geçen indekslerin kritik değerlerine göre kararlı ve kararsız günlerin kirletici ortalamaları (tüm bölgelerin) alınarak bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 4.10). Bu tabloya göre; kirletici konsantrasyonları, indekslerin kararlılığı gösterdiği günlerde kararsız günlere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Özellikle SSI ve KI indekslerine göre sırasıyla SO_2 için %22 ve %34'lük farklar ve A.P.M için %47 ve %35'lik farklar dikkat çekicidir. Toplam Toplamlar

İndeksine göre farklar %08 ve %02 gibi düşük çıkmıştır.

TABLO.4.10. İndekslerin Kararlı-Kararsız Olduğu Günlere Göre Ortalama Kirletici Değerleri , ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Olarak.

	SSI		TTI		KI	
	SO ₂	APM	SO ₂	APM	SO ₂	APM
KARARLI	262.0	165.1	345.3	159.5	348.9	161.9
KARARSIZ	214.0	112.3	319.1	155.6	259.2	119.1
FARK	0.22	0.47	0.08	0.02	0.34	0.35

Diğer taraftan indeks değerleri ile ortalama (Tüm bölgelerin) kirletici değerleri arasında dört aylık ve aylık rank korelasyonu tatbik edilmiştir (Tablo 4.11 ve 4.12). Dört aylık korelasyon sonuçlarına göre kirleticiler ile SSI indeksi arasında aynı yönlü, TTI ve KI indeksleriyle ters yönlü ilişkiler bulunmuştur. Yani SSI değerleri arttıkça kirletici konsantrasyonu artmakta azalırken azalmaktadır. TTI ve KI değerleri artarken kirletici konsantrasyonu azalmakta, azalırken artmaktadır. Bu sonuç normal bir sonuçtur. Çünkü artan SSI değerleri kararlılığı, artan TTI ve KI değerleri kararsızlığı ifade etmektedir. Aylık korelasyonlarda Ocak ayı hariç benzer fakat farklı şiddette katsayılar hesaplanmıştır. Ocak ayında yükselteli enversiyona bağlı olarak ilişkiler tersine dönmektedir.

TABLO.4.11. İndeks Değerleri İle Kirleticiler
Arasında Aylık Korelasyonlar*.

	KASIM		ARALIK	
	SO ₂	A.P.M	SO ₂	A.P.M
SSI (00Z)	0.4346	0.4793	0.4931	0.3983
SSI (12Z)	0.4300	0.5227	0.5475	0.5194
TTI (00Z)	-0.3508	-0.4187	-0.4248	-0.3222
TTI (12Z)	-0.1429	-0.2190	-0.4686	-0.4261
KI (00Z)	-0.2800	-0.3774	-0.4857	-0.3731
KI (12Z)	-0.1658	-0.1720	-0.5491	-0.4333

	OCAK		ŞUBAT	
	SO ₂	A.P.M	SO ₂	A.P.M
SSI (00Z)	-0.4744	-0.5251	0.1180	0.0739
SSI (12Z)	-0.3579	-0.4275	-0.0335	-0.1093
TTI (00Z)	0.2400	0.2049	-0.2919	-0.1316
TTI (12Z)	0.1818	0.1069	-0.0558	0.0846
KI (00Z)	0.3226	0.3053	-0.2660	-0.0693
KI (12Z)	0.2794	0.1419	-0.1277	0.1538

*: Tüm Bölgelerin Ortalaması

**TABLO.4.12. Dört Aylık (İndeks-Kirlilik)
Korelasyonu.**

	SO ₂	A.P.M
SSI (00Z)	0.4334	0.3660
SSI (12Z)	0.4291	0.3559
TTI (00Z)	-0.3222	-0.2759
TTI (12Z)	-0.3214	-0.2644
KI (00Z)	-0.3894	-0.3313
KI (12Z)	-0.3755	-0.2989

4.3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul'da seçilen beş bölgede (Fatih, Şişli, Üsküdar, Bakırköy ve Kadıköy) ölçülen günlük kükürtdioksit (SO_2) ve Asılı Partiküler Madde (APM) konsantrasyonlarının kış aylarında (Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat), meteorolojik parametreler (sıcaklık, basınç, nem, rüzgar, yağış, enversiyon ve kararsızlık indeksleri) ile olan ilişkileri araştırılmıştır.

İlişkiler araştırılırken üç yöntem kullanılmıştır. Kirleticiler ile bazı meteorolojik parametrelerin birlikte değişimlerini gösteren grafikler çizilmiş, bazı meteorolojik parametrelerle ilgili sınıflandırmalar yapılmış, dört aylık ve aylık Spearman Rank Korelasyonu uygulanmıştır. Korelasyon sonuçları tablolar halinde gösterilmiştir.

Çalışmanın başlangıç aşamasında verilerin normal dağılıma uygunluğu araştırılmıştır. Dört aylık verilerin (rüzgar hariç) normal dağılıma uydukları, aylık verilerin kısmen uydukları ki-kare testi ile tespit edilmiştir. Ancak bu sonuçlar daha fazla detaya girmemek için burada gösterilmemiştir. Homojenliği sağlamak için bütün verilere rank (sıra) korelasyonu uygulanmıştır.

Çalışmanın sonuçları:

1- Kirleticiler (SO_2 ve APM) ile sıcaklık arasında ters yönlü bir ilişki olduğu yani kirletici konsantrasyonlarının sıcaklık artarken azaldığı, sıcaklık azalırken arttığı gözlenmiştir. Ancak bütün bölgelerde Ocak ayı içerisinde bu ilişkinin bozulduğu aynı yönlü bir ilişkiye dönüştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin bu ayda sıkça görülen yükselteli enversiyon olduğu anlaşılmıştır.

2- Kirleticiler ile basınç arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu, yani; kirletici konsantrasyonlarının basınç arttıkça arttığı, basınç azaldıkça azaldığı görülmüştür. Kirleticiler ile basınç arasındaki bu ilişkinin de yükselteli enversiyon durumunda bozulduğu ve tersine döndüğü gözlenmiştir. Tüm bölgelerin kirlilik değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen ortalama kirlilik değerleri sinoptik yer kartlarının incelenmesiyle tespit edilen hakim basınç sistemlerine göre sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre; şehir üzerinde Yüksek Basınç sistemi hakimken yüksek, Alçak Basınç sistemi hakimken düşük ve hangi sistemin etkin olduğunun belli olmadığı durumlarda bu iki değer arasında bir değer çıkmıştır.

3- Kirleticiler ile nemin birlikte değişimlerini gösteren grafiklerden aralarında ters fakat zayıf bir ilişkinin varlığı görülmüştür. Ancak dört aylık peryotta hesaplanan korelasyonlardan nem ile kirleticiler arasında belirgin bir ilişki bulunamamıştır. Öte yandan aylık korelasyonlarda Kasım ayında Üsküdar-Göztepe için $r_{SO_2} = -0.42$ ve $r_{APM} = -0.34$ gibi yüksek sayılabilecek korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Buna karşılık Fatih, Şişli-Florya ve Kadıköy-Göztepe için Ocak ayında sıcaklık ve basınçta olduğu gibi yükselteli enversiyona bağlı bozulmalar görülmüştür.

4- Kirleticiler ile rüzgar arasında bölgelere göre çizilen grafiklerin incelenmesinden rüzgar şiddeti arttıkça kirleticici konsantrasyonlarının genel olarak azaldığı, rüzgar şiddeti azaldıkça arttığı görülmüştür. Ancak bazen rüzgar şiddeti ile konsantrasyonun arttığı görülmüştür. Bu durum, ölçüm yapılan noktaya başka kaynaklarından kirleticici taşınmasıyla açıklanabilir. Rüzgar şiddeti ile kirleticiler arasında dört aylık ve aylık peryotlarda hesaplanan korelasyonlarda özellikle A.P.M ile ters yönlü kuvvetli ilişkiler bulunmuştur.

Günlük hakim rüzgar yönleri ve persistansları (Sebatlığı) hesaplanıp, %67 persistansın yukarısında kalan değerler dikkate alınarak yönlere göre kirlilik konsantrasyonu sınıflandırma yapılmıştır. En yüksek SO_2 değerleri; Fatih, Üsküdar ve Kadıköy'de "Doğulu", Şişli için "Güney Doğulu" ve Bakırköy için "Batılı" yönlerde görülmüştür. En düşük SO_2 değerleri ise; Şişli ve Üsküdar için "Güneyli", Fatih ve Bakırköy için "Kuzey Doğulu", ve Kadıköy için "Güney Doğulu" yönlerde görülmüştür.

A.P.M için en yüksek değerler; Şişli ve Bakırköy için "Batılı", Kadıköy için "Güney Batılı", Üsküdar için "Kuzey Batılı" ve Fatih için "Doğulu" yönlerde görülmüştür. En düşük değerler ise; Şişli, Fatih ve Kadıköy için "Kuzey Batılı", Üsküdar ve Bakırköy için "Güneyli" yönlerde görülmüştür.

Yönlere göre yapılan sınıflandırmada kararlı rüzgarlar eserken yüksek değerlerin görülmesinin nedeni olarak başka bölgelerden bir taşınım olduğu düşünülmektedir.

5- Yağışla kirleticiler arasında, yağışlı ve yağışsız günlere göre yapılan sınıflandırmada yağışın kirleticiler üzerinde azaltıcı (temizleyici) bir etki yaptığı tespit edilmiştir. Özellikle Bakırköy için elde edilen SO_2 için %44'lük ve A.P.M

için %23'lük farklar istasyonların yakınlığı dikkate alındığında önemli bir sonuçtur.

6- Enversiyonla Kirleticiler arasında taban yüksekliklerine göre yapılan sınıflandırmada tabanı zeminden başlayan enversiyon (yüzey enversiyonu) durumunda, tabanı yerden yukarda başlayan enversiyon (yükseltili enversiyon) durumuna nazaran daha düşük kirletici konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu ikisi arasındaki fark SO_2 için %22 A.P.M için %14 olarak hesaplanmıştır. Gece ve gündüz enversiyonuna göre; gece enversiyonlarında gündüzkinden daha yüksek kirletici değerleri bulunmuştur. Yüzey enversiyonunun kalınlığına göre yapılan değerlendirmede (0 – 110)m kalınlıktaki kirletici konsantrasyonun (0 – 360)m kalınlıktakinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada enversiyonla ilgili tespit edilen önemli bir sonuç, yükseltili enversiyonun kirleticiler ile meteorolojik parametrelerden sıcaklık, basınç, nem ve kararsızlık indeksleri arasındaki ilişkilerin bozulmasına neden olmasıdır.

7- Kararsızlık indeksleri ile ortalama kirlilik değerleri arasında indekslerin kritik değerleri göz önüne alınarak yapılan sınıflandırmada SSI ve KI indekslerinin kararlı kararsız günlerine göre kirletici konsantrasyonları arasında önemli farklar oluşmuştur. SSI'da kararlı günlerde kararsız günlere nazaran SO_2 için %22, A.P.M için %47 daha fazla konsantrasyon ölçülmüştür. Yine KI'nin kararlı günlerinde kararsız günlere göre SO_2 için %34 ve A.P.M için %35 daha fazla konsantrasyon değerleri bulunmuştur. Diğer taraftan yapılan dört aylık ve aylık korelasyonlarda ortalama kirletici değerleri ile SSI arasında pozitif, TTI ve KI arasında negatif korelasyonlar hesaplanmıştır. Bu sonuçlar normaldir çünkü artan SSI değerleri kararlılığı, azalan SSI değerleri kararsızlığı ifade etmektedir. Aynı şekilde artan TTI ve KI değerleri kararsızlığı azalan TTI ve KI değerleri kararlılığı ifade etmektedir. Ancak aylık korelasyonlarda Ocak ayında yükseltili enversiyona bağlı olarak bu ilişkilerin tersine döndüğü görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] PETER, A. SCHEFF, Quantitative Assesment of Chicago Air Pollution Through Analysis of Covariance. *Atm. Env.* Vol.18, No:8, pp:1623-1631, (1984).
- [2] KAZUTOSHI, S. and HEDEMI K., Behavior of Sulfate, Nitrate and Other Pollutants in the Long-range Transport of Air Pollution. *Atm. Env.* Vol.22, No:7, pp.1301- 1308, (1988).
- [3] MUNN R.E.,A Study of Suspended Particulate Air Pollution at Two Location in Toronto, Canada. *Atm. Env. Pergamon.* Vol.7, pp.311-318. (1973).
- [4] KURITA H., Meteorological Conditions for Long-Range Transport Under Gradient Winds. *Atm.Env.Vol.20, No:4, pp.687-694.* (1986).
- [5] SUDBURY A., Pollutant Concentration Downwind of A Polygonal Sourc. *Atm. Env.* Vol.22 No:5 pp.1019- 1021, (1988).
- [6] SCHUMAN T., ZINDER B., and WOLDVEGEL A., Aerosol and Hydrometeor Concentrations and Their Chemical Composition During Winter Precipitation Along A Mountain Slope-I.Temporal Evolution of the Aerosol, Microphysical and Meteorological Conditions. *Atm. Env.* Vol.22 No:7 pp.1443-1459, (1988).
- [7] BACON J.W., and HENDERSON S. A., The Application of A Stochastic Wind Model To The Meteorology of North - West England. *Air Pollution Modelling and Its Application-I*, Plenum Press, New York, (1981).
- [8] O'NEIL W. D., Time Series Modelling of Chicago Particulates. *Journal of The Env. Eng. Division* Vol.5, No:EE5, Oct, (1979).
- [9] SHEN T.T. and TOFFLEMIRE JAMES T., Air Pollution Aspects of Land Disposal of Toxic Wastes. *Journal of The Env. Eng. Division*, Vol.106, No:EE1., Feb., (1980).
- [10] TEBBENS B.D., Investigation Air Quality in İstanbul. *Bulletin of Technical Univ. Of İstanbul.* Vol.22, pp.55-68, (1971).
- [11] CCMS/TÜBİTAK, Air Pollution. Appendix-Assesment of Air Quality in Ankara, (1972).

- [12] İNEL Y., SEBUKTEKİN V., İstanbul'da Hava İle Taşınan Kurşun Kirliliği. B.Ü. Dergisi V. 111, sh.49-65, İstanbul, (1975).
- [13] AKÇETİN S., Aerosollerdeki Elementlerde Yeni Sınıflandırma Metodları. Doçentlik Tezi. İ.T.Ü Kimya Fakültesi., (1979).
- [14] ŞEN O., Variation of Aerosols at İzmir, Turkey Determined by Neutron Activation Analysis. Atm. Env.Vol.22 No:4 pp.795-801. (1988).
- [15] İNCECİK S.,İstanbul'un Haliç Bölgesinde Hava Kirliliği İle İlgili Meteorolojik Parametrelerin İncelenmesi. Doktora Tezi. İ.T.Ü., (1983).
- [16] AYALP A., İstanbul'da Atmosfer Kirlenmesi. Doktora Tezi İ.Ü., (1976).
- [17] İŞLİ İ., Statistical Analyses of Air Pollution and Meteorological Data In İstanbul. B.Ü., (1990).
- [18] KIRIMHAN S., II. Hava Kirliliğinde Meteorolojik Parametrelerin Değerlendirilmesi: Erzurum Örneği., Ulusal Meteoroloji Kongresi sh.1-14, İstanbul, (1991).
- [19] D.İ.E. İstanbul Şubesi, (1990).
- [20] KARAYALÇIN Sistem Mühendislik A.Ş., İstanbul'un Enerji İhtiyacı Projesi, İstanbul, (1988).
- [21] ŞEN O., Ayrımsız Nötron Aktivasyon Analizi Sonuçlarını Kullanarak Geliştirilen Hava Kirliliği Analiz Yönteminin İzmir İline Uygulanması. İ.T.Ü Doktora Tezi, (1985).
- [22] SEINFELD J.H., Air Pollution Physical And Chemical Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, U.S.A, (1975).
- [23] BYERS H.R.,Sc. D., General Meteorology. Mc Graw-Hill Book Company, U.S.A, (1974).
- [24] ALP K.,EROĞLU V., BORAT O., İstanbul'da Hava Kirlenmesi ve Önleme Tedbirlerinin Değerlendirilmesi. Hava Kirliliği Sempozyumu. İstanbul, (1993).
- [25] B.P. Petrolleri A.Ş. (Bölge Müd. Verileri), İstanbul, (1990).
- [26] ACADEMICS PRESS, INC., Fundamentals of Air Pollution Second Edition., New York., (1984).

- [27] STOKER H.S. and SEAGER S.L., Environmental Chemistry: Air And Water Pollution, Scot, Foresman and Company., U.S.A., (1972).
- [28] ASLANTÜRK F., Hava Kirliliği Yönünden İstanbul'da 1987-88 Yılları SO₂ ve A.P.M Kirliliğinin İzlenmesi. Doktora Tezi., İ.Ü. Halk Sağlığı An. Bil. Dal., (1989).
- [29] GÜRTAN K., İstatistik ve Araştırma Metodları, İ.Ü. Yayınları No: 96. İstanbul, (1979).
- [30] NEAVE H.R. and WORTHINGTON P.L., Distribution-Free Test London, (1988).
- [31] ASLAN Z., Konvektif Bulutlar ve Showalter S. Doge İndekslerine Göre Kararsızlık Tahmini. Yük. Lisans Tezi İ.T.Ü., (1981).
- [32] RANDY A.P., A Review of Static Stability Indices Related Thermodynamic Parameters. Illionis State Water Survey Division Climate and Meteorology Section. U.S.A., (1988).
- [33] DONN WILLAM L., Meteorology. McGraw-Hill Book Company., U.S.A., (1965).

ÖZGEÇMİŞ

Ferhat ŞAHİN, 1968 yılında Giresun ili Bulancak Kazasında doğdu. 1985 yılında Bulancak Ticaret Lisesini Bitirdi. 1990 yılında İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümünden iyi derece ile Mezun Oldu. Aynı Yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Meteoroloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa Başladı.

