

ANKARA'DA HAVA KİRLİLİĞİ EPİSODLARI ESNASINDA  
ATMOSFERİK ŞARTLARIN ANALİZİ

100674

DOKTORA TEZİ  
Y.Müh. Mustafa ŞAHİN  
(1190D006)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Aralık 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selahattin İNCECİK

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Olcay TUNAY (İ.T.Ü)

Prof. Dr. Orhan YENİGÜN (B.Ü.)

Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK (Y.T.Ü)

Doç. Dr. Mehmet KARACA (İ.T.Ü)

HAZİRAN 1999

## ÖNSÖZ

Hava kalitesine yönelik sınıflandırmalar içerisinde episod kriteri önde gelmektedir. Şehirsel hava kirliliği olaylarının incelenmesinde episod olayları ve bunların meydana gelmesine neden olan meteorolojik koşulların belirlenerek analiz edilmesi hava kirliliği ile ilgili önlemlerin alınmasında önemli yararlar sağlayacaktır. Bu çalışmada, Ankara’da 1989-1994 yılları arasındaki kış mevsimlerinde meydana gelmiş olan SO<sub>2</sub> ve PM episodları tespit edilmiş ve meteorolojik parametrelerle arasındaki etkileşimler analiz edilmiştir.

Bu çalışmayı yürüten Sayın Hocam Prof. Dr. Selahattin İNCECİK’e ve bu çalışmaya yapmış oldukları katkılarından dolayı Dr. Ahmet YILDIRIM, Dr. Ali DENİZ ve Burak BEYHAN’a teşekkürü bir borç bilirim. Jüri üyelerinin değerli katkılarına teşekkür ederim. Ayrıca, Çevre Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürü Sayın Doç. Dr. Yavuz CABBAR’a, Genel Müdür Yardımcısı Sayın Mehmet KARAOĞLAN’a, Daire Başkanı Sayın Ertuğrul ALPARMAN’a ve mesai arkadaşlarıma gösterdikleri iyi niyet, hoşgörü ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince büyük bir anlayış göstermiş olan eşim Şenel ve kızlarım Zeynep Merve ve Büşra Ebru’ya teşekkür ederim.

Haziran 1999

Mustafa ŞAHİN

## İÇİNDEKİLER

|                                                                     | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ                                                               | ii              |
| İÇİNDEKİLER                                                         | iii             |
| TABLO LİSTESİ                                                       | v               |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                       | vii             |
| SEMBOL LİSTESİ                                                      | ix              |
| ÖZET                                                                | x               |
| SUMMARY                                                             | xiii            |
| 1. GİRİŞ VE AMAÇ                                                    | 1               |
| 2. BÖLGENİN KONUMU VE GENEL İKLİM ÖZELLİKLERİ                       | 8               |
| 2.1 Ankara'nın Konumu ve Topografik Özellikleri                     | 8               |
| 2.2 Nüfus                                                           | 8               |
| 2.3 Genel İklim Özellikleri                                         | 11              |
| 2.4 Emisyon Kaynakları                                              | 14              |
| 2.4.1 Konutlar                                                      | 14              |
| 2.4.2 Endüstri tesisleri                                            | 17              |
| 2.4.3 Motorlu araçlar                                               | 18              |
| 2.4.4 Toplam emisyon miktarı                                        | 21              |
| 3. HAVA KİRLİLİĞİ EPİSODLARININ SINIFLANDIRILMASI                   | 23              |
| 3.1 Giriş                                                           | 23              |
| 3.2 Data                                                            | 24              |
| 3.3 Episodların Tespiti ve Sınıflandırılması                        | 26              |
| 3.4 SO <sub>2</sub> ve PM Episodlarının Sınıflandırılması           | 36              |
| 4. METEOROLOJİK PARAMETRELER ve HAVA KALİTESİ GÖZLEMLERİNİN ANALİZİ | 37              |
| 4.1. Meteorolojik Veriler                                           | 37              |
| 4.2. Metodoloji                                                     | 38              |
| 4.3. 850 hPa Sıcaklığı                                              | 39              |
| 4.4. Atmosferin Düşey Sıcaklık ve Nem Dağılım Profilleri            | 42              |
| 4.5. Sıcaklık Enverziyonu                                           | 44              |
| 4.6. Vortisiti                                                      | 52              |
| 4.6.1 Tanım                                                         | 53              |
| 4.6.2 Hesaplama metodu                                              | 56              |
| 4.7. Termal Rüzgar                                                  | 61              |
| 4.7.1 Hesaplama metodu                                              | 63              |
| 4.8. Yatay Basınç Gradyanı                                          | 64              |
| 4.9. Yüzey Sıcaklık Verileri                                        | 67              |
| 4.10. Yüzey Basınç Değerleri                                        | 69              |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 71  |
| 5.1 Sonuçlar            | 71  |
| 5.2 Öneriler            | 74  |
| KAYNAKLAR               | 75  |
| EKLER                   | 78  |
| ÖZGEÇMİŞ                | 158 |



## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                               | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 2.2.1 Türkiye ve Ankara'nın yıllara göre nüfusu                                                                                                         | 10              |
| Tablo 2.3.1 Ortalama meteorolojik veriler                                                                                                                     | 12              |
| Tablo 2.4.1.1 İlçelere göre konut ve işyeri sayıları                                                                                                          | 15              |
| Tablo 2.4.1.2 Ankara'da ısınmada kullanılan yakıtlar ve tüketilen enerji miktarı                                                                              | 15              |
| Tablo 2.4.1.3 Ankara'da ısınmada kullanılmak amacıyla ithal edilen kömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri                                                | 16              |
| Tablo 2.4.1.4 Yıllara göre kullanılan kömür miktarı                                                                                                           | 16              |
| Tablo 2.4.1.5 Isınma amacıyla kullanılan yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar                                                                                   | 17              |
| Tablo 2.4.2.1 Ankara'da ilçelere göre sanayi tesislerinin dağılımı                                                                                            | 18              |
| Tablo 2.4.2.2 Ankara'da ilçeler göre sanayi tesislerinden kaynaklanan emisyonlar                                                                              | 18              |
| Tablo 2.4.3.1 Ankara ilindeki motorlu araç sayısı                                                                                                             | 19              |
| Tablo 2.4.3.2 Ankara ilinde motorlu araçlarda tüketilen akaryakıt miktarı                                                                                     | 20              |
| Tablo 2.4.3.3 Araçlardan kaynaklanan yıllık emisyon miktarları ve yüzdeleri                                                                                   | 21              |
| Tablo 2.4.4.1 Toplam emisyon miktarının kaynaklara göre dağılımı                                                                                              | 21              |
| Tablo 3.1.1 SO <sub>2</sub> ve PM hava kirleticiler için uyulması gereken sınır değerler                                                                      | 24              |
| Tablo 3.2.1 Ankara'da hava kirliliği ölçüm istasyonları                                                                                                       | 24              |
| Tablo 3.3.1 Ölçüm istasyonlarında episod günlerini aşan günlerin sayısı                                                                                       | 27              |
| Tablo 3.3.2 İstasyonlardaki aylık ortalama SO <sub>2</sub> ve PM değerleri                                                                                    | 28              |
| Tablo 3.3.3 PM episodlarının tarihleri ve devamlılık süreleri                                                                                                 | 32              |
| Tablo 3.3.4 SO <sub>2</sub> episodlarının tarihleri ve devamlılık süreleri                                                                                    | 33              |
| Tablo 3.3.5 Devamlılık sürelerine göre episodların sınıflandırılması                                                                                          | 31              |
| Tablo 3.3.6 Ay ve yıllara göre SO <sub>2</sub> ve PM ortalama değerleri                                                                                       | 34              |
| Tablo 4.1 Radyosonde istasyonları                                                                                                                             | 38              |
| Tablo 4.3.1 SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episodların 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) günlerine ait sıcaklık ve yer seviyesindeki basınç değerleri | 41              |
| Tablo 4.3.2 Episod öncesi, başlangıç ve sonrası günlere ait sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması                                                           | 42              |
| Tablo 4.5.1 SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki enverziyon enverziyon (0000 GMT) frekans değerleri                                    | 46              |
| Tablo 4.5.2 SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki enverziyon (1200 GMT) frekans değerleri                                               | 49              |

|               |                                                                                                                                                            |     |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 4.5.3   | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki enverziyon (0000 GMT) frekans değerleri                                                        | 50  |
| Tablo 4.5.4   | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki enverziyon (1200 GMT) frekans değerleri                                                        | 50  |
| Tablo 4.5.6   | Enverziyon kalınlıklarına göre SO <sub>2</sub> ve taban-tavan sıcaklık farkları                                                                            | 51  |
| Tablo 4.5.7   | Enverziyon taban yüksekliklerine göre SO <sub>2</sub> değerleri                                                                                            | 51  |
| Tablo 4.5.8   | Enverziyon taban-tavan sıcaklık farkına göre SO <sub>2</sub> değerleri                                                                                     | 52  |
| Tablo 4.6.2.1 | SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> episod günlerine ait vortisitinin negatif olduğu gün sayısı ve yüzdesi                                             | 60  |
| Tablo 4.6.2.2 | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episod günlerine ait vortisitinin negatif olduğu gün sayısı ve yüzdesi                                             | 60  |
| Tablo 4.6.2.3 | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episodların birinci gününde vortisiti değerinin negatif olma yüzdesi                                               | 61  |
| Tablo 4.7.1.1 | Termal rüzgar değerlerinin sınıflandırılması                                                                                                               | 64  |
| Tablo 4.8.1   | SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki basınç gradyanı (0000 GMT) sınıflandırılması                                                   | 65  |
| Tablo 4.8.2   | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki basınç gradyanı (0000 GMT) sınıflandırılması                                                   | 66  |
| Tablo 4.9.1   | 1989-1994 periyodu kış aylarının ortalama sıcaklık değerleri                                                                                               | 67  |
| Tablo 4.10.1  | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episodların ve bu episodların meydana geldiği ayların ortalama basınç değerleri                                    | 70  |
| Tablo B.1     | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki sabit basınç seviyelerindeki (0000 GMT) sıcaklık değerleri                                     | 152 |
| Tablo B.2     | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> episod günlerindeki SO <sub>2</sub> , vortisiti, termal rüzgar, adveksiyon, enverziyon ve basınç gradyan değerleri | 154 |

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

|               |                                                                                                                       |    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1     | Ankara'nın ve çevresinin topografik yapısı                                                                            | 9  |
| Şekil 2.2.1   | Ankara'nın nüfus büyüme durumu                                                                                        | 10 |
| Şekil 2.3.1a  | Yıllık rüzgar gülü                                                                                                    | 13 |
| Şekil 2.3.1b  | Kış mevsimi rüzgar gülü                                                                                               | 13 |
| Şekil 2.4.3.1 | Ankara ilindeki motorlu araç sayısı                                                                                   | 19 |
| Şekil 2.4.3.2 | Ankara ilinde motorlu araçlarda tüketilen akaryakıt miktarı                                                           | 20 |
| Şekil 2.4.4.1 | Toplam kirleticilerin kaynaklara göre dağılımı                                                                        | 22 |
| Şekil 3.2.1   | Ankara'nın topografik haritası ve ölçüm istasyonlarının yerleri                                                       | 25 |
| Şekil 3.3.1a  | Kış mevsimi aylarına göre toplam episod gün sayısı                                                                    | 29 |
| Şekil 3.3.1b  | Episodların aylık dağılımı                                                                                            | 30 |
| Şekil 3.3.2   | Kış mevsimlerine göre toplam episod gün sayısı                                                                        | 31 |
| Şekil 3.3.3   | 1989-1994 kış mevsimlerine ait aylık ortalama SO <sub>2</sub> ve PM değerleri                                         | 35 |
| Şekil 3.3.4   | Kış mevsimlerine göre ortalama SO <sub>2</sub> ve PM değerleri                                                        | 36 |
| Şekil 4.5.1   | Troposferde sıcaklığın düşey değişimi ve enverziyon koşulları                                                         | 45 |
| Şekil 4.5.2   | Aylara göre episod (SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> ) ve enverziyonlu (0000 ve 1200 GMT) gün sayısı           | 47 |
| Şekil 4.5.3   | Kış mevsimlerine göre episod (SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> ) ve enverziyonlu (0000 ve 1200 GMT) gün sayısı | 48 |
| Şekil 4.6.1   | Sirkülasyon ve vortisiti arasındaki bağıntı                                                                           | 54 |
| Şekil 4.6.2   | Bir akış üzerinde pozitif(a) ve negatif(b) vortisitelerin etkisi                                                      | 55 |
| Şekil 4.6.2.1 | Radyosonde istasyonlarının yerleri ve ve grid noktaları                                                               | 57 |
| Şekil 4.6.2.2 | Rüzgarın u ve v bileşenlerinin bölgelere göre işareti                                                                 | 58 |
| Şekil 4.6.2.3 | Bir grid noktasının yapısı                                                                                            | 59 |
| Şekil 4.7.1.1 | Termal rüzgar hesaplamasında grid noktası yapısı                                                                      | 63 |
| Şekil 4.9.1   | Episod (SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> ) gün sayısı ve aylık ortalama sıcaklık değerleri                     | 67 |
| Şekil 4.9.2   | Episod (SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> ) gün sayısı ve aylık ortalama sıcaklık değerleri                     | 68 |
| Şekil A.1     | SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> episodlarının aylık devamlılık süreleri ve frekansları                        | 79 |
| Şekil A.2     | SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> episodlarının kış mevsimlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları        | 82 |
| Şekil A.3     | PM ≥ 200 µg/m <sup>3</sup> episodlarının aylık devamlılık süreleri ve frekansları                                     | 84 |

|            |                                                                                                                             |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil A.4  | PM $\geq$ 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episodlarının kış mevsimlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları               | 87  |
| Şekil A.5  | SO <sub>2</sub> $\geq$ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episodlarının aylık devamlılık süreleri ve frekansları                  | 89  |
| Şekil A.6  | SO <sub>2</sub> $\geq$ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episodlarının kış mevsimlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları  | 91  |
| Şekil A.7  | PM $\geq$ 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episodlarının aylık devamlılık süreleri ve frekansları                               | 93  |
| Şekil A.8  | PM $\geq$ 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episodlarının kış mevsimlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları               | 94  |
| Şekil A.9  | SO <sub>2</sub> $\geq$ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episod günlerine ait düşey sıcaklık dağılım profili                     | 95  |
| Şekil A.10 | SO <sub>2</sub> $\geq$ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episod günlerine ait düşey nem (RH) dağılım profili                     | 105 |
| Şekil A.11 | Enverziyon sıcaklık farkı ve SO <sub>2</sub> değerleri                                                                      | 115 |
| Şekil A.12 | Enverziyon kalınlığı ve SO <sub>2</sub> değerleri                                                                           | 123 |
| Şekil A.13 | SO <sub>2</sub> $\geq$ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ episod günlerine ait bağıl vortisitinin düşey profili                   | 131 |
| Şekil A.14 | Episodların (SO <sub>2</sub> $\geq$ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) birinci ve bir önceki gününe ait sinoptik yer haritaları | 142 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                 |                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------------------|
| A               | : Alan                                                  |
| C               | : Sirkülasyon                                           |
| E               | : Episod                                                |
| $f$             | : Coriolis parametresi                                  |
| G               | : Episod günü                                           |
| L               | : Uzunluk ölçeği                                        |
| n               | : dA alan elemanına dik birim vektörü                   |
| P               | : Atmosferik basınç                                     |
| PM              | : Partikül Madde                                        |
| RH              | : Bağıl nem                                             |
| SO <sub>2</sub> | : Kükürt Dioksit                                        |
| T               | : Sıcaklık                                              |
| U               | : Yatay ölçek                                           |
| u               | : Rüzgarın x yönündeki bileşeni                         |
| v               | : Rüzgarın y yönündeki bileşeni                         |
| u <sub>g</sub>  | : Geostrofik rüzgarın y yönündeki bileşeni              |
| v <sub>g</sub>  | : Geostrofik rüzgarın x yönündeki bileşeni              |
| u <sub>T</sub>  | : Termal rüzgarın y yönündeki bileşeni                  |
| v <sub>T</sub>  | : Termal rüzgarın x yönündeki bileşeni                  |
| W <sub>T</sub>  | : Termal rüzgar                                         |
| ζ               | : Bağıl vortisiti                                       |
| η               | : Mutlak vortisiti                                      |
| ω               | : Hızın rotasyoneli                                     |
| Ω               | : Dünyanın açısal hızı                                  |
| φ               | : Jeopotansiyel yükseklik                               |
| ∂x, ∂y          | : İki grid noktası arasındaki uzaklık                   |
| ∂x              | : Yatay iki izobar arasındaki basınç farkı              |
| φ               | : Enlem derecesi ve rüzgarın kuzey yönü ile yaptığı açı |

## ANKARA'DA HAVA KİRLİLİĞİ EPİSODLARI ESNASINDA ATMOSFERİK ŞARTLARIN ANALİZİ

### ÖZET

Hava kalitesine yönelik sınıflandırmalar içerisinde episodlar önemli parametrelerdir. Şehirsel hava kirliliği olaylarının incelenmesinde, episod olayları ve bunların meydana gelmesine zemin hazırlayan atmosferik dispersif şartlarının belirlenmesi gerekir.

Bu çalışmada, Ankara'da 1989-1994 yılları kış aylarında (Ekim-Mart) ölçülen SO<sub>2</sub> ve partikül madde (PM)'nin ortalama değerlerinden episod günleri tespit edilerek, bunların yerel meteorolojik parametreler ve sinoptik ölçekli olaylar arasındaki bağıntıları analiz edilmiştir.

Aşağı atmosferin düşey yapısı hakkında bilgi edinebilmek için Ankara'nın yerel meteorolojik parametreleri ve radyosondaj gözlemlerinin yanı sıra özellikle vortisiti ve termal rüzgar hesaplamasında kullanılmak üzere Türkiye'deki yedi adet radyosonde istasyonundan yapılan sondaj verileri gözönüne alınmıştır. Bu veriler şunlardır:

- a) Yer, 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa seviyelerindeki günlük sıcaklık, basınç, bağıl nem, jeopotansiyel yükseklik ve rüzgar yön ve hız değerleri,
- b) 0000 GMT ve 1200 GMT'de meydana gelmiş olan yüzey enverziyonlar ve bunların taban ve tavan yükseklikleri, kalınlıkları ve taban-tavan sıcaklık farkları,
- c) Sinoptik yer haritaları (0000 GMT),
- d) Ortalama sıcaklık değerleri (günlük, aylık ve yıllık),

Bu çalışmada, hava kalitesi episodları için şu kriter belirlenmiştir: SO<sub>2</sub> veya PM'den birinin 24 saatlik periyotta en az iki ölçme istasyonunda ve en az iki gün süren bir olayda dış hava kalite sınırlarını aşmasıdır.

Bu kriter çerçevesinde, 1989-1994 periyodunda SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> için 2-21 gün süren toplam 42 adet (toplam 243 gün), SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> için 2-10 gün süren toplam 26 adet (toplam 92 gün), PM ≥ 200 µg/m<sup>3</sup> için 2-11gün süren toplam 40 adet (toplam 135 gün) ve PM ≥ 300 µg/m<sup>3</sup> için 2-5gün süren toplam 9 adet (toplam 27 gün) hava kirliliği episodunun meydana geldiği tespit edilmiştir. Episodlar süre olarak en fazla Ocak aylarında, en az ise Ekim aylarında meydana gelmiştir.

Bir akışkan içerisindeki dönüşün mikroskobik ölçüsü olan vortisiti, hızın rotasyoneli olarak tanımlanan vektör alanıdır. Büyük ölçekli dinamik meteorolojide genel olarak sırasıyla η ve ζ ile gösterilen mutlak ve bağıl vortisitinin sadece düşey bileşenleri ile ilgilenilir.

Geniş pozitif (negatif) bölgelerde bağıl vortisiti(ζ), kuzey yarımkürede siklonik fırtınalarla işbirliği içerisinde gelişme eğilimi göstermektedir. Bundan dolayı bağıl vortisitinin dağılımı hava analizi için iyi bir diagnostik araçtır. Mutlak ve bağıl vortisiti arasındaki fark, rotasyonu için dünyaya bağımlı olan vortisitinin yerel düşey

bileşeni olan planeter vortisitidir:  $k \cdot \nabla \times \mathbf{U}_e = 2\Omega \sin \phi \equiv f$ . Böylece mutlak vortisiti  $\eta = \zeta + f$ , bağıl vortisiti  $\zeta$  ile ya da kartezyen koordinatlarda;

$$\eta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y + f, \quad \zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Hava parseli kendi etrafında saat yönünde ( $\zeta < 0$ ) dönüyorsa buna antisiklonik (-) vortisiti, kendi etrafında saat yönünün tersine ( $\zeta > 0$ ) dönüyorsa buna siklonik (+) vortisiti denir.

Bağıl vortisitiyi ( $\zeta$ ) hesaplamak için yukarıda belirtilen denklem kullanılmıştır. 7 adet radyosonde istasyonlarını içine alacak şekilde Türkiye 2 derece (1 derece=111 km.) aralıkla 32 (8x4) grid noktasına ayrılmıştır. Radyosonde istasyonlarına ait rüzgar hız ve yön verileri kullanılarak SO<sub>2</sub> konsantrasyonunda 250 µg/m<sup>3</sup> ve 400 µg/m<sup>3</sup>'ü aşan episod günlerine ait 850 hPa (0000 GMT ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki bağıl vortisiti hesaplanmıştır. Ayrıca, episod günlerindeki (SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup>) değerler kullanılarak bağıl vortisitinin düşey dağılım profili çizilmiştir.

SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> episod günlerinde 850 hPa (0000 GMT ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki toplam vortisiti değerlerinin %69.08'i negatiftir. En fazla negatif değerlerin %75.44 ile 850 hPa (1200 GMT) seviyesinde bulunmuştur. SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episod günlerinde ise 850 hPa (0000 GMT ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki toplam vortisiti değerlerinin %74.02'si negatiftir. En fazla negatif değerlerin %82.76 ile 850 hPa (1200 GMT) seviyesinde bulunmuştur.

SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episod günlerindeki toplam vortisiti değerlerin negatif olma yüzdesinin (%74.02), SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> episod günlerindeki toplam vortisiti değerlerinin negatif olma yüzdesinden (%69.08) büyük olduğu görülmüştür. Bu ise vortisitinin negatif olma durumu ile yüksek kirletici değerler arasında doğru bir orantının olduğunu göstermektedir. Episodların birinci günündeki vortisiti değerinin en fazla negatif olma durumu %79.17 ile 850 hPa seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Burada, 850 hPa seviyesinin vortisiti için önemli olduğu görülmektedir.

Termal rüzgar, iki basınç seviyesi arasındaki jeostrofik rüzgar kaymasıdır. Termal rüzgar gözlenen rüzgar ve sıcaklık alanlarının analizini kontrol etmek için kullanılan faydalı bir araçtır. Ayrıca, termal rüzgar bir tabakadaki ortalama yatay sıcaklık adveksiyonunu tahmin etmek için de kullanılmaktadır. İki basınç seviyesindeki jeopotansiyel yükseklik farkı gözönünde bulundurularak termal rüzgar denklemi;

$$u_T = 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0) / \partial y, \quad v_T = 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0) / \partial x, \quad W_T = \sqrt{u_T^2 + v_T^2} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Türkiye'deki 5 adet radyosonde istasyonundan alınan 850 hPa (0000 GMT) ve 700 hPa (0000 GMT) basınç seviyelerindeki jeopotansiyel yükseklik verileri kullanılarak SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episod günlerine ait termal rüzgar değerleri hesaplanmıştır. Termal rüzgar değerlerinin 1(bir)'den küçük ve ortalama değerinin 0.313 olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin %47.2'sinin 0.05-0.25 aralığında yer alması episod günlerinde 850 hPa ile 700 hPa seviye arasında yatay sıcaklık gradyanının da küçük

olduğunu göstermektedir. Bu durum episod günleri için çizilmiş olan düşey sıcaklık profillerinde de görülmektedir.

Şehir alanlarındaki hava kirliliği episodlarının oluşumu yüksek basınç sisteminin varlığı veya yukarıdaki sıcak sırt özelliğinin sıkça sebep olduğu yüzeydeki zayıf basınç gradyanlarının varlığıyla oluşmaktadır. Subjektif yöntemle sinoptik yer kartlarından (0000 GMT) episod günlerindeki ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yatay basınç gradyanları tesbit edilmiştir. Bu basınç gradyanları; çok zayıf ( $< 5 \text{ mb}/1100 \text{ km}$ ), zayıf ( $5 \text{ mb}/550-1100 \text{ km}$ ), kuvvetli ( $5 \text{ mb}/100-550 \text{ km}$ ) ve çok kuvvetli ( $>5 \text{ mb}/0-100 \text{ km}$ ) şeklinde sınıflandırılmıştır. Burada, "zayıf" ve "kuvvetli" basınç gradyanlarındaki kirlletici konsantrasyon değerlerinin "çok zayıf" ve "çok kuvvetli" basınç gradyanlarındaki kirlletici konsantrasyon değerlerinden büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, episod günlerinde atmosferin genelde sakin olduğunu, hareketli ortamın olmadığını göstermektedir.

Atmosferin düşey yapısı içinde atmosferin sınır tabaka yüksekliğini tanımlayan 850 hPa seviye sıcaklığı önemli bir parametredir. 850 hPa seviyesindeki daha sıcak hava kütleleri daha dengeli atmosferi beraberinde getirir. Episod günlerinin 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) sıcaklık değerleri analiz edilmiştir. Episodların birinci gününe kadar sıcaklığın azaldığı ve episodun birinci gününden itibaren sıcaklığın arttığı belirlenmiştir. Burada, episodların belirlenmesinde bu seviye sıcaklığının önemli olduğu görülmüştür.

Atmosferde rüzgarın yükseklikle saat ibreleri yönünde (antisiklonik) değişmesi sıcak adveksiyonun olduğunu gösterdiği bilinmektedir. Yer, 850 hPa, 700 hPa, ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki sıcaklık değerleri kullanılarak episod günlerindeki ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) düşey sıcaklık dağılım profili çizilmiştir. Bu profillerde, episod günlerindeki adveksiyonlar analiz edilmiştir. Toplam 88 episod gününün 66 gününde (%75) ve 24 adet episodun 18'nin birinci gününde (%75) rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değiştiği ve ayrıca 24 adet episodun 22'sindeki (%92) en yüksek  $\text{SO}_2$  konsantrasyonunun rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değiştiği günlerde meydana geldiği görülmüştür. Burada düşey sıcaklık dağılımının analizler için önemli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, negatif bağıl vortisiti ile yüksek hava kirliliği seviyeleri arasında bağıntı olduğu belirlenmiştir. Özellikle hava kirliliği analizlerinde bağıl vortisitinin önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir.

## **ANALYSIS OF ATMOSPHERIC CONDITIONS DURING AIR POLLUTION EPISODES IN ANKARA**

### **SUMMARY**

Among the methods for classifications of air quality, episodes are very effective parameters. To examine urban air pollution events, it is necessary to determine atmospheric dispersion conditions during these episodes.

In this study, the episode days have been determined by examining average values of SO<sub>2</sub> and PM measured during the winter months in Ankara between 1989(October)-1994(March), and relationship between these episode days and local meteorological parameters and phenomenon at the synoptic scale have been analysed.

In order to define the vertical structure of the lower atmosphere, local meteorological parameters and radiosonde observations in Ankara have been used. Relative vorticity and thermal wind, radiosonde data from seven radiosonde stations in Turkey have also been used. These data are:

- a) Daily average temperature, pressure, relative humidity, geopotential height, wind direction and speed at the surface, 850 hPa, 700 hPa and 500 hPa pressure levels,
- b) Surface inversions occurring at 0000 GMT and 1200 GMT, and inversion bottom-top heights, inversion thickness and inversion bottom-top temperature differences,
- c) Synoptic surface maps (0000 GMT),
- d) Average temperature values (daily, monthly and annually).

In this study, the criteria for an air pollution episode are the following; at least two constituents (SO<sub>2</sub> and PM) exceed ambient air quality limits in at least two monitoring stations, for a period not less than 24 hours, and the phenomenon lasts for at least 2 days.

Following these criteria, 42 air pollution episodes, lasting of 2-21 days each (243 days in total), in which mean daily concentrations are higher than 250 µg/m<sup>3</sup> of SO<sub>2</sub>, 26 air pollution episodes, lasting 2-10 days each (92 days in total) in which mean daily concentrations are higher than 400 µg/m<sup>3</sup> of SO<sub>2</sub>, 40 air pollution episodes, lasting 2-11 days each (137 days in total) in which mean daily concentrations are higher than 200 µg/m<sup>3</sup> of PM and 9 air pollution episodes, lasting, 2-5 days each (27 days in total) in which mean daily concentrations higher than 300 µg/m<sup>3</sup> of PM were detected in the period 1989(October)-1994(March). Most of the episodes were determined in month of January minimum number of pollution episodes are observed in October.

Vorticity, a measure of rotation in a fluid, is a vector field defined as the curl of velocity. In large-scale dynamic meteorology we are in general concerned only with the vertical components of absolute and relative vorticity, which are designated by  $\eta$

and  $\zeta$ , respectively. Regions of large positive (negative)  $\zeta$  tend to develop in association with cyclonic storms in Northern (Southern) Hemisphere. Thus, the distribution of relative vorticity is an excellent diagnostic tool for weather analysis. The difference between absolute and relative vorticity is the planetary vorticity, which is just the local vertical component of the vorticity of the earth owing to its rotation;  $k \cdot \nabla \times \mathbf{U}_e = 2\Omega \sin \phi \equiv f$ . Thus,  $\eta = \zeta + f$  or in Cartesian coordinates;

$$\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y \quad \eta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y + f \quad (1)$$

The air parcel is rotated in a counter clockwise ( $\zeta > 0$ ) or clockwise ( $\zeta < 0$ ) direction. In order to calculate the relative vorticity  $\zeta$ , the equation above are used. This area that includes 7 radiosonde stations has been divided into grids of  $2^\circ \times 2^\circ$  ( $1^\circ = 111 \text{ km.}$ ). Thus, 32 grid point ( $8 \times 4$ ) have been obtained. 850 hPa (0000 and 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) and 500 hPa (0000 GMT) levels relative vorticity values of episode days in which  $\text{SO}_2$  concentrations exceeded 250 and 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  were calculated by using wind direction and speed taken from 7 radiosonde stations in Turkey. Vertical relative vorticity variation during episode days has been plotted.

It was found that during the days in which  $\text{SO}_2$  concentrations exceeded 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  69.08% of total vorticity values at levels of 850 hPa, 700 hPa and 500 hPa are negative. The highest percentage of negative values are found at 850 hPa (1200 GMT) with 75.44%. Also, it was found that during the days in which  $\text{SO}_2$  concentration exceeds 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  74.02% of total vorticity values at levels of 850 hPa, 700 hPa and 500 hPa were negative. The highest percentage of negative values are determined at 850 hPa (1200 GMT) with 82.76%.

It was seen that the percentage of negative relative vorticity values at each pressure level for the days of  $\text{SO}_2$  exceeding 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is much greater than that of  $\text{SO}_2$  exceeding 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . This situation shows that there exists a direct relation between state of becoming negative of vorticity and high pollutant concentration. The percentage of vorticity value at the first day of episode period is greater than that of at 850 hPa level (79.17%). This situation shows that 850 hPa level has an important role for the vorticity.

The thermal wind refers to the vector difference between the geostrophic winds at two levels. The thermal wind equation is an extremely useful diagnostic tool, which is often used to check the analyses of the observed wind and temperature fields for consistency. It can also be used to estimate the mean horizontal temperature advection in a layer. Alternatively, we may express the thermal wind for a given layer in terms of the horizontal gradient of the geopotential difference between the top and bottom of the layer;

$$u_T = 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0) / \partial y, \quad v_T = 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0) / \partial x, \quad W_T = \sqrt{u_T^2 + v_T^2} \quad (2)$$

Thermal wind was calculated for episode days of  $\text{SO}_2$  exceeding 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  by using geopotential height values at the levels of 850 hPa (0000 GMT) and 700 hPa (0000 GMT) taken from the 5 radiosonde stations in Turkey. It was found that the thermal wind values were less than 1. Its average value is 0.313, and 47.2% of the values lie between 0.005-0.25. This result indicates that horizontal temperature gradient is small between 850 hPa and 700 hPa on episode days, and this conclusion can be seen at the vertical temperature profiles drawn for the episode days.

It is well known that the occurrence of air pollution episodes in urban areas is favored by the existence of weak pressure gradients at the surface often caused by the presence of a high pressure system, or by a warm ridge aloft. The pressure gradients were determined from synoptic surface cards (0000 GMT) with subjective method on episode days ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and these pressure gradients were classified as “very weak (less than 5 mb/1100 km.)”, “relatively weak (5 mb/550-1100 km.)”, “relatively strong (5 mb/100-550 km.)” and “strong ( $>5$  mb/1-100 km). Pollutant concentration during the relatively weak and relatively strong pressure gradient days were found to be higher than very weak and strong pressure gradient days. This reveals that during days with unstable pressure gradient, atmosphere is generally calm.

The temperature at 850 hPa is an important parameter providing information about atmospheric stability. High temperature at 850 hPa relative to the surface temperature indicates weak dispersion conditions. When temperature values of episode days at the level of 850 hPa (0000 GMT) were analysed, it was seen that the temperature at this level was important for the determination of episode days. It was also seen that, the temperature decreased up to the first day of episode, and started to increase after the first day of episode.

It is known that, the clockwise change of wind with height shows the existence of warm advection. The vertical temperature distribution has been drawn by using the data for the episode days in which  $\text{SO}_2$  exceeded  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and temperature values at the levels of surface, 850 hPa, 700 hPa and 500 hPa (0000 GMT). In this framework, the advection on episode days has been analysed using the vertical temperature profile. It has also been determined that, change in wind direction with height was anticyclonic at 66 days of totally 88 episode days (75%) and the first days of 18 episode days out of 24 (75%), and for the 22 episodes out of 24 (92%) the maximum  $\text{SO}_2$  concentration has occurred on the days of which wind has changed as anticyclonic with height. This situation shows that, vertical temperature distribution is an important instrument for the analysis.

As a result, a direct relation between negative relative vorticity and higher air pollution levels has been observed. Therefore relative vorticity plays an important role on the analysis of air pollution.

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Hava kirliliği yaşadığımız yüzyılın en önemli problemlerinden birisidir. Bu çevre sorunu ekvatorlardan kutuplara kadar dünyanın her bölgesinde kendini göstermektedir. Antropojenik hava kirliliğinin temel kaynağı yanma olup motorlu araçlar, endüstri, enerji ve kış aylarında ısınma nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu emisyon sırası ülke ve şehirlere göre değişiklik gösterir. Hava kirliliğinin oluşma şiddeti şüphesiz emisyonlar ve bu emisyonların yer aldığı atmosferin dispersiyon şartlarına bağlıdır. Ancak özellikle kış mevsimlerinde meydana gelen ısınma ihtiyacı şehirlerde emisyonların yükselmesine yol açmaktadır. Bu günlerde çeşitli hava kirlleticilerinin ( $\text{SO}_2$ , PM,  $\text{NO}_x$ , HC ve  $\text{O}_3$ ) konsantrasyonları hava kalitesi standartlarının çok üzerinde olacaktır. Özellikle iyi planlanmamış şehirlerde bu durum belirgin bir şekilde meydana gelmektedir.

Bununla beraber endüstriyel emisyonların uygun olmayan atmosfer şartlarında trajik hava kirliliği olaylarının meydana gelmesine yol açtığı da tarihsel örneklerle gösterilebilir. Örneğin 1930 yılında Belçika'da Meuse Vadisi'nde endüstriyel emisyonlar durgun antisiklonik basınç alanının da etkisiyle ölümlere yol açmıştır. Ayrıca, 1948 yılında A.B.D. Pennsylvania eyaleti Donora şehrinde yaşanan hava kirliliği ve 1952 yılında Londra'da meydana gelen ve trajik sonuçlara yol açan smog olayı gibi örnekler verilebilir (İncecik, 1994).

Ülkemizde ise hava kirliliği ile ilgili problemler, 1970'li yıllarda başlamış ve hızlı kentleşmenin ve endüstriyel gelişmenin sonucu olarak özellikle yerleşim bölgelerinde gittikçe artmıştır. İlk kez 1970'li yıllarda Ankara şehrinde hava kirliliği problemleri yaşanmaya başlamıştır. 1980'li yıllarda ise hava kirlenmesi olayları Ankara, İstanbul

dışında Bursa, Erzurum, İzmir vb gibi pek çok şehirde insan sağlığını tehdit eden ciddi bir problem haline gelmiştir.

Şehirlerde hava kirliliği problemi, yüksek kükürt içeren katı ve sıvı fosil yakıtların hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılması, yanlış yakma teknikleri, binalarda ısı yalıtımının uygulanmaması, düşük verimli yakma sistemleri, şehir imar planlarının uygunsuzluğu ile ortaya çıkmaktadır (Tuncel, 1998).

Kuşkusuz hava kirliliği kaynaklarından atmosfere yayılan kirleticiler atmosferin kontrolü altında davranış göstermeye başlarlar. Bu durum atmosferin kendi kuralları içerisinde sürekli olarak değişken bir yapı halinde bulunması nedeniyle aynı çevrede aynı miktarlarda emisyonun yayıldığı zamanlarda dahi çevre hava kalitesinin farklı değerlere ulaşmasına yol açar. Bu değişkenlik gün içerisinde olduğu gibi mevsimlere de bağlıdır. Atmosfer içerisinde kirleticilerin karışabildiği karışma yüksekliği atmosfer hacminin değişken yüksekliğinin belirleyicisi olarak kabul edilirse ve konsantrasyonun tanım olarak birim hacim içerisindeki madde miktarı olarak olduğu gözönüne alınırsa bu üst sınırın değerinde meydana gelecek değişiklikler, ilgili hacmi dolayısıyla da çevre hava kalitesinin değişimine yol açacaktır.

Bir bölge atmosferinin kirleticileri yayma ve seyreltme kabiliyetinin olup olmadığı hususunun belirlenmesinde, karışma yükseklikleri, enverziyon özellikleri, 850 hPa seviye taşınım özellikleri ventilasyon miktarları en önemli olan parametrelerdir.

Hava ve iklim, meteorolojik ve klimatolojik parametrelerin esas olarak ekstremeleri ve frekansları ile ilgili olan bir çok çevresel işlemleri idare eden fonksiyonlar şeklinde tanımlanmışlardır (Müller, 1976).

Şehirselle hava kirliliği seviyeleri ve onların araştırılması son yıllarda özellikle hava kirliliğinin yaşandığı ülkelerde büyük ilgi toplamıştır

Hava kirliliği planlamasında bir şehir üzerindeki dispersiyonun yatay ve düşey olarak incelenmesinin önemli olduğu ve hava kalitesinin planlamasında meteorolojik metodolojinin şehir plancılara sunulduğu bilinmektedir. Holzworth (1972) ülke çapında hava kirliliği potansiyelinin belirlenmesi için bir metod geliştirmiştir. Murty vd (1990) ise Hindistan'da karışma yükseklikleri ile ventilasyon katsayılarını hesaplamışlardır.

Pissimanis (1991) tarafından yapılan çalışmada, Atina şehir merkezinde meydana gelen episod günlerindeki hakim olan sinoptik hava şartları ve troposferin dikey termal yapısının zamanla gelişimi (episodların başlama ve bitişindeki hakim olan sinoptik durum) incelenmiş; episodların başlangıcında sıcak hava adveksiyonu ve soğuk hava kütesinin çekilmesinin ilişkili olduğu, 850 hPa tabakasının altındaki şiddetli ısınma datası kuvvetli çökmenin var olduğunu gösteren episodlarda meydana geldiği, 500 m.'den daha az olan karışma yüksekliğinin ve 2 m/sn'nin altındaki maksimum 3 saatlik rüzgar hızının etkili olduğu, episodların sonunda zayıf soğuk cephenin geçişiyle troposferin alt tabakasında meydana gelen soğumayla rüzgar veya karışma yüksekliğindeki önemli artışların episod günlerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Kallos vd (1993) Yunanistan'daki hava kirliliği episodlarının gözlendiği periyotlar için sinoptik ve orta ölçekteki hava şartlarını analiz ederek bu tür kirliliğe orta Akdeniz'de gelişen yüksek basınç sistemlerinin sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Lu vd (1995) Los Angeles bölgesi için yaptıkları çalışmada hava kirliliği episodlarının oluşmasında Pasifik yüksek basınç sistemi ile ilgili sinoptik şartların önemine değinmiştir.

Kassomenos vd (1995) ise Atina'da hava kalitesinin yorumlanmasında iklim özelliklerinden ve meteorolojik faktörlerden yararlanarak hava kirliliğinin dağılımında karışma yüksekliği, ventilasyon katsayısı, sıcaklık enverziyonları ve 850 hPa basınç seviyesindeki sıcaklığının etkilerini tartışmıştır. Bunun yanı sıra Atina'da ortaya çıkan en şiddetli hava kirliliği episodların antisiklonik dönüşler ve/veya sıcak hava kütlelerinin adveksiyonu sonucu ortaya çıktığı göstermiştir. Yüksek kirletici konsantrasyonların, sıkça kalıcı durgun antisiklonik şartların varlığı altında meydana geldiği gösterilmiştir.

Ülkemizde ise Ankara metropolitan alanı, son 20 yıldır özellikle ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar ve motorlu araçlar nedeniyle hava kalitesi problemleriyle karşı karşıya bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, Ankara'nın fiziki-coğrafik farklılığı kirletici taşınımı ve yayılımını önemli ölçüde etkileyen yerel atmosferik sirkülasyonların frenlenmesine neden olmaktadır.

Türkiye'de yapılmış hava kirliliği çalışmaları özellikle İstanbul ve Ankara ilini kapsamaktadır. İstanbul iline ait çalışmaların en önemlileri Tebbens (1970),

Ayalp(1976), Ertürk (1993), Karaca vd (1995), Şen (1995) ve İncecik (1996) tarafından yapılmıştır. Ankara'da ise ilk hava kirliliği çalışması Tuna (1972) tarafından yapılmıştır.

Tuna (1972) tarafından yapılan çalışmada, kirletici konsantrasyon değerleri ile meteorolojik parametreler ve sinoptik şartlar (enverziyon tabakası, enverziyon sıcaklık farkı, karışma yüksekliği, ortalama rüzgar hızı, ventilasyon, yüzey basıncı ve 500 hPa'daki rüzgar hızı) arasındaki ilişki incelenmiştir.

JICA (1985) tarafından yapılan çalışmada, Ankara'da SO<sub>2</sub> ve PM değerlerinin saatlik değişimleri ile özellikle Aralık 1984 ile Mart 1985 arasındaki SO<sub>2</sub> ve PM'nin bölgelere göre yoğunluğu belirlenmiştir. Ayrıca, enverziyon, karışma yüksekliği, rüzgar yön ve hız değerleri ile SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyon değerleri arasındaki bağıntı analiz edilmiştir.

İncecik ve Erdun (1991) ise Ankara, İstanbul ve İzmir bölge atmosferinin düşey termik yapısını analiz ederek meydana gelen enverziyonların karakteristiklerini belirlemiştir. Ankara'da kış mevsiminde 1200 GMT gözlemlerine göre enverziyonların taban yükseklikleri, tavan-taban sıcaklık farkları ve kalınlık değerleri diğer bölgelere göre önemli farklar içerdiği; Ankara'da enverziyon taban yüksekliklerinin %97'si 1000 m.'nin üzerinde yer aldığı ve bu miktarın %67'si 1500 metrenin üzerinde kaldığı gösterilmiştir. Ayrıca, tavan-taban sıcaklık farklarının önemli bir göstergeye sahip olmadığı bu durumun sebeplerinden birisinin ölçme bölgesinin konumu olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak, Ankara'da çok yüksek bir değer olmamakla beraber İstanbul'a göre daha yüksek seviyede meteorolojik potansiyel tespit edildiği ifade edilmektedir.

Ankara'nın hava kirliliği envanterinin çıkarılması amacıyla Orta Doğu Teknik Üniversitesi (1993) tarafından yapılan çalışmada, 1992 yılı sonu itibariyle yıllık toplam yakıt miktarları ve emisyonların (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM) nerelerden (bina-işyerleri, endüstri ve motorlu araçlar) kaynaklandığı hesaplanmıştır. Bununla ilgili olarak Ankara'da hava kirliliğini önlemek üzere alınması gerekli olan önlemler tespit edilmiştir. Ayrıca şehrin toplam emisyon miktarları gözönünde bulundurularak emisyon yoğunluk haritaları hazırlanmıştır.

Ankara için ısıtma sistemi alternatiflerinin maliyetleri ve hava kirliliği etkileri dikkate alınarak değerlendirilmesi ve ısıtma sistemlerinden kaynaklanan emisyonların dağılımını tespit etmek amacıyla Durmaz vd (1993) tarafından yapılan çalışmada, 1991-92 kış mevsiminde Ankara'da kullanılan yakıt miktarları gözönünde bulundurularak toplam emisyon miktarları hesaplanmış ve emisyon yoğunluk haritaları hazırlanmıştır.

Atımtay (1997) tarafından Ankara B.Şehir Belediye alanı kapsamında yapılan çalışmada, temel hava kirliliği kaynakları belirlenmiş, Ankara'daki SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının düzeyi ISCST yayılma modeli kullanılarak hesaplanmış ve en kirli bölgenin Ankara'nın merkezinde ve sanayinin yoğun olduğu kuzeybatı bölgesinde yer alan Cebeci ve İstanbul Yolu civarı olduğu ve en yüksek yıllık ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonun 152 µg/m<sup>3</sup> ve kış aylarında elde edilen en yüksek ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyonun ise 337 µg/m<sup>3</sup> olduğu tesbit edilmiştir. Sonuç olarak şehrin kuzey batısının SO<sub>2</sub> bakımından daha kirli olduğu gösterilmiştir.

İncecik (1994) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'da emisyon bakımından çeşitlilik gösteren Kartal, Kadıköy, Ümraniye ve Zeytinburnu bölgelerinde ısınma mevsiminde ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının değişimleri üzerine basınç, rüzgar ve enverziyon gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir.

İncecik (1995) tarafından yapılan çalışmada; İstanbul'da SO<sub>2</sub> seviyeleri, episod özellikleri emisyon kaynaklarının bölgeleri ve nitelikleri itibarıyla irdelenmiştir. Bölge atmosferinin, sinoptik koşullar ile beraber incelendiğinde episodik ortamlara uygun zemin hazırlaması bakımından zayıf dispersif özelliklere sahip olduğu ve bu durumun kötü kaliteli yakıt kullanımıyla dolayı şiddetli episod olaylarının artmasına yol açtığı belirlenmiştir.

1979-1981 arasında Haliç bölgesindeki mikrometeorolojik yapının incelenmesi amacıyla İncecik (1986) tarafından yapılan çalışmada, bölge atmosferinin dispersiyon kabiliyeti bakımından zayıf bir yapıda bulunduğu belirlenmiştir.

İstanbul için 1985-1991 periyoduna ait hava kirliliğine neden olan SO<sub>2</sub> ve partikül madde (PM) ile siklon sayıları arasındaki ilişki araştırılmış, hava kirliliği ayları için siklon sayılarındaki azalan bir trend gözlenmesine rağmen SO<sub>2</sub> ve PM konsantrasyonlarında ise artan bir trend gözlemlendiği ve bu durumun İstanbul'da son 10

yıl içinde giderek artan hava kirliliğinin sebeplerinden biri olarak gösterilebileceği ifade edilmiştir (Deniz, 1997). Ayrıca, hava kirliliğinin özellikle uzun mesafelere taşınmasında cephesel sistemlerin ve buna bağlı olarak siklon ve antisiklonların öneminin büyük olduğu belirlenmiştir (Deniz, 1997).

Batuk vd (1997) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise İstanbul'da 1991-1994 döneminde SO<sub>2</sub> ve PM episodları ile orta-ölçekli hava koşulları ve bölgesel klimatolojik etmenler arasındaki ilişki gözlemlenmiş ve en kötü hava kirliliği olayının basınç oranının 5 mb/1000 km'den daha az olduğu durumlarla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Şen vd (1997) tarafından yapılan bir çalışmada, yüzey ve yükselti enverzasyonun hava kirliliğine olan etkisi araştırılmış ve kirletici konsantrasyonların yükselti enverziyondan daha yüksek olduğu, yükselti enverziyonda gece ve gündüz kirletici konsantrasyonlarının değişmediği, ancak yüzey enverziyonda gece verilerinde önemli artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda, kirleticilerin kaynaktan çıktıktan sonra genellikle meteorolojik değişkenlerle yönlendirildiği, kirlilik konsantrasyonunun artmasının ve azalmasının özellikle rüzgar hızı ve atmosferik kararlılık ile ilgili olduğu, karışma yüksekliği içindeki ortalama rüzgarın hafif olmasının hava kirliliğinin artmasında en büyük etken olduğu, bu duruma Ankara'da kışın ve yazın sıkça rastlandığı ve enverzasyonun alt ve üst seviyelerindeki sıcaklık farkı ile devam süresinin ve vantilasyon faktörünün önemli bir etken olduğu görülmüştür.

Ankara'da da, hava kirliliğine neden olan emisyon kaynakları ve bunların miktarları hakkında çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, yerel meteorolojik şartlar ile hava kalitesi arasında sebep-sonuç incelemesine yönelik araştırmaların yetersiz olduğu söylenebilir. Bu nedenle hava kirliliği olaylarında atmosferik şartların detaylı olarak analizi ile episod nitelikli bir konuma sahip olduğu gerçeğine dayanarak bu ayrıntılı analizlerin yapılmasına gerek bulunmaktadır. Bu amaçlarla içinde dispersiyon şartlarını en iyi tanımlayan ölçek bazında yaklaşımlara yer verilmelidir. Örneğin atmosferin düşey kesit analizleri ve zamansal analizleri bunu en iyi açıklayan yaklaşımlardır. Pissimanis (1991) yaptığı çalışmada, episodların başlangıcını tahmin etmek için vortisiti adveksiyonun incelenmesinin gerekli olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, hava kalitesi kontrolü ile ilgili uygulamalarda ve ileriye dönük kontrol stratejilerin belirlenmesinde kullanılmak üzere Ankara şehrinde 1989-1994 periyodunda ısınma mevsiminde (Ekim-Mart) hava kirliliği seviyelerinin yükselmesine neden olan atmosferik şartların ayrıntılı analizini yapmaktır. Bu seviyelerin episod nitelikli etkin hava kirliliği oluşturacak miktarlara erişmesi ve sebep-sonuç ilişkilerinin araştırılması için 850 hPa sıcaklığı, yüzey basınç gradyanları, yüzey enverziyonları, düşey sıcaklık ve nem profilleri, termal rüzgar ve bağıl vortisiti incelenmiştir. Özellikle bağıl vortisiti-hava kirliliği ilişkisinin ortaya konması, episod başlangıç şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.



## **BÖLÜM 2**

### **BÖLGENİN KONUMU VE GENEL İKLİM ÖZELLİKLERİ**

#### **2.1 Ankara'nın Konumu ve Topografik Özellikleri**

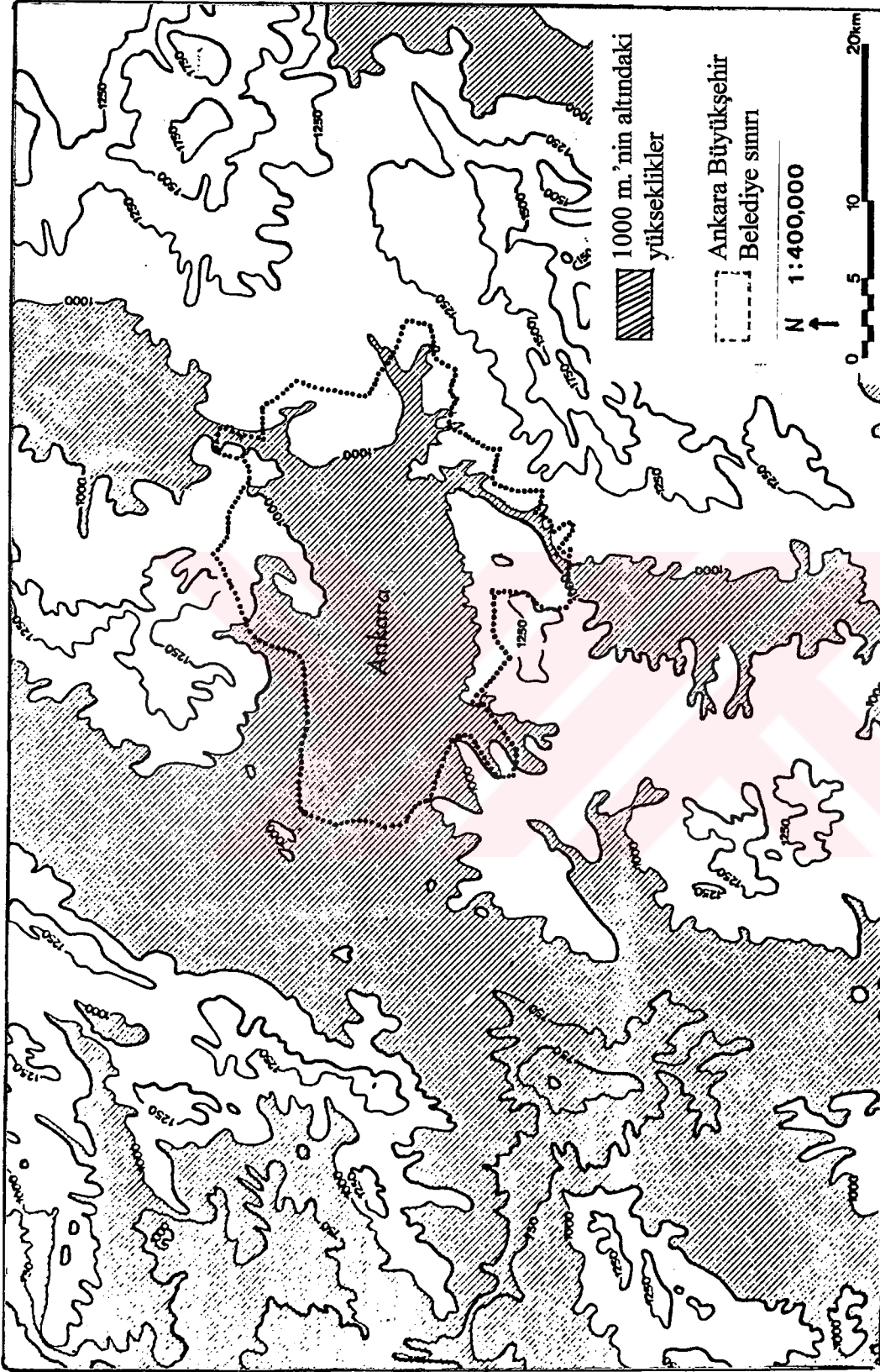
Ankara, İç Anadolu Bölgesi'nde kuzeyde Çubuk, güneyde Mogan, batıda Mürted ve Engürü ovalarının kesiştiği, engebeli, fakat yerleşmeye uygun özellikler taşıyan bir platoda yer almaktadır (Şekil 2.1). Ankara ve çevresi topografik olarak sırtı doğuya dönük at nalı biçiminde bir çanak içerisinde 850 ve 1200 metrelik yükseltiler arasında dağ ve tepelerle çevrelenen bir yapıya sahiptir (ODTÜ, 1993).

Ankara'nın kuzeyinde 1050 metre yükseklikte Etlik tepeleri ve daha yukarıda 1200-1500 metre yükseltilere ulaşan Karyağdı Dağları yer alır. Doğuda yerleşim alanlarına yakın olarak 1415 metre yükselen Hüseyin Gazi Dağı, kuzeydoğuda İdris Dağları, kentin güneyinde, Dikmen Köyü civarında, 1300 metreye ulaşan Çal Dağı, güneydoğuda Mühya ve İncesu vadisinden başlayarak yükselen ve 1862 metreye erişen Elmadağ yer almaktadır. Güneybatıda ise Hacılar ve Elmadağ arasındaki vadide Eymir ve Mogan Gölleri bulunmaktadır.

#### **2.2 Nüfus**

1923 yılında başkent olan Ankara, bu tarihten itibaren çok hızlı bir nüfus artışına sahne olmuştur. İlk nüfus sayımının yapıldığı 1927 ile 1997 yılı arasındaki 70 yılda, Ankara'nın nüfusu 38 kat artarak 3 milyona yaklaşmıştır (Şekil 2.2.1 ve Tablo 2.2.1).

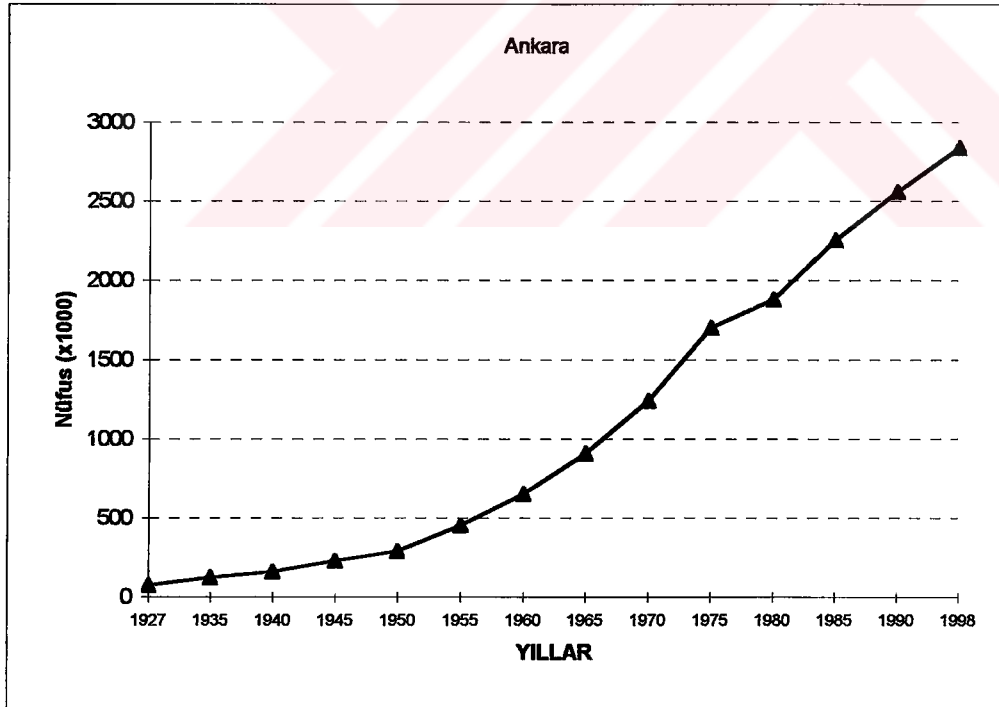
Ankara, 1975 yılına kadar, ülkedeki şehirleşme hızının üstünde bir artışla büyümüştür. Ülkede şehirli nüfus artış hızının en yüksek değere ulaştığı 1950-55 arasında, ülke rakamı binde 64.78 iken, Ankara'da binde 89.44'ü bulmuştur. Ankara nüfusunun çok hızlı büyümesinde, göç hareketleri önemli bir yer tutmuştur (TÇSV, 1987).



Şekil 2.1 Ankara ve çevresinin topografik haritası (JICA, 1985)

Tablo 2.2.1 Türkiye ve Ankara'nın yıllara göre nüfusu

| YILLAR | Ankara    | Türkiye    |
|--------|-----------|------------|
| 1927   | 74 533    | 13 650 000 |
| 1935   | 122 271   | 16 158 018 |
| 1940   | 157 242   | 17 820 950 |
| 1945   | 226 712   | 18 790 174 |
| 1950   | 288 536   | 20 947 188 |
| 1955   | 451 241   | 24 064 763 |
| 1960   | 650 067   | 27 754 820 |
| 1965   | 905 662   | 31 391 421 |
| 1970   | 1 236 152 | 35 605 176 |
| 1975   | 1 701 004 | 40 347 719 |
| 1980   | 1 877 755 | 44 736 957 |
| 1985   | 2 251 533 | 51 420 757 |
| 1990   | 2 559 471 | 56 473 035 |
| 1997   | 2 837 433 | 62 865 574 |



Şekil 2.2.1 Ankara'nın nüfus büyüme durumu

Ankara'nın merkezi, 1980 yılında 4 ilçeden meydana gelirken, 1985'te yeni idari sınır düzenlemelerine bağlı olarak 5 ilçeye ayrılmıştır. En büyük ilçe Çankaya olmakta, bunu takiben sıra ile Keçiören, Altındağ, Mamak ve Yenimahalle gelmektedir (TÇSV, 1987).

### 2.3 Genel İklim Özellikleri

Anadolu platosunda ve etrafı dağlarla çevrili bir yörede bulunan Ankara, sıcak ve kuru geçen yaz mevsimi ve soğuk-orta derecede yağışlı kış mevsimi ile karakterize edilebilen bir iklime sahiptir (ODTÜ, 1993). Yıllık yağış miktarı 377 mm civarındadır. Bununla beraber ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde meydana gelen orografik yağışlar taşkınlara neden olabilmektedir. Karasallık özelliği nedeniyle günlük ve yıllık sıcaklık değerleri önemli ölçüde değişim gösterir (DMİ). Aylık ortalama sıcaklık Temmuz ayında 23.1 °C ile en yüksek, Ocak ayında ise -0.1 °C ile en düşük değerdedir (Tablo 2.3.1).

Ankara'da birinci derece hakim rüzgar yönü kuzeydoğu, ikinci derece hakim rüzgar yönü ise kuzeylidir (Tablo 2.3.1, Şekil 2.3.1a). Kış mevsiminde (Ekim-Mart) hakim rüzgar yönü yıllık hakim rüzgar yönünde olduğu gibi birinci derece kuzeydoğu, ikinci derece kuzeylidir (Şekil 2.3.1b). Tablo 2.3.1'de görüldüğü üzere yıllık ortalama rüzgar hızı ise 2,3 m/sn'dir.

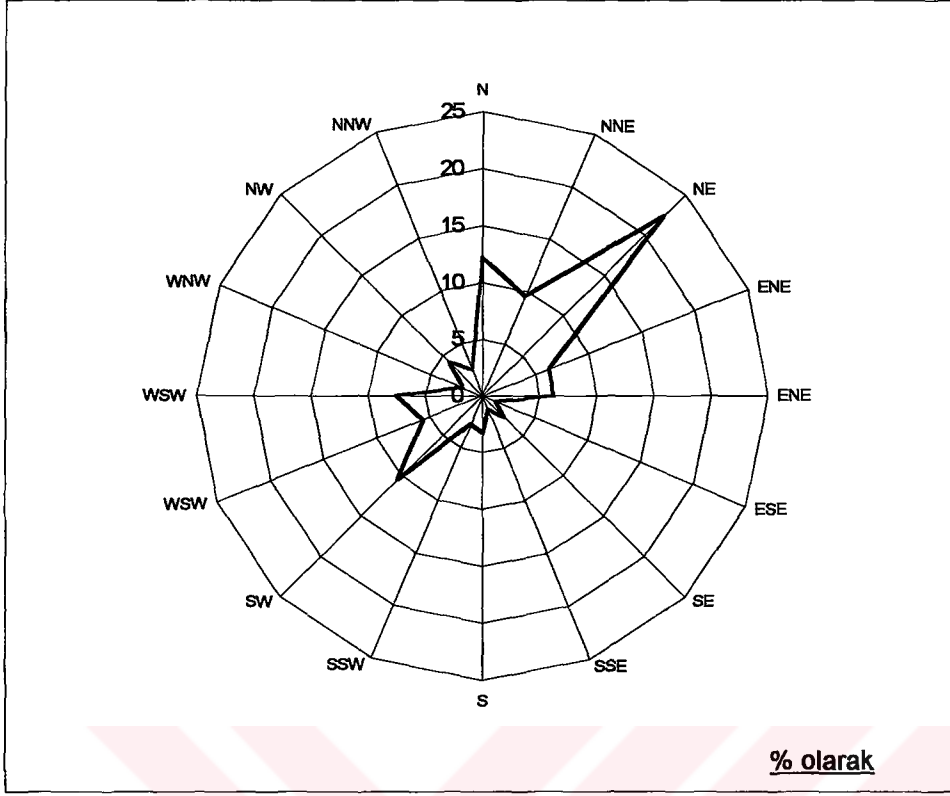
Basınç paternleri incelendiğinde, Ankara'nın kış mevsiminde Sibirya Yüksek Basıncı (CP hava) ile batı bölgelerimizden sokulan kaynak bölgesi Atlantik Okyanusu olan denizsel kutbi (mP) hava ve denizsel tropikal (mT) havanın etkisi altında olduğu görülür (Bary ve Chorley, 1992). Kuşkusuz hava kütlelerinin Balkanlardan ve Akdeniz üzerinden gelmesi Ankara'nın üzerinde etkili olan hava olaylarının çeşitlilik göstermesine yol açacaktır.

Şehrin topoğrafik yapısının bir çanak konumunda olması nedeniyle yamaçlarda soğuyan ve bu nedenle ağırlaşan hava yüzey enverziyonunu kuvvetlendirir. Bu durumlarda rüzgar şiddeti düşük olduğundan, emisyon kaynaklarından çıkan kirleticiler yer seviyesinde yüksek hava kirliliği seviyelerinin yükselmesine yol açar.

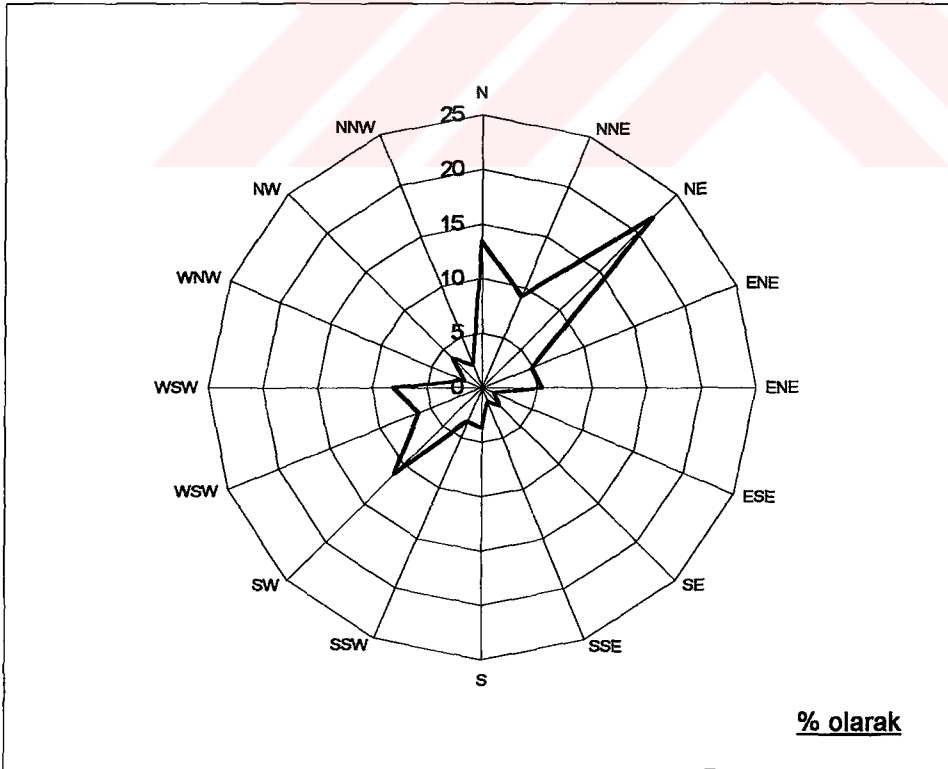
Tablo 2.3.1 Ortalama meteorolojik veriler (DMI, 1992)

| Meteorolojik<br>Elemanlar | Gözlem<br>Süresi<br>(Yıl) | A Y L A R |       |       |        |        |         |         |         |       |       |       |        | YILLIK |
|---------------------------|---------------------------|-----------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|
|                           |                           | Ocak      | Şubat | Mart  | Nisan  | Mayıs  | Haziran | Temmuz  | Ağustos | Eylül | Ekim  | Kasım | Aralık |        |
| Ortalama Sıcaklık (°C)    | 64                        | -0,1      | 1,3   | 5,4   | 11,2   | 15,9   | 19,8    | 23,1    | 23      | 18,4  | 12,8  | 7,3   | 2,3    | 11,7   |
| Ort.Yüksek Sıcaklık (°C)  | 64                        | 4         | 5,9   | 11,2  | 17,4   | 22,2   | 26,4    | 30      | 30,1    | 25,8  | 19,8  | 13,1  | 6,3    | 17,7   |
| Ort.Düşük Sıcaklık (°C)   | 64                        | -3,6      | -2,8  | 0,2   | 5      | 9,3    | 12,4    | 15,2    | 15,2    | 11,2  | 6,6   | 2,5   | -1     | 5,9    |
| En Yüksek Sıcaklık (°C)   | 64                        | 16,4      | 20,4  | 28,5  | 31,6   | 34,4   | 36,4    | 38,8    | 40      | 35,7  | 33,3  | 25,3  | 20,4   | 40     |
| En Düşük Sıcaklık (°C)    | 64                        | -24,9     | -24,2 | -19,2 | -7,2   | -1,6   | 3,8     | 4,5     | 5,5     | -1,5  | -5,3  | -17,5 | -24,2  | -24,9  |
| Ort.Buhar Basıncı (mb)    | 64                        | 5         | 5,1   | 5,8   | 7,3    | 10     | 11,2    | 11,6    | 11      | 9,2   | 8,2   | 7,2   | 5,9    | 8,1    |
| Ort.Bağıl Nem (%)         | 64                        | 78        | 74    | 65    | 58     | 57     | 51      | 44      | 42      | 47    | 58    | 70    | 78     | 60     |
| Ort.Aktüel Basınç (mb)    | 64                        | 943,4     | 911,6 | 911,4 | 910,5  | 911,4  | 911,4   | 910,2   | 910,9   | 913,6 | 915,6 | 918,8 | 914,5  | 912,5  |
| Ort.Rüzgar Hızı (m/sn)    | 34                        | 2,2       | 2,3   | 2,4   | 2,4    | 2,1    | 2,3     | 2,7     | 2,6     | 2,2   | 2     | 1,9   | 2,1    | 2,3    |
| Hakim Rüz.Yönü(1,2)*      | 41                        | NE, N     | NE, N | NE, N | NE, SW | NE, SW | NE, N   | NE, NNE | NE, NNE | NE, N | NE, N | NE, N | NE, SW | NE, N  |
| Ort.Yağış Miktarı(mm)     | 64                        | 40,5      | 34,9  | 35,6  | 40,3   | 51,6   | 32,6    | 13,5    | 10,3    | 17,4  | 24,2  | 30,9  | 45,6   | 377,4  |

(\*) 1. ve 2. derece hakim rüzgar yönünü



Şekil 2.3.1a Yıllık rüzgar gülü



Şekil 2.3.1b Kış mevsimi rüzgar gülü

## 2.4 Emisyon Kaynakları

Ülkemizde şehirler ve sanayi bölgelerindeki hava kirliliği özellikle kış mevsiminde önem kazanmaktadır. Türkiye’de uzun süreli izleme programı Sağlık Bakanlığı tarafından şehirlerde yürütülmektedir. Bu ölçme programı SO<sub>2</sub> ve partikül madde (PM)’yi içermektedir.

Şehirlerdeki kirliliğin nedeni yıllardır evsel ısıtmadan kaynaklanan SO<sub>2</sub> ve partikül madde emisyonlarına bağlandığından, Sağlık Bakanlığı tarafından oluşturulan ölçüm programı sadece bu iki parametre ile sınırlı kalmıştır. Oysa şehirlerde araçlardan kaynaklanan kirliliğin neden olduğu fotokimyasal kirlenmenin varlığı gündeme gelmemektedir. Bu rutin ölçümler dışında azotoksitler (NO<sub>x</sub>) ise sadece Ankara’da iki istasyonda ölçülmektedir.

1950’li yıllardan itibaren sosyal ve ekonomik nedenlerle kırsal kesimden kentlere göç olayının başlaması, diğer büyük şehirlerde olduğu gibi Ankara’da hızlı bir kentleşmeyi ve beraberinde plansız ve programsız yapılaşmayı da getirerek çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle hava kirliliği dendiği zaman ilk akla gelen şehirlerimizden biri olarak Ankara’nın ismi geçmektedir. Sonuç olarak Ankara’da emisyon kaynakları olarak konutların ısıtılması, endüstri ve trafik bu çalışmanın konusu olmuştur.

### 2.4.1 Konutlar

DİE tarafından 1984 yılında yapılan çalışma ile Ankara’da toplam 221 151 adet bina bulunduğu belirlenmiştir (ODTÜ, 1993). Binaların kullanım amaçlarına göre dağılımı ilçelere göre farklılık göstermektedir. Örneğin Keçiören ilçesindeki binaların %96’sı konut olarak kullanılırken Altındağ ilçesinde ise konutların oranı %82’dir (Tablo 2.4.1.1).

Ankara’da 1992 yılı sonu itibari ile 700 000 konut bulunmaktadır. Bu konutlardan 300 000’i kaloriferli (%43), 400 000’i sobalıdır (%57). Konutların %60.7 sinde taşkömürü, %35.7 sinde doğal gaz ve %3.6 sında özel kalorifer yakıtı(sıvı yakıt) kullanılmaktadır.

**Tablo 2.4.1.1 İlçelere göre konut ve işyeri sayıları (ODTÜ, 1993)**

| İlçeler       | Konut         |            | İşyeri       |            | Resmi Kurum |            | Diğerleri   |            | Toplam        |
|---------------|---------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|---------------|
|               | Sayı          | %          | Sayı         | %          | Sayı        | %          | Sayı        | %          | Sayı          |
| Altındağ      | 39661         | 19.7       | 8258         | 48.5       | 167         | 14.2       | 372         | 20.5       | 48458         |
| Çankaya       | 40991         | 20.4       | 2156         | 12.7       | 471         | 38.8       | 486         | 26.8       | 44104         |
| Keçiören      | 39260         | 19.5       | 1108         | 6.5        | 81          | 6.8        | 266         | 14.6       | 40715         |
| Mamak         | 45900         | 22.8       | 1666         | 9.8        | 38          | 3.2        | 283         | 15.6       | 47887         |
| Y. Mahalle    | 29870         | 14.9       | 3352         | 19.7       | 369         | 31.2       | 333         | 18.3       | 33924         |
| Gölbaşı       | 1601          | 0.8        | 212          | 1.2        | 37          | 3.1        | 26          | 1.4        | 1876          |
| Sincan        | 3846          | 1.9        | 270          | 1.6        | 20          | 1.7        | 51          | 2.8        | 4187          |
| <b>Toplam</b> | <b>201129</b> | <b>100</b> | <b>17022</b> | <b>100</b> | <b>1183</b> | <b>100</b> | <b>1817</b> | <b>100</b> | <b>221151</b> |

1992 yılında Ankara’da ısınma amaçlı olarak 741260 ton taşkömürü kullanılırken 402.7 milyon m<sup>3</sup> doğal gaz ve 153436 ton kalorifer yakıtı tüketilmiştir (Tablo 2.4.1.2). Isınma amacıyla kullanılan toplam enerji miktarı içinde bu yakıtların payı sırasıyla %47.8, %35.5 ve %16.7’dir (ODTÜ, 1993).

**Tablo 2.4.1.2 Ankara’da ısınmada kullanılan yakıtlar ve tüketilen enerji miktarı (ODTÜ, 1993).**

| Yakıt       | Miktar                      | Kalori Değeri             | Enerji, kcal/yıl | %    |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|------|
| Taşkömürü   | 741260 ton/yıl              | 6500 Kcal/kg              | 4382xE+9         | 47.8 |
| Doğal gaz   | 402677 Nm <sup>3</sup> /yıl | 8100 Kcal/Nm <sup>3</sup> | 3262xE+9         | 35.5 |
| Kal. Yakıtı | 153436 ton/yıl              | 10000 Kcal/kg             | 9178xE+9         | 16.7 |

Isıtımda kullanılan kömür Rusya ve G.Afrika’dan ithal edilmekte olup, bu kömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.4.1.3’de verilmiştir.

Bunun yanı sıra Ankara’nın özellikle şehir merkezindeki semtlerinde, yani topoğrafik olarak tanımlanan Ankara çanağının iç kısmında ve çanağın çevre bölgelerinde 1990 yılından itibaren doğal gaz geniş anlamda kullanılmaya başlamıştır. Doğal gazın kullanılmaya başlamasıyla ısıtma amacıyla kullanılan kömür miktarında azalma olmuştur (Tablo 2.4.1.4). Doğal gaz Sibiry kökenli olup alt ısı değeri 8100 Kcal/Nm<sup>3</sup>’dür.

Tablo 2.4.1.3 Ankara’da ısıtmada kullanılmak amacıyla ithal edilen kömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

| Kömürün Özellikler             | İthal Edilen Kömürler                                   |                                               |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                | Rusya kömürü                                            | G.Afrika kömürü                               |
| Toplam nem (orijinalde)        | %8 maks.                                                | %6 maks.                                      |
| Uçucu madde(kuru temel)        | %12-18                                                  | %13-18                                        |
| Kükürt(kuru temel)             | %0.6 maks.                                              | %1.0 maks.                                    |
| Kül(kuru temel)                | %17 maks.                                               | %19 maks.                                     |
| Serbest kabartma endeksi       | 0-2.5                                                   | 0-2.5                                         |
| Kül erime noktası              | 1250 °C                                                 | 1250 °C                                       |
| Brüt kalori değeri(kuru temel) | 6500 Kcal/kg min.                                       | 6500 Kcal/kg min.                             |
| Ebat                           | 0-150 mm.<br>(-20 mm): %25 maks.<br>(20-150 mm):75 min. | (-10 mm.): %10 maks.<br>(10-20 mm): %10 maks. |

Tablo 2.4.1.4 Yıllara göre kullanılan kömür miktarı (Ank.B.Şehir.Bld. 1998)

| Kullanılan Yakıt | YILLAR |         |        |        |        |        |
|------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                  | 1989   | 1990    | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   |
| Kömür(ton)       | 986399 | 1061984 | 845964 | 741260 | 713056 | 457942 |

Tablo 2.4.1.5’den görüleceği üzere; Ankara’da 1992 yılında ısınma amacıyla kullanılan yakıtlardan atmosfere yılda 24465 ton CO, 2531 ton NO<sub>x</sub>, 27028 ton hidrokarbon, 7006 ton SO<sub>2</sub> ve 5762 ton partikül madde neşredildiği hesaplanmıştır (ODTÜ, 1993). Bu emisyonlar içinde CO ve yanmamış hidrokarbonlar en büyük miktarı oluşturmaktadır. Partikül maddenin en büyük kaynağı ise kalorifer yakıtıdır. Kalorifer yakıtının toplam emisyonlardaki payı; SO<sub>2</sub> emisyonunda %55.8, partikül madde emisyonunda ise %75 dir. Doğal gazın yakma problemlerinden dolayı hidrokarbon emisyonuna katkısı %25.9’dur (ODTÜ, 1993).

Isınma kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonları en fazla Ulus, Sıhhiye ve Kızılay bölgelerinde, daha sonra da İskitler, Aydınlikevler ve Kavaklıdere bölgesinde yoğun olarak bulunduğu belirlenmiştir (ODTÜ, 1993). NO<sub>x</sub> emisyonları bakımından en yoğun bölgeler Ulus, Opera, Kızılay, Ayrancı ve Kavaklıdere; CO emisyonlarında ise en yoğun bölgeler Kızılay, Cebeci, Kavaklıdere ve Maltepe’dir (ODTÜ, 1993).

Tablo 2.4.1.5 Isınma amacıyla kullanılan yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar, (ODTÜ, 1993)

| Yakıtlar         |             | Emisyonlar (Ton/yıl) |                 |             |                 |       |
|------------------|-------------|----------------------|-----------------|-------------|-----------------|-------|
|                  |             | CO                   | NO <sub>x</sub> | Hidrokarbon | SO <sub>2</sub> | PM    |
| Kömür            | Sobalı      | 17 950               | 1 086           | 94          | 1 889           | 945   |
|                  | Kaloriferli | 4 092                | 425             | 15 142      | 1 200           | 378   |
| Doğal gaz        |             | 2 375                | 330             | 7 006       | 7               | 113   |
| Kalorifer yakıtı |             | 48                   | 690             | 4 786       | 3 910           | 4 326 |
| Toplam           |             | 24 465               | 2 531           | 27 028      | 7 006           | 5 762 |

## 2.4.2 Endüstri Tesisleri

1993 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde 269 adet imalat sanayi işyeri olduğu belirlenmiştir (Tablo 2.4.2.1). En fazla sanayi tesisinin Yenimahalle ilçesinde (98 adet), en az ise Keçiören ilçesinde (3 adet) bulunduğu görülmektedir. Ankara, sanayileşmiş bir şehir olmadığından Büyükşehir Belediye sınırları dahilinde yoğun sanayi bölgeleri bulunmamaktadır. Ankara Organize Sanayi Bölgesi ve Dökümcüler Sitesi Sincan ilçesinde, OSTİM Küçük Sanayi Sitesi ve Oto Sanatkarları Sanayi Sitesi Yenimahalle ilçesinde, Ata Sanayi, Büyük Sanayi ve Demir Sanayi İskitler semtinde ve Yeni Sanayi Dışkapı semtinde yer almaktadır (ODTÜ, 1993).

İmalat sanayi işyerlerinde yakıt olarak fuel oil, mazot, doğal gaz, linyit kömürü, kok ve maden kömürü kullanılmaktadır. Bu tesislerde ağırlıklı olarak sıvı yakıt kullanılmaktadır. Buna göre Yenimahalle ilçesi en önemli fuel-oil tüketicisi konumunda iken, en çok linyit kömürü Etimesgut ilçesinde yakılmaktadır. Endüstriyel tesislerinde linyit kömürü ve 6 numaralı fuel-oil kullanılmasından dolayı 4139 ton/yıl SO<sub>2</sub>, yanmanın tam olmamasından dolayı ise 10965 ton/yıl CO, 3492 ton/yıl yanmamış hidrokarbon ve 3265 ton/yıl partikül madde atmosfere neşredilmektedir (Tablo 2.4.2.2).

1992 yılında yapılan çalışma sonucu hazırlanan endüstriden kaynaklanan kirlilik haritalarında, en fazla kirliliğin endüstri yoğunluğunun en fazla olduğu Yenimahalle ve Altındağ ilçelerinde olduğu görülmüştür. SO<sub>2</sub> emisyonu bakımından en yoğun bölgeler Yenimahalle ve Etimesgut ilçeleridir. Bunun nedeni, bu bölgelerde yoğun

olarak fuel-oil No.6 ve linyit kömürü kullanılmasıdır. CO, hidrokarbon ve partikül madde bakımından en yoğun bölge de Etimesgut ilçesidir (ODTÜ, 1993).

Tablo 2.4.2.1 Ankara’da ilçelere göre sanayi tesislerinin dağılımı (ODTÜ, 1993).

| İLÇELER     | İmalat sanayi işyeri (adet) |
|-------------|-----------------------------|
| Yenimahalle | 98                          |
| Altındağ    | 59                          |
| Çankaya     | 42                          |
| Etimesgut   | 28                          |
| Gölbaşı     | 16                          |
| Mamak       | 12                          |
| Sincan      | 11                          |
| Keçiören    | 3                           |
| TOPLAM      | 269                         |

Tablo 2.4.2.2 Ankara’da ilçelere göre sanayi tesislerinden kaynaklanan emisyonlar (ODTÜ, 1993).

| İLÇELER     | Emisyonlar (ton/yıl) |      |                 |       |             |
|-------------|----------------------|------|-----------------|-------|-------------|
|             | SO <sub>2</sub>      | PM   | NO <sub>x</sub> | CO    | Hidrokarbon |
| Altındağ    | 431                  | 374  | 61              | 13    | 447         |
| Çankaya     | 598                  | 304  | 54              | 93    | 573         |
| Etimesgut   | 1534                 | 1578 | 120             | 8856  | 1428        |
| Keçiören    | 10                   | 5    | 0.8             | 0.1   | 5.7         |
| Mamak       | 199                  | 138  | 18              | 298   | 139         |
| Sincan      | 126                  | 67   | 11              | 17    | 73          |
| Yenimahalle | 1153                 | 685  | 95              | 1012  | 733         |
| Gölbaşı     | 88                   | 114  | 7.8             | 676   | 94          |
| TOPLAM      | 4139                 | 3265 | 365             | 10965 | 3492        |

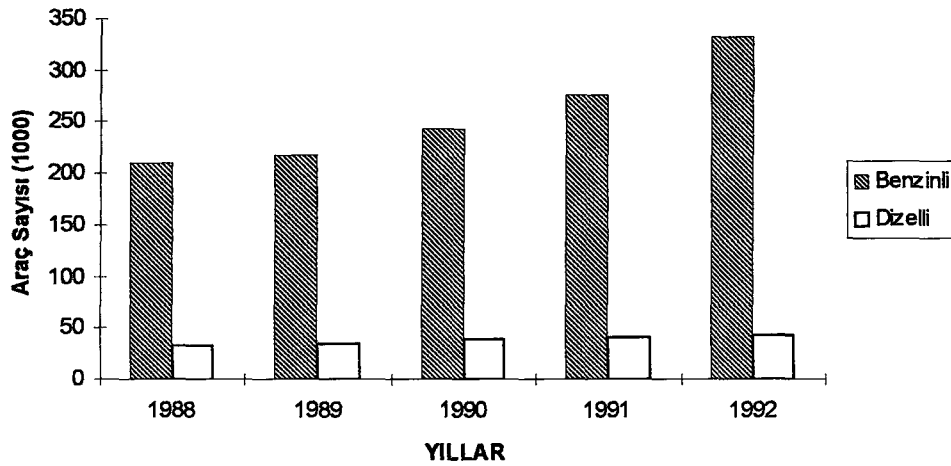
### 2.4.3 Motorlu Araçlar

Emisyon kaynakları arasında şüphesiz en önemlilerinden biri de trafik ya da çizgisel kaynaklardır. 1988-1992 yıllarındaki motorlu araç sayısı Tablo 2.4.3.1’de gösterilmiştir. Bu veriler Ankara ili toplamı olup Büyükşehir Belediye sınırları

dışındaki araçları da kapsamaktadır. Ankara Büyükşehir Belediyesi sınırları dahilinde yer alan ana arterler; güney-kuzey yönünde Konya Yolu, doğu-batı yönünde İstanbul, Samsun ve Eskişehir Yolu'dur. Önemli bulvar ve caddeler ise; Atatürk Bulvarı, İnönü Bulvarı, İrfan Baştuğ Caddesi, Cumhuriyet Bulvarı, Dikmen Caddesi, Mamak Caddesi, Dogol Caddesi, Plevne Caddesi, Çiftlik Caddesi, Cemal Gürsel caddesi, İvedik caddesi, Ziya Gökalp Caddesi, Mithatpaşa Caddesi, Gençlik Caddesi, Çankırı Caddesi, Anafartalar Caddesi, Tandoğan Caddesi, İskitler Caddesi ve Celal Bayar Bulvarı'dır. Şekil 2.4.3.1'de benzinli araç sayısında sürekli bir artış gözlenirken dizelli araç sayısı artışının az olduğu görülmektedir (ODTÜ, 1993).

Tablo 2.4.3.1 Ankara ilindeki motorlu araç sayısı (ODTÜ, 1993)

| YILLAR | Motorlu Araçlar |         | TOPLAM  |
|--------|-----------------|---------|---------|
|        | Benzinli        | Dizelli |         |
| 1988   | 210 870         | 32 608  | 243 478 |
| 1989   | 217 388         | 34 786  | 252 174 |
| 1990   | 243 478         | 39 130  | 282 608 |
| 1991   | 276 086         | 41 304  | 317 390 |
| 1992   | 331 608         | 42 071  | 373 679 |



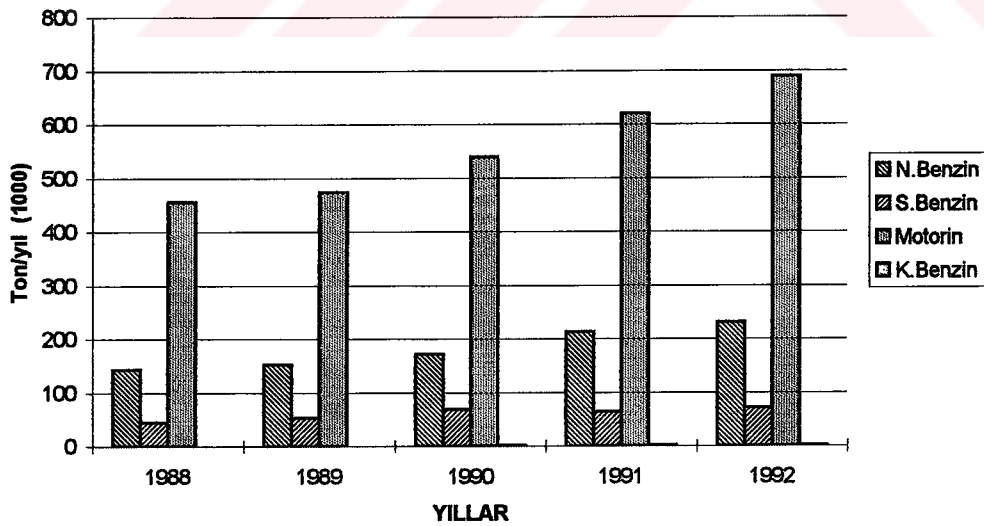
Şekil.2.4.3.1 Ankara ilindeki motorlu araç sayısı (ODTÜ, 1993)

1988-1992 yıllarında Ankara’da tüketilen akaryakıt miktarı Tablo 2.4.3.2’de verilmiştir. 1992 yılında Ankara’da toplam 989420 ton akaryakıt tüketilmiştir. Bu miktarın %70’i motorin, %23’ü normal benzin, %7’si süper benzin, %0.07’si de kurşunsuz benzindir. Toplam motorin kullanımı büyük hızla artarken normal ve süper benzin tüketiminde daha az artış olduğu, kurşunsuz benzin tüketiminin ise oldukça az olduğu görülmektedir (Şekil 2.4.3.2).

Tablo 2.4.3.2 Ankara ilinde motorlu araçlarda tüketilen yıllık akaryakıt miktarı.

| AKARYAKIT(ton) |           | YILLAR  |         |         |         |         |
|----------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                |           | 1988    | 1989    | 1990    | 1991    | 1992    |
| Benzin         | Normal    | 142 765 | 151 703 | 171 370 | 211 915 | 229 485 |
|                | Süper     | 44 811  | 52 878  | 67 714  | 62 924  | 70 216  |
|                | Kurşunsuz | *       | *       | 699     | 668     | 690     |
| Motorin        |           | 445 554 | 472 747 | 539 366 | 618 629 | 689 028 |
| TOPLAM         |           | 643 130 | 677 328 | 779 149 | 894 136 | 989 419 |

Not: (\*) Bu yıllarda kurşunsuz benzin satışı yok.



Şekil 2.4.3.2 Ankara ilinde motorlu araçlarda tüketilen yıllık akaryakıt miktarı.

Benzinli ve dizelli araçlardan kaynaklanan yıllık emisyon miktarları ve yüzdeleri Tablo 2.4.3.3’de verilmiştir. SO<sub>2</sub> emisyonunun %58’i benzinli, %42’si dizelli araçlardan, partikül maddenin ise %35’i benzinli, %65’i ise dizelli araçlardan kaynaklanmaktadır. 1992 yılında yapılan çalışma sonucunda hazırlanan kirlilik haritalarında; en yoğun CO, NO<sub>x</sub> ve hidrokarbon seviyeleri Atatürk Bulvarı ve İnönü Bulvarı’nda görülmüştür (ODTÜ, 1993).

Tablo 2.4.3.3 Araçlardan kaynaklanan yıllık emisyon miktarları ve Yüzdeleri (ODTÜ, 1993).

| ARAÇLAR  | Yakıt<br>(t/yıl) (%) | EMİSYONLAR        |                                |                            |                                |                   |                   |
|----------|----------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|
|          |                      | CO<br>(t/yıl) (%) | NO <sub>x</sub><br>(t/yıl) (%) | Hidrokarbon<br>(t/yıl) (%) | SO <sub>2</sub><br>(t/yıl) (%) | PM<br>(t/yıl) (%) | Kurşun<br>(t/yıl) |
| Benzinli | 92336 (60)           | 17932 (93)        | 2305 (39)                      | 2269 (69)                  | 473 (58)                       | 38 (35)           | 13                |
| Dizelli  | 62250 (40)           | 1459 (7)          | 3642 (61)                      | 1007 (31)                  | 335 (42)                       | 70 (65)           | 1.9               |
| TOPLAM   | 154616               | 19391             | 5947                           | 3276                       | 808                            | 108               | 14.9              |

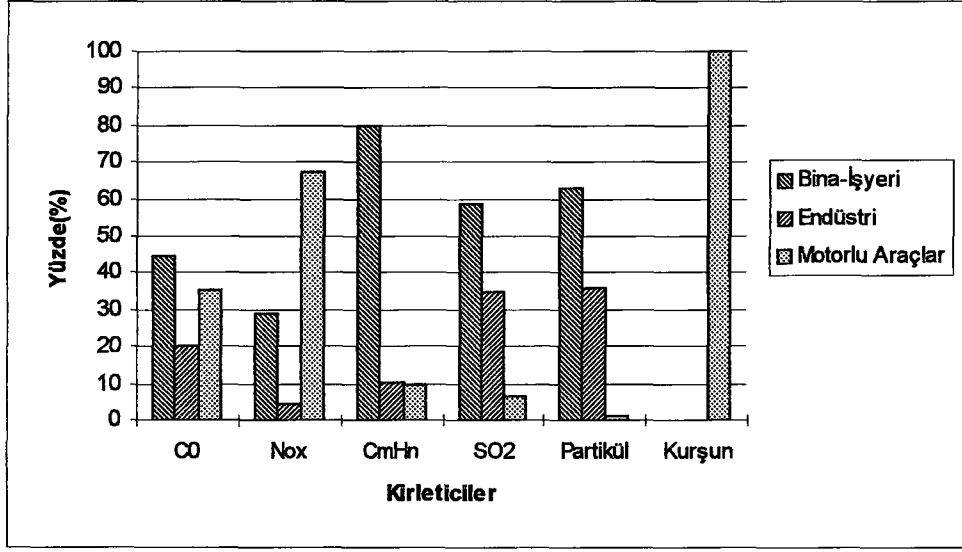
#### 2.4.4. Toplam Emisyon Miktarı

Toplam emisyon miktarlarından, CO emisyonunun %44.6’sı bina-işyerlerinden, %35.4’ü motorlu araçlardan ve %20’si endüstriden, SO<sub>2</sub> emisyonunun %58.7’si bina-işyerlerinden, %34.6’sı endüstriden ve %6.7’si motorlu araçlardan, partikül maddenin ise %63.1’i bina ve işyerlerinden %35.7’si endüstriden kaynaklandığı Tablo 2.4.4.1 ve Şekil 2.4.4.1’de görülmektedir (ODTÜ, 1993).

Tablo 2.4.4.1 Toplam emisyon miktarının kaynaklara göre dağılımı (ODTÜ, 1993)

| KAYNAKLAR       | EMİSYONLAR(%)   |      |      |                 |      |        |
|-----------------|-----------------|------|------|-----------------|------|--------|
|                 | SO <sub>2</sub> | PM   | CO   | NO <sub>x</sub> | CmHn | Kurşun |
| Bina ve işyeri  | 58.7            | 63.1 | 44.6 | 28.6            | 80   | -      |
| Endüstri        | 34.6            | 35.7 | 20   | 4.2             | 10.3 | -      |
| Motorlu araçlar | 6.7             | 1.2  | 35.4 | 67.2            | 9.7  | 100    |

Sonuç olarak; kirliliğin ve özellikle SO<sub>2</sub> ve PM emisyonlarının asıl kaynağının ısıtma amaçlı kullanılan yakıtlar olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4.4.1. Toplam kirleticilerin kaynaklara göre dağılımı (ODTÜ, 1993)

## BÖLÜM 3

### HAVA KİRLİLİĞİ EPİSODLARININ SINIFLANDIRILMASI

#### 3.1 Giriş

Hava kalitesine yönelik sınıflandırmalar içerisinde episod denilen etkin kriterler önde gelmektedir. Şehirsel hava kirliliği olaylarının incelenmesinde episod olayları ve bunların meydana gelmesine zemin hazırlayan meteorolojik koşulların belirlenmesi gerekir. Bu bilgi, hava kirliliği ile ilgili önlemlerin alınmasında önemli yararlar sağlayacaktır (İncecik, 1995).

Yakıt ve benzerlerinin yanmasıyla; sentez, ayrışma, buharlaşma ve benzeri işlemlerle; maddelerin yığılması, ayrılması, taşınması, ve bu gibi diğer mekanik işlemler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan hava kirleticiler emisyon olarak tanımlanmaktadır.

İnsan sağlığının korunması, çevrede, kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerin, bir arada bulunduklarında, değişen zararlı etkileri de gözönüne alınarak tespit edilmiş konsantrasyon birimleriyle ifade edilen seviyeler hava kalitesi sınır değerleri olarak tanımlanır. Bu değerlerden, aşılmaması gereken, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerler uzun vadeli sınır değerler (UVS) olarak, maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95'ini aşmaması gereken değerler ise kısa vadeli sınır değerler (KVS) olarak tanımlanır. Farklı olarak, çöken tozlar için aşılmaması gereken maksimum aylık ortalama değerdir (HKKY). UVS ve KVS değerler için öngörülen süreler genellikle 1 yıllık periyodları kapsar. SO<sub>2</sub> ve PM hava kirleticileri için uyulması gereken uzun ve kısa vadeli sınır değerler Tablo 3.1.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1.1 SO<sub>2</sub> ve PM hava kirleticileri için uyulması gereken sınır değerler (HKKY).

| Kirleticiler                      | Sınır Değerler        |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                   | UVS                   | KVS                   |
| Kükürt Dioksit (SO <sub>2</sub> ) | 250 µg/m <sup>3</sup> | 400 µg/m <sup>3</sup> |
| Partikül Madde(PM)                | 200 µg/m <sup>3</sup> | 300 µg/m <sup>3</sup> |

### 3.2. Data

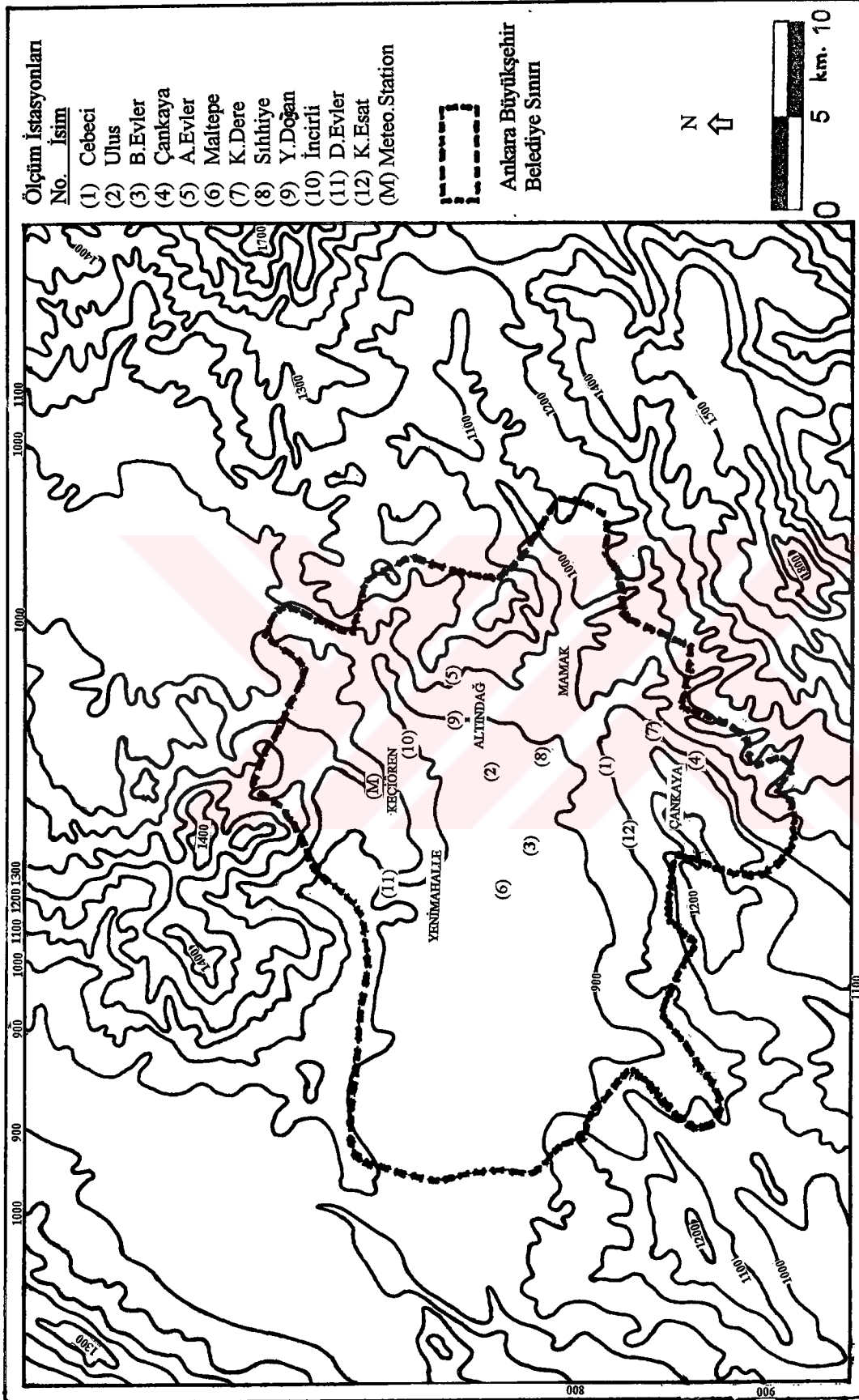
Çalışma döneminde meydana gelen episodları tespit etmek ve sınıflandırmak için Sağlık Bakanlığı, Refik Saydam Hıfzıssıhha Araştırma Merkezi'nden Ankara'da hava kirliliği ölçümü yapılan istasyonlara ait günlük ortalama SO<sub>2</sub> ve PM verileri temin edilmiştir.

Bu çalışma döneminde (Ekim 1989-Mart 1994), Nisan 1990-Eylül 1991 arası hariç daima 8 istasyonda sürekli olarak SO<sub>2</sub> ve PM imisyon ölçümleri yapılmıştır. Cebeci, Sıhhiye, Bahçelievler ve Çankaya istasyonları değişmemiş, ancak 1991-Ekim ayından itibaren Aydınlikevler, Maltepe, Kavaklıdere ve Ulus istasyonları yerine Küçükesat, Demetevler, İncirli ve Yenidoğan istasyonlarında ölçüm yapılmıştır (Tablo 3.2.1). 1991 Ekim ayında 4 istasyonun yeri değiştiği için ölçüm tarihleri iki dönem şeklinde sınıflandırılmıştır.

SO<sub>2</sub> ve PM imisyon ölçümü yapılan istasyonlardan; Çankaya şehrin güneyinde, Maltepe, Ulus, Bahçelievler ve Sıhhiye şehir merkezinde, Cebeci şehrin doğusunda, Aydınlikevler şehrin kuzeydoğusunda, Kavaklıdere şehir merkezinin güneyinde, Küçükesat şehrin güneybatısında, Demetevler şehrin kuzeybatısında, İncirli şehrin kuzeyinde ve Yenidoğan şehrin kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 3.2.1).

Tablo.3.2.1 Ankara'da hava kirliliği ölçüm istasyonları.

| I.Dönem      |                       | II.Dönem     |                       |
|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| İstasyon Adı | Ölçüm Tarihleri       | İstasyon Adı | Ölçüm Tarihleri       |
| Cebeci       | 1989(Ekim)-1994(Mart) | Cebeci       | 1989(Ekim)-1994(Mart) |
| Ulus         | 1989(Ekim)-1991(Ekim) | Yenidoğan    | 1991(Ekim)-1994(Mart) |
| B.Evler      | 1989(Ekim)-1994(Mart) | B.Evler      | 1989(Ekim)-1994(Mart) |
| Çankaya      | 1989(Ekim)-1994(Mart) | Çankaya      | 1989(Ekim)-1994(Mart) |
| A.Evler      | 1989(Ekim)-1990(Mart) | İncirli      | 1991(Ekim)-1994(Mart) |
| Maltepe      | 1989(Ekim)-1991(Ekim) | Demetevler   | 1991(Ekim)-1994(Mart) |
| K.Dere       | 1989(Ekim)-1991(Ekim) | Küçükesat    | 1991(Ekim)-1994(Mart) |
| Sıhhiye      | 1989(Ekim)-1994(Mart) | Sıhhiye      | 1989(Ekim)-1994(Mart) |



Şekil 3.2.1 Ankara'nın topoğrafik haritası ve ölçüm istasyonlarının yerleri

### 3.3. Episodların Tespiti ve Sınıflandırılması

Bu bölümde, Ekim 1989-Mart 1994 tarihleri arasındaki beş kış mevsimine (Ekim-Mart) ait toplam 30 ayın imisyon verileri değerlendirilerek Ankara'da meydana gelmiş olan episodlar tespit edilmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu değerlendirmede aşağıdaki metod izlenmiştir.

- 1- Önce episod kriteri belirlenmiştir. Hava kalitesi standart tanımına dayanarak episodların tespitinde şu kriter uygulanmıştır: SO<sub>2</sub> veya PM'den birinin, 24 saatlik periyotta en az iki ölçme istasyonunda en az iki gün süren bir olayda Tablo 3.1.1'de belirtilen dış hava kalite sınırlarını (UVS) aşması hava kirliliği episod kriteri olarak belirlenmiştir.
- 2- Yukarıda belirtilen kriter çerçevesinde istasyon bazında SO<sub>2</sub> konsantrasyonunda 250 µg/m<sup>3</sup>ü, PM konsantrasyonunda ise 200 µg/m<sup>3</sup>ü aşan günler tespit edilmiştir. İstasyon bazında sınır değerleri aşan günlerin sayısı Tablo 3.3.1'de verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında SO<sub>2</sub> sınır değerler en fazla Bahçelievler, Kavaklıdere, Maltepe ve Çankaya istasyonlarında, PM sınır değerler ise en fazla Bahçelievler, Ulus ve Cebeci istasyonlarında aşıldığı görülmektedir. Ayrıca, istasyonlardaki aylık ortalama SO<sub>2</sub> ve PM değerleri hesaplanmış ve en yüksek değerlerin genellikle sınır değerleri en fazla aşan istasyonlarda meydana geldiği görülmüştür (Tablo 3.3.2). Burada, Çankaya'daki yüksek konsantrasyon olmasının nedeni kentin merkezi yönünden taşınan kirleticilerden kaynaklanmakta, Kavaklıdere, Bahçelievler ve Maltepe'deki yüksek konsantrasyon olmasının nedeni ise bu istasyonların topoğrafik olarak çanak konumunda olan Ankara'nın merkezinde yer almasıdır (JICA, 1985).

3- İstasyon bazında episod kriteri çerçevesinde tespit yapıldıktan sonra;

- a) SO<sub>2</sub> konsantrasyonunda 250 µg/m<sup>3</sup> ve 400 µg/m<sup>3</sup> ü aşan günler,
- b) PM konsantrasyonunda 200 µg/m<sup>3</sup> ve 300 µg/m<sup>3</sup> ü aşan günler,

şeklinde sınıflandırma yapılarak episodlar belirlenmiştir. Burada; SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> için 2-21 gün süren toplam 42 adet (toplam 243 gün), SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> için 2-10 gün süren toplam 26 adet (toplam 93 gün), PM ≥ 200 µg/m<sup>3</sup> için 2-11 gün süren toplam 40 adet (toplam 135 gün) ve PM ≥ 300 µg/m<sup>3</sup> için 2-5 gün süren toplam 9

Tablo 3.3.1 Ölçüm istasyonlarında episod günlerini ( $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  ve  $400 \mu g/m^3$ ,  $PM \geq 200 \mu g/m^3$  ve  $300 \mu g/m^3$ ) aşan günlerin sayısı

| YIL    | S T A S Y O N L A R |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
|--------|---------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|
|        | Cebeci              |     |     |     | Ulus            |     |     |     | Bahçelievler    |     |     |     | Çankaya         |     |     |     | Aydınlıktepe    |     |     |     | Maltepe         |     |     |     |
|        | SO <sub>2</sub>     |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     |
|        | 250                 | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 |
| 1989   | 0                   | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Ekim   | 0                   | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Kasım  | 6                   | 1   | 5   | 1   | 2               | 1   | 7   | 1   | 12              | 9   | 8   | 1   | 16              | 6   | 1   | 0   | 1               | 0   | 6   | 1   | 10              | 9   | 1   | 12  |
| Aralık | 19                  | 7   | 11  | 5   | 11              | 1   | 12  | 5   | 24              | 16  | 9   | 4   | 21              | 12  | 13  | 7   | 8               | 4   | 7   | 1   | 21              | 5   | 7   | 3   |
| 1990   | 25                  | 14  | 15  | 8   | 19              | 11  | 16  | 8   | 27              | 14  | 22  | 7   | 28              | 14  | 14  | 9   | 5               | 1   | 11  | 5   | 27              | 10  | 11  | 8   |
| Ocak   | 10                  | 3   | 2   | 0   | 13              | 2   | 6   | 1   | 24              | 8   | 5   | 1   | 18              | 5   | 1   | 1   | 9               | 0   | 3   | 0   | 17              | 6   | 3   | 0   |
| Şubat  | 15                  | 1   | 0   | 0   | 8               | 0   | 9   | 0   | 14              | 4   | 4   | 0   | 11              | 1   | 0   | 0   | 1               | 0   | 4   | 0   | 11              | 2   | 2   | 0   |
| Mart   | 0                   | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Ekim   | 0                   | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Kasım  | 5                   | 0   | 1   | 0   | 9               | 1   | 8   | 0   | 16              | 9   | 17  | 2   | 8               | 3   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Aralık | 8                   | 1   | 5   | 0   | 7               | 2   | 7   | 1   | 14              | 8   | 5   | 0   | 14              | 7   | 1   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 18              | 8   | 4   | 1   |
| 1991   | 13                  | 0   | 7   | 0   | 11              | 2   | 9   | 2   | 22              | 9   | 9   | 4   | 18              | 6   | 1   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 19              | 10  | 0   | 0   |
| Ocak   | 5                   | 0   | 1   | 0   | 10              | 0   | 2   | 0   | 14              | 5   | 0   | 0   | 5               | 1   | 1   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 14              | 1   | 1   | 0   |
| Şubat  | 0                   | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Mart   | 0                   | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   |
| Toplam | 106                 | 27  | 47  | 14  | 90              | 20  | 81  | 18  | 186             | 86  | 86  | 19  | 155             | 56  | 32  | 17  | 24              | 5   | 33  | 7   | 164             | 63  | 46  | 13  |

| YIL    | S T A S Y O N L A R |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |                 |     |     |     |
|--------|---------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|
|        | Cebeci              |     |     |     | Yenidoğan       |     |     |     | Bahçelievler    |     |     |     | Çankaya         |     |     |     | İncirli         |     |     |     | Demetevler      |     |     |     |
|        | SO <sub>2</sub>     |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     | SO <sub>2</sub> |     | PM  |     |
|        | 250                 | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 | 250             | 400 | 200 | 300 |
| 1992   | 0                   | 0   | 14  | 6   | 1               | 0   | 7   | 0   | 9               | 0   | 5   | 1   | 0               | 0   | 1   | 0   | 0               | 0   | 7   | 0   | 1               | 0   | 9   | 2   |
| Kasım  | 8                   | 2   | 3   | 0   | 6               | 0   | 2   | 0   | 9               | 2   | 1   | 0   | 5               | 0   | 0   | 0   | 8               | 0   | 7   | 1   | 3               | 0   | 0   | 0   |
| Aralık | 15                  | 3   | 11  | 3   | 23              | 4   | 7   | 1   | 10              | 2   | 4   | 0   | 13              | 8   | 8   | 0   | 18              | 4   | 6   | 3   | 15              | 7   | 11  | 2   |
| Ocak   | 7                   | 1   | 5   | 1   | 11              | 6   | 6   | 1   | 8               | 4   | 3   | 0   | 6               | 2   | 2   | 0   | 14              | 7   | 8   | 0   | 12              | 3   | 7   | 1   |
| Şubat  | 0                   | 0   | 1   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 1   | 0   | 0               | 0   | 1   | 0   | 0               | 0   | 1   | 0   | 0               | 0   | 1   | 0   |
| Aralık | 10                  | 1   | 11  | 5   | 12              | 1   | 10  | 5   | 9               | 2   | 6   | 3   | 7               | 3   | 4   | 3   | 0               | 0   | 0   | 0   | 10              | 2   | 10  | 4   |
| 1993   | 0                   | 0   | 10  | 6   | 0               | 0   | 7   | 3   | 0               | 0   | 7   | 4   | 0               | 0   | 1   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 0               | 0   | 7   | 6   |
| Kasım  | 0                   | 0   | 12  | 2   | 1               | 0   | 2   | 1   | 1               | 0   | 2   | 1   | 0               | 0   | 1   | 0   | 2               | 1   | 11  | 2   | 2               | 0   | 8   | 2   |
| Aralık | 0                   | 0   | 6   | 0   | 6               | 0   | 7   | 0   | 0               | 0   | 2   | 0   | 0               | 0   | 0   | 0   | 3               | 0   | 10  | 3   | 2               | 0   | 6   | 0   |
| Ocak   | 40                  | 7   | 73  | 23  | 60              | 11  | 48  | 11  | 46              | 10  | 31  | 9   | 31              | 13  | 18  | 3   | 45              | 12  | 50  | 9   | 45              | 12  | 59  | 17  |
| Toplam | 40                  | 7   | 73  | 23  | 60              | 11  | 48  | 11  | 46              | 10  | 31  | 9   | 31              | 13  | 18  | 3   | 45              | 12  | 50  | 9   | 45              | 12  | 59  | 17  |

Not: (\*) Veri yoktur.

Tablo 3.3.2 İstasyonlardaki aylık ortalama SO<sub>2</sub> ve PM değerleri (µg/m<sup>3</sup>).

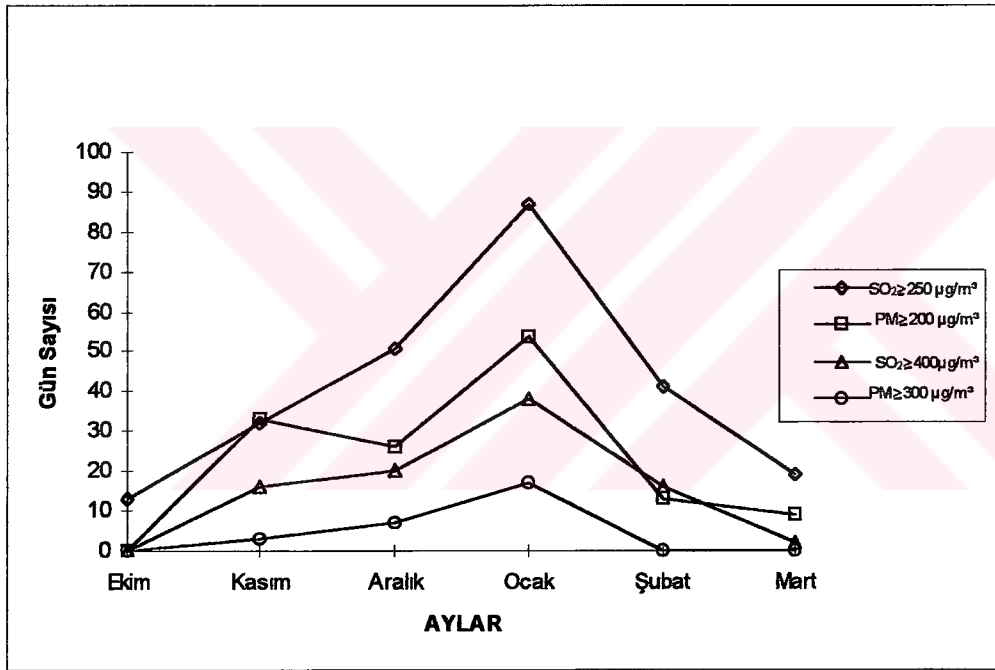
| YIL  | Ay     | İSTASYONLAR (I.Dönem) |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |
|------|--------|-----------------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
|      |        | Cebeci                |     | Ulus            |     | B.Evler         |     | Çankaya         |     | A.Evler         |     | Maltepe         |     | K.Dere          |     | Sıhhiye         |     |
|      |        | SO <sub>2</sub>       | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  |
| 1989 | Ekim   | 107                   | 97  | 99              | 123 | 221             | 128 | 180             | 66  | 55              | 97  | 151             | 100 | 162             | 120 | 135             | 116 |
|      | Kasım  | 163                   | 115 | 202             | 154 | 312             | 154 | 307             | 91  | 127             | 130 | 266             | 130 | 268             | 105 | 243             | 127 |
|      | Aralık | 298                   | 182 | 299             | 217 | 446             | 258 | 348             | 203 | 242             | 160 | 307             | 183 | 327             | 194 | 284             | 167 |
| 1990 | Ocak   | 399                   | 240 | 353             | 266 | 384             | 270 | 503             | 229 | 194             | 195 | 379             | 225 | 412             | 233 | 356             | 197 |
|      | Şubat  | 270                   | 119 | 271             | 169 | 376             | 179 | 318             | 103 | 191             | 124 | 331             | 129 | 316             | 143 | 295             | 127 |
|      | Mart   | 235                   | 109 | 205             | 161 | 269             | 133 | 231             | 97  | 136             | 133 | 260             | 128 | 321             | 155 | 258             | 129 |
|      | Ekim   | 70                    | 77  | 69              | 100 | 128             | 115 | 112             | 55  | *               | *   | 97              | 95  | 104             | 85  | 93              | 96  |
|      | Kasım  | 185                   | 117 | 195             | 174 | 321             | 185 | 203             | 74  | *               | *   | 308             | 155 | 295             | 112 | 214             | 157 |
|      | Aralık | 206                   | 111 | 205             | 148 | 281             | 125 | 258             | 76  | *               | *   | 308             | 111 | 276             | 99  | 224             | 101 |
|      | Ocak   | 248                   | 137 | 206             | 170 | 325             | 168 | 283             | 93  | *               | *   | 352             | 146 | 368             | 100 | 281             | 120 |
| 1991 | Şubat  | 177                   | 111 | 215             | 124 | 274             | 91  | 202             | 78  | *               | *   | 242             | 93  | 275             | 61  | 257             | 88  |
|      | Mart   | 110                   | 78  | 134             | 96  | 154             | 71  | 142             | 60  | *               | *   | 161             | 81  | 164             | 54  | 165             | 79  |

| YIL  | Ay     | İSTASYONLAR (II.Dönem) |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |
|------|--------|------------------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
|      |        | Cebeci                 |     | Yenidoğan       |     | B.Evler         |     | Çankaya         |     | İncirli         |     | D.Evler         |     | Küçüksat        |     | Sıhhiye         |     |
|      |        | SO <sub>2</sub>        | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  |
| 1991 | Ekim   | *                      | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   |
|      | Kasım  | 127                    | 179 | 161             | 142 | 211             | 146 | 147             | 105 | 70              | 181 | 114             | 160 | 147             | 153 | 125             | 158 |
|      | Aralık | 185                    | 119 | 184             | 91  | 207             | 74  | 163             | 68  | 186             | 167 | 162             | 80  | 168             | 92  | 210             | 85  |
| 1992 | Ocak   | 278                    | 176 | 296             | 154 | 246             | 110 | 283             | 135 | 304             | 159 | 310             | 171 | 279             | 141 | 240             | 158 |
|      | Şubat  | 197                    | 131 | 264             | 133 | 218             | 96  | 198             | 90  | 264             | 133 | 225             | 122 | 218             | 103 | 247             | 117 |
|      | Mart   | 113                    | 77  | 153             | 91  | 122             | 68  | 85              | 64  | 136             | 94  | 127             | 75  | 120             | 72  | 123             | 78  |
|      | Ekim   | *                      | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   |
|      | Kasım  | *                      | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   | *               | *   |
|      | Aralık | 121                    | 92  | 116             | 75  | 108             | 70  | 141             | 58  | 88              | 100 | 108             | 63  | 94              | 91  | 161             | 45  |
|      | Ocak   | 215                    | 192 | 216             | 173 | 185             | 123 | 201             | 138 | *               | *   | 203             | 172 | 199             | 177 | 226             | 170 |
| 1993 | Şubat  | 114                    | 97  | 135             | 72  | 100             | 45  | 103             | 57  | *               | *   | 105             | 65  | 101             | 90  | 127             | 90  |
|      | Mart   | 92                     | 83  | 104             | 72  | 77              | 47  | 58              | 38  | *               | *   | 83              | 73  | 73              | 66  | 94              | 77  |
|      | Ekim   | 40                     | 116 | 41              | 82  | 31              | 87  | 41              | 57  | *               | *   | 31              | 87  | 52              | 95  | 53              | 96  |
|      | Kasım  | 69                     | 164 | 77              | 128 | 81              | 125 | 57              | 80  | *               | *   | 64              | 137 | 84              | 153 | 98              | 111 |
|      | Aralık | 106                    | 172 | 103             | 137 | 99              | 114 | 65              | 82  | 130             | 166 | 100             | 165 | 104             | 138 | 137             | 163 |
|      | Ocak   | 115                    | 159 | 174             | 125 | 88              | 95  | 80              | 77  | 143             | 163 | 123             | 131 | 93              | 96  | 95              | 138 |
| 1994 | Şubat  | 115                    | 141 | 155             | 95  | 78              | 79  | 82              | 58  | 128             | 114 | 138             | 95  | 84              | 73  | 109             | 98  |
|      | Mart   | 84                     | 103 | 97              | 66  | 89              | 67  | 77              | 44  | 92              | 99  | 90              | 70  | 83              | 54  | 108             | 79  |

Not: (\*) Veri yok.

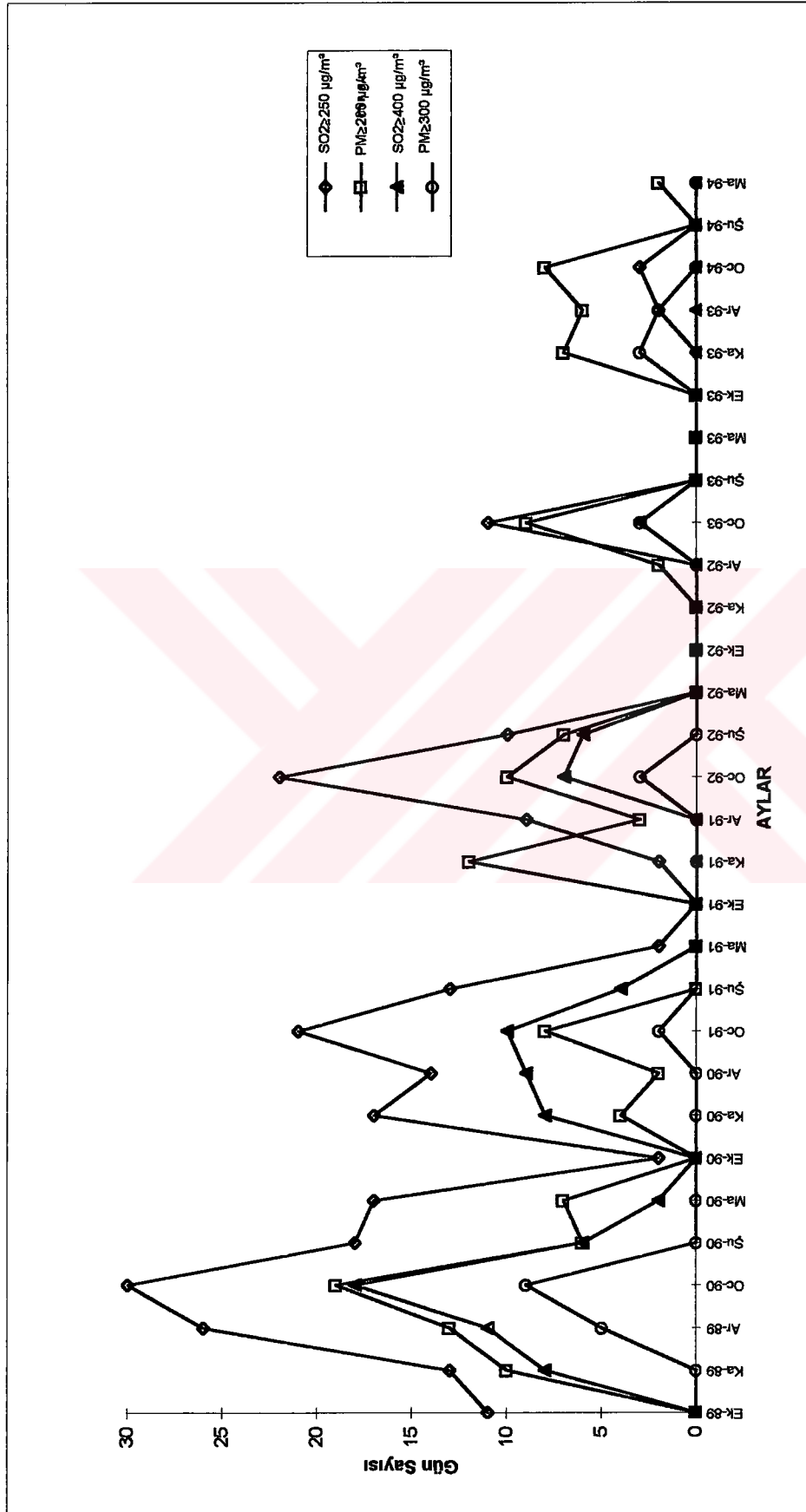
adet (toplam 27 gün) hava kirliliği episodi meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 3.3.3 ve Tablo 3.3.4).

Episodlar süre(gün sayısı) olarak en fazla Ocak aylarında, en az ise Ekim aylarında meydana gelmiştir (Şekil 3.3.1a-b). Bu durum şöyle açıklanabilir: Ocak ayı diğer aylara göre daha düşük sıcaklığa sahip olması nedeniyle daha fazla yakıt tüketilmesi ve meteorolojik parametrelerin bu ayda hava kirliliğinin artmasına neden olabilecek özelliklere sahip olmasıdır. Kış mevsimleri içerisinde ise Ekim’89-Mart’90 döneminde en fazla episod meydana gelmiş ve mevsimlere göre giderek azalma görülmektedir (Şekil 3.3.2). Kış dönemlerine göre azalmanın meydana gelmesinin birinci nedeni ise Ankara’da doğal gazın 1990 yılından itibaren kullanımının yaygınlaşması ve ithal kömür kullanılmasıdır.

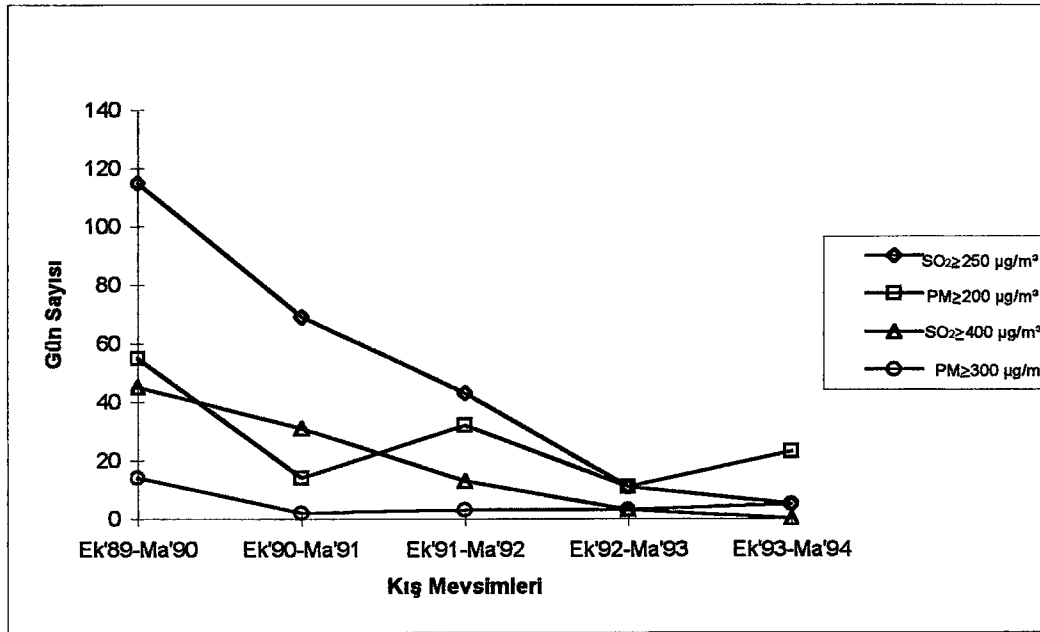


Şekil 3.3.1a Kış mevsimi aylarına göre toplam episod gün sayısı.

Episodlar devamlılık sürelerine göre sınıflandırılmıştır (Tablo 3.3.5). Tabloda da görüleceği üzere; SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> episodlarının 12’si (%28.6), SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episodlarının 12’si (%46.2), PM ≥ 200 µg/m<sup>3</sup> episodlarının 21’i (%52.5) ve PM ≥ 300 µg/m<sup>3</sup> episodlarının ise 4’ü (%44.4) ikişer gün sürmüştür. Birer defa olmak üzere en fazla devamlılık süreleri; SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup>’de 21 gün, SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup>’de 10 gün, PM ≥ 200 µg/m<sup>3</sup>’de 11 gün ve PM ≥ 300 µg/m<sup>3</sup>’de ise 5 gün meydana gelmiştir.



Şekil 3.3.1b Episodların aylık dağılımı



Şekil 3.3.2. Kış mevsimlerine göre toplam episod gün sayısı.

Tablo 3.3.5 Devamlılık sürelerine göre episodların sınıflandırılması

| Episodlar                               | Devamlılık Süreleri (gün) |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    | Toplam<br>Episod |
|-----------------------------------------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|------------------|
|                                         | 2                         | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 15 | 21 |                  |
| SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> | 12                        | 7 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 6 | 2  | -  | 2  | 1  | 1  | 42               |
| SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> | 12                        | 4 | 4 | 2 | 2 | - | 1 | - | 1  | -  | -  | -  | -  | 26               |
| PM ≥ 200 µg/m <sup>3</sup>              | 21                        | 8 | 3 | 1 | 1 | 5 | - | - | -  | 1  | -  | -  | -  | 40               |
| PM ≥ 300 µg/m <sup>3</sup>              | 4                         | 3 | - | 2 | - | - | - | - | -  | -  | -  | -  | -  | 9                |

Episodların aylara ve kış mevsimlerine göre frekans ve devamlılık süreleri de ayrı ayrı grafiksel olarak hazırlanmıştır (Şekil A.1-A.8). Devamlılık süresi açısından değerlendirme yapıldığında; SO<sub>2</sub> (250 µg/m<sup>3</sup> ve 400 µg/m<sup>3</sup>) ve PM (200 µg/m<sup>3</sup> ve 300 µg/m<sup>3</sup>)'de en fazla devamlılık süresinin 1990 Ocak ayında ve Ekim 1989-Mart 1990 kış mevsiminde meydana geldiği görülmektedir.

Tablo.3.3.3 PMepisodlarının tarihleri ve devamlılık süreleri (\*)

| PM $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ |               |                   | PM $\geq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| Episod No(**)                        | Episod Tarihi | Devamlılık Süresi | Episod No(**)                        | Episod Tarihi | Devamlılık Süresi |
| E2P01                                | 01-07/11/1989 | 7                 | E3P01                                | 15-19/12/1989 | 5                 |
| E2P02                                | 20-22/11/1989 | 3                 |                                      |               |                   |
| E2P03                                | 05-06/12/1989 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P04                                | 15-21/12/1989 | 7                 |                                      |               |                   |
| E2P05                                | 25-29/12/1989 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P06                                | 28-29/12/1989 | 2                 | E3P02                                | 08-09/01/1990 | 2                 |
| E2P07                                | 06-16/01/1990 | 11                |                                      |               |                   |
| E2P08                                | 18-20/01/1990 | 3                 |                                      |               |                   |
| E2P09                                | 26-28/01/1990 | 3                 | E3P03                                | 11-15/01/1990 | 5                 |
| E2P10                                | 30-31/01/1990 | 2                 | E3P04                                | 18-19/01/1990 | 2                 |
| E2P11                                | 01-02/02/1990 | 2                 | E3P05                                | 06-07/01/1991 | 2                 |
| E2P12                                | 08-09/02/1990 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P13                                | 25-26/02/1990 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P14                                | 02-03/03/1990 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P15                                | 07-09/03/1990 | 3                 |                                      |               |                   |
| E2P16                                | 13-14/03/1990 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P17                                | 14-17/11/1990 | 4                 |                                      |               |                   |
| E2P18                                | 19-20/12/1990 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P19                                | 01-02/01/1991 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P20                                | 04-09/01/1991 | 6                 |                                      |               |                   |
| E2P21                                | 06-08/11/1991 | 3                 | E3P06                                | 04-06/01/1992 | 3                 |
| E2P22                                | 11-12/11/1991 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P23                                | 20-26/11/1991 | 7                 |                                      |               |                   |
| E2P24                                | 16-18/12/1991 | 3                 |                                      |               |                   |
| E2P25                                | 04-06/01/1992 | 3                 |                                      |               |                   |
| E2P26                                | 20-22/01/1992 | 3                 |                                      |               |                   |
| E2P27                                | 24-25/01/1992 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P28                                | 27-28/01/1992 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P29                                | 09-15/02/1992 | 7                 |                                      |               |                   |
| E2P30                                | 11-12/12/1992 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P31                                | 14-20/01/1993 | 7                 | E3P07                                | 18-20/01/1993 | 3                 |
| E2P32                                | 25-26/01/1993 | 2                 | E3P08                                | 04-06/11/1993 | 3                 |
| E2P33                                | 03-07/11/1993 | 5                 |                                      |               |                   |
| E2P34                                | 23-24/11/1993 | 2                 | E3P09                                | 23-24/12/1993 | 2                 |
| E2P35                                | 20-21/12/1993 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P36                                | 23-26/12/1993 | 4                 |                                      |               |                   |
| E2P37                                | 07-08/01/1994 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P38                                | 17-18/01/1994 | 2                 |                                      |               |                   |
| E2P39                                | 24-27/01/1994 | 4                 |                                      |               |                   |
| E2P40                                | 01-02/03/1994 | 2                 |                                      |               |                   |
| 40 episod                            |               | 135 gün           | 9 episod                             |               | 27 gün            |

Not: (\*) Sıralandırmada episodların meydana geliş tarihleri gözönünde bulundurulmuştur

(\*\*) "E2P01" ve "E3P01" ifadelerinde E harfi Episodu, 2 ve 3 rakamı sırasıyla 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü, P harfi PM'yi ve 01 rakamı ise sıra numarasını göstermektedir.

Tablo.3.3.4 SO<sub>2</sub> episodlarının tarihleri ve devamlılık süreleri (\*)

| SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> |               |                   | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> |               |                   |
|-----------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------------|---------------|-------------------|
| Episod No(**)                           | Episod Tarihi | Devamlılık Süresi | Episod No(**)                           | Episod Tarihi | Devamlılık Süresi |
| E2S01                                   | 20-28/10/1989 | 9                 |                                         |               |                   |
| E2S02                                   | 30-31/10/1989 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S03                                   | 01-08/11/1989 | 8                 | E4S01                                   | 01-05/11/1989 | 5                 |
| E2S04                                   | 19-23/11/1989 | 5                 | E4S02                                   | 20-22/11/1989 | 3                 |
| E2S05                                   | 01-09/12/1989 | 9                 | E4S03                                   | 01-02/12/1989 | 2                 |
|                                         |               |                   | E4S04                                   | 05-07/12/1989 | 3                 |
| E2S06                                   | 14-22/12/1989 | 9                 | E4S05                                   | 14-19/12/1989 | 6                 |
| E2S07                                   | 24-31/12/1989 | 8                 |                                         |               |                   |
| E2S08                                   | 01-21/01/1990 | 21                | E4S06                                   | 06-15/01/1990 | 10                |
|                                         |               |                   | E4S07                                   | 18-19/01/1990 | 2                 |
| E2S09                                   | 23-31/01/1990 | 9                 | E4S08                                   | 25-28/01/1990 | 4                 |
|                                         |               |                   | E4S09                                   | 30-31/01/1990 | 2                 |
| E2S10                                   | 05-13/02/1990 | 9                 | E4S10                                   | 06-09/02/1990 | 4                 |
| E2S11                                   | 19-27/02/1990 | 9                 | E4S11                                   | 25-26/02/1990 | 2                 |
| E2S12                                   | 02-03/03/1990 | 2                 | E4S12                                   | 02-03/03/1990 | 2                 |
| E2S13                                   | 05-10/03/1990 | 6                 |                                         |               |                   |
| E2S14                                   | 12-15/03/1990 | 4                 |                                         |               |                   |
| E2S15                                   | 17-18/03/1990 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S16                                   | 24-26/03/1990 | 3                 |                                         |               |                   |
| E2S17                                   | 27-28/10/1990 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S18                                   | 12-26/11/1990 | 15                | E4S13                                   | 14-21/11/1990 | 8                 |
| E2S19                                   | 28-29/11/1990 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S20                                   | 10-12/12/1990 | 3                 | E4S14                                   | 11-12/12/1990 | 2                 |
| E2S21                                   | 18-20/12/1990 | 3                 | E4S15                                   | 19-20/12/1990 | 2                 |
| E2S22                                   | 24-31/12/1990 | 8                 | E4S16                                   | 27-31/12/1990 | 5                 |
| E2S23                                   | 01-12/01/1991 | 12                | E4S17                                   | 01-02/01/1991 | 2                 |
|                                         |               |                   | E4S18                                   | 04-07/01/1991 | 4                 |
|                                         |               |                   | E4S19                                   | 09-10/01/1991 | 2                 |
| E2S24                                   | 18-21/01/1991 | 4                 |                                         |               |                   |
| E2S25                                   | 27-31/01/1991 | 5                 | E4S20                                   | 27-28/01/1991 | 2                 |
| E2S26                                   | 01-10/02/1991 | 10                | E4S21                                   | 05-08/02/1991 | 4                 |
| E2S27                                   | 13-15/02/1991 | 3                 |                                         |               |                   |
| E2S28                                   | 15-16/03/1991 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S29                                   | 23-24/11/1991 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S30                                   | 05-06/12/1991 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S31                                   | 14-18/12/1991 | 5                 |                                         |               |                   |
| E2S32                                   | 20-21/12/1991 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S33                                   | 04-07/01/1992 | 4                 | E4S22                                   | 04-06/02/1992 | 3                 |
| E2S34                                   | 11-13/01/1992 | 3                 |                                         |               |                   |
| E2S35                                   | 15-17/01/1992 | 3                 |                                         |               |                   |

Tablo.3.3.4 (devam)

| SO <sub>2</sub> ≥ 250 µg/m <sup>3</sup> |               |                   | SO <sub>2</sub> ≥ 400 µg/m <sup>3</sup> |               |                   |
|-----------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------------|---------------|-------------------|
| Episod No(**)                           | Episod Tarihi | Devamlılık Süresi | Episod No(**)                           | Episod Tarihi | Devamlılık Süresi |
| E2S36                                   | 20-31/01/1992 | 12                | E4S23                                   | 24-25/01/1992 | 2                 |
| E2S37                                   | 08-17/02/1992 | 10                | E4S24                                   | 27-28/01/1992 | 3                 |
| E2S38                                   | 11-12/01/1993 | 2                 | E4S25                                   | 09-14/02/1992 | 6                 |
| E2S39                                   | 14-20/01/1993 | 7                 | E4S26                                   | 18-20/01/1993 | 3                 |
| E2S40                                   | 25-26/01/1993 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S41                                   | 23-24/12/1993 | 2                 |                                         |               |                   |
| E2S42                                   | 25-27/01/1994 | 3                 |                                         |               |                   |
| 42 episod                               |               | 243 gün           | 26 episod                               |               | 93 gün            |

Not: (\*) Sıralandırmada episodların meydana geliş tarihleri gözönünde bulundurulmuştur

(\*\*) "E2S01" ve "E4S01" ifadelerinde E harfi Episodu, 2 ve 4 rakamı sırasıyla 250 µg/m<sup>3</sup> ve 400 µg/m<sup>3</sup>'ü, S harfi SO<sub>2</sub>'yi ve 01 rakamı ise sıra numarasını göstermektedir.

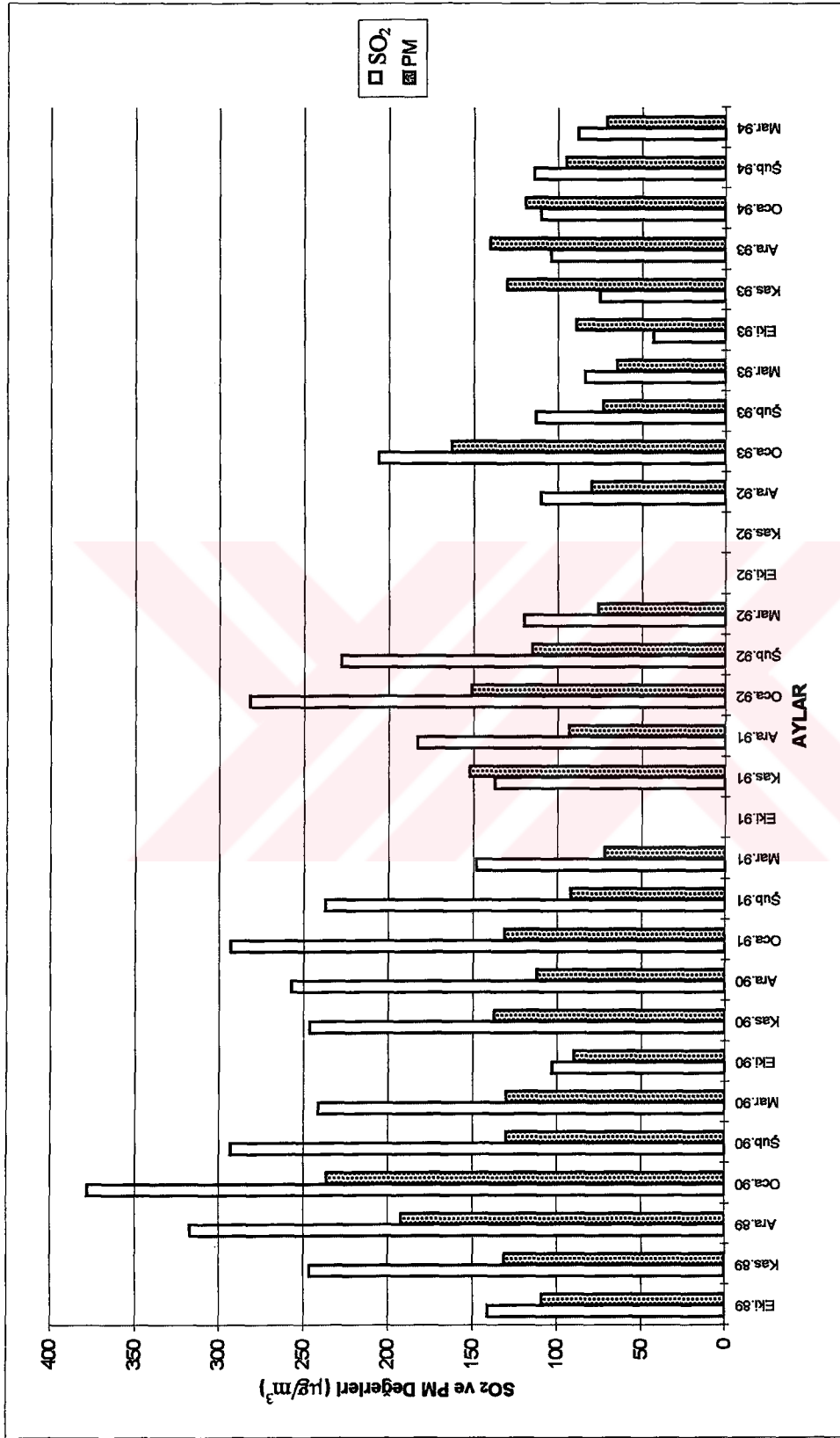
Ayrıca, çalışma dönemi kapsamındaki aylık, yıllık ve kış mevsimlerine(Ekim-Mart) göre ortalama SO<sub>2</sub> ve PM değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.3.6). SO<sub>2</sub>'de en yüksek aylık ortalama değerlerin Ocak aylarında olduğu görülmektedir. PM'de ise en yüksek aylık ortalama değerlerin 1989-90 ve 1992-93 kış mevsimlerinin Ocak aylarında, 1990-91 kış mevsiminde Kasım ayında ve 1993-94 kış mevsiminde ise Aralık ayında olduğu görülmektedir (Şekil 3.3.3). Kış mevsimleri gözönüne alındığında SO<sub>2</sub> değerlerinde sürekli bir azalmanın olduğu, PM değerlerinde ise önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir (Şekil 3.3.4).

Tablo 3.3.6 Ay ve yıllara göre SO<sub>2</sub> ve PM ortalama değerleri (µg/m<sup>3</sup>)

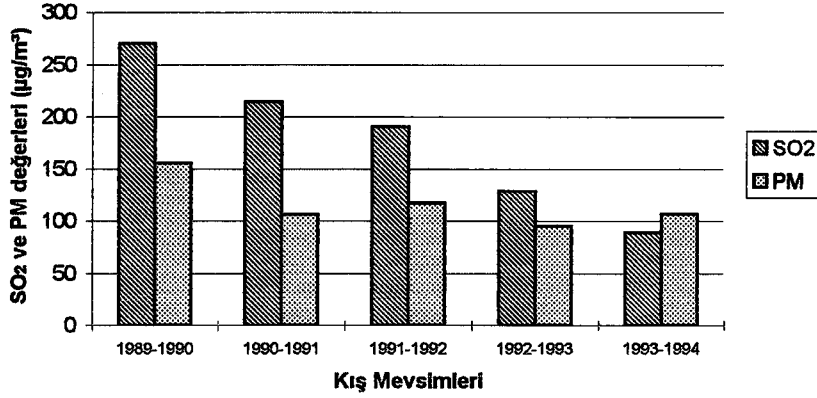
| AYLAR  | YILLAR          |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     |                 |     | Ortalama        |     |
|--------|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
|        | 1989            |     | 1990            |     | 1991            |     | 1992            |     | 1993            |     | 1994            |     |                 |     |
|        | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  | SO <sub>2</sub> | PM  |
| Ocak   | 395             | 155 | 378             | 236 | 293             | 131 | 282             | 151 | 206             | 163 | 110             | 119 | 254             | 160 |
| Şubat  | 323             | 154 | 293             | 130 | 237             | 92  | 228             | 115 | 113             | 73  | 114             | 95  | 197             | 101 |
| Mart   | 175             | 109 | 241             | 130 | 148             | 72  | 120             | 76  | 84              | 65  | 88              | 71  | 136             | 83  |
| Ekim   | 141             | 109 | 103             | 90  | **              | **  | **              | **  | 43              | 89  | *               | *   | 96              | 96  |
| Kasım  | 246             | 131 | 246             | 137 | 137             | 152 | **              | **  | 75              | 130 | *               | *   | 176             | 138 |
| Aralık | 317             | 192 | 257             | 112 | 183             | 93  | 110             | 80  | 104             | 140 | *               | *   | 194             | 123 |
| Ort.   | 235             | 144 | 253             | 139 | 200             | 108 | 185             | 106 | 104             | 110 | 104             | 95  |                 |     |

Not: (\*) Çalışma dönemi kapsamında değildir.

(\*) \* ÖLÇÜM yapılmamıştır.



Şekil 3.3.3 1989-1994 kış mevsimlerine ait aylık ortalama SO<sub>2</sub> ve PM değerleri



Şekil 3.3.4 Kış mevsimlerine göre ortalama SO<sub>2</sub> ve PM değerleri

### 3.4 SO<sub>2</sub> ve PM Episodlarının Karşılaştırılması

PM  $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'deki toplam 135 episod gününün 103 günü (%76.3) SO<sub>2</sub>  $\geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günleri ile aynı tarihlerde meydana gelmiştir. PM  $\geq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'deki toplam 27 episod gününün ise 19 günü (%70.37), SO<sub>2</sub>  $\geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günleri ile aynı tarihlerde meydana gelmiştir. SO<sub>2</sub> ve PM episodlarının aynı tarihlerde meydana gelme oranının yüksek olması nedeniyle dördüncü bölümde yapılan analizlerde sadece SO<sub>2</sub> episodları gözönünde bulundurulmuştur.

## BÖLÜM 4

### METEOROLOJİK PARAMETRELER VE HAVA KALİTESİ GÖZLEMLERİNİN ANALİZİ

#### 4.1 Meteorolojik Veriler

Klasik gözlemlerin yapıldığı meteoroloji istasyonları ve düşey atmosferik sondajların yapıldığı radyosonde istasyonlarından alınan veriler atmosferin yapısını açıklamaktadır. Hava kirliliği seviyelerinin yükselmelerini sağlayan ve aralarında bağlantılar bulunan temel parametrelerden bazıları basınç alanı, enverziyon, rüzgar şiddeti ve atmosferik kararlılıktır (İncecik, 1995). Bu durum ölçek kavramı altında değerlendirildiğinde antisiklonik basınç alanı inceleme şeklinin başlangıç noktasını oluşturur.

Yüksek basınç alanları, atmosferde hava kirleticilerin seyrelmesini zorlaştıran, düşey hareketleri sınırlayan atmosferik yapı şekilleridir. Enverziyon ve düşük rüzgar hızları da bu oluşumdan bağımsız değildir. Ancak, bu parametrelerin sebep-sonuç ilişkisi dahilinde incelenmesi sonucunda hava kirliliği seviyelerinin yükseleceği koşullar önceden belirlenerek hava kirleticilerin yol açacağı zararlar en aza indirilebilecektir. Özellikle enverziyon gibi hava kirleticileri tuzaklayan ve yayılmalarını sınırlayan atmosferik yapı, hava kirliliği olaylarında incelenmesi mutlak gerekli olan parametrelerden biridir. Yüzey enverziyonlarının kalınlığı, şiddeti ve düşey sıcaklık gradyanı kritik parametrelerdir (İncecik, 1995).

Ankara’da 1989-1994 yılları arasında meydana gelmiş olan episod günler nitelikli hava kirliliğinin meteorolojik parametreler ve atmosferik yapı ile arasındaki bağlantılarını analiz etmek için meteorolojik verilere ihtiyaç vardır. Bu nedenle aşağı atmosferin düşey yapısı hakkında bilgi edinebilmek için Ankara’nın yersel meteorolojik parametreleri ve radyosondaj gözlemlerinin yanısıra özellikle vortisiti ve termal rüzgar

hesaplanmasında kullanılmak üzere Ankara'yı da içine alan yedi adet radyosonde istasyonundan yapılan sondaj verileri gözönüne alınmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Radyosonde istasyonları.

| İstasyon Adı | Enlem     | Boylam    |
|--------------|-----------|-----------|
| Adana        | 36° 59' N | 35° 21' E |
| Isparta      | 37° 45' N | 30° 32' E |
| Diyarbakır   | 37° 53' N | 40° 12' E |
| İzmir        | 38° 26' N | 27° 10' E |
| Ankara       | 39° 57' N | 32° 53' E |
| İstanbul     | 41° 01' N | 28° 59' E |
| Samsun       | 41° 17' N | 36° 18' E |

## 4.2 Metodoloji

Yukarıda belirtilen çerçevede kullanmak amacıyla çalışma dönemine ait aşağıdaki meteorolojik veriler DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

- 1- Radyosonde istasyonlarından yapılan sondaj verileri; yer, 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa seviyelerindeki günlük (0000 GMT ve 1200 GMT) sıcaklık, basınç, nem, jeopotansiyel yükseklik, rüzgar yön ve hız değerleri,
- 2- Ankara'nın yersel meteorolojik verileri; sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar(yön ve hız) değerleri,
- 3- 0000 GMT ve 1200 GMT'de meydana gelmiş olan yüzey enverziyonları (taban ve tavan yükseklikleri ve sıcaklıkları),
- 4- Sinoptik yer haritaları (0000 GMT),

Bu verilerden;

-850 hPa (0000 ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki rüzgar yön ve hız değerleri kullanılarak episod günlerindeki ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $\geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bağıl vortisiti hesaplanmış,

-850 hPa ve 700 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki jeopotansiyel yükseklik değerleri kullanılarak episod günlerindeki ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) termal rüzgar hesaplanmış,

-Yer, 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa seviyelerindeki (0000 GMT) sıcaklık ve nem değerleri kullanılarak episod günlerindeki ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) atmosferin düşey sıcaklık ve nem dağılım profili çizilmiş ve adveksiyonlar belirlenmiş,

-Sinoptik yer haritalarından (0000 GMT) episod günlerine ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $\geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ait basınç gradyanı hesaplanmış ve episodların ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) birinci günündeki yüksek ve alçak basınç merkezlerinin yerleri analiz edilmiş,

-Episod günlerine ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ait 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) sıcaklıklar analiz edilmiş,

-Episod günlerinde meydana gelmiş olan yüzey enverziyonları (0000 GMT ve 1200 GMT) ve bunların taban-tavan yükseklikleri, kalınlıkları ve tavan-taban sıcaklık farkları hesaplanmış,

-Episod günlerinin ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ortalama basınç değerleri ile episodların meydana geldiği ayların ortalama basınç değerleri hesaplanmış,

-Günlük, aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmış ve bunların episod günler nitelikli hava kirliliği ile aralarındaki bağlantılar analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar aşağıda ilgili yerlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

#### 4.3 850 hPa Sıcaklığı

Atmosferin düşey yapısı içinde atmosferin sınır tabaka yüksekliğini tanımlayan 850 hPa sıcaklığı önemli bir parametredir. 850 hPa düzeyindeki daha sıcak hava kütleleri daha dengeli atmosferi beraberinde getirir. 850 hPa sıcaklığının yüzey sıcaklığına oranla yüksek olduğu zamanlarda dikey yayılma ve yerel sirkülasyon gelişimi azdır (Kassomenos, 1995).

Dikey karışmayla seyreltme, karışma tabakası olarak da ifade edilen sınır tabaka içinde sınırlanmaktadır. Gündüz konvektif sınır tabakada dikey yayılma, karışma tabakasının yüksekliğiyle sınırlanan büyük girdaplarla meydana gelmektedir. Bundan dolayı karışma tabakasının yüksekliği hava kirliliği meteorolojisinde önemli bir parametredir ve karışma yüksekliğinin belirlenmesinde en önemli husus yer, zaman ve metodun seçimidir. Bazı araştırmacılar, 850 hPa hava sıcaklığının değişimi çalışması, planeter sınır tabaka üzerindeki tabakanın kararlılığının yaklaşık değerini verebileceğini ifade

etmişlerdir. Ayrıca, tabakanın kararlılığı gün esnasındaki karışma yüksekliğinin azalmasında da çok önemlidir (Ziomas, 1995).

850 hPa düzeyindeki sıcaklığın bu özelliğinden hareketle imisyon konsantrasyonu  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü aşan  $\text{SO}_2$  episodların ve meydana geldiği ayların ortalama sıcaklık değerleri ve bu episodların birinci gün (TGo), bir (TG-1) ve iki (TG-2) gün önceki, bir gün sonraki (TG+1) ve episod sonrası günün (TE+1) 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) sıcaklık değerleri tespit edilmiştir (Tablo 4.3.1). Tespit edilmiş olan bu değerler çerçevesinde episodların;

- 1- Bir önceki gün sıcaklığı (TG-1) ile iki önceki günün sıcaklık (TG-2) değeri,
- 2- Birinci gün sıcaklığı (TGo) ile bir önceki günün sıcaklık (TG-1) değeri,
- 3- Birinci gün sıcaklığı (TGo) ile bir sonraki günün sıcaklık (TG+1) değeri,
- 4- Birinci gün sıcaklığı (TGo) ile episodun bittiğinin bir sonraki günün sıcaklık (TE+1) değeri,

karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmede genel olarak;

- 1- Episodun bir önceki gününe (G-1) kadar sıcaklığın azaldığı,
- 2- Episodun birinci gününden (Go) itibaren sıcaklığın artış gösterdiği ve
- 3- Episodun ikinci gününde (G+1) sıcaklığın artmaya devam ettiği,
- 4- Episodun bittiğinin bir sonraki günündeki (E+1) sıcaklık değeri episodun birinci günündeki (Go) sıcaklık değerinden büyük olduğu,

diğer bir ifade ile;

- 1-  $(\text{TG}-1) \text{ sıcaklığı} \leq (\text{TG}-2) \text{ sıcaklığı}$ ,
- 2-  $(\text{TGo}) \text{ sıcaklığı} \geq (\text{TG}-1) \text{ sıcaklığı}$ ,
- 3-  $(\text{TG}+1) \text{ sıcaklığı} \geq (\text{TGo}) \text{ sıcaklığı}$
- 4-  $(\text{TE}+1) \text{ sıcaklığı} \geq (\text{TGo}) \text{ sıcaklığı}$

şartlarının genelde oluştuğu görülmüştür.

Buna göre; 26 adet episodun 18'inde (E2, E3, E5, E6, E7, E8, E10, E13, E14, E16, E17, E18, E19, E20, E21, E22, E24, E25) yukarıda belirtilen birinci şartı sağlama oranı % 72; 16'sında (E2, E4, E8, E9, E10, E13, E14, E15, E17, E19, E20, E21, E22, E23, E25 ve E26) yukarıda belirtilen ikinci şartı sağlama oranı % 67; 22'sinde (E2, E4, E5, E6, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14, E15, E16, E17, E18, E19, E20, E21, E22, E24, E25 ve E26) yukarıda belirtilen üçüncü şartı sağlama oranı % 92; ve 19'unda (E1, E2, E4, E5, E6, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14, E16, E17, E18,

Tablo 4.3.1 SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episodlarının 850 hPa (0000 GMT) seviyesindeki episod günlerine ait sıcaklık değerleri ve yer seviyesindeki (0000 GMT) basınç değerleri(hPa).

| YIL                   | 1989  |       |       |       |        |       |       |       |        |       | 1990  |       |       |       |       |  |      |       |  |  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|------|-------|--|--|
| AY                    | Kasım |       |       |       | Aralık |       |       |       | Ocak   |       |       |       |       |       | Şubat |  | Mart | Kasım |  |  |
| Gün                   | 01-05 | 20-22 | 01-02 | 05-07 | 14-19  | 06-15 | 18-19 | 25-28 | 30-31  | 06-09 | 25-26 | 02-03 | 14-21 |       |       |  |      |       |  |  |
| Episod                | E4S01 | E4S02 | E4S03 | E4S04 | E4S05  | E4S06 | E4S07 | E4S08 | E4S09  | E4S10 | E4S11 | E4S12 | E4S13 |       |       |  |      |       |  |  |
| T <sub>G-2</sub> (°C) | *     | -6.1  | -0.9  | -8.1  | -8.9   | -1.7  | -5.3  | -5.1  | -3.1   | -4.5  | -3.7  | 3.2   | -2.7  |       |       |  |      |       |  |  |
| T <sub>G-1</sub> (°C) | *     | -6.7  | -6.5  | -7.1  | -11.1  | -7.9  | -8.9  | -7.1  | -2.5   | -5.1  | -0.9  | 5.0   | -2.9  |       |       |  |      |       |  |  |
| T <sub>G0</sub> (°C)  | 7.4   | -6.3  | *     | -6.9  | -12.3  | -12.7 | *     | -6.3  | 0.2    | -5.1  | -1.1  | -2.3  | -0.3  |       |       |  |      |       |  |  |
| T <sub>G+1</sub> (°C) | 7.0   | -5.1  | -9.1  | -5.3  | -2.3   | -7.3  | -0.5  | -1.9  | 3.0    | -3.1  | 4.0   | 5.0   | 2.4   |       |       |  |      |       |  |  |
| T <sub>E+1</sub> (°C) | 10.4  | 6.0   | -8.1  | -0.7  | 5.8    | -5.3  | -0.7  | -2.5  | 3.0    | -4.9  | 4.8   | 2.6   | 8.8   |       |       |  |      |       |  |  |
| P(yer) Ep.Ort.        | 919.6 | 920.3 | *     | 917.7 | 919.5  | 925.3 | 919.5 | 921.3 | 91.9.0 | 917.3 | 919.5 | 912.5 | 918.8 |       |       |  |      |       |  |  |
| P(yer) Ay.Ort.        | 914.6 |       | 917   |       | 920.5  |       |       |       |        |       | 913.0 |       | 919.3 | 916.4 |       |  |      |       |  |  |

| YIL                   | 1990   |       |       |       | 1991  |       |       |       | 1992  |       |       |       | 1993  |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AY                    | Aralık |       | Ocak  |       | Ocak  |       | Şubat |       | Ocak  |       | Şubat |       | Ocak  |
| Gün                   | 11-12  | 19-20 | 27-31 | 01-02 | 04-07 | 09-10 | 27-28 | 05-08 | 04-06 | 24-25 | 27-28 | 09-14 | 18-20 |
| Episod                | E4S14  | E4S15 | E4S16 | E4S17 | E4S18 | E4S19 | E4S20 | E4S21 | E4S22 | E4S23 | E4S24 | E4S25 | E4S26 |
| T <sub>G-2</sub> (°C) | 1.2    | -0.5  | -5.9  | 2.0   | 1.4   | 3.6   | -5.9  | -11.3 | -9.3  | -6.9  | -8.1  | -8.5  | -6.7  |
| T <sub>G-1</sub> (°C) | 0.2    | -0.3  | -6.3  | 0.0   | 1.2   | 0.8   | -7.9  | -11.5 | -10.3 | -4.3  | -9.1  | -11.6 | -2.7  |
| T <sub>G0</sub> (°C)  | 0.4    | 1.8   | -8.9  | 1.2   | -1.1  | 3.0   | -7.5  | -10.1 | -2.1  | -0.9  | -9.3  | -10.5 | -1.5  |
| T <sub>G+1</sub> (°C) | 4.0    | 1.0   | -1.1  | 1.4   | 3.0   | 3.2   | -2.9  | -7.3  | 0.2   | -8.1  | -6.1  | -8.7  | -0.3  |
| T <sub>E+1</sub> (°C) | 6.0    | -2.5  | 1.2   | 1.2   | 0.8   | 2.0   | -1.9  | -9.3  | -3.7  | -9.1  | -6.7  | -0.5  | -2.7  |
| P(yer) Ep.Ort.        | 917.0  | 917.5 | 922.0 | 917.0 | 917.5 | 920.5 | 920.5 | 919.3 | 926.3 | 928.0 | 923.0 | 918.5 | 924.7 |
| P(yer) Ay.Ort.        | 916.0  |       | 917.8 |       | 917.8 |       | 914.8 |       | 919.0 |       | 913.6 |       | 919.4 |

E20, E21, E24, E25) yukarıda belirtilen dördüncü şartı sağlama oranı % 79'dur (Tablo 4.3.2).

Tablo 4.3.2 Episod öncesi, başlangıç ve sonrası günlerine ait sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.

|               | Şartlar          |                 |                 |                 |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Şartları      | I                | II              | III             | IV              |
| Sağlama Oranı | $TG-1 \leq TG-2$ | $TGo \geq TG-1$ | $TG+1 \geq TGo$ | $TE+1 \geq TGo$ |
| (%)           | 72               | 67              | 92              | 79              |

Bu dört özelliğin meydana gelme oranının yüksek olması; 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) sıcaklık değerlerine bakılarak episodların oluşması hakkında bilgi edinilebilir.

Episod günlerinin ( $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ ) 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) ortalama sıcaklık değerleri ile episodun meydana geldiği ayın 850 hPa seviyesindeki aylık ortalama sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında; 26 adet episoddan E2, E4, E6, E12, E13 E16, E20 ve E21 hariç diğerlerinin (%69) ortalama sıcaklık değerleri episodun meydana geldiği ayın ortalama sıcaklık değerinden büyük olduğu görülmektedir.

Ayrıca, toplam episod ( $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ ) günlerinin 850 hPa seviyesindeki (0000 GMT) ortalama sıcaklık değeri ( $-0.94 ^\circ C$ ) ortalama yüzey sıcaklık değerinden ( $-2.59 ^\circ C$ ) büyük olduğu bulunmuştur.

Yukarıda belirtilen hususlar gözönünde bulundurulduğunda, Ankara üzerinde episod günlerinde 850 hPa düzeyinde daha sıcak hava kütlelerinin olduğu ve bu ise beraberinde daha dengeli atmosferi meydana getirdiğinden kirlilik değerlerinin arttığı söylenebilir.

#### 4.4 Atmosferin Düşey Sıcaklık ve Nem Dağılım Profilleri

Düşey sıcaklık dağılımının enine kesiti, alçak troposferde gözlemlenen sıcak adveksiyonu göstermektedir. Bu günlerde, atmosfer durağandır ve atmosfer yapısı, zayıf yayılma durumunu hazırlar (Pissimanis, 1991). Bu durum, kirleticilerin alt tabakada birikmesine ve hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır.

Atmosferde, rüzgarın yükseklikle saat ibreleri yönünde (antisiklonik) değişmesi sıcak adveksiyonun, rüzgarın yükseklikle saat ibrelerinin ters yönünde (siklonik) değişmesi ise soğuk adveksiyonun olduğunu göstermektedir (Kadıoğlu, 1995).

Atmosferin yukarı seviyelerinde (700 hPa) bir soğuk adveksiyon varsa, soğuyarak yoğunluğu artan havanın üst seviyelerden daha aşağı seviyelere çökmesi beklenebilir. Ancak, bu çöküş sırasında hava bağıl olarak ısınır ve kuru bir özellik kazanır. Çökerek ısınan hava, yere yakın seviyelerdeki radyasyon kaybından dolayı soğumakta olan hava tarafından durdurulur. Üst seviye ne kadar soğuk alt seviye ne kadar sıcaksa, yerden yukarıya doğru olan hareket de o kadar hızlanır ve bu durumda kararsızlık meydana gelir. Eğer alçak basınç, nemli özelliğe sahip ise nemli hava kuru havadan daha hafif olacağından havanın yukarı tırmanması daha da kolaylaşır. Soğuk havanın yoğunluğu aynı basınç seviyesinde sıcak havaya göre daha büyük olacağından yukarıya doğru yükselen hava tekrar eski konumuna döneceğinden bu duruma kararlı tabaka denir. Bu durumda, atmosferik tozların üst seviyelere doğru taşınması engelleneceğinden havanın kirlilik konsantrasyonu artarak hava kirliliğine neden olur (Tuna, 1982).

Tablo B.1'deki değerler kullanılarak çalışma döneminde meydana gelmiş olan 26 adet episoddan ( $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ ) 24'nün (88 gün) ayrı ayrı düşey sıcaklık dağılımının zaman ardışık profili çizilmiştir (Şekil A.9). Bu şekiller (gün ve basınç seviyesinin çakıştığı nokta) üzerine rüzgar yönleri işlenerek rüzgarın yükseklikle dönüşüne bakıldığında; toplam 88 episod gününün 66 gününde (%75) ve 24 adet episodun 18'nin birinci gününde (%75) rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değiştiği ve ayrıca 24 adet episodun 22'sindeki (%92) en yüksek  $SO_2$  konsantrasyonunun rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değiştiği günlerde meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, bu şekillere bakıldığında, episod günlerinde 850 hPa seviyesindeki sıcaklık değerlerinin alt ve üst seviyelerdeki sıcaklık değerlerinden büyük olduğu ve 700 hPa seviyesine kadar olan kısımda düşey sıcaklık gradyanının küçük olduğu görülmektedir. Burada da rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değişmesi ve düşey sıcaklık gradyanının önemli olduğu görülmektedir.

Yer, 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa seviyelerindeki nem değerleri kullanılarak episod günlerindeki ( $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ ) düşey nem (RH) dağılımının zaman ardışık profili çizilmiştir (Şekil A.10). Bu şekillere bakıldığında yer seviyesindeki bağıl nemin

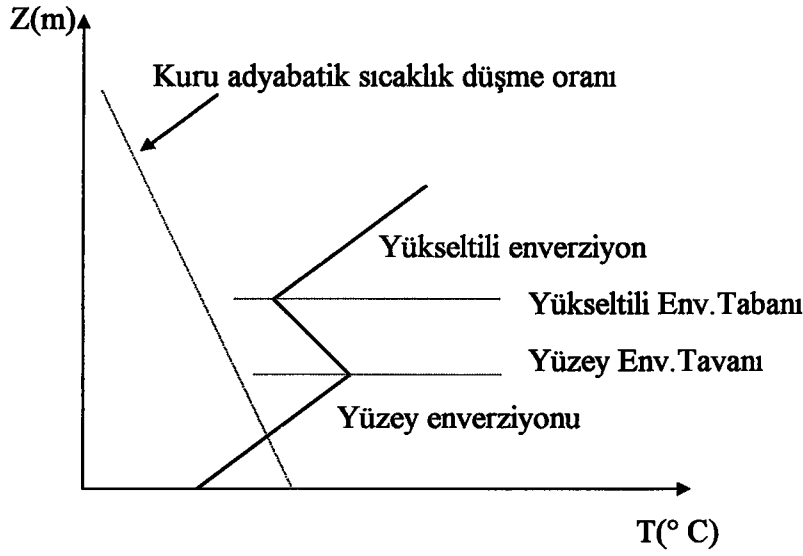
ortalama %60-80 arasında değiştiği, ancak episod günlerinde 700 hPa seviyesindeki nemin çevresine nazaran daha düşük değerde olduğu ve aşağıya doğru oktğ görülmektedir. Bu durum, aşağı seviyelerdeki yüksek nemin sis meydana getirmesinden dolayı hava kirliliğine neden olmasının yanı sıra, st seviyelerdeki düşük nemin de havanın okmesine neden olması nedeniyle hava kirliliğinin oluşmasında önemli olduğu görülmektedir.

#### 4.5 Sıcaklık Enverziyonu

Hava kirliliği kaynaklarından yayılan kirleticilerin hareket sahası genellikle aşağı troposferdir. Kirleticilerin yatay ve düşey hareketleri meteorolojik koşullara bağlı olduğundan atmosferin kararlı veya kararsız yapıya sahip olması hava kirliliği açısından önemlidir. Kararsız bir atmosferde düşey hareketler meydana geldiğinden kirleticiler daha kalın bir atmosfer tabakasına yayılacakları için konsantrasyonları daha düşük olacaktır. Kararlı bir atmosferde ise düşey hareket önemsiz olduğundan kirleticiler belirli bir alan içerisine sıkışacaklarından kirlilik konsantrasyonunun artmasına neden olur (Baumbach vd, 1988).

Normalde troposferde sıcaklık yükseklikle azalır. Yükseklikle sıcaklık artışının olduğu tabakalara “enverziyon” tabakası veya “sıcaklık terselmesi” denir. Sıcaklık değişiminin başladığı yer enverziyon tabanı, bittiği yer ise enverziyon tepesidir. Buna göre sıcaklık enverziyonu, tabanının yerden başlamasına ve yukarıda başlamasına göre; “yüzey enverziyonu” ve “yükseltili enverziyon” olarak sınıflandırılır. Troposferde sıcaklığın düşey değişimi ve enverziyon koşulları şekil 4.5.1’de verilmiştir. Enverziyon durumu kararlı bir yapıyı tanımladığından hava kirliliği açısından önemli meteorolojik olaylardan biridir.

Gece boyunca görülen yüzey enverziyonları açık gökyüzü ve zayıf rüzgar şiddetleri ile birlikte yer yüzeyi ve uzun dalga radyasyonu neticesinde aşağı hava tabakaları arasında ısı alış-verişleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu durum sürekli olarak aşağı atmosferde sıcaklık yapılaşmasını izleyebilen bir akustik kaydında gözlenebilir (İncecik, 1989).



Şekil 4.5.1 Troposferde sıcaklığın düşey değişimi ve enverziyon koşulları.

Yükseltili enverziyon ise aşağı tabakada soğuk bir hava kütesinin üzerine sıcak bir hava kütesinin gelmesi veya soğuk hava kütesinin sıcak hava kütesinin altına girmesi ya da çökme olayları sonucu oluşmaktadır (Godish, 1985).

Enverziyonların meydana geldiği seviyeler, tavan-taban sıcaklık farklarının şiddeti ve kalınlık değerleri bunların bulundukları bölgelerde farklı atmosferik yapı özelliklerinin doğmasına yol açmaktadır. Bu yapısal özellikler muhtemel hava kirletici emisyonların seyrelme, yayılma ve taşınma özelliklerini etkileyecek ve yönlendirecektir. Bu nedenle hava kirliliği ile ilgili meteorolojik potansiyelin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biri enverziyondur (İncecik, 1991).

Hava kalitesini (zayıf yayılmaya neden olan) sıkça etkileyen aşağı troposferdeki sıcaklık enverziyonudur. Hava kütlelerinin geniş ölçekli çökelmeden dolayı durgun olduğu ve dolayısıyla alan üzerinde battığı zaman veya aşağı troposferde sıcak hava değişimi olduğu zamanlarda bu yükseltili enverziyonlar gelişir. Geniş ölçekli çökme ısınma ve enverziyon gelişimiyle alakalıdır (Kassomenos, 1995).

Yükseltili enverziyonlar kolaylıkla aşınmazlar ve uzun süre kalıcıdırlar, dolayısıyla aşağı troposferdeki hava kirletici konsantrasyonunu ve sonuçta bölgedeki hava kalitesini etkilemektedir. Sıcak adveksiyondan oluşan enverziyonlar genellikle derindir. Bu tür enverziyonlar gündüzleri özellikle kışın ve geçiş mevsimlerinde çabukca dağılmazlar (Gümüş, 1979).

Bu çalışmada, episodların meydana geldiği aylardaki enverziyonlar (0000 GMT ve 1200 GMT) tespit edilmiştir. Toplamda ve aylar bazında enverziyonlu günlerin episod günlerinden daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.5.2 ve 4.5.3). Ayrıca, episodların meydana geldiği günlerde enverziyon olup olmadığına bakılmıştır.  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$ 'ü aşan toplam 243 episod gününün 0000 GMT'de 216 gününde (%88,89) ve 1200 GMT'de 183 gününde (%75,31);  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ 'ü aşan toplam 92 episod gününün 0000 GMT'de 90 gününde (%97,83), 1200 GMT'de 83 gününde (%90,22) yüzey enverziyonu meydana gelmiştir. Bu durum, enverziyonun hava kirliliği konsantrasyonlarının artmasında önemli rol oynadığını göstermektedir.

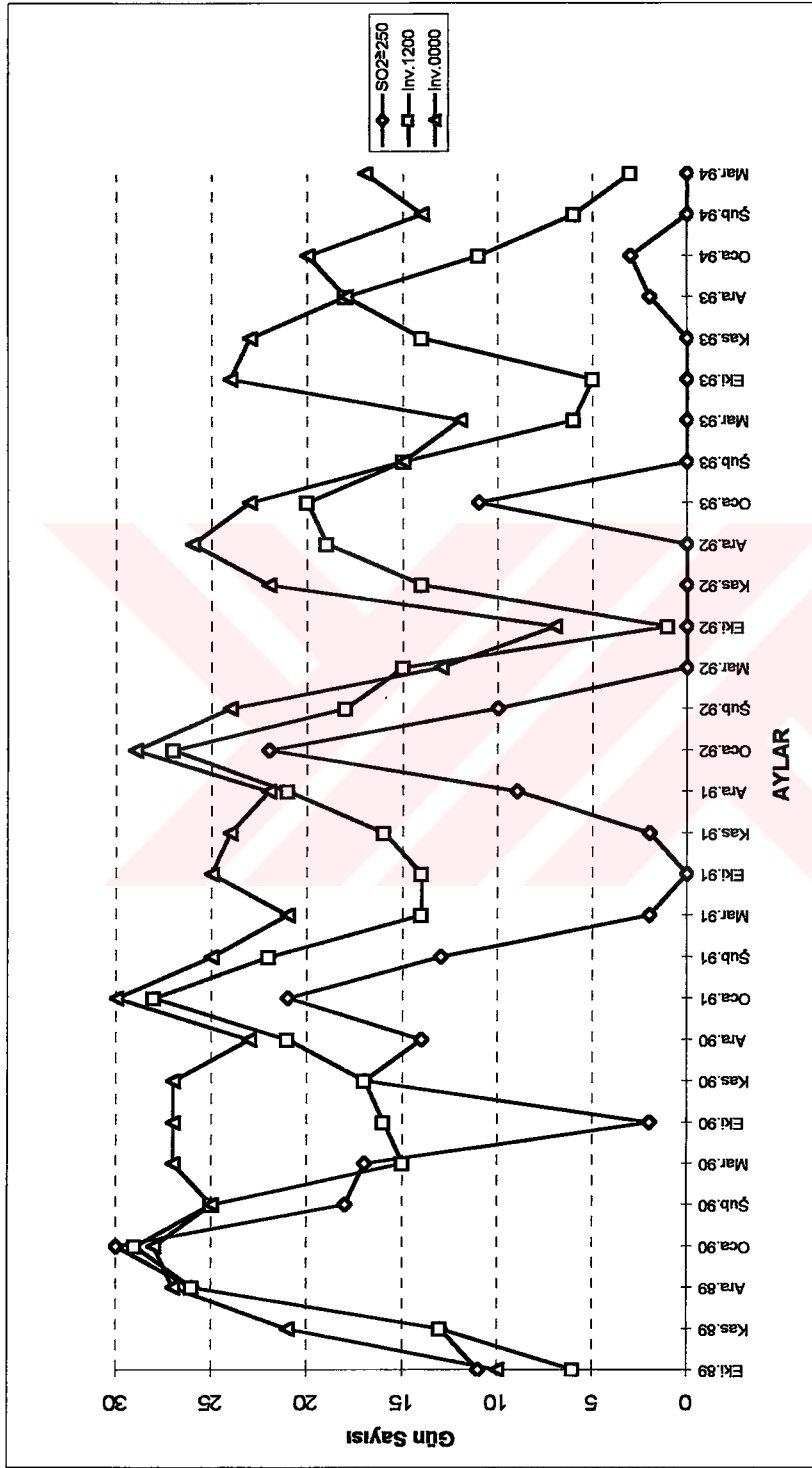
Çalışma dönemindeki episod günlerinde ( $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  ve  $400 \mu g/m^3$ ) 0000 GMT ve 1200 GMT'de meydana gelen enverziyonların taban yükseklikleri, sıcaklık farkı(tavan-taban) ve kalınlık itibarıyla ayrı ayrı sınıflandırılmıştır (Tablo 4.5.1-4.5.4).

a)  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  episod günlerinde;

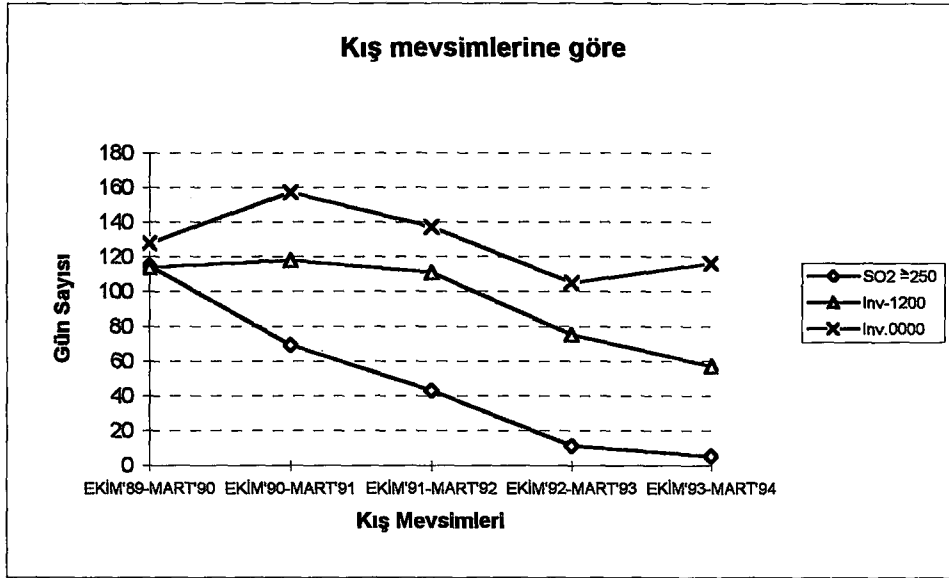
0000 GMT'de meydana gelen enverziyonların %60'nın taban yüksekliği 751-1000 m. arasında bulunmuştur. Bu enversiyonların %46,9'nun kalınlığı ise 251-500 m. arasında; %33'nün kalınlığı ise 1-250 m. arasında bulunmaktadır. Enversiyonların %42'sinin taban-tavan sıcaklık farkı 0.0-2.0 °C arasında; %31'nin sıcaklık farkı ise 2.1-4.0 °C arasında yer almaktadır (Tablo 4.5.1).

Tablo 4.5.1 Toplam episod ( $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$ ) günlerindeki enversiyon (0000 GMT) frekans değerleri.

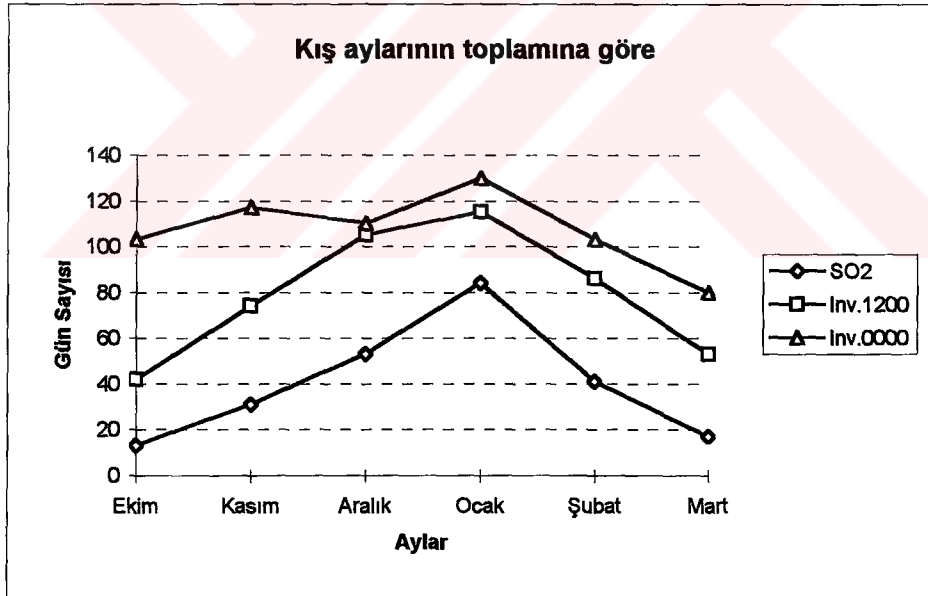
| Enversiyon Taban<br>Yüksekliği (m) |            |            | Sıcaklık Farkı (°C)<br>(Tavan-Taban) |           |           |           | Kalınlık (m) |           |           |           |          |
|------------------------------------|------------|------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                                    | Frekans    | %          | 0.0-2.0                              | 2.1-4.0   | 4.1-6.0   | >6.0      | 1-250        | 251-500   | 501-750   | 751-1000  | >1000    |
| 0-250                              |            |            |                                      |           |           |           |              |           |           |           |          |
| 251-500                            |            |            |                                      |           |           |           |              |           |           |           |          |
| 501-750                            |            |            |                                      |           |           |           |              |           |           |           |          |
| 751-1000                           | 130        | 60,2       | 52                                   | 43        | 20        | 15        | 43           | 61        | 13        | 10        | 3        |
| 1001-1500                          | 46         | 21,3       | 17                                   | 12        | 6         | 11        | 18           | 14        | 11        | 3         |          |
| 1501-2000                          | 14         | 6,48       | 4                                    | 4         | 3         | 3         | 5            | 7         | 1         | 1         |          |
| 2001-2500                          | 14         | 6,48       | 9                                    | 4         | 1         |           | 8            | 4         | 2         |           |          |
| >2500                              | 12         | 5,56       | 9                                    | 3         |           |           | 8            | 4         |           |           |          |
| <b>Toplam</b>                      | <b>216</b> | <b>100</b> | <b>91</b>                            | <b>66</b> | <b>30</b> | <b>29</b> | <b>82</b>    | <b>90</b> | <b>27</b> | <b>14</b> | <b>3</b> |



Şekil 4.5.2 Aylara göre episode ( $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$ ) ve enverziyonlu (0000 ve 1200 GMT) gün sayısı.



(a)



(b)

Şekil 4.5.3 Episod ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve enverziyonlu (0000 ve 1200 GMT) gün sayısı.

1200 GMT’de meydana gelen enversiyonların %29,5’nin taban yüksekliği 1501-2000 m. arasındadır. Bu seviyedeki enversiyonların %52’sinin kalınlığı ise 1-250 m. arasındadır. Burada 1200 GMT’de meydana gelen enversiyonların taban yüksekliklerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Enversiyonların % 56’sının taban-tavan sıcaklık farkı 0.0-2.0 °C arasında; %21’nin ise 2.1-4.0 °C arasındadır (Tablo 4.5.2).

**Tablo 4.5.2 Toplam episod ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) günlerindeki enversiyon (1200 GMT) frekans değerleri.**

| Enversiyon Taban<br>Yüksekliği (m) |            |            | Sıcaklık Farkı (°C)<br>(Tavan-Taban) |           |           |           | Kalınlık (m) |           |           |          |       |
|------------------------------------|------------|------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|----------|-------|
|                                    | Frekans    | %          | 0.0-2.0                              | 2.1-4.0   | 4.1-6.0   | >6.0      | 1-250        | 251-500   | 501-750   | 751-1000 | >1000 |
| 0-250                              |            |            |                                      |           |           |           |              |           |           |          |       |
| 251-500                            |            |            |                                      |           |           |           |              |           |           |          |       |
| 501-750                            |            |            |                                      |           |           |           |              |           |           |          |       |
| 751-1000                           | 6          | 3,28       | 4                                    | 1         | 1         |           | 3            |           | 2         | 1        |       |
| 1001-1500                          | 53         | 29         | 18                                   | 15        | 12        | 8         | 21           | 23        | 6         | 3        |       |
| 1501-2000                          | 54         | 29,5       | 28                                   | 11        | 13        | 2         | 28           | 20        | 5         | 1        |       |
| 2001-2500                          | 34         | 18,6       | 23                                   | 5         | 4         | 2         | 26           | 6         | 2         |          |       |
| >2500                              | 36         | 19,7       | 29                                   | 6         |           | 1         | 23           | 12        | 1         |          |       |
| <b>Toplam</b>                      | <b>183</b> | <b>100</b> | <b>102</b>                           | <b>38</b> | <b>30</b> | <b>13</b> | <b>101</b>   | <b>61</b> | <b>16</b> | <b>5</b> |       |

b)  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günlerinde;

0000 GMT’de meydana gelen enversiyonların %71.1’nin taban yüksekliği 751-1000 m. arasındadır. Bu seviyedeki enversiyonların %40.63’nün kalınlığı 251-500 m.; %32.81’nin kalınlığı 1-250 m. arasındadır. Enversiyonların %33.3’nün taban-tavan sıcaklık farkı 0.0-2.0 °C arasında, %32.2’nin sıcaklık farkı ise 2.1-4.0 °C arasındadır (Tablo 4.5.3).

1200 GMT’de meydana gelen enversiyonların %38.55’nin taban yüksekliği 1001-1500 m. arasındadır. Bu seviyedeki enversiyonların %50’sinin kalınlığı ise 251-500 m., %40.63’nün kalınlığı 1-250 m. arasında bulunmaktadır. Burada da 1200 GMT’de meydana gelen enversiyonların taban yüksekliklerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Enversiyonların % 51.81’nin taban-tavan sıcaklık farkı 0.0-2.0 °C arasında %21.69’nun sıcaklık farkı ise 2.1-4.0 °C arasındadır (Tablo 4.5.4).

**Tablo 4.5.3 Toplam episod ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) günlerindeki enversiyon (0000 GMT) frekans değerleri.**

| Enversiyon Taban<br>Yüksekliği (m) |           |            | Sıcaklık Farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )<br>(Tavan-Taban) |           |           |           | Kalınlık (m) |           |           |          |          |
|------------------------------------|-----------|------------|--------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|----------|----------|
|                                    | Frekans   | %          | 0.0-2.0                                                | 2.1-4.0   | 4.1-6.0   | >6.0      | 1-250        | 251-500   | 501-750   | 751-1000 | >1000    |
| 0-250                              |           |            |                                                        |           |           |           |              |           |           |          |          |
| 251-500                            |           |            |                                                        |           |           |           |              |           |           |          |          |
| 501-750                            |           |            |                                                        |           |           |           |              |           |           |          |          |
| 751-1000                           | 64        | 71.1       | 21                                                     | 22        | 12        | 9         | 21           | 26        | 7         | 7        | 3        |
| 1001-1500                          | 20        | 22.2       | 7                                                      | 5         | 1         | 7         | 5            | 7         | 5         | 2        | 1        |
| 1501-2000                          | 3         | 3.4        |                                                        | 1         |           | 2         | 1            | 1         | 1         |          |          |
| 2001-2500                          | 1         | 1.1        |                                                        | 1         |           |           | 1            |           |           |          |          |
| >2500                              | 2         | 2.2        | 2                                                      |           |           |           | 2            |           |           |          |          |
| <b>Toplam</b>                      | <b>90</b> | <b>100</b> | <b>30</b>                                              | <b>29</b> | <b>13</b> | <b>18</b> | <b>30</b>    | <b>34</b> | <b>13</b> | <b>9</b> | <b>4</b> |

**Tablo 4.5.4 Toplam episod ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) günlerindeki enversiyon (1200 GMT) Frekans değerleri.**

| Enversiyon Taban<br>Yüksekliği (m) |           |            | Sıcaklık Farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )<br>(Tavan-Taban) |           |           |          | Kalınlık (m) |           |          |          |       |
|------------------------------------|-----------|------------|--------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|--------------|-----------|----------|----------|-------|
|                                    | Frekans   | %          | 0.0-2.0                                                | 2.1-4.0   | 4.1-6.0   | >6.0     | 1-250        | 251-500   | 501-750  | 751-1000 | >1000 |
| 0-250                              |           |            |                                                        |           |           |          |              |           |          |          |       |
| 251-500                            |           |            |                                                        |           |           |          |              |           |          |          |       |
| 501-750                            |           |            |                                                        |           |           |          |              |           |          |          |       |
| 751-1000                           | 4         | 4.82       | 2                                                      |           | 1         | 1        | 2            |           | 1        | 1        |       |
| 1001-1500                          | 32        | 38.55      | 12                                                     | 10        | 6         | 4        | 13           | 16        | 2        | 1        |       |
| 1501-2000                          | 22        | 26.51      | 11                                                     | 3         | 8         |          | 10           | 9         | 2        | 1        |       |
| 2001-2500                          | 15        | 18.07      | 10                                                     | 3         | 1         | 1        | 14           | 1         |          |          |       |
| >2500                              | 10        | 12.05      | 8                                                      | 2         |           |          | 6            | 4         |          |          |       |
| <b>Toplam</b>                      | <b>83</b> | <b>100</b> | <b>43</b>                                              | <b>18</b> | <b>16</b> | <b>6</b> | <b>45</b>    | <b>30</b> | <b>5</b> | <b>3</b> |       |

Episod günlerinde ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gece (0000 GMT) ve gündüz (1200 GMT) meydana gelmiş olan yüzey enverziyonun olduğu günlerin ortalama  $\text{SO}_2$  değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Gündüz enverziyonun (1200 GMT) olduğu günlerin ortalama  $\text{SO}_2$  değerinin ( $414 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gece enverziyonun (0000 GMT) olduğu günlerin ortalama  $\text{SO}_2$  değerine ( $411 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) çok yakın olduğu bulunmuştur. Bu durum, Ankara'da gece enverziyonlarının yanı sıra gündüz enverziyonlarının da hava kirliliği konsantrasyonlarının artmasında önemli rol oynadığını göstermektedir.

Episod günlerinin ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) toplam ortalama  $\text{SO}_2$  değerleri ile enverziyonun kalınlık, taban yüksekliği ve sıcaklık farkı değerleri karşılaştırılmıştır. Burada, 0000

GMT ve 1200 GMT'deki sıcaklık değerleri ile kalınlık değerlerinin paralellik gösterdiği; en düşük SO<sub>2</sub> değerlerinin 251-500 m. kalınlığında meydana geldiği ve kalınlık değeri arttıkça SO<sub>2</sub> değerlerinin de arttığı görülmektedir (Tablo 4.5.6). Bu durum, yüksek sıcaklıkların enverziyon kalınlıklarının artmasına ve dolayısıyla bu seviyelerde daha yüksek konsantrasyonların olmasına neden olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.5.6 Enverziyon kalınlıklarına göre SO<sub>2</sub> ve taban-tavan sıcaklık farkları.

| Rasat<br>Zamanı | Parametre                            | Enverziyon kalınlığı (m.) |         |         |          |        |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|---------|---------|----------|--------|
|                 |                                      | 1-250                     | 251-500 | 501-750 | 751-1000 | >1000  |
| 0000<br>GMT     | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 399.53                    | 395.06  | 405.69  | 508.22   | 438.25 |
|                 | T (°C)                               | 1.81                      | 3.76    | 5.67    | 6.56     | 6.18   |
| 1200<br>GMT     | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 420.49                    | 386.60  | 467.60  | 503.30   | -      |
|                 | T (°C)                               | 1.82                      | 3.17    | 5.78    | 4.6      | -      |

Ayrıca, en yüksek SO<sub>2</sub> değerlerinin taban yüksekliğinin az olduğu seviyelerde meydana geldiği görülmektedir (Tablo 4.5.7). Bunun nedeni de enverziyon taban yüksekliğinin yere yakın olması kirleticilerin sığ aşağı tabakada birikmesine neden olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.5.7 Enverziyon taban yüksekliğine göre SO<sub>2</sub> değerleri.

| Rasat<br>Zamanı | Parametre                            | Enverziyon taban yüksekliği (m.) |           |           |           |        |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|
|                 |                                      | 751-1000                         | 1001-1500 | 1501-2000 | 2001-2500 | >2500  |
| 0000 GMT        | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 419.09                           | 403.95    | 343.00    | 387.00    | 346.00 |
| 1200 GMT        | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 546.50                           | 401.41    | 421.59    | 406.93    | 396.82 |

Tablo 4.5.8'de SO<sub>2</sub> değerleri ile enverziyon taban-tavan sıcaklık farkına bakıldığında, 0000 GMT'de sıcaklık farkı ile SO<sub>2</sub> değerleri arasında doğru bir orantının olduğu, 1200 GMT'de ise sıcaklık farkı ile SO<sub>2</sub> değerleri arasında ters bir orantının olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5.8 Enverziyon taban-tavan sıcaklık farkına göre SO<sub>2</sub> değerleri.

| Rasat<br>Zamanı | Parametre                            | Taban-tavan sıcaklık farkı ((°C) |        |        |        |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|
|                 |                                      | 0-2                              | 2.1-4  | 4.1-6  | >6     |
| 0000 GMT        | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 391.87                           | 399.50 | 383.46 | 439.17 |
| 1200 GMT        | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | 423.56                           | 393.11 | 396.94 | 394.33 |

Ayrıca, episodların (SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup>) meydana geldiği günlerdeki SO<sub>2</sub> değerleri ile enverziyon taban-tavan sıcaklık farkı ve enverziyon kalınlığı aylara göre grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Episodlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde 0000 GMT'deki enverziyon sıcaklık farkı eğrisi ile SO<sub>2</sub> eğrisi arasında doğru bir orantının olduğu yani sıcaklık farkı arttıkça SO<sub>2</sub> değerlerinin de arttığı, 1200 GMT'deki enverziyon sıcaklık farkı eğrisi ile SO<sub>2</sub> eğrisi arasında ise genelde ters bir orantının olduğu, yani sıcaklık farkı arttıkça SO<sub>2</sub> değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil A.11). 0000 GMT'deki enverziyon kalınlık eğrisi ile SO<sub>2</sub> eğrisi arasında doğru bir orantı olduğu yani kalınlık arttıkça SO<sub>2</sub> değerlerinin de arttığı, 1200 GMT'deki enverziyon kalınlık eğrisi ile SO<sub>2</sub> eğrisi arasında genelde net bir orantının olmadığı, episodlara göre farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil A.12).

#### 4.6 Vortisiti

Vortisiti teoreminin, serbest atmosferdeki hareket sistemlerinin gidiş tahminlerine uygulanması sinoptik meteorolojideki en önemli ilerlemedir. Bu gelişmelerin, 1858'de vortisiti teoremini çıkaran ve girdap hareketinin büyük kararlılığını keşfeden Helmholtz'un çalışmalarına dayandığı söylenebilir. Helmholtz'un çalışmasını, 1898 de, sirkülasyon teoremini çıkaran ve baroklinikliğin önemini belirten V.Brejknes'in çalışmaları izlemiştir. Bununla birlikte, bu ilgili teoremlerin, sinoptik haritalara uygulanması, oldukça yakın bir tarihtedir ve 1939'da Rossby'nin bir çalışmasını yayınladığı zaman başladığı söylenebilir. Bu çalışmasında, yükseklerdeki dalga şeklinde sirkülasyon modellerinin yayılmasının zonal rüzgar hızı ve coriolis parametresinin, meridyonal değişimi ile büyük ölçüde kontrol edildiğini göstermiştir. Kısmen teorik çalışmalarda ve kısmen de ampirik çalışmalardaki araştırmaların bir

çoğuna hız veren vortisiti denkleminin kullanılması, ilk kez Rossby'in fikri olmuştur. Bu araştırmalarda, serbest atmosferdeki hareket sistemlerinin gelişmesinin ve hareketlerin tahmininde, hesap işlemlerinin uygulanması mümkün olmuştur (Köksal, 1969).

#### 4.6.1 Tanım

Bir akışkan içerisindeki dönüşün mikroskopik ölçüsü olan vortisiti, hızın rotasyoneli olarak tanımlanan vektör alanıdır. Mutlak vortisiti  $\omega_a$ , mutlak hızın rotasyoneli ile bağıl vortisiti  $\omega$  ise, bağıl hızın rotasyoneli ile verilir.

$$\omega_a = \nabla \times U_a, \quad \omega = \nabla \times U \quad (4.6.1.1)$$

$$\omega = (\partial w / \partial y - \partial v / \partial z, \partial u / \partial z - \partial w / \partial x, \partial v / \partial x - \partial u / \partial y) \quad (4.6.1.2)$$

Büyük ölçekli dinamik meteorolojide genel olarak  $\eta$  ve  $\zeta$  ile gösterilen mutlak ve bağıl vortisitinin sadece düşey bileşenleri ile ilgilenilir.

$$\eta \equiv k \cdot (\nabla \times U_a), \quad \zeta \equiv k \cdot (\nabla \times U) \quad (4.6.1.3)$$

Mutlak vortisiti  $\eta$ , orta troposferde hareketi takiben korunumlu olmaya meyledir. Böylece,  $\eta$  alanının ve bu alanın adveksiyondan dolayı gelişiminin analizi en basit dinamik öngörü şemasının temelini temsil eder.

Dünyanın vortisitisi hesaba katılmaksızın hava parselinin kendisinin sahip olacağı vortisiti değerine bağıl vortisiti denir. Geniş pozitif (negatif) bölgelerde bağıl vortisitinin düşey bileşeni  $\zeta$ , sinoptik ölçekli hava bozulmalarıyla yakından ilgili olduğundan kuzey yarımkürede büyük pozitif  $\zeta$  siklonik fırtınalarla işbirliği içerisinde gelişme eğilimi göstermektedir. Bundan dolayı bağıl vortisitinin dağılımı hava analizi için iyi bir tanımlayıcıdır.

Mutlak ve bağıl vortisiti arasındaki fark, rotasyonu için dünyaya bağımlı olan vortisitinin yerel düşey bileşeni olan planeter vortisidir.  $k \cdot \nabla \times U_e = 2\Omega \sin\phi \equiv f$ . Böylece, mutlak vortisiti  $\eta = \zeta + f$  ile bağıl vortisiti ise  $\zeta$  olarak ya da kartezyen koordinatlarda

$$\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y \quad (4.6.1.4)$$

$$\eta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y + f \quad (4.6.1.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bağıl vortisiti ve C sirkülasyonu arasındaki bağıntı; vortisitinin düşey bileşeni, yatay bir düzlemde kapalı bir kontur etrafındaki sirkülasyonun alanın sifıra yaklaştığı limit durumunda kapalı konturun çevrelediği alana bölümü olarak tanımlanır.

$$\zeta = \lim (V \cdot dI) A^{-1} \quad (4.6.1.6)$$

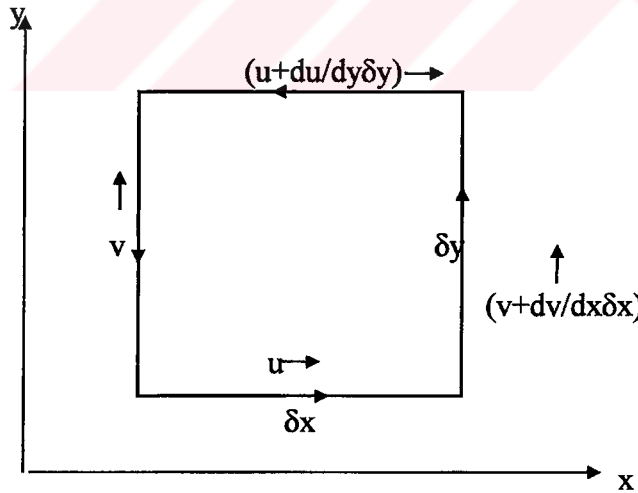
$\zeta$ 'nin bu iki tanımının özdeşliği, sirkülasyonun alanı  $dx dy$  olan  $x, y$  düzleminde bir dikdörtgen alan elamanı etrafındaki sirkülasyon gözönüne alınarak kolaylıkla gösterilebilir (Şekil 4.6.1).  $V \cdot dI$ , şekildeki dikdörtgenin her iki kenarı için değerlendirildiğinde, şekil yardımıyla sirkülasyon;

$$\delta C = u \delta x + (v + \partial v / \partial x \delta x) \delta y - (u + \partial u / \partial y \delta y) \delta x - v \delta y = (\partial v / \partial x - \partial u / \partial y) \delta x \delta y \quad (4.6.1.7)$$

Bu eşitliğin her iki tarafı  $\delta A = \delta x \delta y$  alanına bölünerek

$$\delta C / \delta A = (\partial v / \partial x - \partial u / \partial y) = \zeta \quad (4.6.1.8)$$

elde edilir.



Şekil 4.6.1 Yatay düzlemdeki bir alan elamanı için sirkülasyon ile vortisiti arasındaki bağıntı (Köksal, 1963).

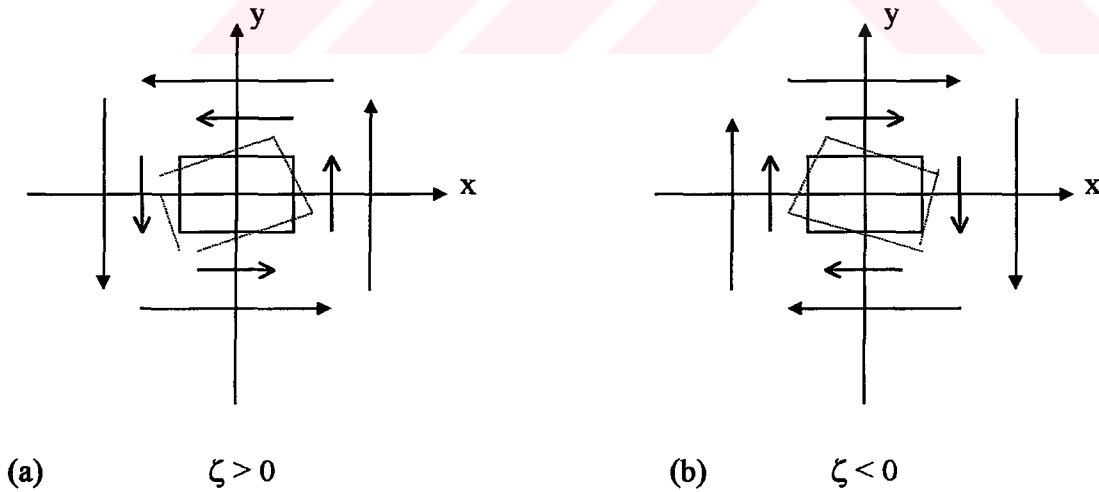
Daha genel terimlerle vortisiti ve sirkülasyon arasındaki bağıntı, hız vektörüne uygulanan Stokes Teoremi ile basitçe verilmiştir.

$$\oint U \cdot dI = \iint (\nabla \times U) \cdot n dA \quad (4.6.1.9)$$

Burada  $A$ , dış çizgilerle kapatılmış alandır ve  $n$ ,  $dA$  alan elemanına dik birim vektördür (sağdan yaklaşımda pozitif). Böylece, Stokes Teoremi herhangi bir kapalı alandaki sirkülasyonun, dış çizgilerle kapatılmış alanda vortisitinin normal bileşeninin integraline eşit olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bundan dolayı sonsuz alanda, alanla bölünmüş sirkülasyon, bölgede vortisitinin ortalama normal bileşenini vermektedir.

Diğer bir ifadeyle vortisiti, bir hava parselinin veya cismin herhangi bir tesirle bir yerden diğer yere giderken bazı etkilerle cismin veya parselin hareketinden başka kendi etrafındaki dönme hareketine denir (Bluestin 1993).

Vortisiti, dönen bütün cisimlere tatbik edilebildiğinden dünyanın da kendi ekseninde etrafında dönüşünden dolayı, bir vortisitiye sahip olacağı söylenebilir. Kuzey yarımkürede, yerel düşey dünya rotasyonu bileşeni pozitifdir. Bundan dolayı kuzey yarımkürede hava parseli kendi etrafında saat yönünde ( $\zeta < 0$ ) dönüyorsa buna antisiklonik (-) vortisiti, kendi etrafında saat yönünün tersine ( $\zeta > 0$ ) dönüyorsa buna siklonik (+) vortisiti denir (Şekil 4.6.2). Diğer bir ifade ile diverjansa sahip bir akımda, vortisiti negatiftir yani antisiklonik vortisiti mevcuttur. Konverjansa sahip bir akımda ise vortisiti pozitifdir, yani siklonik vortisiti mevcuttur. Güney yarımkürede de pozitif vortisiti antisiklonik, negatif vortisiti sikloniktir.



Şekil 4.6.2 Bir akış üzerinde pozitif (a) ve negatif (b) vortisitilerin etkisi.

Vortisiti aynı zamanda akışın düz olmayan (eğik) bir yörüngesinde de meydana gelebilir. Oluk ve sırtlar, sahip oldukları karakteristik yörüngelerinden dolayı pozitif(+) ve negatif(-) vortisitiye sahiptir.

Güneyden kuzeye doğru olan hava akımları (kuzey yarımkürede) antisiklonik bir dönüşle doğuya doğru dönmekte, buna karşılık kuzeyli akımlarda, siklonik bir dönüşle yine doğuya yönelmektedir. Rosbby'ye göre, enlem derecelerini kat ederek yol alan hava akımlarının mutlak vortisitesi sabit kalmakta, ancak bağıl vortisite değişmekte ve kuzeyli akımlarda siklonik vortisite artmaktadır. Dönüş oranı düzgün (uniform) olduğu için (yönden bağımsız) akış elamanının şekli ve alanı korunmaktadır.

Siklon, dünya eksenini etrafında dünyanın rotasyonu ile aynı yönde olduğunu ifade ederken, antisiklon ise dünyanın rotasyonuna ters yönde olduğunu ifade eder. Böylece siklonik vortisite, dünya ile aynı rotasyon eksenlerini ifade eden yerel düşey rotasyon elemanları ile karakterize edilir.

Bu açıklamalardan sonra kısaca birim alandaki sirkülasyon olarak tanımlanan bağıl vortisite denklemi;

$$\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y \quad (4.6.1.10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$$u = V \sin \varphi,$$

$$v = V \cos \varphi,$$

$$\partial v = v_i - v_{i-1}$$

$$\partial u = u_j - u_{j-1}$$

$$V = \text{rüzgar hızı}$$

$$\varphi = \text{rüzgar yönü (kuzeyle yapılan açı)}$$

$$\partial x, \partial y = \text{iki nokta arasındaki uzaklığı}$$

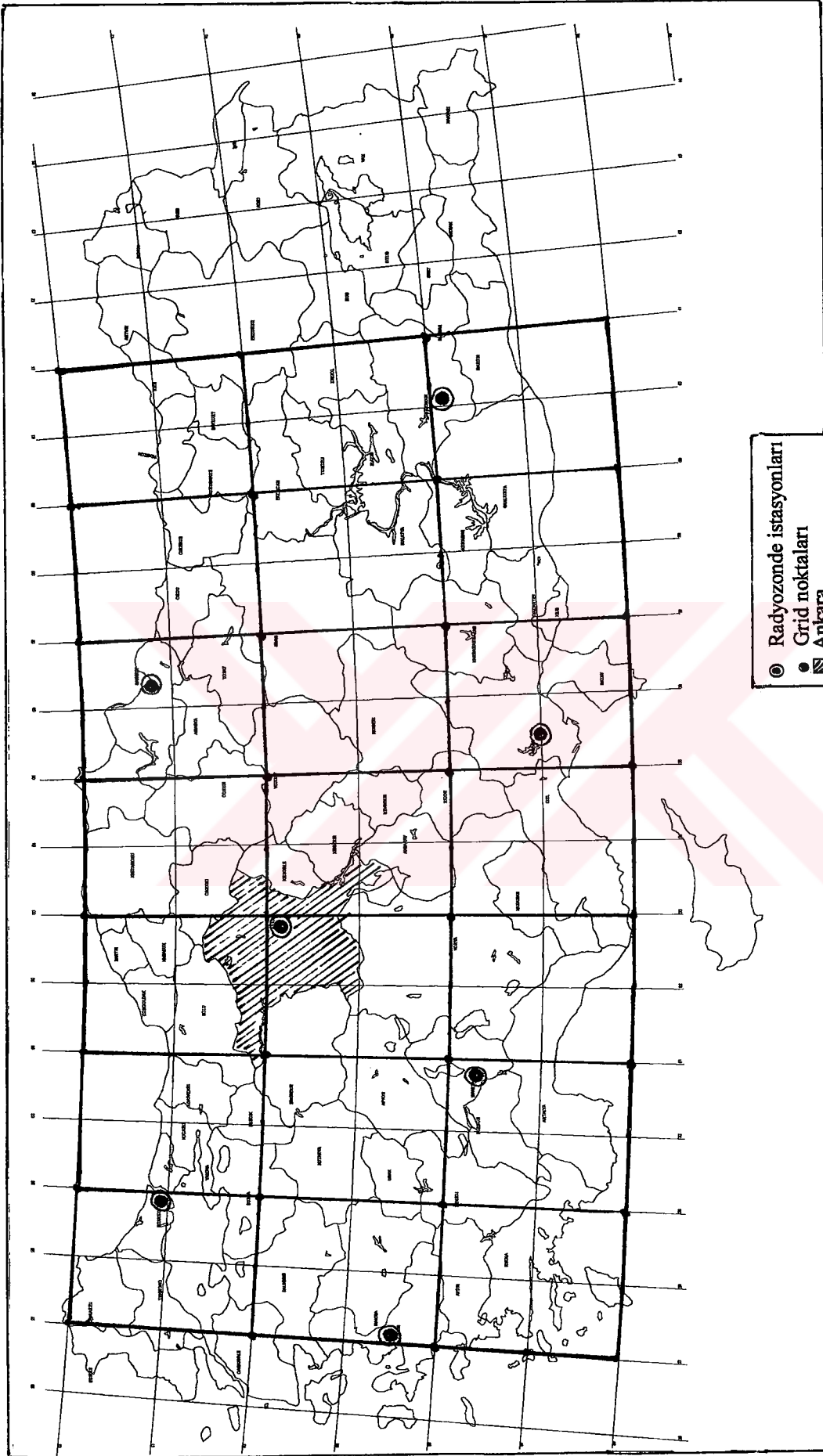
ifade etmektedir.

Vortisitinin ölçeği ise;  $U \sim 10 \text{ m/sn}$  yatay ölçek,  $L \sim 1,000,000 \text{ m}$ . uzunluk ölçeği olmak üzere  $\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y \leq U/L \sim 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  şeklinde belirtilmektedir.

#### 4.6.2 Hesaplama Metodu

Yukarıda tanımlanan bağıl vortisiteyi hesaplamak için aşağıdaki metod izlenmiştir.

1- Türkiye'deki 7 adet radyosonde istasyonuna ait veriler (0000 GMT ve 1200 GMT) DMİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu radyosonde istasyonlarını içine



Şekil 4.6.2.1 Radyozonde istasyonlarının yerleri ve grid noktaları (8x4).

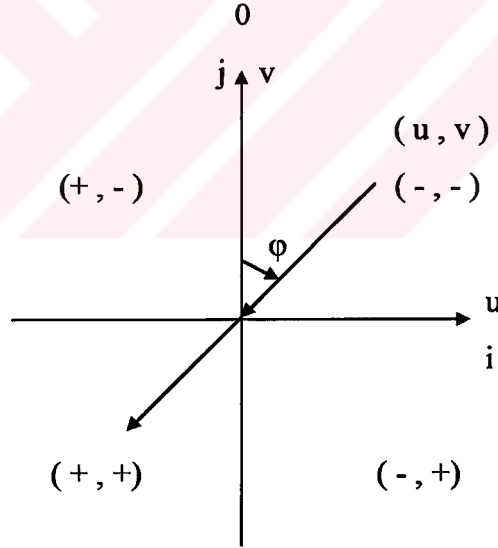
alacak şekilde Türkiye 2 derece aralıkla (1 derece= 111 km.) 32 (8x4) grid noktasına ayrılmıştır (Şekil 4.6.2.1). SURFER programı ile 7 radyosonde istasyonundaki rüzgar hız ve yön verileri kullanılarak 32 grid noktasındaki rüzgar hız ve yön değerleri bulunmuştur.

2- Şekil 4.6.2.2’de gösterildiği gibi, rüzgarın esme yönünün merkeze doğru ve kuzey (N) yönü sıfır (0) olarak kabul edilmiştir. Bu şekilde verilen rüzgar yönünün trigonometrik açıya göre dönüştürülmesi amacıyla; rüzgar yönünün 270’e eşit veya küçük ve 270’den büyük olma durumu  $\alpha$  ile gösterilerek,  $\phi$  için;

$$\alpha \leq 270 \quad \text{için} \quad \phi = 270 - \alpha$$

$$\alpha > 270 \quad \text{için} \quad \phi = 630 - \alpha$$

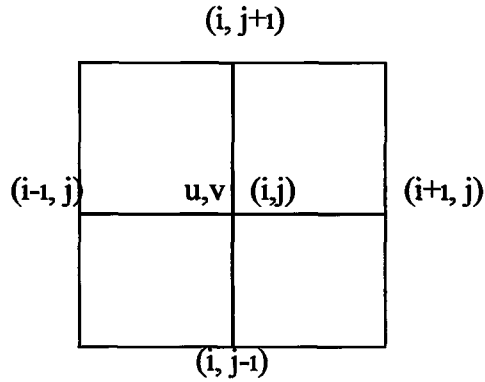
bağıntısı gözönünde bulundurularak  $u=V\sin\phi$  ve  $v=V\cos\phi$  bileşenleri sırasıyla  $u=V\cos\phi$  ve  $v=V\sin\phi$  şeklinde yazılmıştır. Bu dönüşümden sonra, grid noktalarındaki rüzgarın hız ve yön değerleri kullanılarak her grid noktası için u ve v değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.6.2.2 Rüzgarın yönü ve u ve v bileşenlerinin bölgelere göre işareti

3- Şekil 4.6.2.3’deki grid noktası yapısı gözönünde bulundurularak  $\partial v = v_i - v_{i-1}$  ve  $\partial u = u_j - u_{j-1}$  formülü ile  $\partial v$  ve  $\partial u$  değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra  $\partial x$  ve  $\partial y = 111$  km alınarak  $\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$  (4.6.1.10) formülü ile Ankara ili için  $\text{SO}_2$  konsantrasyonunda  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ü aşan episod günlerine ait 850 hPa (0000 GMT ve 1200

GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki bağıl vortisiti hesaplanmıştır (Tablo B.2).



Şekil 4.6.2.3 Bir grid noktasının yapısı.

Vortisitinin işaretine bakılarak negatif olduğu günler değerlendirildiğinde;  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  episod günlerinde 850 hPa (0000 ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki toplam vortisiti değerlerinin %69.08'i negatiftir. En fazla negatif değerlerin %75.44 ile 850 hPa (1200 GMT) seviyesinde ve en az negatif değerlerin ise %59.50 ile 500 hPa (0000 GMT) seviyesinde meydana geldiği görülmektedir (Tablo 4.6.2.1).

$SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episod günlerinde ise 850 hPa (0000 ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki toplam vortisiti değerlerinin %74.02'si negatiftir. En fazla negatif değerlerin %82.76 ile 850 hPa (1200 GMT) seviyesinde ve en az negatif değerlerin ise %63.74 ile 500 hPa (0000 GMT) seviyesinde meydana geldiği görülmektedir (Tablo 4.6.2.2).

Tablo 4.6.2.1 ve Tablo 4.6.2.2 karşılaştırıldığında,  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episod günlerindeki toplam vortisiti değerlerin negatif olma yüzdesinin (%74.02),  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  episod günlerindeki toplam vortisiti değerlerinin negatif olma yüzdesinden (%69.08) büyük olduğu görülmektedir. Bu ise vortisitinin negatif olma durumu ile yüksek kirlenici değerler arasında doğru bir orantının olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6.2.1 SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> episod günlerine ait vortisitinin negatif olduğu gün sayısı ve yüzdesi

| YIL   | AY     | Episode<br>Gün<br>Sayısı | Basınç Seviyeleri |        |          |         |          |       |          |       |
|-------|--------|--------------------------|-------------------|--------|----------|---------|----------|-------|----------|-------|
|       |        |                          | 850 hPa           |        |          |         | 700 hPa  |       | 500 hPa  |       |
|       |        |                          | 1200 GMT          |        | 0000 GMT |         | 0000 GMT |       | 0000 GMT |       |
|       |        |                          | Gün               | (%)    | Gün      | (%)     | Gün      | (%)   | Gün      | (%)   |
| 1989  | Ekim   | 11                       | 2/11              | 18,2   | 3/11     | 27,3    | 0        | 0     | 2/11     | 18,1  |
|       | Kasım  | 13                       | 9/13              | 69,2   | 9/13     | 69,2    | 6/13     | 46,2  | 7/13     | 53,8  |
|       | Aralık | 26                       | 21/24             | 87,5   | 19/26    | 73,1    | 18/26    | 69,2  | 13/26    | 50    |
| 1990  | Ocak   | 30                       | 24/28             | 85,7   | 20/29    | 69      | 17/30    | 56,7  | 20/30    | 66,7  |
|       | Şubat  | 18                       | 9/13              | 69,2   | 9/18     | 50      | 13/18    | 72,2  | 6/18     | 33,3  |
|       | Mart   | 17                       | 13/15             | 86,7   | 14/17    | 82,4    | 13/17    | 76,5  | 14/17    | 82,4  |
|       | Ekim   | 2                        | 1 / 2             | 50     | 2/2      | 100     | 2/2      | 100   | 2/2      | 100   |
|       | Kasım  | 17                       | 16/16             | 100    | 14/16    | 87,5    | 12/17    | 70,6  | 11/16    | 68,8  |
|       | Aralık | 14                       | 11/13             | 84,6   | 10/13    | 76,9    | 9/13     | 69,2  | 6/14     | 42,9  |
|       |        |                          |                   |        |          |         |          |       |          |       |
| 1991  | Ocak   | 21                       | 15/21             | 71,4   | 16/21    | 76,2    | 17/21    | 81    | 13/21    | 61,9  |
|       | Şubat  | 13                       | 8/13              | 61,5   | 10/13    | 76,9    | 11/13    | 84,6  | 8/13     | 61,5  |
|       | Mart   | 2                        | *                 |        | *        |         | 2/2      | 100   | 2/2      | 100   |
|       | Kasım  | 2                        | 1 / 2             | 50     | 2/2      | 100     |          | 50    | 2/2      | 100   |
|       | Aralık | 9                        | 7/9               | 77,8   | 5/8      | 62,5    | 7/9      | 77,8  | 7/9      | 77,8  |
| 1992  | Ocak   | 22                       | 16/22             | 72,7   | 14/22    | 63,6    | 17/22    | 77,3  | 13/22    | 59,1  |
|       | Şubat  | 10                       | 8/10              | 80     | 8/10     | 80      | 6/10     | 60    | 5/10     | 50    |
| 1993  | Ocak   | 11                       | 7/11              | 63,6   | 9/11     | 81,8    | 9/11     | 81,8  | 9/11     | 81,8  |
|       | Aralık | 2                        | 2/2               | 100    | 2/2      | 100     | 2/2      | 100   | 2/2      | 100   |
| 1994  | Ocak   | 3                        | 2/3               | 66,7   | 2/3      | 66,7    | 2/3      | 66,7  | 2/3      | 66,7  |
| Genel |        | 243 gün                  |                   | %75.44 |          | % 70.89 |          | %71.0 |          | %59.5 |

Tablo 4.6.2.2 SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episod günlerine ait vortisitinin negatif olduğu gün sayısı ve yüzdesi

| YIL   | AY     | Episode<br>Gün<br>Sayısı | Basınç Seviyeleri |        |          |        |          |        |          |        |
|-------|--------|--------------------------|-------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|       |        |                          | 850 hPa           |        |          |        | 700 hPa  |        | 500 hPa  |        |
|       |        |                          | 1200 GMT          |        | 0000 GMT |        | 0000 GMT |        | 0000 GMT |        |
|       |        |                          | Gün               | (%)    | Gün      | (%)    | Gün      | (%)    | Gün      | (%)    |
| 1989  | Kasım  | 8                        | 5/8               | 62,5   | 4/7      | 57,1   | 5/8      | 62,5   | 4/8      | 50     |
|       | Aralık | 11                       | 8/9               | 88,9   | 9/11     | 81,82  | 8/11     | 72,7   | 3/11     | 27,3   |
| 1990  | Ocak   | 18                       | 15/16             | 93,8   | 13/17    | 76,47  | 13/18    | 72,2   | 16/18    | 88,9   |
|       | Şubat  | 6                        | 4/6               | 66,7   | 3/6      | 50     | 6/6      | 100    | 2/6      | 33,3   |
|       | Mart   | 2                        | 2/2               | 100    | 2/2      | 100    |          | 50     | 2/2      | 100    |
|       | Kasım  | 8                        | 8/8               | 100    | 7/8      | 87,5   | 6/8      | 75     | 5/7      | 71,4   |
|       | Aralık | 9                        | 8/8               | 100    | 7/8      | 87,5   | 5/8      | 62,5   | 4/9      | 44,4   |
|       |        |                          |                   |        |          |        |          |        |          |        |
| 1991  | Ocak   | 10                       | 8/10              | 80     | 10/10    | 100    | 8/10     | 80     | 9/10     | 90     |
|       | Şubat  | 4                        | 2/4               | 50     | 2/4      | 50     |          | 75     | 2/4      | 50     |
| 1992  | Ocak   | 7                        | 5/7               | 71,4   | 4/7      | 57,1   | 7/7      | 100    | 6/7      | 85,7   |
|       | Şubat  | 6                        | 5/6               | 83,3   | 4/6      | 66,7   | 3/6      | 50     | 2/6      | 33,3   |
| 1993  | Ocak   | 3                        | 2/3               | 66,7   | 2/3      | 66,7   | 3/3      | 100    | 3/3      | 100    |
| Genel |        | 92 gün                   |                   | %82.76 |          | %75.28 |          | %74.73 |          | %63.74 |

Pissimanis (1991), episodların başlangıcını tahmin etmek için 500 hPa seviyesi haritalarında vortisiti adveksiyonunun tetkikinin faydalı olacağını belirtmiştir. Episodların birinci günündeki vortisiti değerinin negatif ve pozitif olma durumu incelenmiştir. En fazla negatif olma durumunun % 79.17 ile 850 hPa 0000 GMT’de, en az ise %61.54 ile 500 hPa 0000 GMT’de olduğu görülmektedir (Tablo 4.6.2.3). Burada, özellikle 850 hPa seviyesindeki vortisiti değerinin hava kirliliği açısından önemli olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.6.2.3**  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episodlarının birinci gününde bağıl vortisiti değerinin negatif olma yüzdesi.

| Sabit basınç seviyeleri | Rasat Zamanı | Vortisitinin negatif olma yüzdesi (%) |
|-------------------------|--------------|---------------------------------------|
| 850 hPa                 | 1200 GMT     | % 73.08                               |
|                         | 0000 GMT     | % 79.17                               |
| 700 hPa                 | 0000 GMT     | % 65.38                               |
| 500 hPa                 | 0000 GMT     | % 61.54                               |

Ayrıca,  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günlerine ait 850 hPa (0000 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki bağıl vortisiti değerleri kullanılarak vortisitinin zaman ardışık düşey profili çizilmiştir (Şekil A.13). Burada da negatif değerli eğrilerin fazlalığı ve sürekliliği görülmektedir.

#### 4.7 Termal Rüzgar

Termal rüzgar, herhangi bir zaman ve belirli bir atmosfer tabakasındaki dikey jeostrofik rüzgar kaymasıdır. Termal rüzgar gerçekten esen bir rüzgar olmayıp hesap edilen bir büyüklüktür. Termal rüzgar, gözlenen rüzgar ve sıcaklık alanların analizini kontrol etmek için sıkça kullanılan son derece faydalı bir teknik olarak sinoptik hava analizinde kullanılır (Holtan 1990). Bu rüzgar ayrıca bir tabakadaki ortalama yatay sıcaklık adveksiyonunu tahmin etmek için de kullanılır. Termal rüzgar, kuzey yarım kürede sıcak hava sağda olmak üzere izotermilere paralel eser. Böylece, yükseklikle saat yönünün tersinde dönen (backing) jeostrofik rüzgar soğuk hava adveksiyonunu, yükseklikle saat yönünde dönen (veering) jeostrofik rüzgar ise sıcak hava adveksiyonunu belirler.

Sürtünme tabakasının üstünde rüzgar ve basınç alanlarının hemen hemen jeostrofik dengede bulunduklarında hareket edilerek, rüzgar vektörünün düşey değişimi başlıca jeostrofik rüzgarın düşey değişimi vasıtasıyla bulunur (Tuna, 1982).

İki basınç seviyesi arasındaki rüzgar hızının farkları jeostrofik rüzgar şirinin bir ölçüsü olup, tabakanın yatay ortalama sıcaklık gradyanı ile doğru orantılıdır. Her iki büyüklükte, cephesel zonlarda büyük değerlere ulaşır ve tamamen barotropik olan sıcak havada ise çok daha küçüktür. Sıcak hava kütlelerinde jeostrofik rüzgar yükseklikle çok az veya hiç dönmez. Termal rüzgar jeostrofik rüzgar ile sıcaklığın yatay dağılımı arasında olan ilişkiye benzer bir şekilde, jeopotansiyel yüksekliğin yatay dağılımıyla de ilişkilidir (Kadıoğlu, 1995).

Termal rüzgar denklemi kullanılarak yerdeki veya herhangi bir referans seviyesindeki  $T(x,y,p)$  dağılımı,  $P(x,y)$  veya  $Vg(x,y)$  sınır şartları ile birlikte bilinirse jeostrofik rüzgar alanı tam olarak belirlenebilir.

İzobarik koordinatlarda jeostrofik rüzgar denklemi;

$$u_g = - 1/f * \partial\phi/\partial y \quad (4.7.1)$$

$$v_g = 1/f * \partial\phi/\partial x \quad (4.7.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Holtan, 1990). Bu denklemden hareketle iki basınç seviyesindeki jeopotansiyel yükseklik gözönünde bulundurularak termal rüzgar,

$$u_T = - 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0)/\partial y \quad (4.7.3)$$

$$v_T = 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0)/\partial x \quad (4.7.4)$$

$$W_T = \sqrt{u_T^2 + v_T^2} \quad (4.7.5)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada;

$$f = 2 \Omega \sin \varphi ,$$

$\phi_0$ = 850 hPa seviyesindeki jeopotansiyel yükseklik değeri,

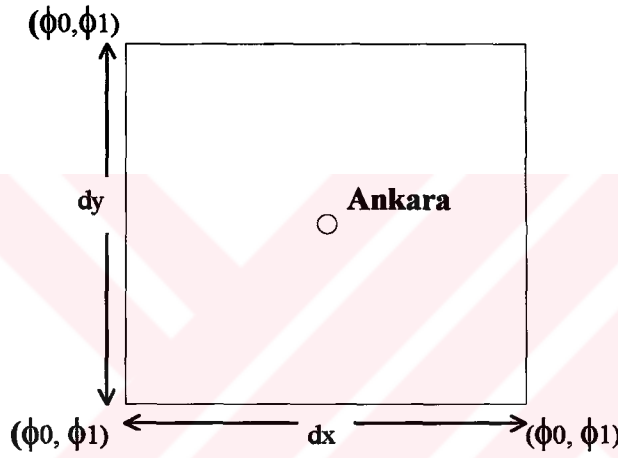
$\phi_1$ =700 hPa seviyesindeki jeopotansiyel yükseklik değeri,

$\partial x$  ve  $\partial y$ = iki grid noktası arasındaki uzaklıktır.

#### 4.7.1 Hesaplama Metodu

Yukarıda tanımlanan termal rüzgarı hesaplamak için aşağıdaki metod izlenmiştir.

1- Türkiye'deki 5 adet radyosonde istasyonundan (Ankara, İstanbul, Samsun, Isparta ve Adana) 1989-1994 yıllarına ait 850 hPa ve 700 hPa seviyelerindeki jeopotansiyel yükseklik verileri (0000 GMT) kullanılmıştır. Bu radyosonde istasyonlarını içine alacak şekilde Türkiye 1 derece aralıkla (1 derece= 111 km.) 60 (10x6) grid noktasına ayrılmıştır. SURFER programı ile 5 radyosonde istasyonundaki 850 hPa ve 700 hPa basınç seviyelerindeki jeopotansiyel veriler kullanılarak 60 grid noktasındaki jeopotansiyel yükseklik değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.7.1.1 Termal rüzgar hesaplanmasındaki grid noktası yapısı.

2- Şekil 4.7.1.1'de belirtilen grid noktası yapısı çerçevesinde grid noktalarındaki jeopotansiyel yükseklik veriler kullanılarak  $u_T = -1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0)/\partial y$  (4.7.3),  $v_T = 1/f * \partial(\phi_1 - \phi_0)/\partial x$  (4.7.4) ve  $WT = \sqrt{u_T^2 + v_T^2}$  (4.7.5) denklemleri ile Ankara bölgesinde episod günlerine ( $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ ) ait termal rüzgar değerleri hesaplanmıştır (Tablo B.2). Bu tabloya bakıldığında bir gün hariç diğer günlere ait termal rüzgar verileri 1 (bir)'den küçüktür. Ayrıca, termal rüzgar verileri sınıflandırılmıştır (Tablo 4.7.1.1). Değerlerin 1(bir)'den küçük olması ve %47.2'sinin 0.05-0.25 aralıkta yer alması episod günlerinde 850 hPa ile 700 hPa arasında yatay sıcaklık gradyanının da küçük olduğunu göstermektedir. Bu durum, episod günleri için çizilmiş olan düşey sıcaklık profillerine bakıldığında doğrulanmaktadır. Böyle bir atmosferde hava sakin ve düşey hareketler az olduğundan kirleticiler alt tabakalarda birikir ve hava kirliliğinin artmasına neden olur.

Tablo 4.7.1.2 Termal rüzgar değerlerinin sınıflandırılması,

|         | SINIFLANDIRMA |            |            |           |           |           |           |
|---------|---------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|         | A             | B          | C          | D         | E         | F         | G         |
| Aralık  | 0.05-0.25     | 0.26-0.45  | 0.46-0.65  | 0.66-0.85 | 0.86-1.05 | 1.06-1.25 | 1.26-1.45 |
| Sayı(%) | 43 (%47.2)    | 31 (%34.1) | 11 (%12.1) | 4 (%4.4)  | 1 (%1.1)  | 0         | 1 (%1.1)  |

#### 4.8 Yatay Basınç Gradyanı

Şehir alanlarındaki hava kirliliği episodlarının oluşumunun yüksek basınç sisteminin varlığı veya yukarıdaki sıcak “sırt” özelliğinin sıkça sebep olduğu yüzeydeki zayıf basınç gradyanlarının varlığıyla oluşmaktadır (Vukovich, 1978).

Herhangi bir büyüklüğün mesafe ile değişim miktarına gradyan denir. Basıncın mesafe ile değişimine de basınç gradyanı denir. Yatay basınç gradyanı , iki izobar arasındaki basınç farkının iki izobar arasındaki uzaklığa bölümüdür. Diğer bir ifade ile verilen bir yatay uzaklıkta meydana gelen basınç değişim miktarı yatay basınç gradyanını verir (Ahrens, 1988).

$$\text{Basınç gradyanı} = \partial p / \partial x \quad (4.8.1)$$

ile ifade edilmektedir. Burada;  $\partial p$ , yatay iki nokta arasındaki basınç farkı ve  $\partial x$  ise yatay iki nokta arasındaki uzaklıktır.

Şekil olarak küçük aralıklar üzerinde izobarların toplanması kuvvetli basınç gradyanını, geniş aralıklar üzerinde izobarların toplanması ise zayıf basınç gradyanı olarak tanımlanır (Ahrens, 1988). Yatay basınçdaki değişime izobarlara dik bir açıyla yüksek basınçtan düşük basınçlara doğru yönelen basınç gradyan kuvveti neden olur. Kuvvetin büyüklüğü direkt olarak basınç gradyanı ile ilgilidir. Sonuç olarak yüzey hava haritaları üzerindeki sık(dar) aralıktaki izobarlar kuvvetli basınç gradyanlarını, kuvvetli ve yüksek rüzgarları, geniş aralıktaki izobarlar ise zayıf basınç gradyanlarını, zayıf ve hafif rüzgarları gösterir (Ahrens, 1988). Sıcak havadaki dikey basınç gradyanı, soğuk havadaki dikey basınç gradyanından daha küçüktür (Tuna, 1982).

Bu çalışmada episod olarak tanımlanan ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) günlerdeki basınç gradyanlarını tespit etmek için DMİ Genel Müdürlüğü’nden temin edilen sinoptik yer kartları (DMİ) ve Almanya’da “Freie Universität Berlin, Institut für

Meteorologie” tarafından yayınlanan “Meteorologische Abhandlungen” isimli günlük bültenlerden yararlanılmıştır. Subjektif yöntemle 0000 GMT yer kartlarından basınç gradyanları tespit edilerek  $SO_2 \geq 250$  ve  $400 \mu g/m^3$  episod günleri için ayrı ayrı sınıflandırma yapılmıştır (Tablo 4.8.1 ve Tablo 4.8.2 ). Sınıflandırma;

A= Çok zayıf (<5 mb/1100 km),

B= Zayıf (5 mb/550-1100 km),

C= Kuvvetli (5 mb/100-550 km)

D= Çok kuvvetli (>5 mb/0-100 km)

şeklinde dört grup halinde yapılmıştır.

$SO_2$  konsantrasyonunun  $250 \mu g/m^3$ 'ü aştığı günlerde basınç gradyanının %17.33'ü çok zayıf (<5 mb/1100 km), %36.14'ü zayıf (5 mb/550-1100 km) ve %46.04'ü kuvvetli (5mb/100-550 km) sınıfına girmektedir(Tablo 4.8.1).

Tablo: 4.8.1  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  episod günlerindeki basınç gradyanı (0000 GMT) sınıflandırılması.

| Episode Tarihi |           | Sınıflandırma |                  |                 |                |
|----------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|----------------|
|                |           | Çok zayıf     | Zayıf            | Kuvvetli        | Çok Kuvvetli   |
| Yıl            | Ay        | <5 mb/1100 km | 5 mb/550-1100 km | 5 mb/100-550 km | >5 mb/0-100 km |
|                |           | A             | B                | C               | D              |
| 1989           | Ekim      | 3/11 (11)     | 3/11 (11)        | 5/11 (11)       |                |
|                | Kasım     | 2/13 (13)     | 6/13 (13)        | 5/13 (13)       |                |
|                | Aralık    | 1/26 (26)     | 7/26 (26)        | 17/26 (26)      | 1/26 (26)      |
| 1990           | Ocak      | 7/30 (30)     | 7/30 (30)        | 16/30 (30)      |                |
|                | Şubat     | 1/18 (18)     | 6/18 (18)        | 11/18 (18)      |                |
|                | Mart      | 1/16 (17)     | 8/16 (17)        | 7/16 (17)       |                |
|                | Ekim      |               | 2/2 (2)          |                 |                |
|                | Kasım     | 8/17 (17)     | 2/17 (17)        | 7/17 (17)       |                |
|                | Aralık    |               | 10/14 (14)       | 4/14 (14)       |                |
|                |           |               |                  |                 |                |
| 1991           | Ocak      | 7/15 (21)     | 4/15 (21)        | 4/15 (21)       |                |
|                | Şubat     |               | 6/6 (13)         |                 |                |
|                | Mart(*)   | [2]           |                  |                 |                |
|                | Kasım     |               | ½ (2)            | 1/2 (2)         |                |
|                | Aralık    |               | ¾ (9)            | 1/4 (9)         |                |
| 1992           | Ocak      | 3/11 (22)     | 4/11 (22)        | 4/11 (22)       |                |
|                | Şubat     |               | 3/7 (10)         | 4/7 (10)        |                |
| 1993           | Ocak      | 2/10 (11)     | 1/10 (11)        | 7/10 (11)       |                |
|                | Aralık(*) | [2]           |                  |                 |                |
| 1994           | Ocak(*)   | [3]           |                  |                 |                |
| Genel          | Sayı      | 35/202 (243)  | 73/202 (243)     | 93/202 (243)    | 1/202 (243)    |
| Toplam         | Yüzde     | %17,33        | %36,14           | %46,04          | %0,5           |

Not: (\*) Episod olmasına karşın basınç gradyanı verisi yok

SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 400 µg/m<sup>3</sup>'ü aştığı günlerde ise basınç gradyanının %23.6'ü çok zayıf (<5 mb/1100 km), %43.8'i zayıf (5 mb/550-1100 km) ve %32.6'sı kuvvetli (5 mb/100-550 km) sınıfına girmektedir (Tablo 4.8.2).

Tablo: 4.8.2 SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episod günlerindeki basınç gradyanı (0000 GMT) sınıflandırılması

| Episode Tarihi |         | Sınıflandırma |                  |                 |                |
|----------------|---------|---------------|------------------|-----------------|----------------|
|                |         | Çok zayıf     | Zayıf            | Kuvvetli        | Çok Kuvvetli   |
| Yıl            | Ay      | <5 mb/1100 km | 5 mb/550-1100 km | 5 mb/100-550 km | >5 mb/0-100 km |
|                |         | A             | B                | C               | D              |
| 1989           | Kasım   | 2/8 (8)       | 5/8 (8)          | 1/8 (8)         |                |
|                | Aralık  |               | 3/11 (11)        | 8/11 (11)       |                |
| 1990           | Ocak    | 7/18 (18)     | 5/18 (18)        | 6/18 (18)       |                |
|                | Şubat   | 1/6 (6)       | 3/6 (6)          | 2/6 (6)         |                |
|                | Mart    |               | 2/2 (2)          |                 |                |
|                | Kasım   | 4/8 (8)       | 2/8 (8)          | 2/8 (8)         |                |
|                | Aralık  |               | 8/9 (9)          | 1/9 (9)         |                |
| 1991           | Ocak    | 5/10 (10)     | 2/10 (10)        | 3/10 (10)       |                |
|                | Şubat   |               | 4/4 (4)          |                 |                |
| 1992           | Ocak(*) | 1/4 (7)       | 2/4 (7)          | ¼ (7)           |                |
|                | Şubat   |               | 3/6 (6)          | 3/6 (6)         |                |
| 1993           | Ocak    | 1/3 (3)       |                  | 2/3 (3)         |                |
| Genel Toplam   | Sayı    | 21/89 (92)    | 39/89 (92)       | 29/89 (92)      |                |
|                | Yüzde   | %23.6         | %43.8            | %32.6           | %0             |

Tablo 4.8.1 ve 4.8.2'deki durum episod günlerinde atmosferin genelde sakin olduğunu, hareketli ortamın olmadığını göstermektedir. Ayrıca, 250 µg/m<sup>3</sup>'ü aşan günlerdeki basınç gradyanı ile 400 µg/m<sup>3</sup>'ü aşan günlerdeki basınç gradyanı karşılaştırıldığında; 400 µg/m<sup>3</sup>'ü aşan günlerdeki basınç gradyanında çok zayıf (<5 mb/1100 km) ve zayıf (5 mb/550-1100 km) sınıfındaki yüzde oranları (sırasıyla %23.6 ve %43.82) 250 µg/m<sup>3</sup>'ü aşan günlerdeki basınç gradyanındaki yüzde oranlarından (sırasıyla %17.33 ve %36.14) büyük, kuvvetli (5 mb/100-550 km) sınıfındaki yüzde oranı (%32.58) ise küçüktür(%46.04). Bu durum; basınç gradyanları ile hava kirliliği arasında bağıntı olduğunu göstermesinin yanısıra “çok zayıf” ve “zayıf” sınıfındaki basınç gradyanlarının olduğu günlerde kirlletici konsantrasyon değerlerinin arttığını göstermektedir.

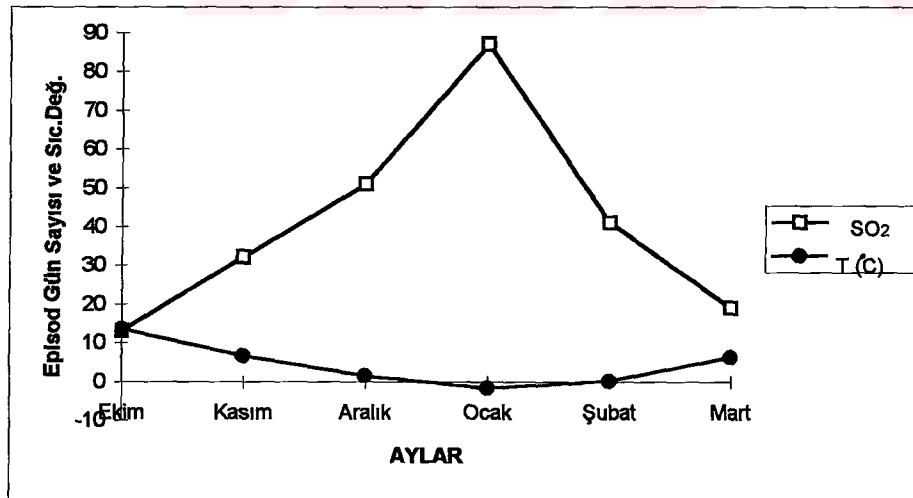
#### 4.9. Yüzey Sıcaklık Verileri

Yüzey atmosfer sıcaklığı özellikle konut ısıtılma sürecini temsil etmesi bakımından kullanılan bir parametredir. Çalışma dönemi içerisindeki ayların ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.9.1). Aylık ortalama sıcaklık değerleri ile aylık episod gün sayısı karşılaştırıldığında aralarında ters bir orantının olduğu görülmektedir (Şekil 4.9.1, Şekil 4.9.2). Bunun nedeni olarak; sıcaklığın az olduğu günlerde ısınma amacıyla daha fazla yakıt kullanılması sonucu atmosfere daha fazla kirletici yayılması veya meteorolojik şartların sözkonusu zamanlarda hava kirliliği lehine daha fazla etkili olmasıdır.

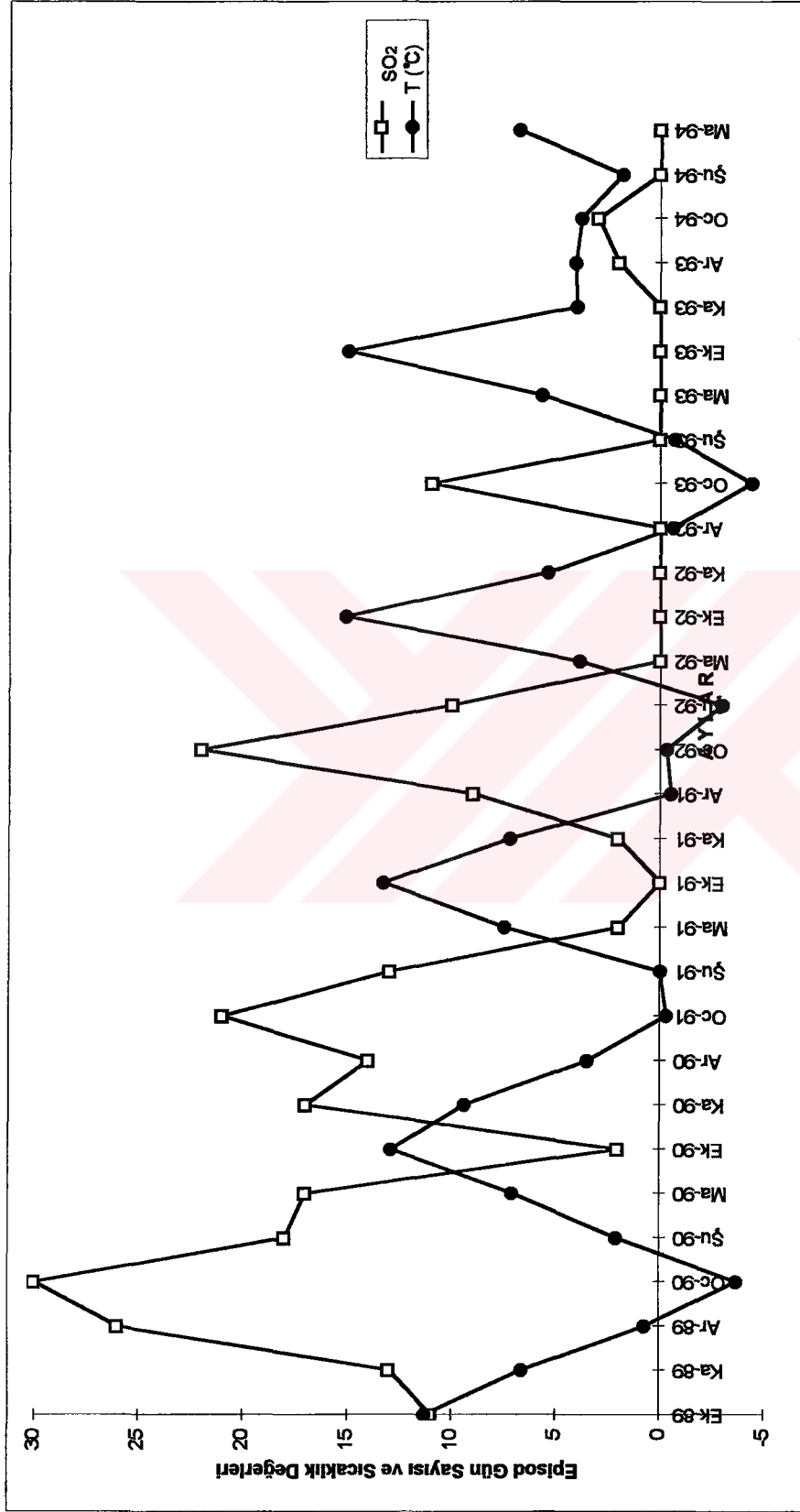
Tablo 4.9.1 1989-1994 periyodunun kış aylarında ortalama sıcaklık değerleri (°C)

| AYLAR  | YILLAR |      |      |      |      |      | Ortalama |
|--------|--------|------|------|------|------|------|----------|
|        | 1989   | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |          |
| Ocak   | *      | -3,7 | -0,3 | -4,4 | -4,0 | 3,8  | -1,72    |
| Şubat  | *      | 2,1  | 0,0  | -3,0 | -0,7 | 1,8  | 0,04     |
| Mart   | *      | 7,1  | 7,5  | 3,9  | 5,7  | 6,8  | 6,2      |
| Ekim   | 11,3   | 12,9 | 13,3 | 15,1 | 15,0 | *    | 13,52    |
| Kasım  | 6,6    | 9,4  | 7,2  | 5,4  | 4,0  | *    | 6,52     |
| Aralık | 0,7    | 3,5  | -0,5 | -0,6 | 4,1  | *    | 1,44     |

Not: (\*) Bu aylar çalışma dönemi kapsamında değildir.



Şekil 4.9.2. Episod ( $\text{SO}_2 \geq 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gün sayısı ve aylık ortalama sıcaklık değerleri



     4.9.2 Episod(SO<sub>2</sub>  $\geq$   $\mu$ g/m<sup>3</sup>) gün sayısı ve aylık ortalama sıcaklık değerleri ( C).

#### 4.10. Yüzey Basınç Değerleri

Yere yakın atmosferdeki sirkülasyonun, izobarlara paralel ve yüksek basınç merkezleri etrafında saat ibrelerinin yönünde, alçak basınç merkezleri etrafında ise saat ibrelerinin tersi yönünde olduğu bilinmektedir. Aşağı seviyelerde sirkülasyon; her iki dönüş şeklinde de izobarları küçük bir açı ile keserek, alçak basınca doğru bir sapma göstermektedir. Bunun sonucu olarak da alçak basınç merkezleri etrafında konverjans ve dolayısıyla yükselme hareketi, yüksek basınç merkezleri etrafında ise diverjans ve dolayısıyla çökme hareketi meydana gelmektedir. Bu çökme hareketi yukarı seviyelerde sıcaklığın artmasına, dolayısıyla atmosferin kararlı olmasına ve sonuçta düşey karışımın sınırlandırılmasına neden olmaktadır.

Alçak(siklon) ve yüksek(antisiklon) basınç merkezleri etkilerini ve yaşam sürelerini birkaç günlük periyotda sürdürebilmektedir. Siklonlar genel olarak yağış, şiddetli rüzgar ve etkin düşey hareketle karakterize edilirler. Bu nedenle alçak basınç merkezlerinin bulunduğu bölgede temiz hava, hızlı yada iyi karışım, taşınım ve seyrelme sözkonusu olmaktadır. Yüksek basınç merkezleri ise hafif ya da sakin rüzgar ve sınırlandırılmış düşey hareketle karakterize edilir. Dolayısıyla yüksek basınç merkezlerinin bulundukları bölgede, kirleticilerin daha büyük hacimde seyrelmelerini engelleyen yavaş ya da zayıf karışım ve dağılım sözkonusu olmaktadır.

$SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episodlarının ve bu episodların meydana geldiği ayların ortalama basınç değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.3.1 ve Tablo 4.10.1). 26 adet episodun 20'sinde episod günlerine ait ortalama basınç değeri episodun meydana geldiği ayın ortalama basınç değerinden büyük olduğu görülmüştür.

Diğer taraftan,  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episodlarından episod devamlılık süresi 2 günden fazla devam eden E6, E8, E10, E13, E16 E21, E22 ve E25 episodlarının birinci gün ve bir önceki günün, E1, E4, E5 ve E26 episodlarının ise birinci gününe ait sinoptik yer kartları (0000 GMT) incelenmiştir (Şekil A.14). Bu incelemede genelde episodların bir önceki gününde Balkanlar ve Rusya üzerinde yüksek basınç sisteminin olduğu ve Türkiye'nin de bu basınç sisteminin etkisi altında kaldığı, episodların birinci gününde ise Ankara bölgesi ya yüksek basınç sistemi merkezinde yer aldığı yada merkezi Rusya ve Balkanlarda yer alan yüksek basınç sisteminin etkisinde kaldığı görülmüştür.

Bu durumda, yüksek basınç sistemlerinin olduğu günlerde kirletici değerlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Çünkü yüksek basınç merkezleri hafif ya da sakin rüzgar ve sınırlanmış düşey hareketleri karakterize etmekte ve dolayısıyla yüksek basınç merkezlerinin bulundukları bölgede, kirleticilerin daha büyük hacimde seyrelmelerini engelleyen yavaş ya da zayıf karışım ve dağılım söz konusudur.

Tablo 4.10.1  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episod günlerinin ve bu episodların meydana geldiği ayların ortalama basınç değerleri (yer-0000 GMT).

| Episodlar | Basınç (mb) |            | Episodlar | Basınç (mb) |            |
|-----------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|
|           | Episod Ort. | Aylık Ort. |           | Episod Ort. | Aylık Ort. |
| E1        | 919.6       | 914.6      | E14       | 917.0       | 916.0      |
| E2        | 920.3       | 914.6      | E15       | 917.5       | 916.0      |
| E3        |             | 917.0      | E16       | 922.0       | 916.0      |
| E4        | 917.7       | 917.0      | E17       | 917.0       | 917.8      |
| E5        | 919.5       | 917.0      | E18       | 917.5       | 917.8      |
| E6        | 915.3       | 920.5      | E19       | 920.5       | 917.8      |
| E7        | 919.5       | 920.5      | E20       | 920.5       | 917.8      |
| E8        | 921.3       | 920.5      | E21       | 919.3       | 914.8      |
| E9        | 919.0       | 920.5      | E22       | 926.3       | 919.0      |
| E10       | 917.3       | 913.0      | E23       | 928.0       | 919.0      |
| E11       | 919.5       | 913.0      | E24       | 923.0       | 919.0      |
| E12       | 912.5       | 919.3      | E25       | 918.5       | 913.6      |
| E13       | 918.9       | 916.4      | E26       | 925.7       | 919.4      |

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, ileriye yönelik hava kirliliği kontrol stratejilerin belirlenmesinde kullanılmak üzere Ankara şehrinde 1989-1994 dönemi içerisinde kış aylarında (Ekim-Mart) meydana gelen hava kirliliği seviyelerinin yükselmesine yol açan atmosferik şartların analizi yapılmıştır. Bu amaçla ulusal hava kalitesi standart değerleri ve episod kavramı gözönüne alınmıştır. Episod nitelikteki günlerin ( $\text{SO}_2 \geq 250$  ve  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yerel meteorolojik parametreler ve sinoptik ölçekteki olaylarla aralarındaki bağlantılar analiz edilmiştir.

Topografik yapısı çanak şeklinde olan Ankara şehrinde kış aylarında meydana gelen hava kirliliği seviyelerinin temel kaynağı ısınma nedeniyle kullanılan yakıtlardır. Şehirde 1990 yılından itibaren doğal gaz ve ithal kömür kullanımına başlanılmıştır. Emisyon kaynaklarında zaman içerisinde meydana gelen bu değişiklik şehirde ölçülen hava kirliliği seviyelerine de yansımıştır. Hava kirliliği seviyelerinin irdelenmesinde kullanılan “episod” kavramı için 24 saatlik ortalamada  $\text{SO}_2$  için  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM için  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değeri episod eşiği olarak uygulanmıştır. Bu episod eşiğinin yanısıra Ulusal Hava Kalitesi Standartlarında kısa vadeli sınır (KVS) değer olan  $\text{SO}_2$  için  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve PM için  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aşılma seviyeleri de kullanılmıştır. Bu çerçevede yapılan atmosferik şartların analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

- 1- Yatay basınç gradyanı değerleri ile hava kirliliği seviyeleri arasında beklenen ilişki açık bir şekilde gözlenmiştir. Subjektif yöntemle sinoptik yer kartlarından (0000 GMT) basınç gradyanları tesbit edilerek  $\text{SO}_2 \geq 250$  ve  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günleri için, “Çok zayıf(<5 mb/1100 km)”, “zayıf (5 mb/550-1100 km)”, “kuvvetli (5 mb/100-550 km)” ve “çok kuvvetli (>5 mb/1-100 km)” şeklinde sınıflandırma

yapılmıştır. Burada, basınç gradyan değerlerin 550-1100 km. arada 5 mb olması halinde kirletici konsantrasyon değerlerinin daha fazla arttığı tesbit edilmiştir. Bu durum zayıf basınç gradyan günlerinde yüzey atmosferin genelde sakin olduğunu, taşınmanın etkili olmadığı dolayısıyla kirleticilerin dağılmayarak aşağı seviyelerde daha fazla birikmesine neden olduğunu işaret etmektedir.

- 2- Yüzey enverziyonların hava kirliliği seviyelerinin artmasında önemli rol oynadıkları ve Ankara’da sadece gece (0000 GMT) enverziyonların değil gündüz (1200 GMT) enverziyonlarının da önemli olduğu belirlenmiştir.
- 3- Türkiye’deki 7 adet radyosonde istasyonundaki rüzgar yön ve hız değerleri kullanılarak  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  ve  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episod günlerine ait 850 hPa (0000 ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki bağıl vortisiti değeri hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak episod günlerindeki ( $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$ ) düşey vortisiti değişimleri gösterilmiştir. Bağıl vortisiti değerlerinin analizinde şu hususlar tesbit edilmiştir.
  - a)  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  episod günlerinde 850 hPa (0000 ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki toplam vortisiti değerlerin %69.08’i negatiftir. Burada en fazla negatif olma durumu %75.44 ile 850 hPa (1200 GMT) seviyesinde, en az negatif olma durumu ise %59.50 ile 500 hPa (0000 GMT) seviyesindedir.  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episod günlerinde 850 hPa (0000 ve 1200 GMT), 700 hPa (0000 GMT) ve 500 hPa (0000 GMT) seviyelerindeki toplam vortisiti değerlerinin %74.02’si negatiftir. En fazla negatif olma durumu %82.76 ile 850 hPa (1200 GMT) seviyesinde, en az negatif olma durumu ise %63.74 ile 500 hPa (0000 GMT) seviyesinde meydana gelmiştir.
  - b)  $SO_2 \geq 400 \mu g/m^3$  episod günlerde genel toplamda ve her bir sabit basınç seviyelerindeki vortisiti değerlerinin negatif olma yüzdesi,  $SO_2 \geq 250 \mu g/m^3$  episod günlerdeki vortisiti değerlerinin negatif olma yüzdesinden büyük olduğu görülmüştür. Bu durum, vortisitinin negatif olma durumu ile yüksek kirletici konsantrasyonunun ortaya çıkmasının beklendiğini göstermiştir.
  - c) Ayrıca, 850 hPa basınç seviyesindeki vortisitinin negatif olma yüzdesinin 700 hPa ve 500 hPa basınç seviyesindeki vortisitinin negatif olma yüzdesinden büyük olduğu, ayrıca episodların birinci günündeki vortisiti değerinin en fazla negatif olma

durumunun %79.17 ile 850 hPa (0000 GMT) seviyesinde meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, vortisitide de 850 hPa seviyesinin önemli olduğunu göstermektedir.

- 4- 850 hPa (0000 GMT) ve 700 hPa (0000 GMT) seviyesindeki jeopotansiyel yükseklik değerleri kullanılarak  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günlerine ait termal rüzgar değerleri hesaplanmıştır. Termal rüzgar değerlerinin 1(bir)'den küçük ve 0.313 civarında bir ortalamaya sahip olduğu ve bu değerlerin, %47.2'sinin 0.05-0.25 aralıkta yer aldığı tesbit edilmiştir. Bu durum episod günlerinde 850 hPa ile 700 hPa seviyeleri arasında yatay sıcaklık gradyanının da küçük olduğunu belirtmektedir. Episod günleri ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) için çizilmiş olan düşey sıcaklık profillerinin de bu durumu desteklediği görülmüştür.
- 5- Aşağı troposferde yaklaşık 1.5 km'ye karşı gelen 850 hPa seviyesi bu atmosfer bölgesinin kararlılık özelliğini yansıtmaktadır. Özellikle 850 hPa seviyesi yüzey sıcaklıkla beraber değerlendirilmesi bu durumu belirler. Bu amaçla 850 hPa seviyedeki sıcaklığın episod günlerinin belirlenmesi konusunda önemli olduğu tesbit edilmiştir. Episod günlerine ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ait 850 hPa (0000 GMT) seviyesindeki sıcaklık değerleri analiz edilmiş, episodların birinci gününe kadar sıcaklığın azaldığı, episodların birinci gününden itibaren ise sıcaklığın artmaya başladığı belirlenmiştir.
- 6- Episod günlerine ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ait yer, 850 hPa, 700 hPa ve 500 hPa seviyelerindeki (0000 GMT) sıcaklık değerleri kullanılarak atmosferin düşey sıcaklık profilleri çizilmiştir. Rüzgarın yükseklikle saat yönünde değişmesinin sıcak adveksiyonun meydana gelişini göstermesi, bu çerçevede, episod günlerindeki adveksiyon özelliğinin önemini ortaya koymaktadır. Toplam 88 episod gününün 66 gününde (%75) ve 24 adet episodun 18'nin birinci gününde (%75) rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değiştiği ve ayrıca 24 adet episodun 22'sindeki (%92) en yüksek  $\text{SO}_2$  konsantrasyonunun rüzgarın yükseklikle antisiklonik olarak değiştiği günlerde meydana geldiği tesbit edilmiştir. Bu durum, hava kirliliğinin olduğu günlerin analiz edilmesinde düşey sıcaklık dağılım profilinin önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak; aşağı atmosferin dispersif özellikleri ölçek kavramının ıŐıđı altında hava kirliliği seviyeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu incelemenin en çarpıcı yönü bağıl vortisitinin kullanımıdır. Bağıl vortisiti ,ile episod niteliğindeki hava kirliliği arasında doğrudan bir etkileŐimin bulunması ve bunun diğer meteorolojik parametrelerle de doğrulanması hava kirliliğinin analizi konusunda vortisitinin son derece önemli bir gösterge olduğunu göstermektedir.

## **5.2 neriler**

Sonuçlar kısmında da belirtildiği üzere bu tez çalıŐmasının temel amacı hava kirliliği kontrol stratejilerine ıŐık tutmak amacıyla atmosferik şartların ayrıntılı analizinin yapılmasıdır. Bu analiz içinde en önemli yeri tutan atmosferik özellik için bağıl vortisidir. Burada hareketle bağıl vortisitinin iŐaretinin (negatif/pozitif) yanı sıra büyüklüğünün de analiz edilmesinde fayda görülmektedir. Ayrıca, hava kirliliği ile aralarında bağıntılar bulunan meteorolojik parametreler ve atmosferik yapı gözönünde bulundurularak episod nitelikli hava kirliliği seviyelerini tahmin edebilmeye yardımcı olabilecek bir indis geliŐtirilmesinde fayda görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ahrens, C.D., (1988), *Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Third Edition, West Publishing Company.
- Atımtay, A. and S.Kayın, (1997), *Air Pollution Modelling Studies in the City Ankara*, Environmental Research Forum, 7-8, 432-436 Trans.Tech. Publications, Switzerland.
- Ayalp, A., (1976), *İstanbul'da Atmosfer Kirlenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Barry, R.G. and R.J.Chorley, (1992), *Atmosphere, Weather and Climate*, Routledge, London
- Batuk, D.N., E.G., H.E., H.E. and S.İ., (1997), *Analysis of SO<sub>2</sub> and TSP Under Meso-Scale Weather Conditions in İstanbul*, Air Quality Management, Environmental Research Forum 7-8, 73-83, Trans Tech Publications.
- Baumbach, G., K. Baumann and F. Dröscher, (1988), *Behaviour of Air Pollutants Under Inversion Weather Conditions*, Environmental Meteorology, K.Grefen and J.Löber (Eds), 115-124, Kluwer Academic Publ.
- Bluestin, H. B., (1993), *Synoptic-Dynamic Meteorology*, in Midlatitudes Volume I.Oxford University Press.
- Deniz, A., (1997) *Türkiye'yi Etkileyen Sinoptik Sistemlerin Klimatolojisi*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşivi.
- Durmaz, A., G.Doğu, Y.Ercan and M.Sivrioğlu, (1993), *Investigation of the causes of Air Pollution in Ankara and Measures for Its Reduction*, NATO Scientific Affairs Division, Faculty of Engineering and Architecture, Gazi University, Ankara.
- Ertürk, F., (1993), *Hava Kirliliği Modellemesi*, II. Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, TÜBİTAK-MAM, Gebze.
- Godish, T., (1985), *Air Quality*, Lewis Publishers, Inc.
- Gümüş, M., (1979), *Sıcaklık Enverziyonları, Basınç ve Rüzgar*, (çev.), DMİ., Ankara.
- HKKY, *Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği*, (1995), Çevre Bakanlığı Mevzuatı II, APK Kurulu Başkanlığı, Çevre Bakanlığı.
- Hıfzıssıhha, (1996), *Refik Saydam Hıfzıssıhha Araştırma Merkezi*, Sağlık Bakanlığı .
- Holton, J.R., (1985), *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Third Edition, Academic Press.
- Holzworth, G.C., (1972), *Mixing Heights, Wind Speeds and Potential for Urban Air Pollution Throughout the Contiguous United States*, U.S. E.P.A., AP-501.

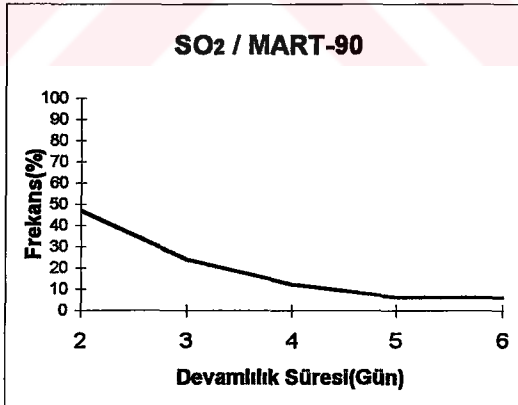
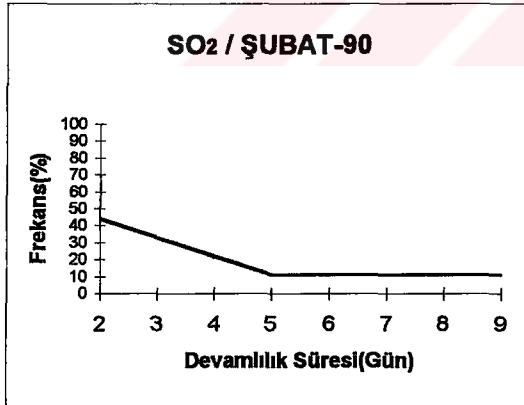
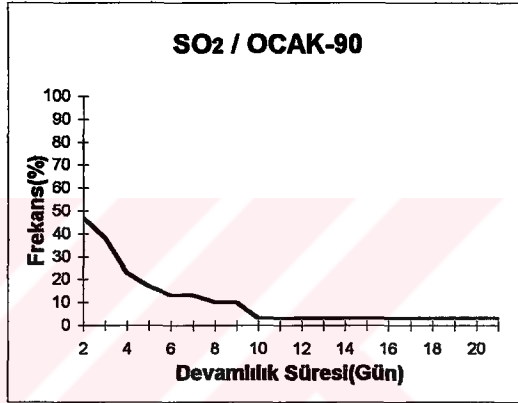
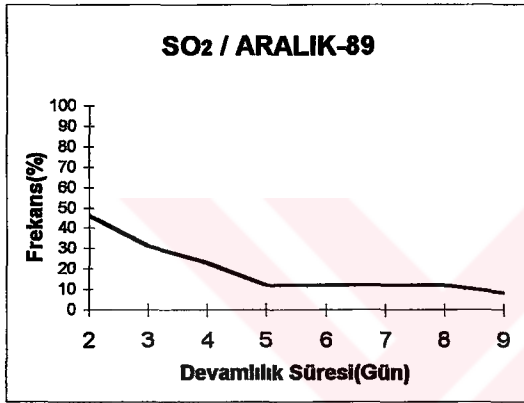
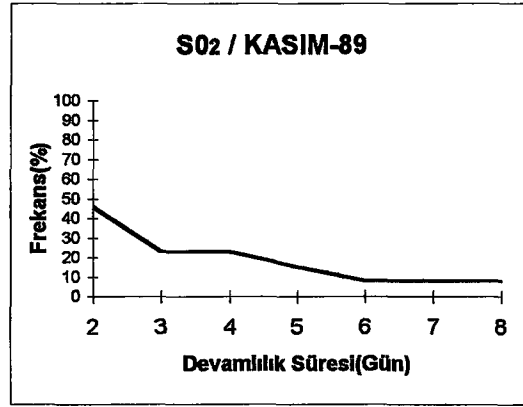
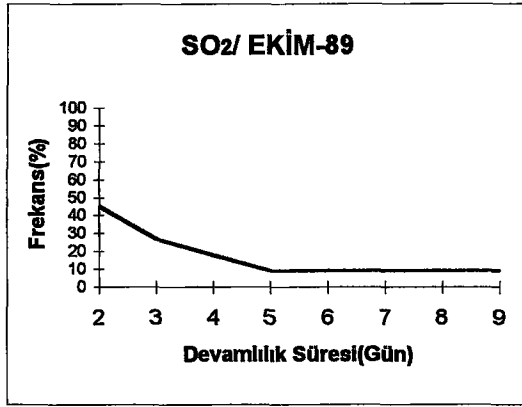
- İncecik, S., (1986), A Mesometeorological Investigation of Air Pollution Problem in Golden Horn, İstanbul, Boundary Layer Meteorology, 36.
- İncecik, S. ve H. Erdun, (1991), Orta ve Batı Anadolu'da Hava Kirliliği Potansiyeli Üzerine Bir İnceleme, İ.T.Ü. Çevre ve Şehircilik Uygur Merkezi, Proje No.108.
- İncecik, S., (1994), Hava Kirliliği, İ.T.Ü. Matbaası
- İncecik, S., (1995), İstanbul'da SO<sub>2</sub> Episodları Esnasında Meteorolojik Koşullar, II. Hava Kirlenmesi, Modellemesi ve Kontrolü Sempozyumu'95, İ.T.Ü., Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
- İncecik, S., (1996), Investigation of Atmospheric Conditions in İstanbul Leading to Air Pollution Episodes, Atmospheric Environment, 30, 2739-2749.
- JICA, (1985), The Study on Ankara Air Pollution Control Project, Draft Final Report.
- Kadioğlu, M., (1995), Sinoptik Meteorolojiye Giriş, İ.T.Ü Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
- Kallos, G., P. Kassomenos and R. Pielke, (1993), Synoptic and Mesoscale circulations Associated with Air Pollution Episodes in Athens, Greece, Boundary-Layer Met, 63, 163-184.
- Karaca M., M.Tayanç and H.Toros, (1995), Effects of Urbanization on Climate of İstanbul and Ankara, Atmospheric Environment, 29, 3411-3421.
- Kassomenos, P., V.Kotroni and G.Kallos, (1995), Analysis of Climatological and Air Quality Observations from Greater Athens Area, Atmospheric Environment, 29, 24, 3671-3688.
- Köksal, M., (1969), Hava Analizi ve Tahmini, Cilt I, İ.T.Ü Kütüphanesi.
- Lu, R. and R.Turco, (1995), Air Pollutant Transport in a Costal Environment-II: Three Dimensional Simulations over Los Angeles Basin, Atmospheric Environment, 29, 13, 1499-1518.
- Murty, B.P. and R.S. Tangirala, (1990), An Assesment of the Assimilative Capacity of the Atmosphere at Delhi, Atmospheric Environment, 24A, 845-848.
- Müller, A.R., (1976), A Synoptic Climatology for Environmental Baseline Analysis, New Orleans, Journal of Applied Meteorology, 16, 65-72.
- ODTÜ, (1993), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Hassas Kirlenme Bölgelerinde Emisyon Kadastroları Hazırlanması Ankara Alt Projesi, Sonuç Raporu, Ankara.
- Pissimanis, D.K., G.S.K. and V.A.N., (1991), On the Meteorological Conditions During Some Strong Smoke Episodes in Athens, Atmospheric Environment , 25B. 2, 193-202.
- Şen, O. ve F.Şahin, (1995), İstanbul'da Yüzey Enverziyonu ve Yükselti Enverziyonun Hava Kirliliğine Etkisi, II. Hava Kirlenmesi, Modellemesi ve Kontrolü Sempozyumu'95, İ.T.Ü., Meteoroloji Mühendisliği Bölümü.
- Şen, O., (1997), Air Pollution and Inversion Features in İstanbul, Int.J.Environmental and Pollution, 9, 4, 371-383.

- TÇSV, (1987), Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara'nın Alternatif Isınma Sistemleri Maliyet Etüdü, Ankara.
- Tebbens, B.D., (1970), Investigating Air Quality in İstanbul, Bull. Istanbul Technical University, 22, 55-63.
- Tuna, T., (1972), A Synoptic Climatological Study of Air Pollution Potential for Ankara, Air Pollution Proceedings of the Third Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, 14, NATO-CCMS,
- Tuna, T., A.H.G. ve M.Y., (1982), Dinamik Meteoroloji, Meteoroloji Teknik Lisesi.
- Tuncel, G., (1998) Ulusal Çevre Eylem Planı, Hava Kalitesinin Korunması, DPT Müsteşarlığı.
- Vukovich, F.M., (1978), A Note on Air Quality in High Pressure systems, Atmospheric Environment 13, 255-265.
- Ziomas, I.C., D.M., C.S.Z. A.F.B. and A.G.P., (1995) Forecasting Peak Pollutant Levels From Meteorological Variables, Atmospheric Environment 29, 3703-3711.

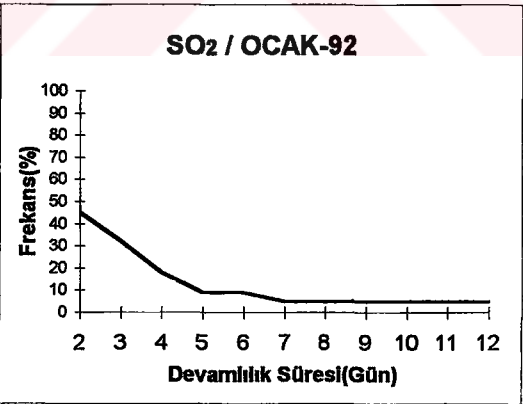
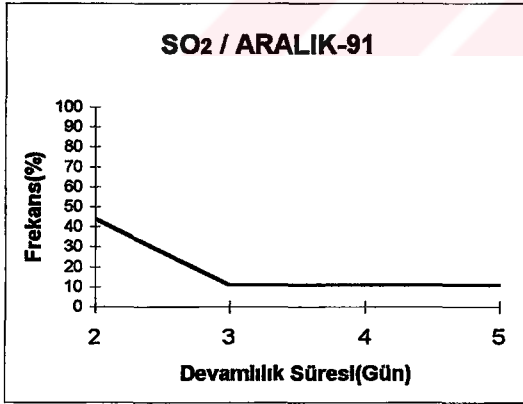
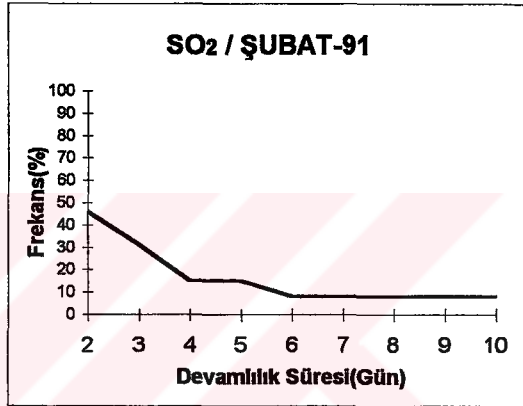
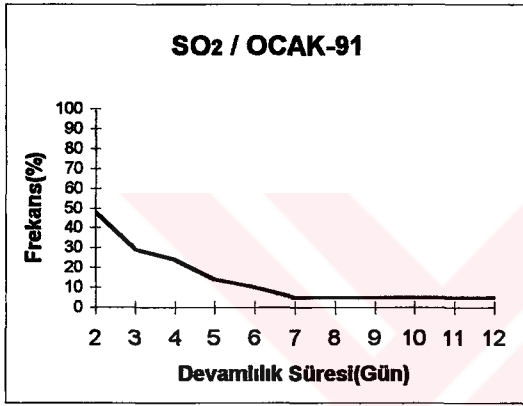
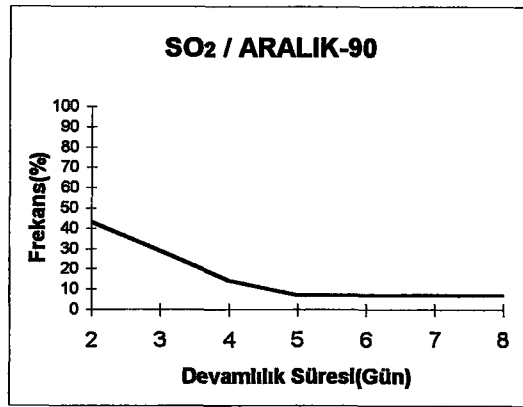
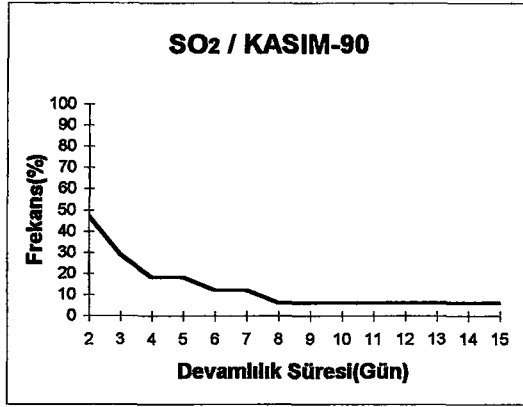




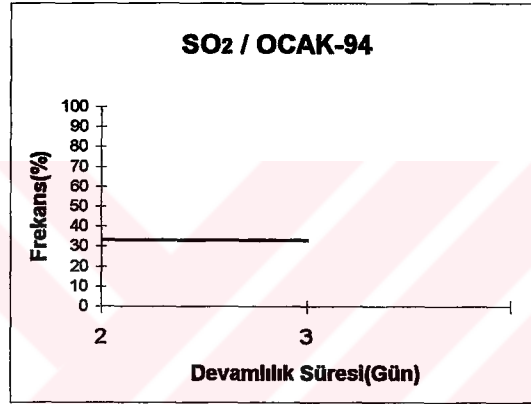
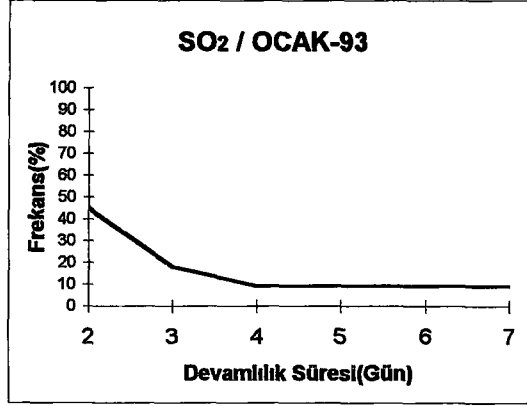
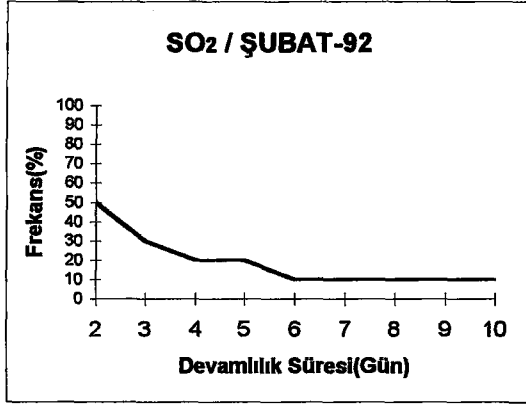
## **EKLER**



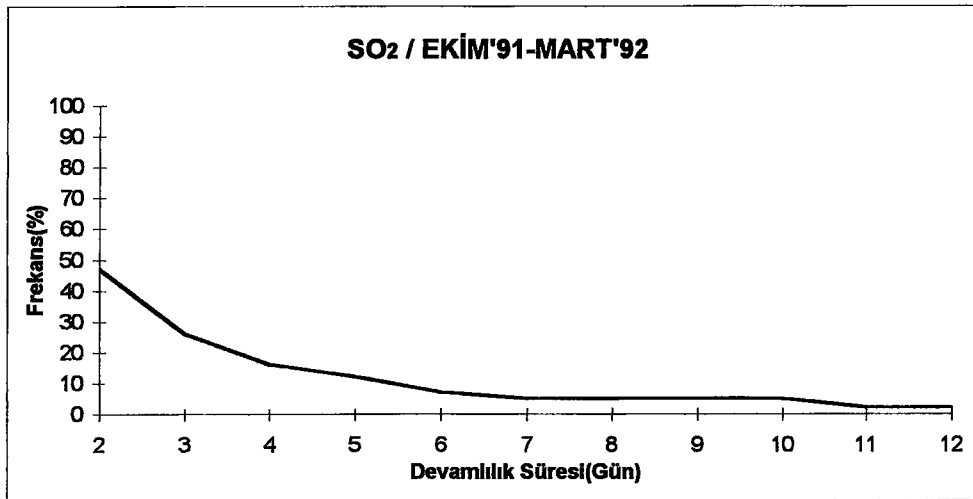
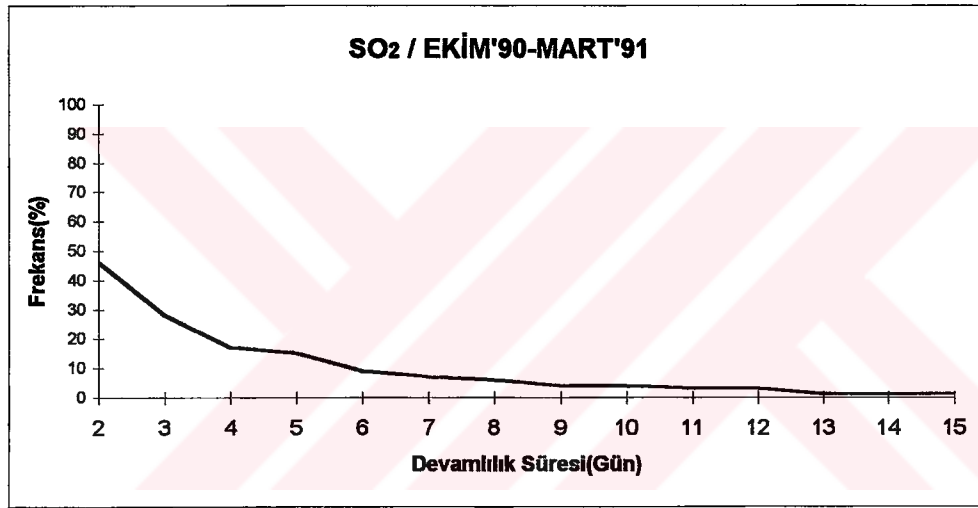
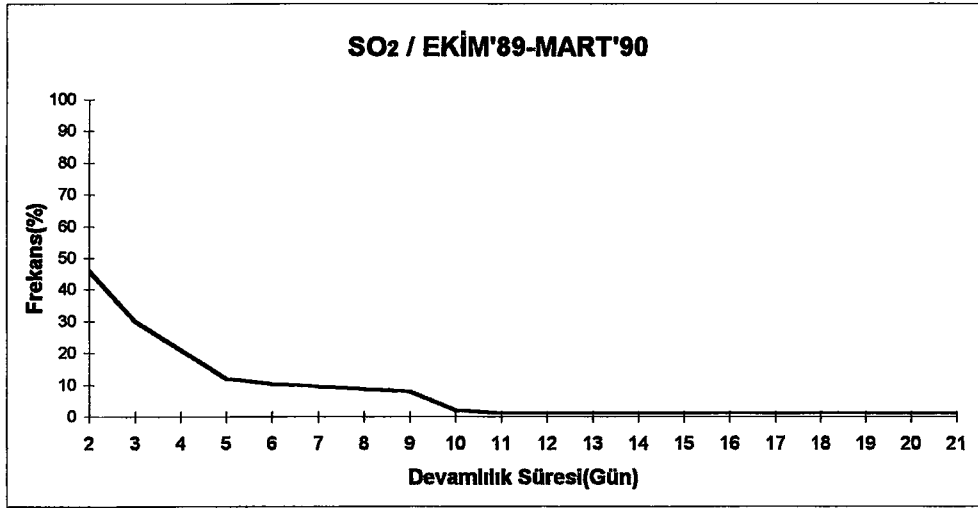
Şekil A.1 SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> episodlarının devamlılık süreleri ve frekansları



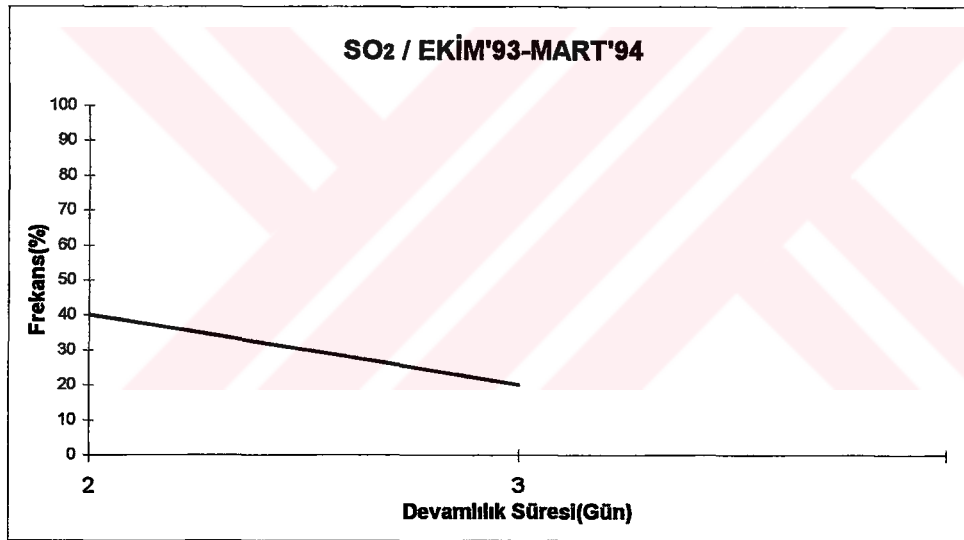
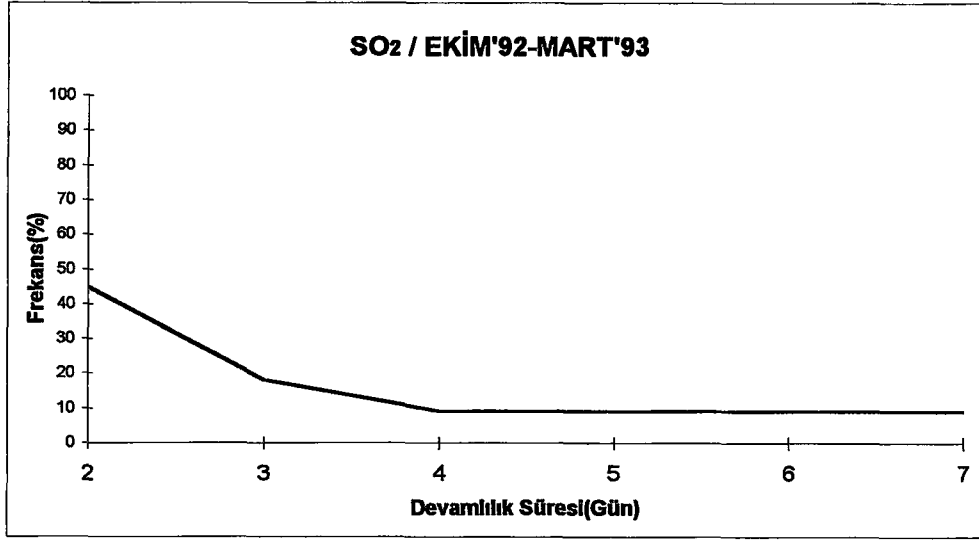
Şekil A.1(devamı)



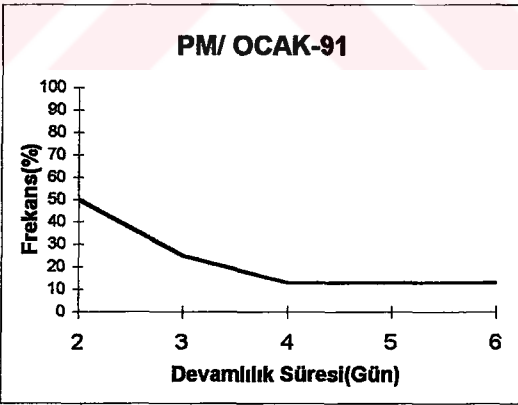
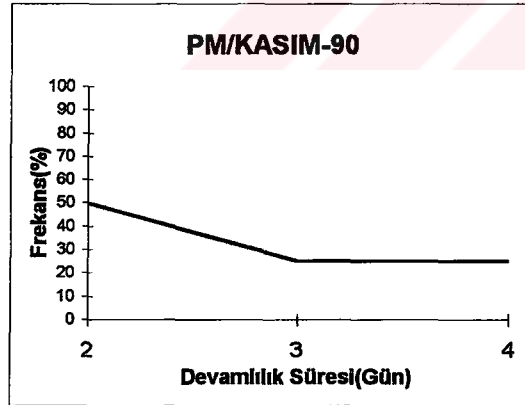
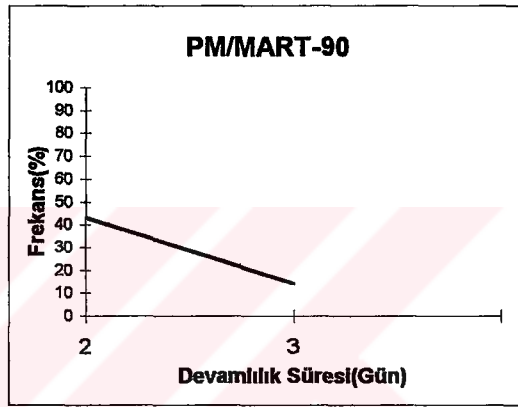
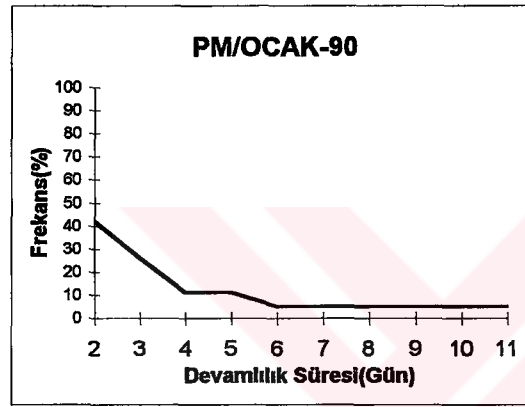
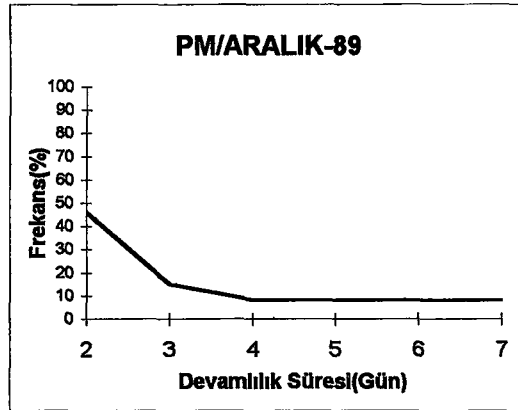
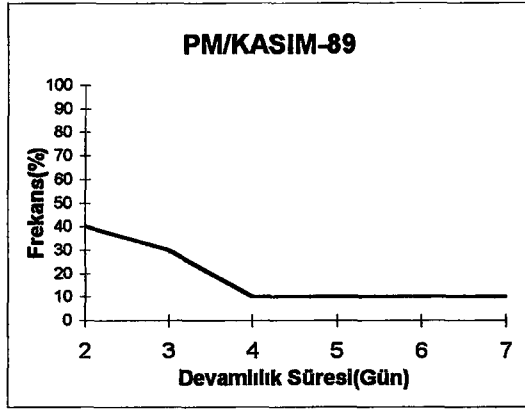
Şekil A.1(devamı)



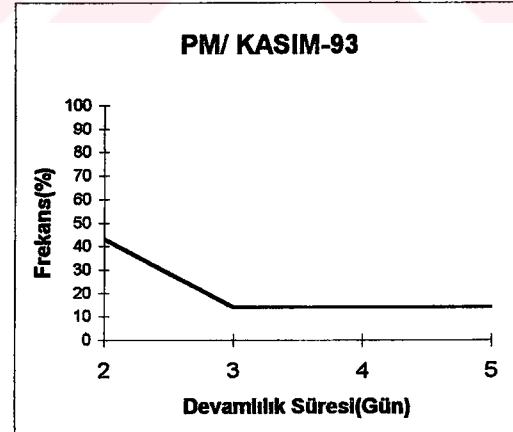
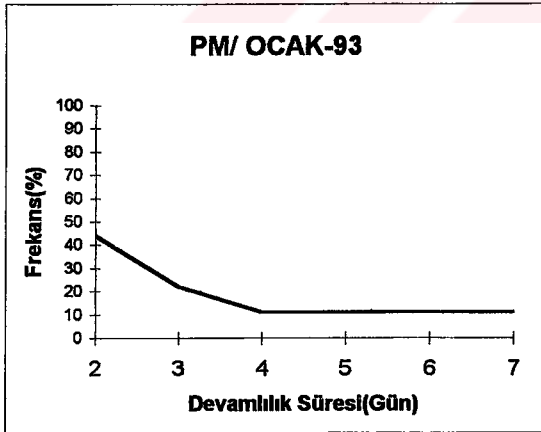
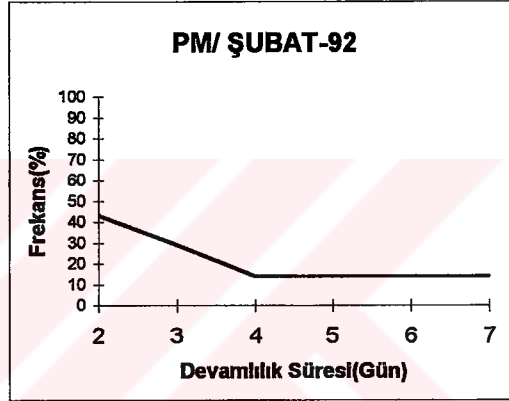
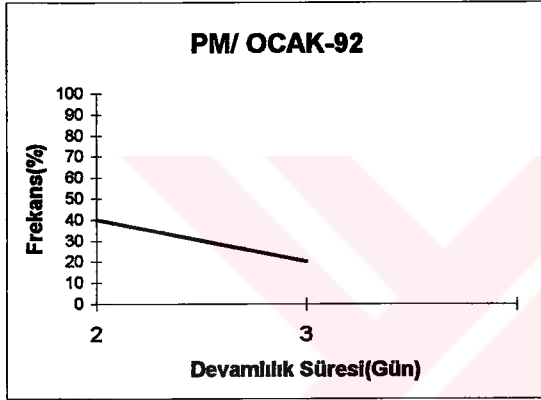
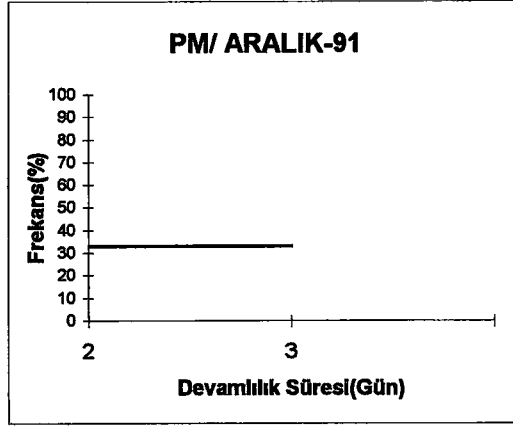
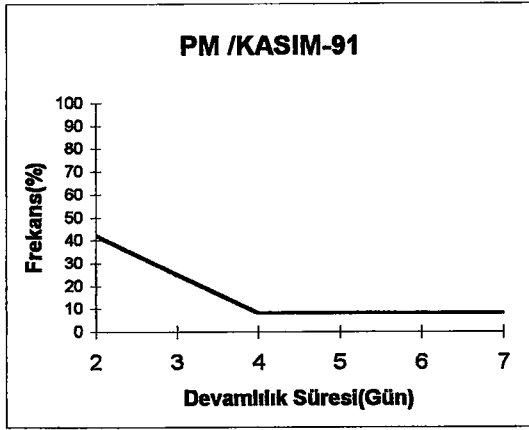
Şekil A.2 SO<sub>2</sub> ≥ 250 µg/m<sup>3</sup> episodlarının kış mevsimlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları.



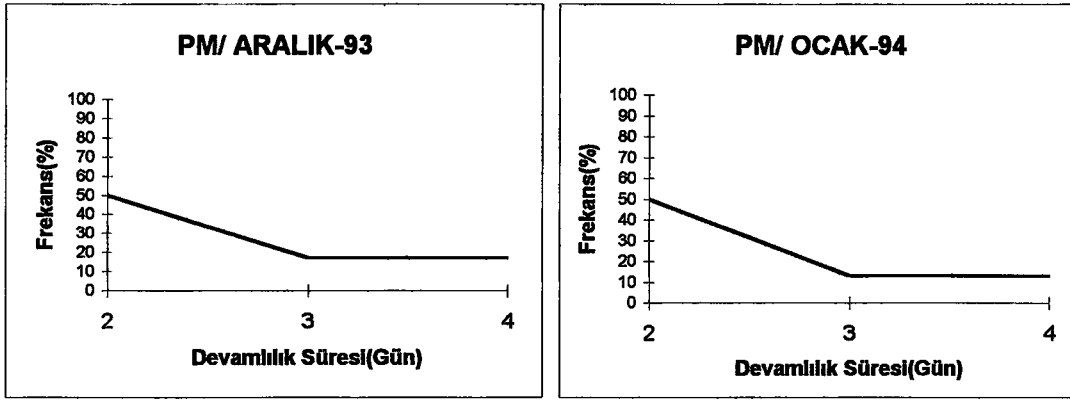
Şekil A.2 (devamı)



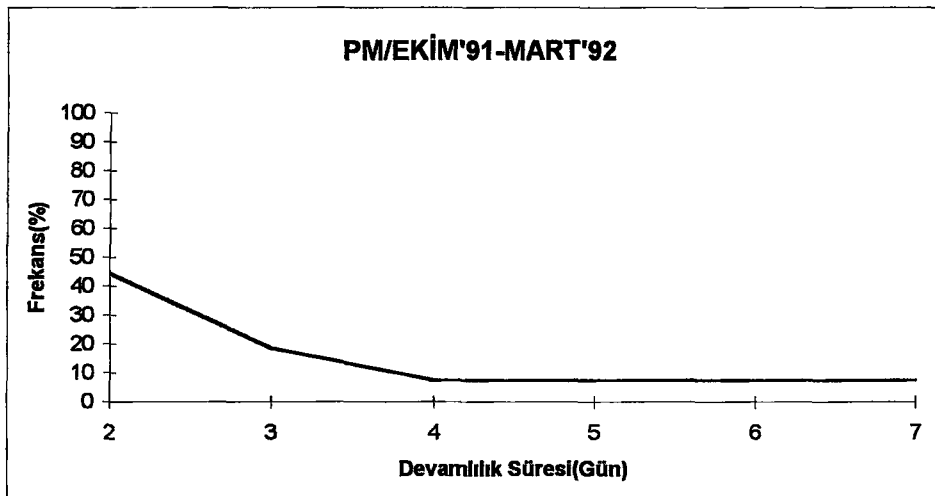
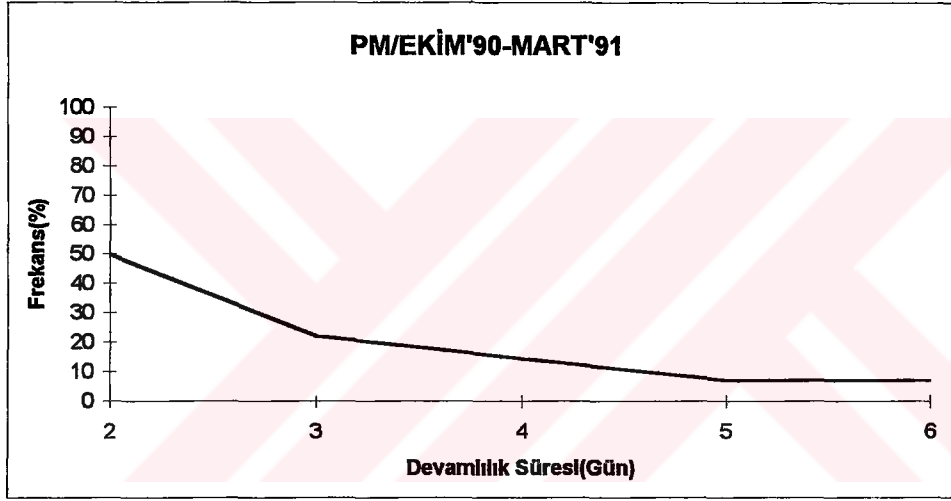
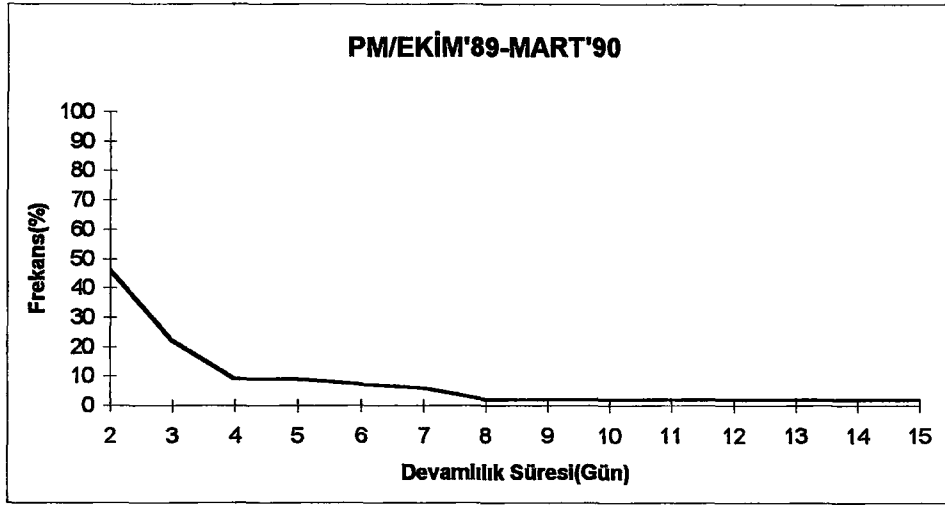
Şekil A.3 PM  $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episodlarının devamlılık süreleri ve frekansları



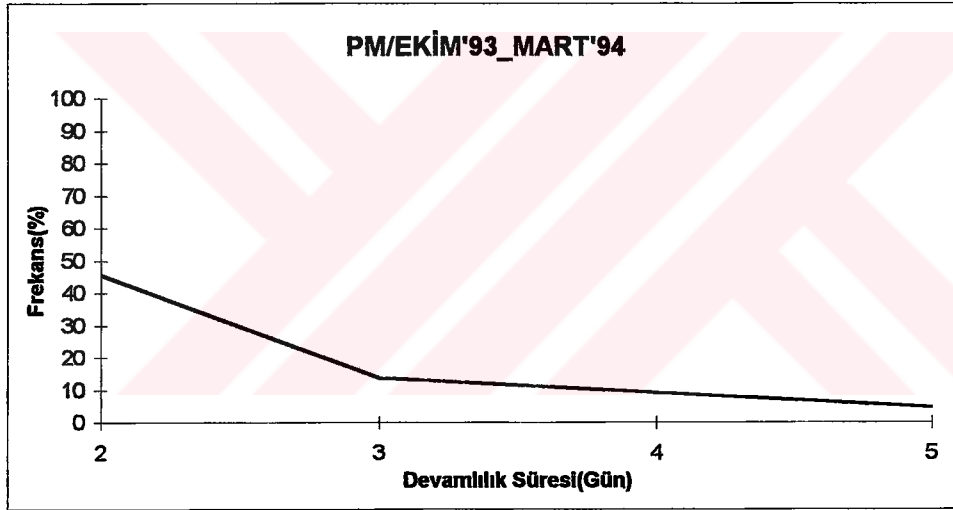
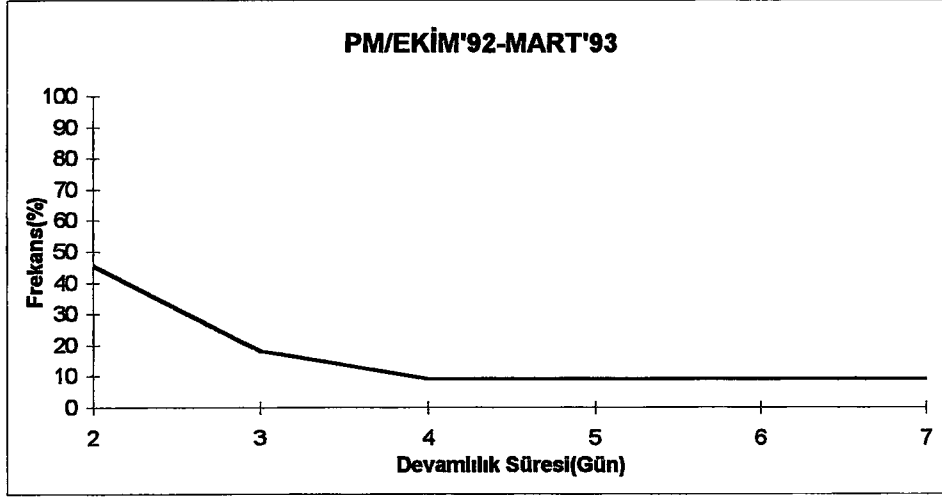
Şekil A.3 (devamı).



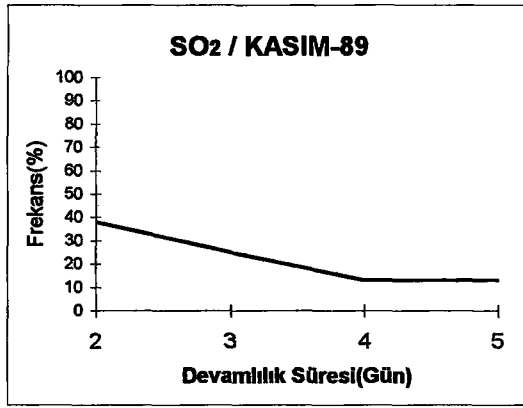
Şekil A.3 (devamı).



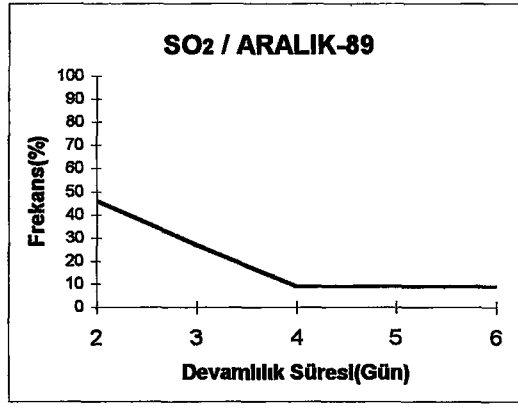
Şekil A.4 PM  $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episodlarının kış mevsimlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları.



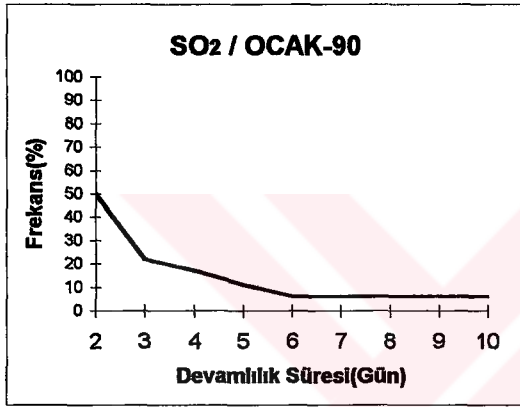
Şekil A.4 (devamı)



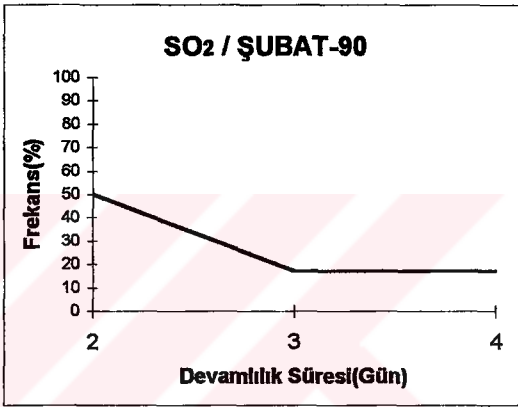
(a)



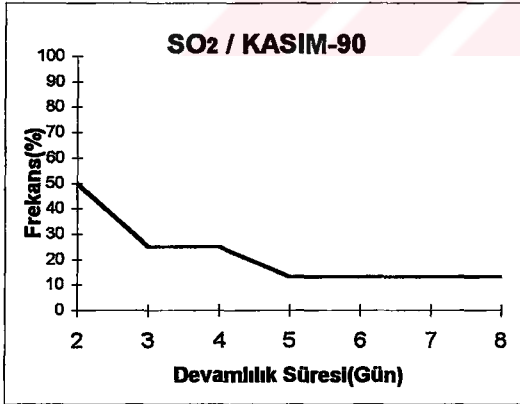
(b)



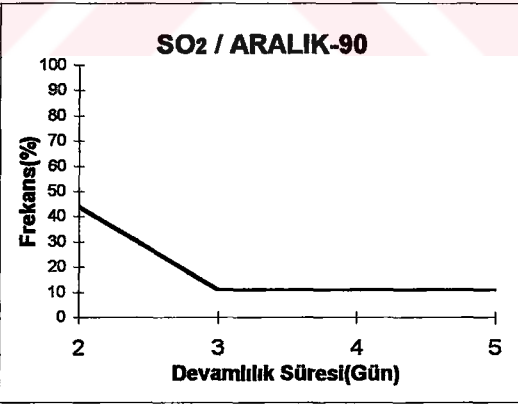
(c)



(d)

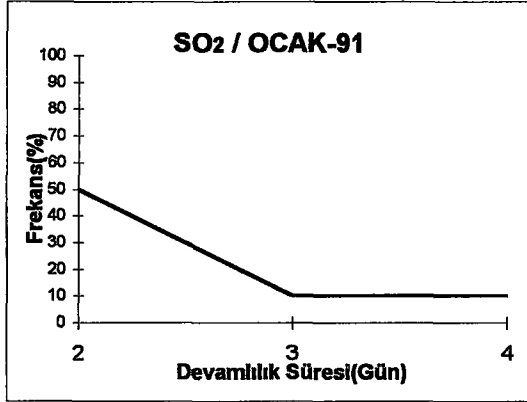


(e)

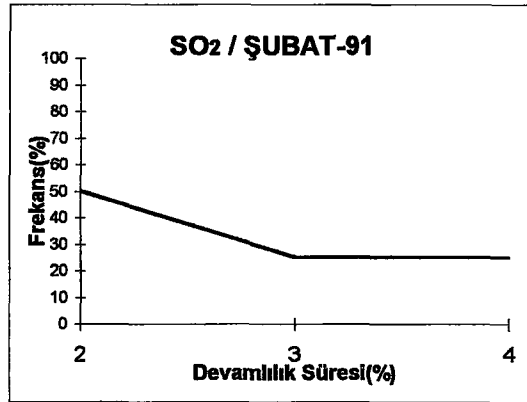


(f)

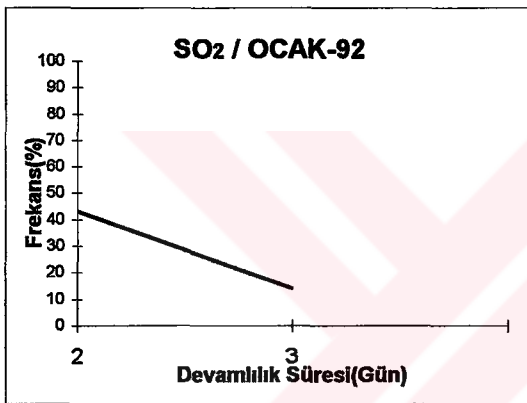
Şekil A.5 SO<sub>2</sub>  $\geq 400$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  episodlarının aylara göre devamlılık süreleri ve frekansları



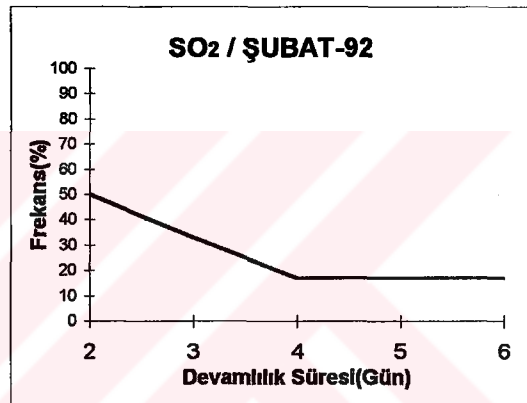
(g)



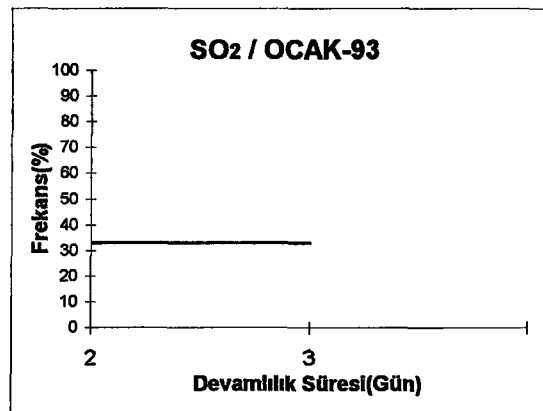
(h)



(i)

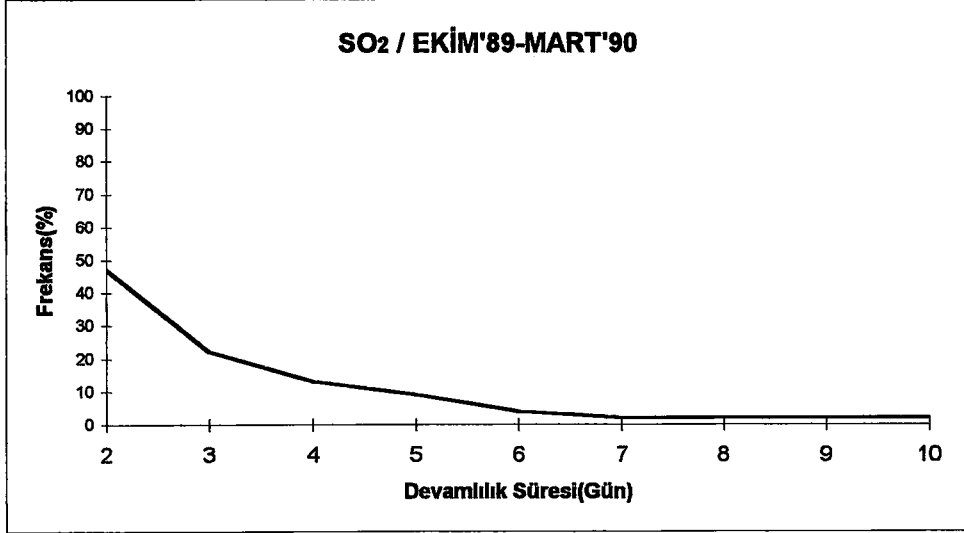


(j)

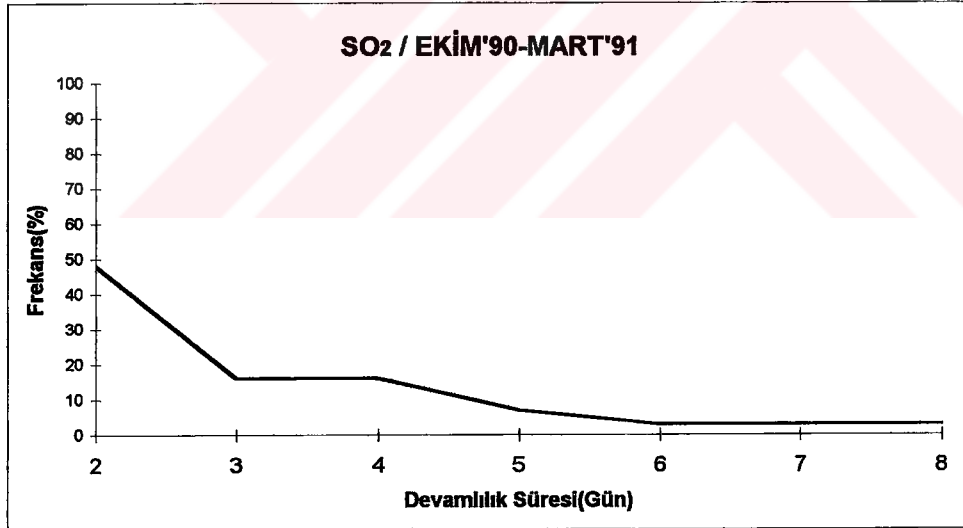


(k)

Şekil A.5 (devam)

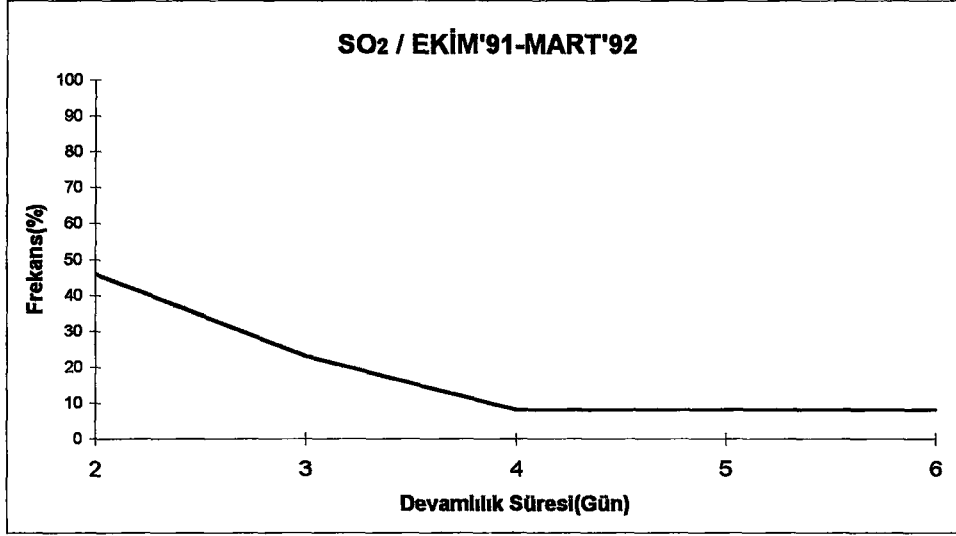


(a)

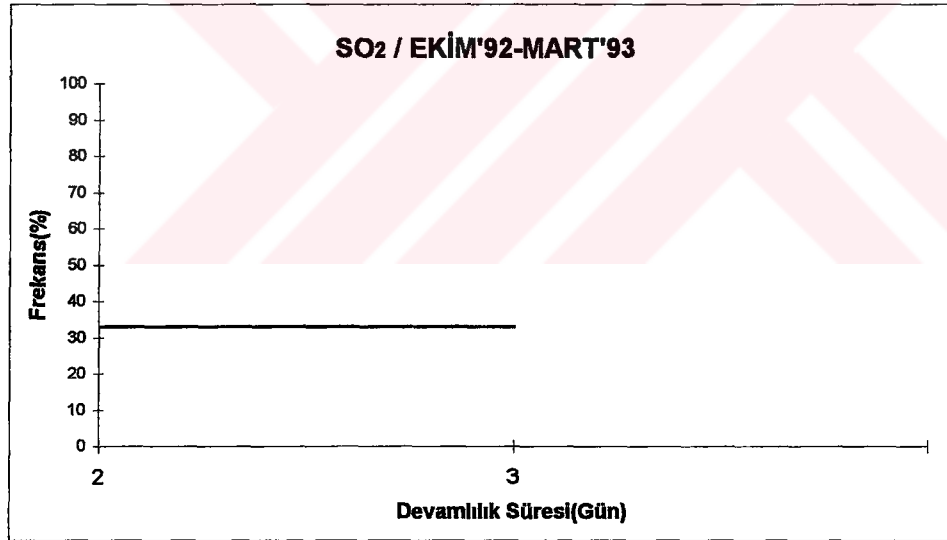


(b)

Şekil A.6 SO<sub>2</sub> ≥400 µg/m<sup>3</sup> episodlarının kış dönemlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları

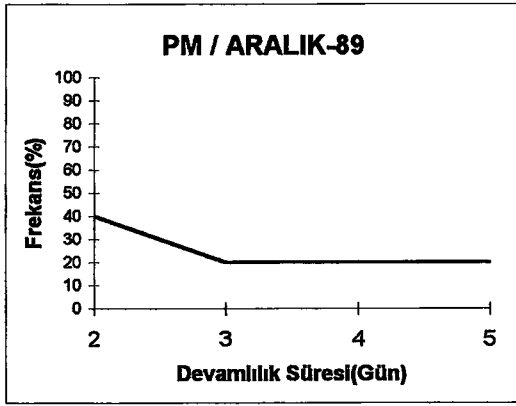


(c)

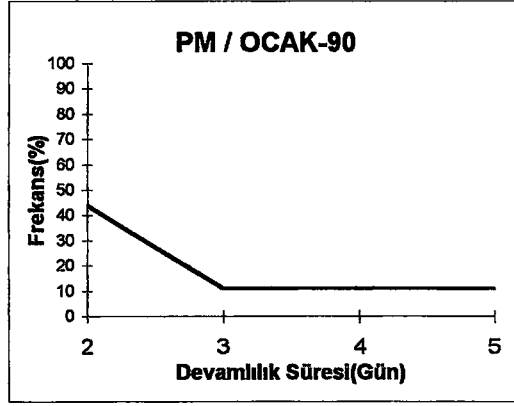


(d)

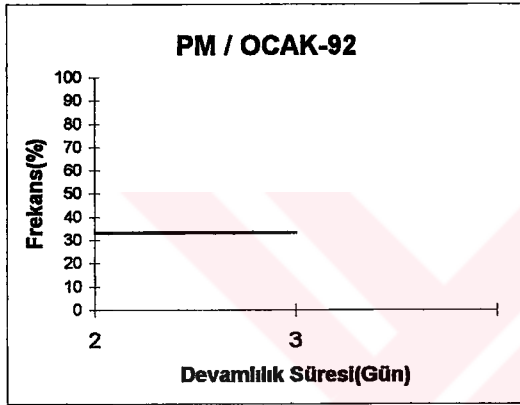
Şekil A.6 (devam)



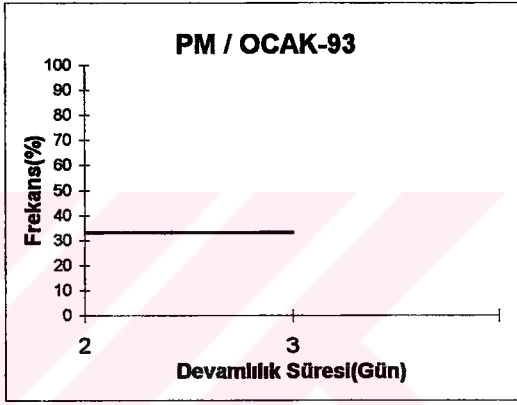
(a)



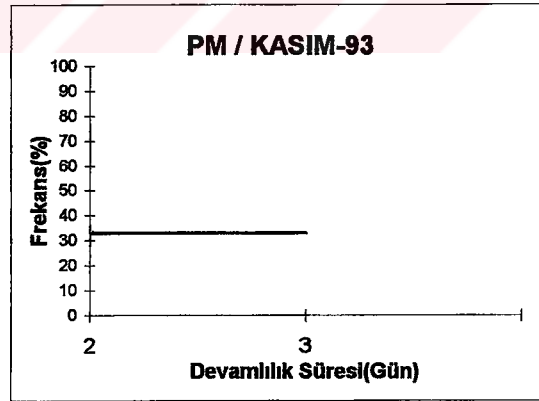
(b)



(c)

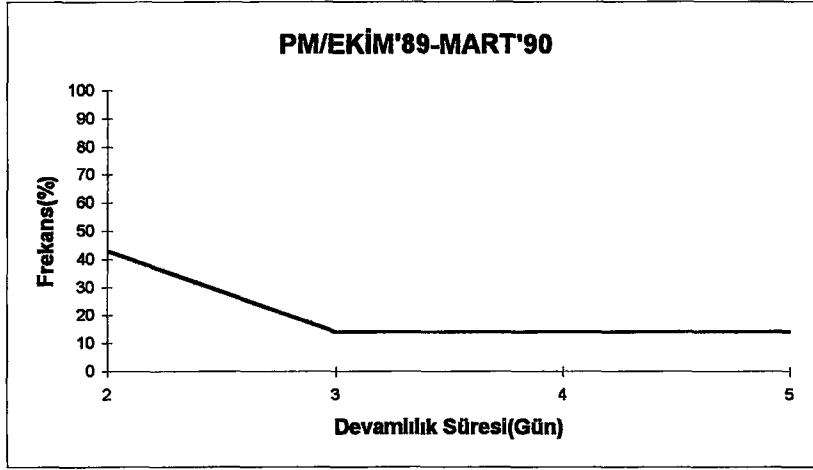


(d)

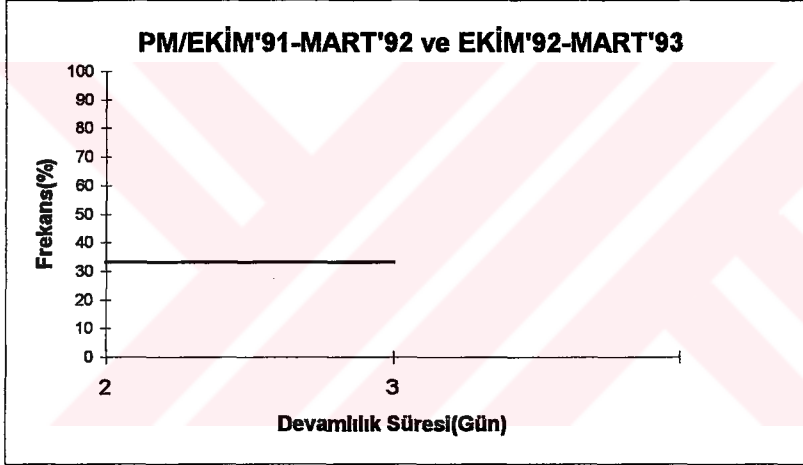


(e)

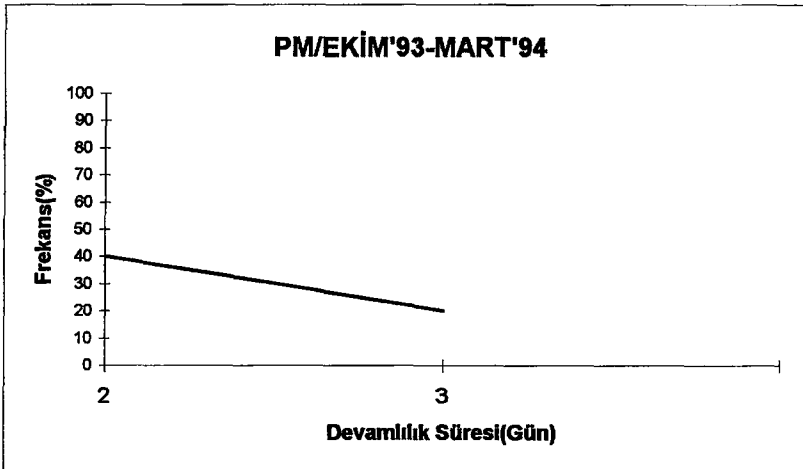
Şekil A.7 PM  $\geq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episodların aylara göre devamlılık süreleri ve frekansları



(a)

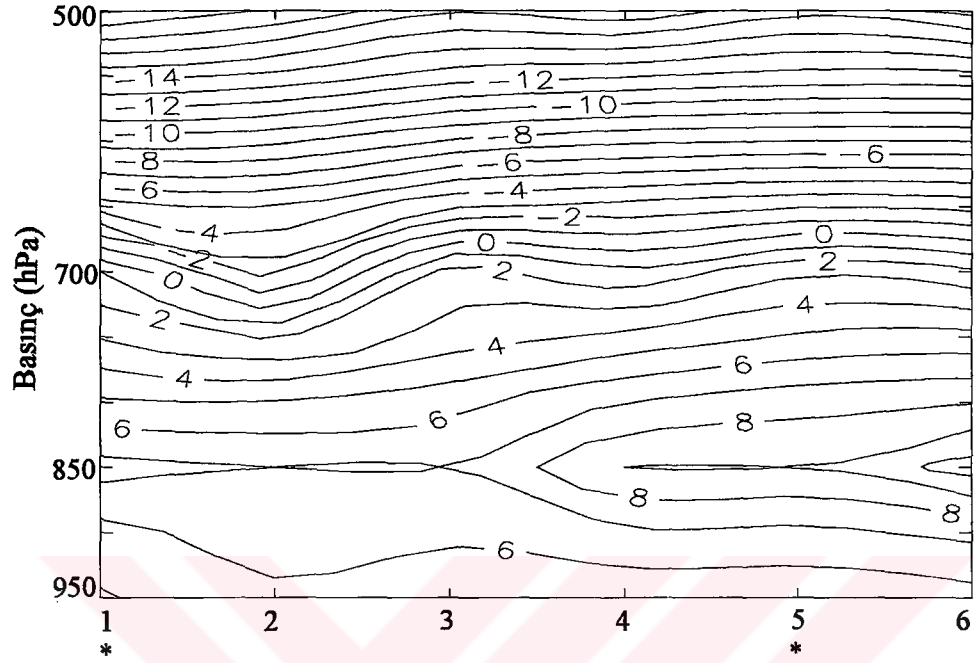


(b)

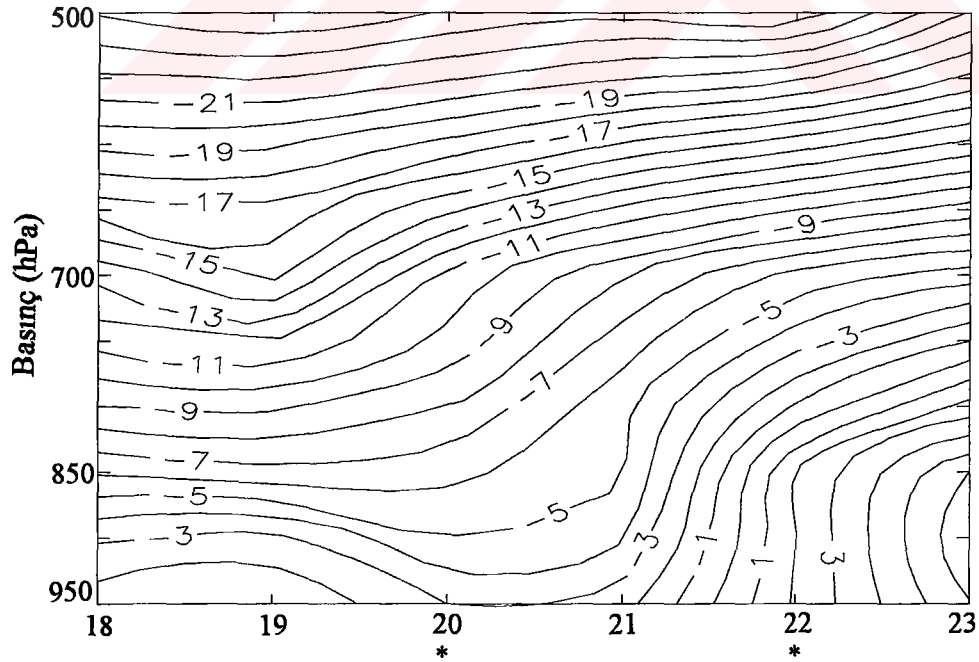


(c)

Şekil A.8 PM  $\geq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episodlarının kış dönemlerine göre devamlılık süreleri ve frekansları

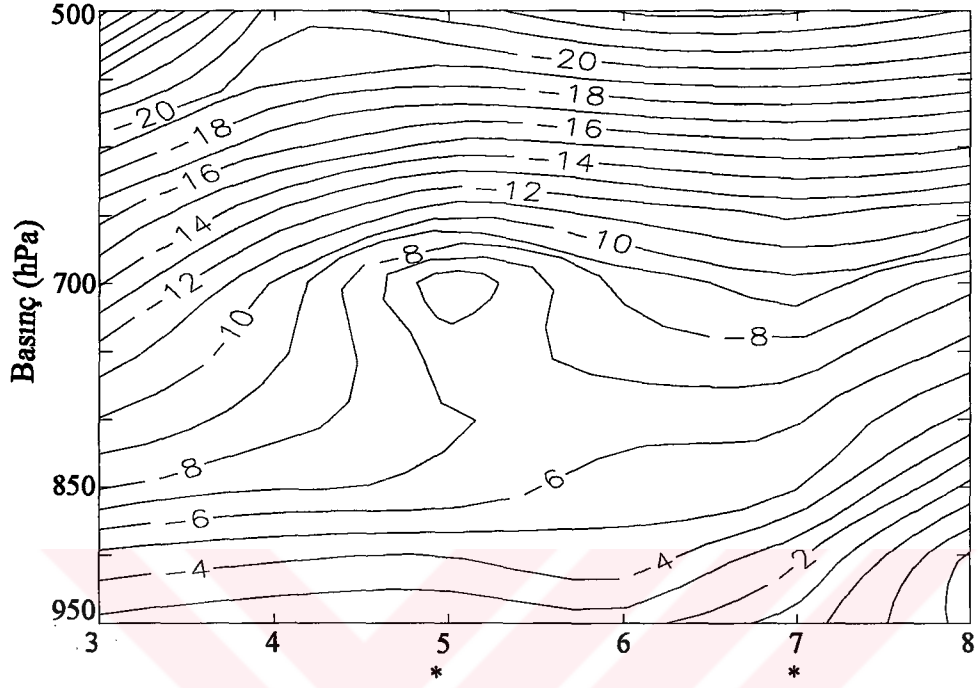


a) T(E1) 01-05 Kasım 1989

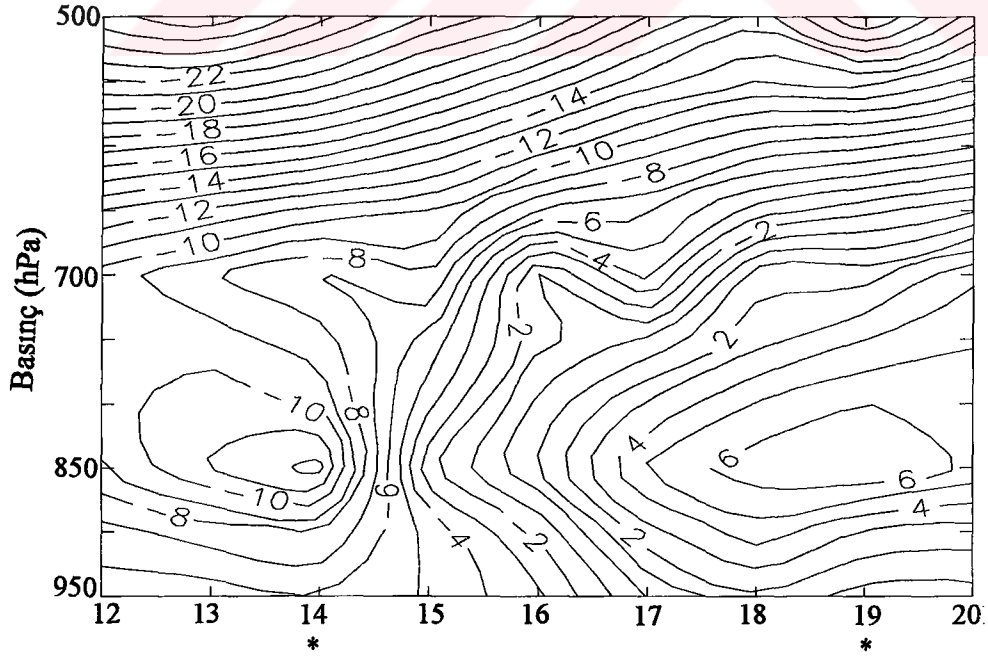


b) T(E2) 20-22 Kasım 1989

Şekil A.9  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günlerine ait düşey sıcaklık dağılım profili.

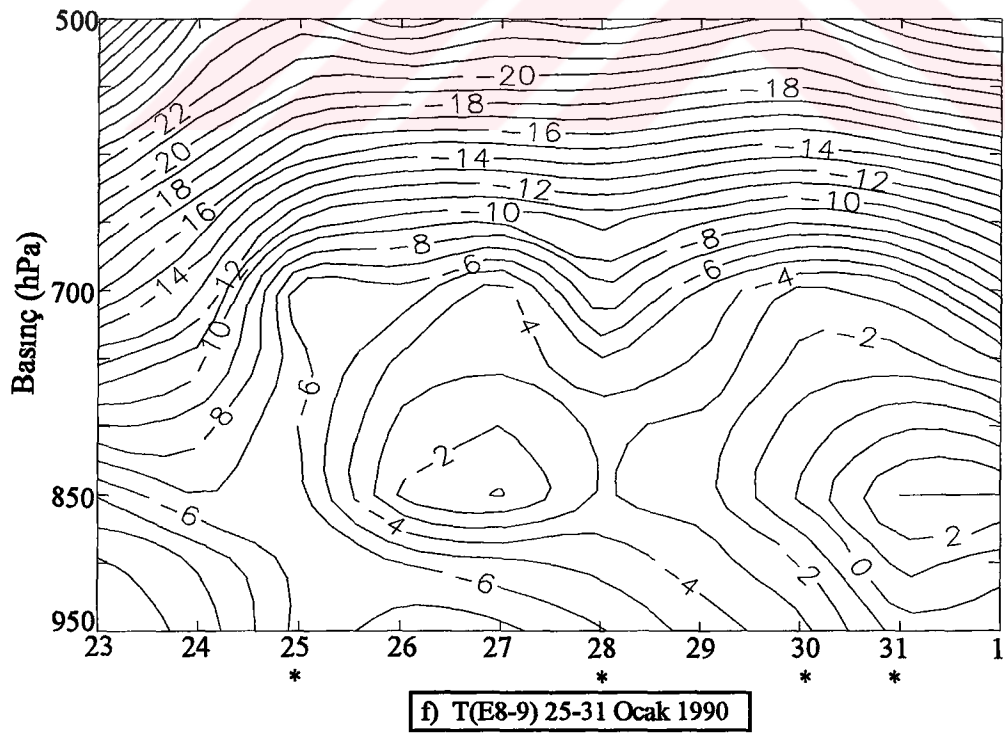
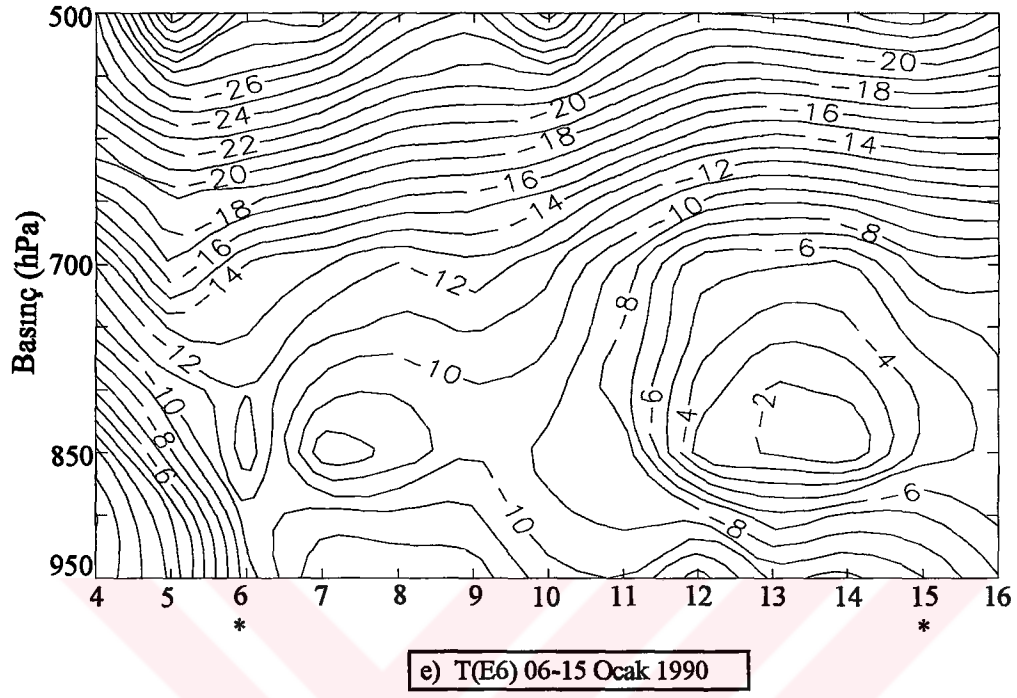


c) T(E4) 05-07 Aralık 1989

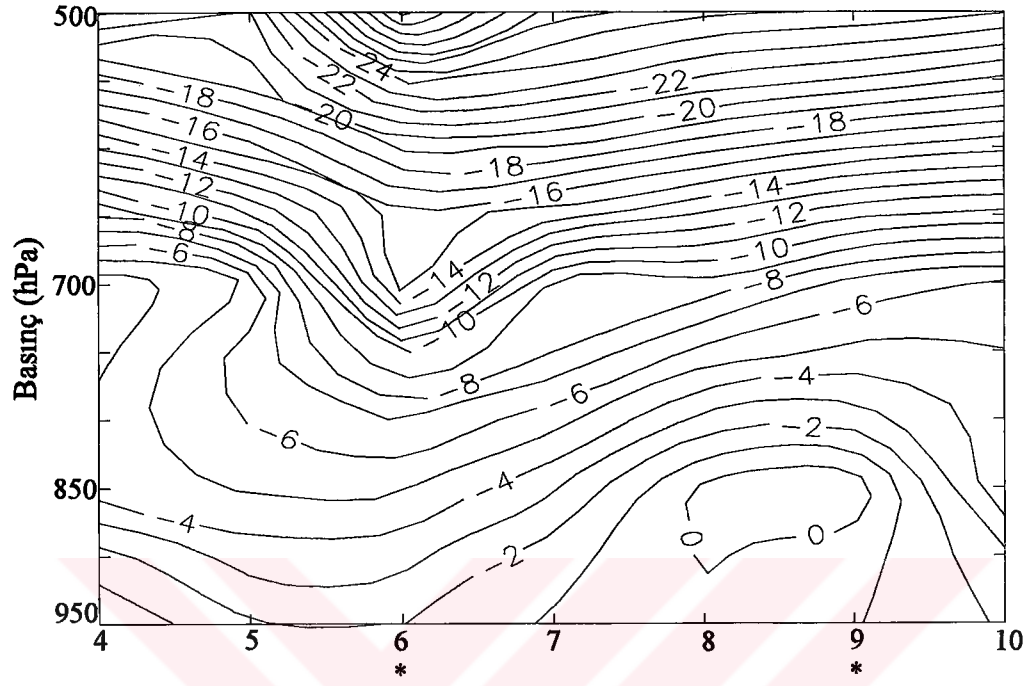


d) T(E5) 14-19 Aralık 1989

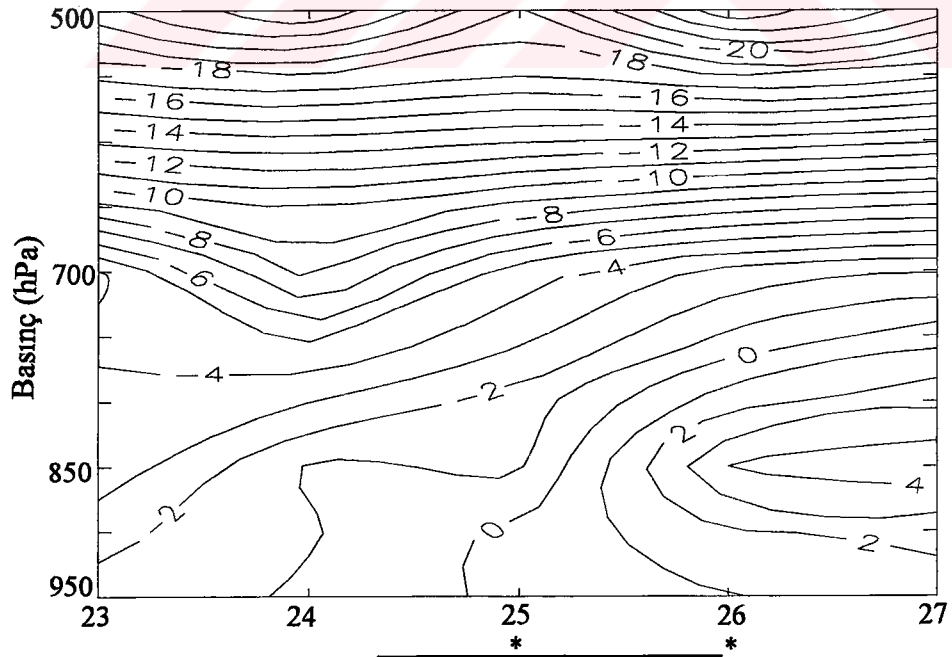
Şekil A.9 (devamı)



Şekil A.9 (devamı)

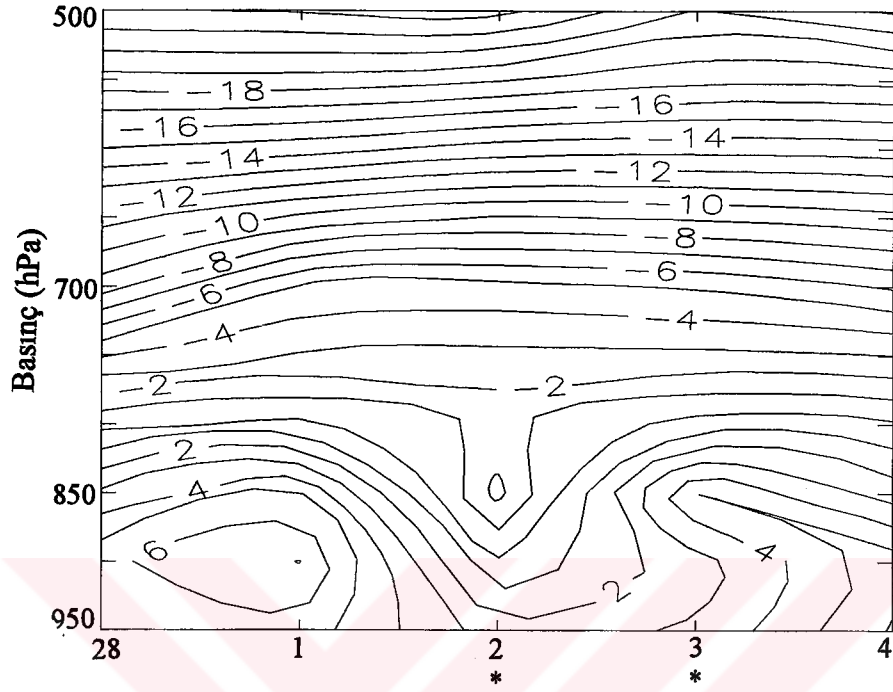


g) T(E10) 06-09 Şubat 1990

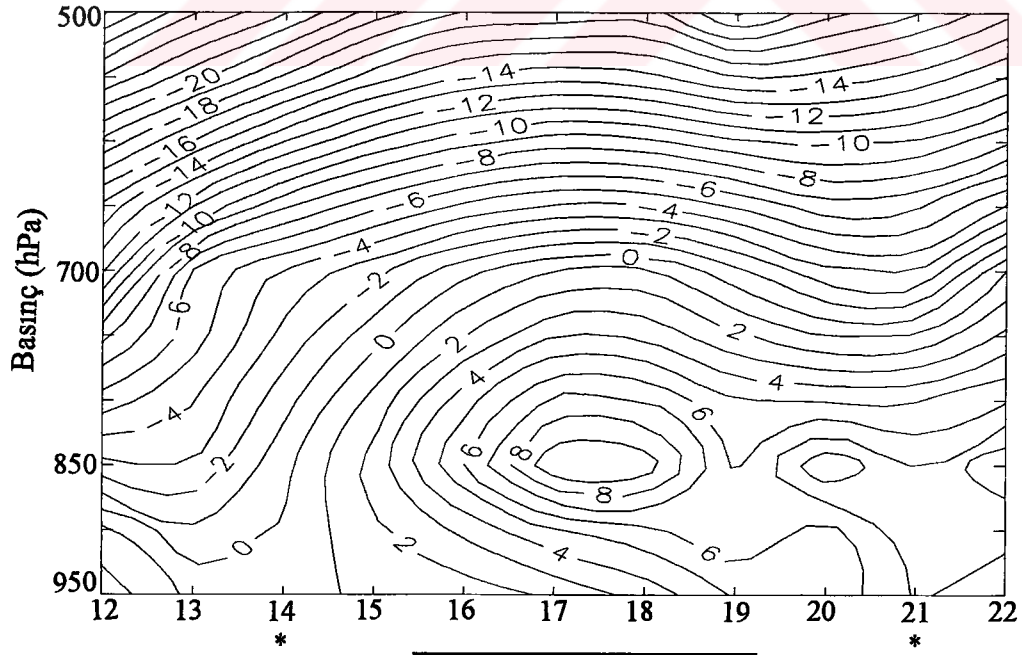


h) T(E11) 25-26 Şubat 1990

Şekil A.9 (devamı)

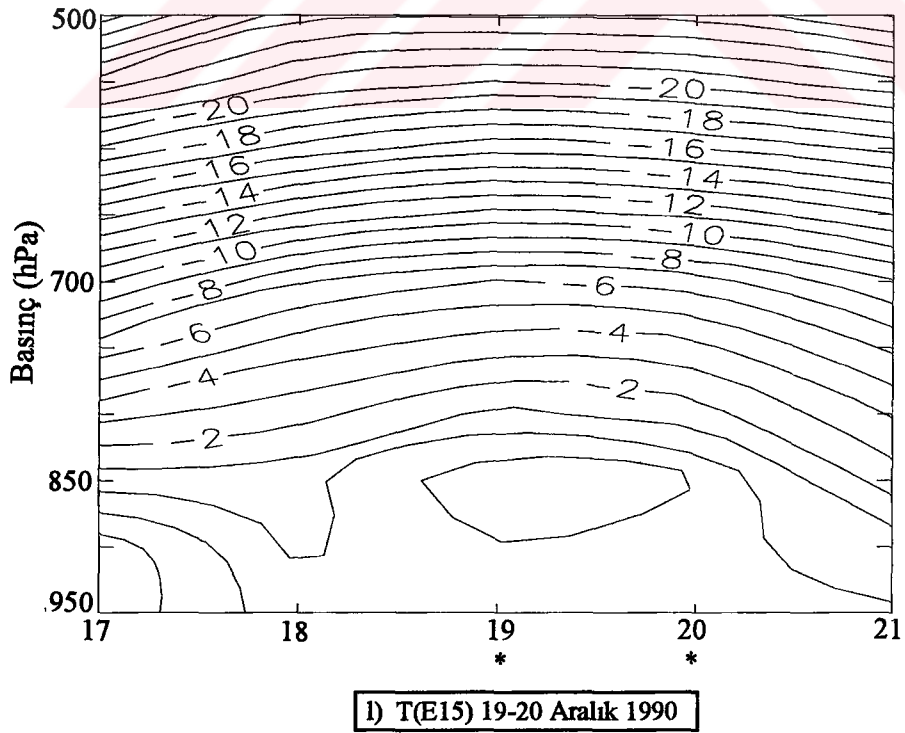
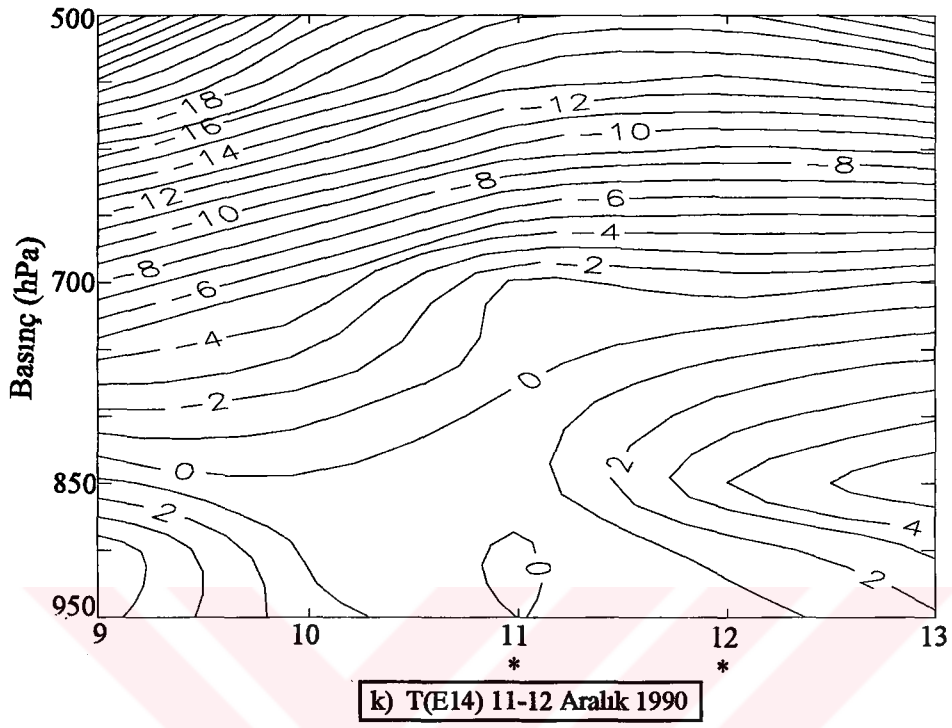


i) T(E12) 02-03 Mart 1990

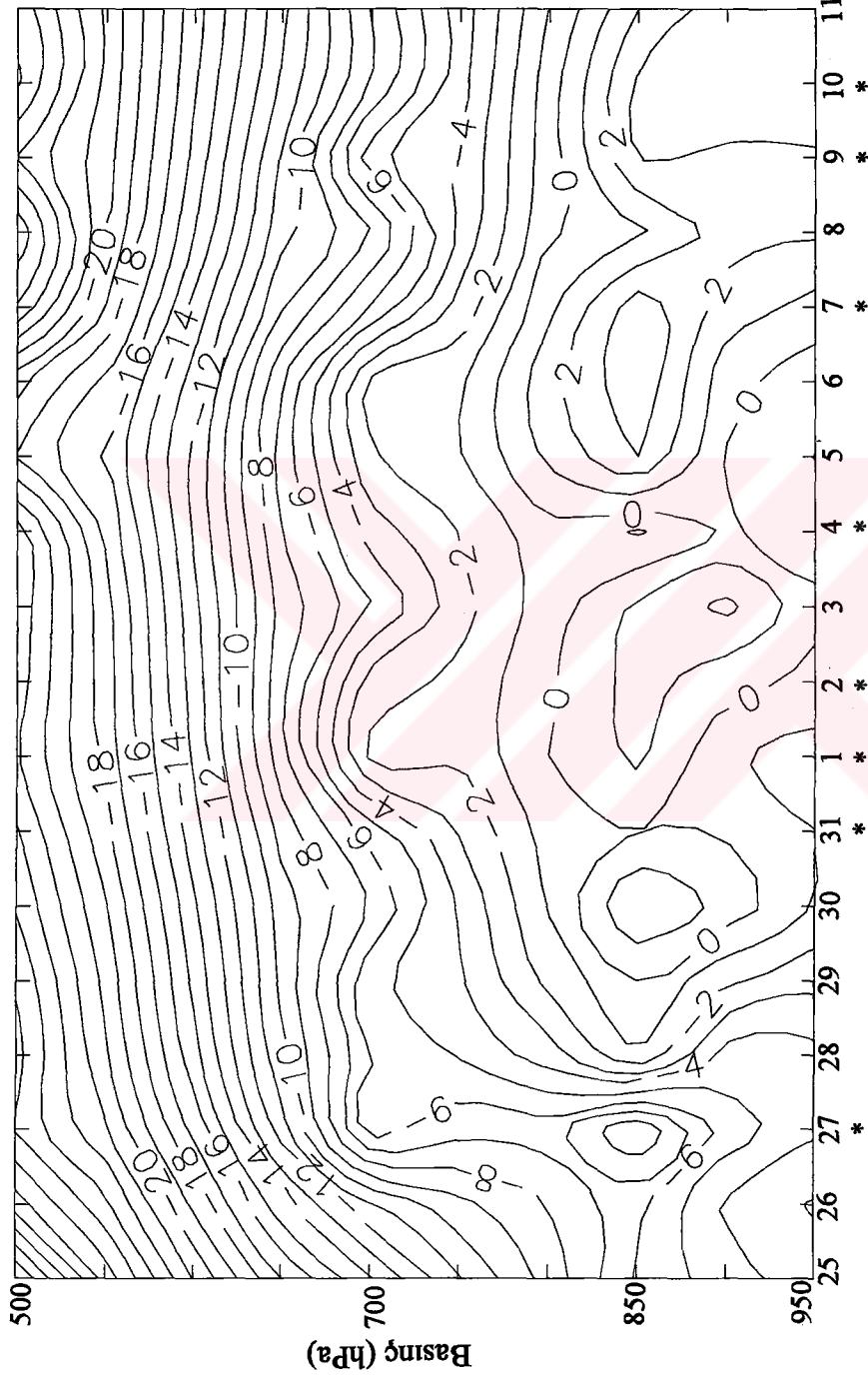


j) T(E13) 14-21 Kasım 1990

Şekil A.9 (devamı)

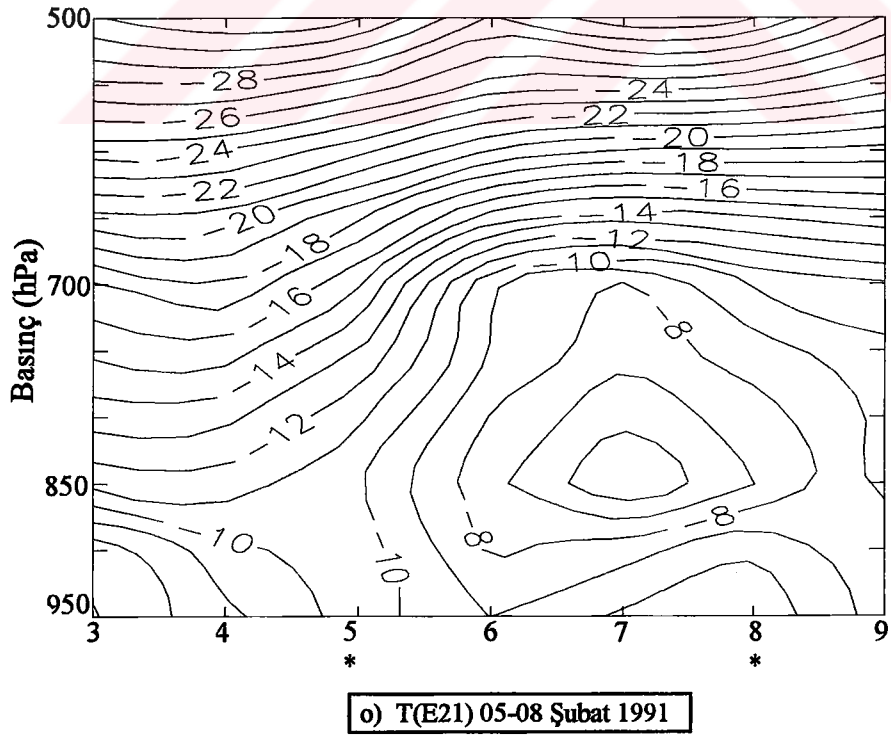
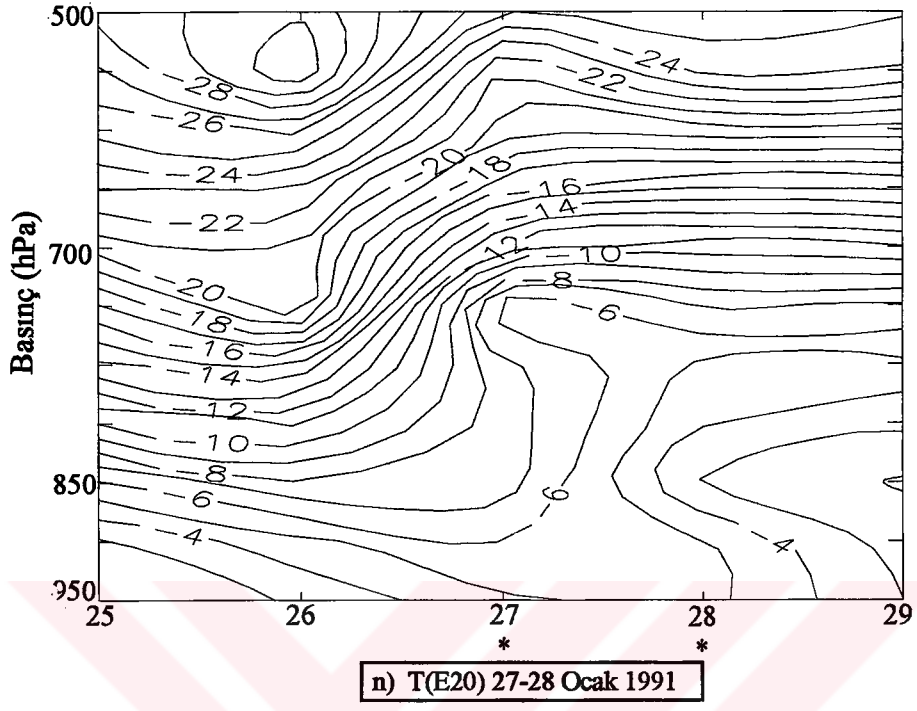


Şekil A.9 (devamı)

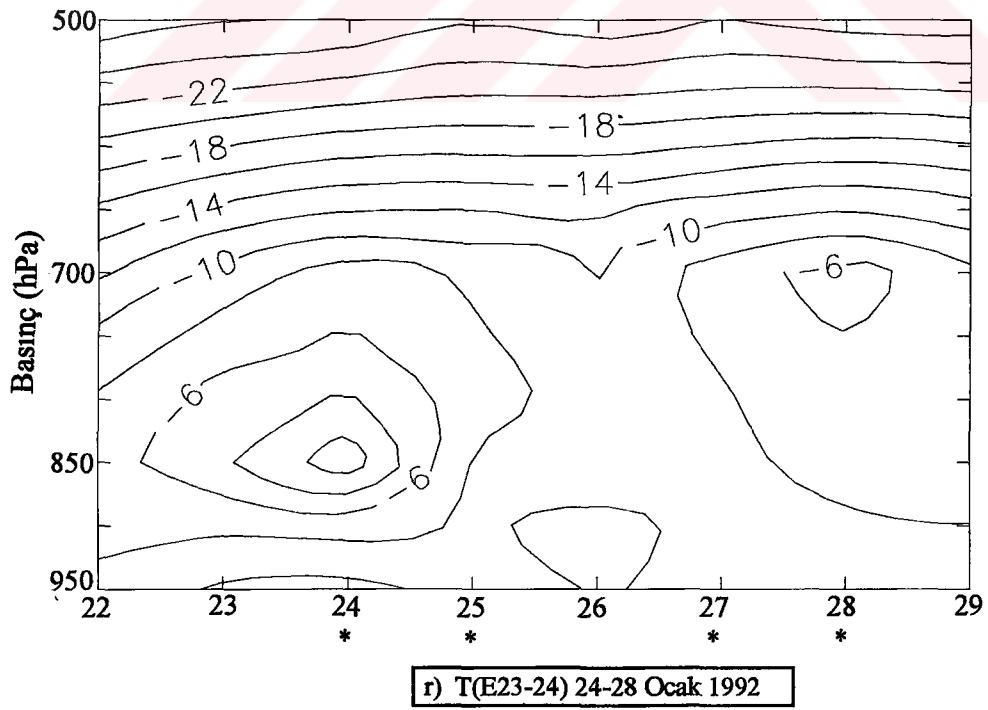
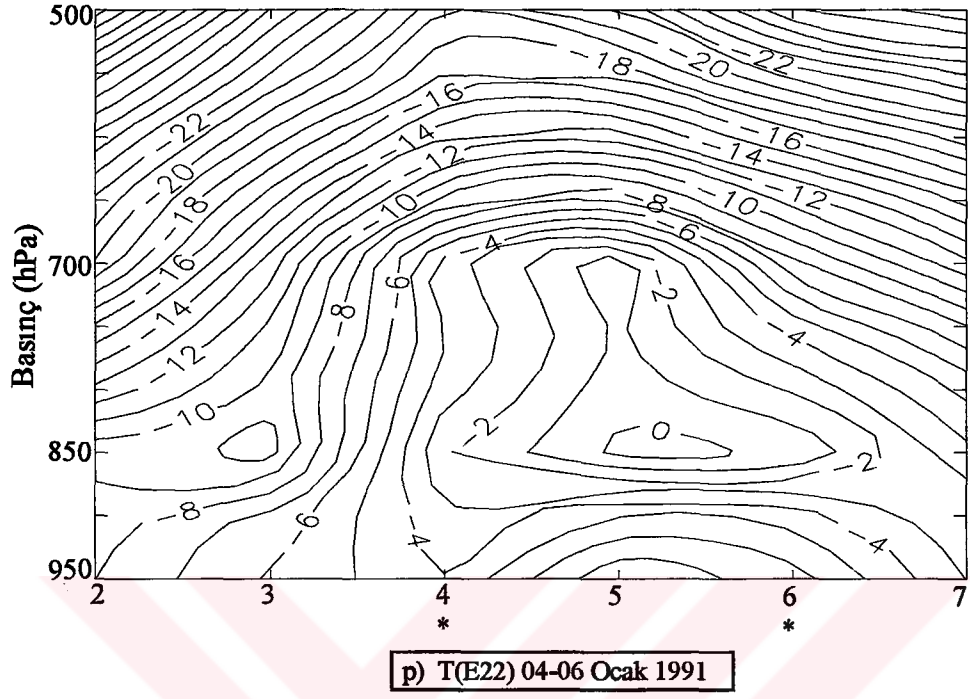


m) T(E16-19) 27 Aralık 1990 - 10 Ocak 1991

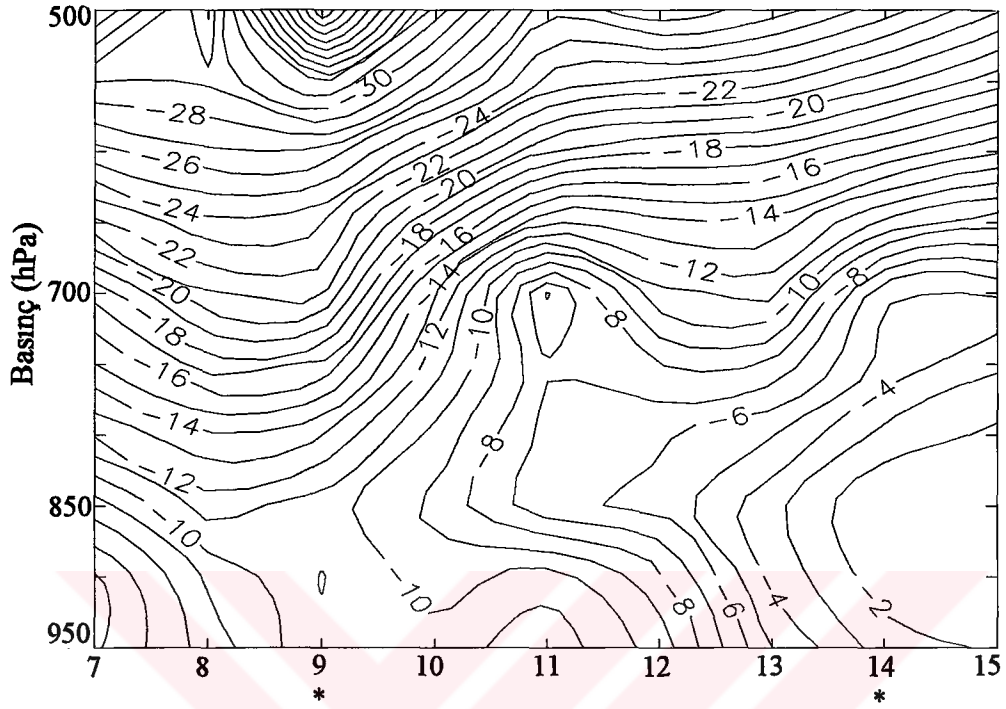
Şekil A.9 (devamı)



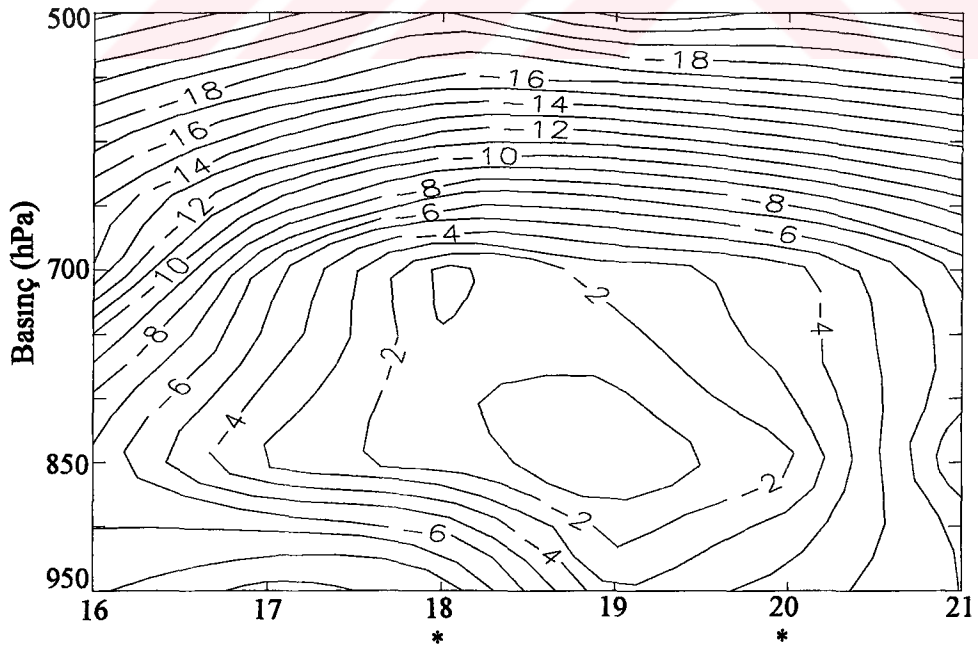
Şekil A.9 (devamı)



Şekil A.9 (devamı)

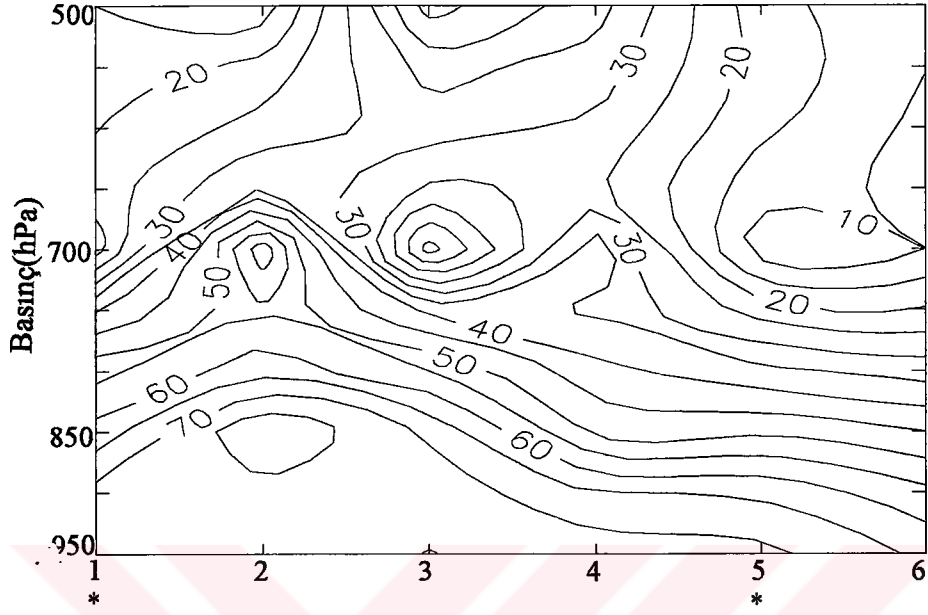


s) T(E25) 09-14 Şubat 1992

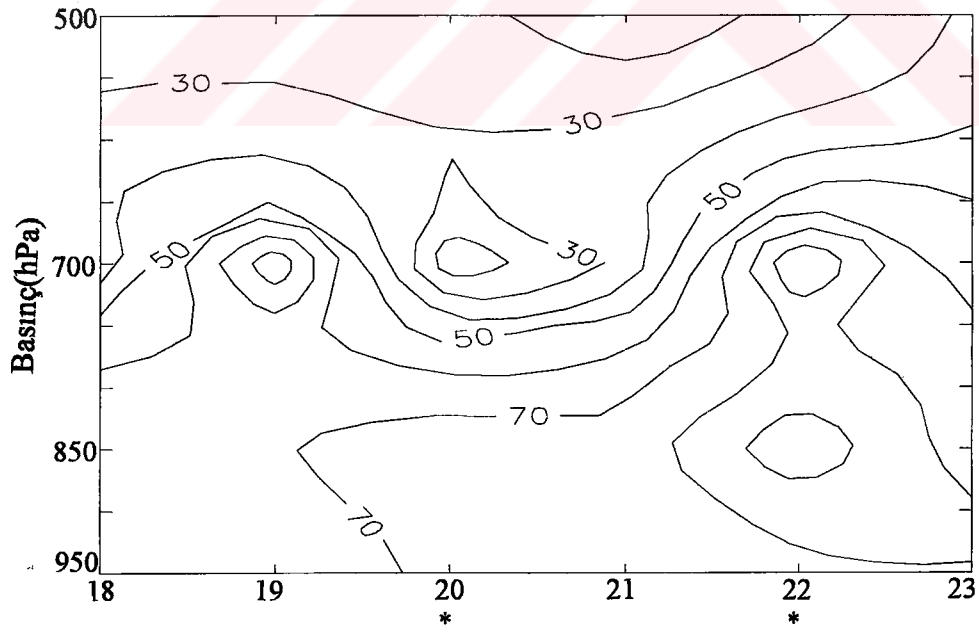


t) T(E26) 18-20 Ocak 1993

Şekil A.9 (devamı)

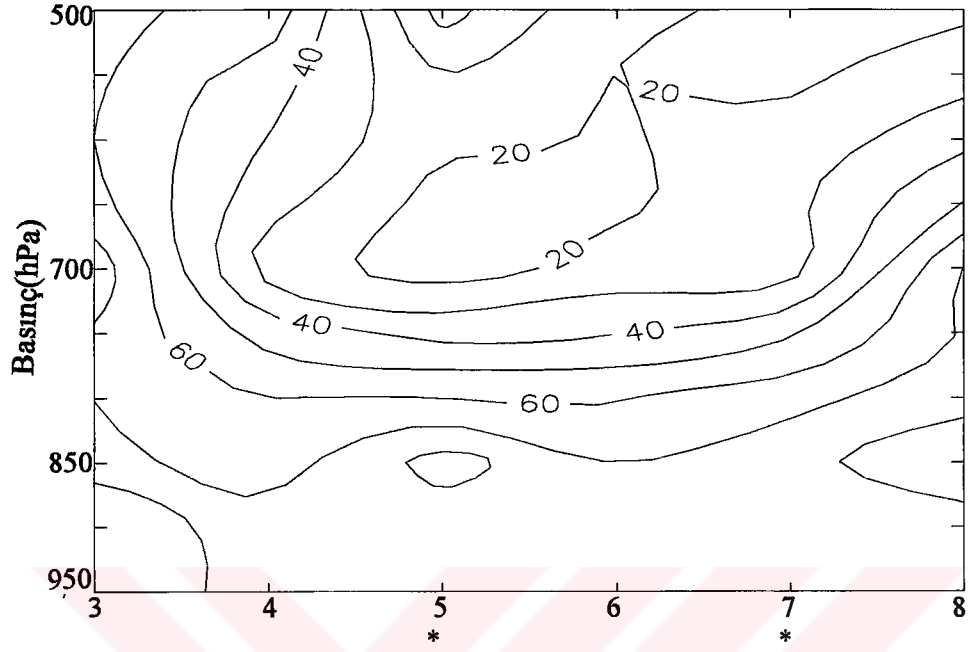


a) RH(E1) 01-05 Kasım 1989

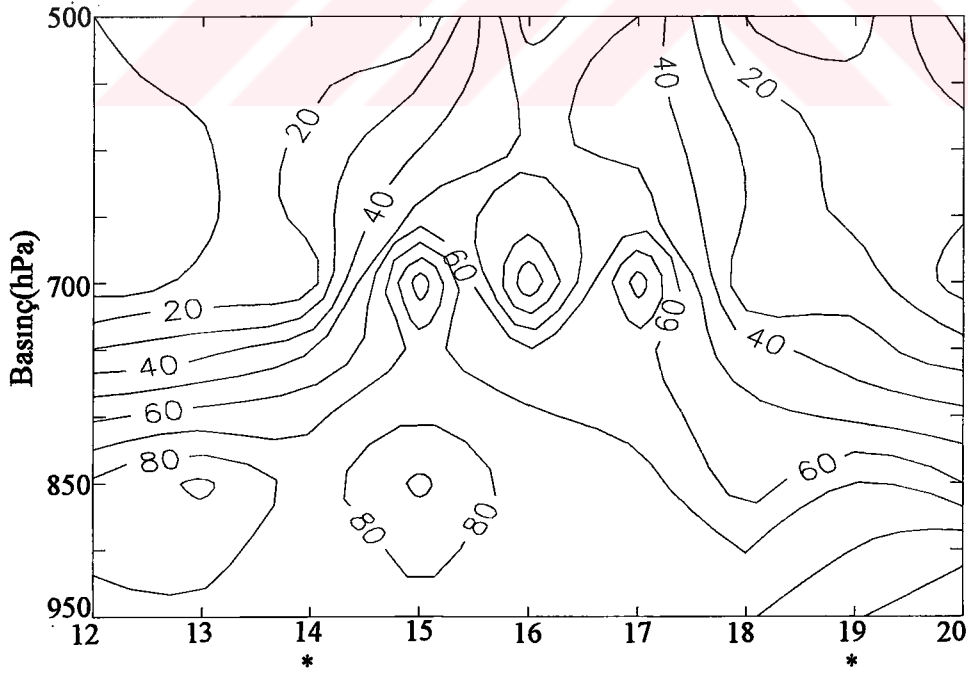


b) RH(E2) 20-22 Kasım 1989

Şekil A.10  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günlerine ait düşey nem(RH) dağılım profili.

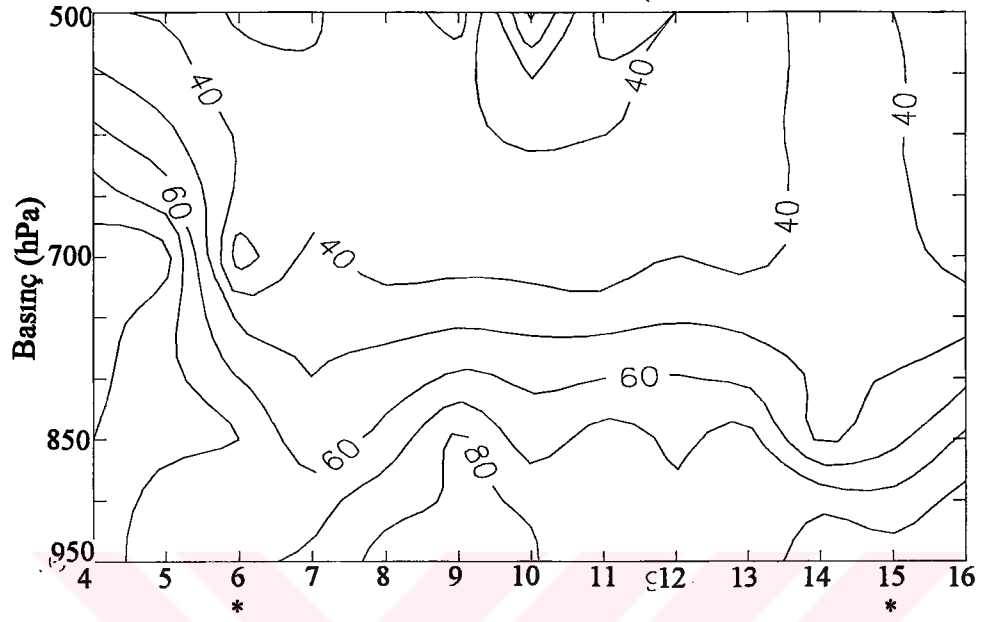


c) RH(E4) 05-07 Aralık 1989

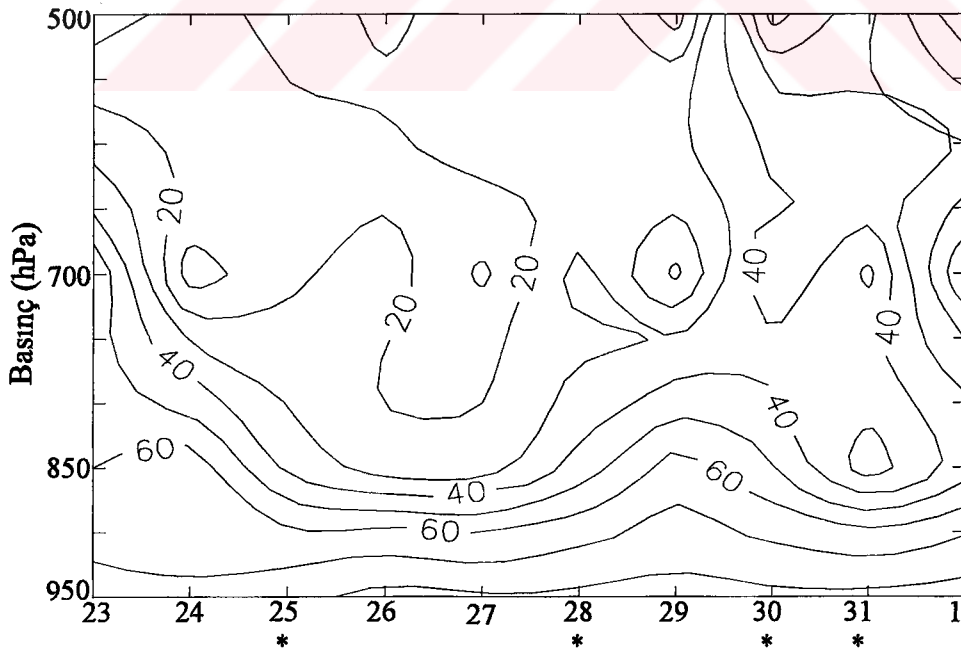


d) RH(E5) 14-19 Aralık 1989

Şekil A.10 (devam)

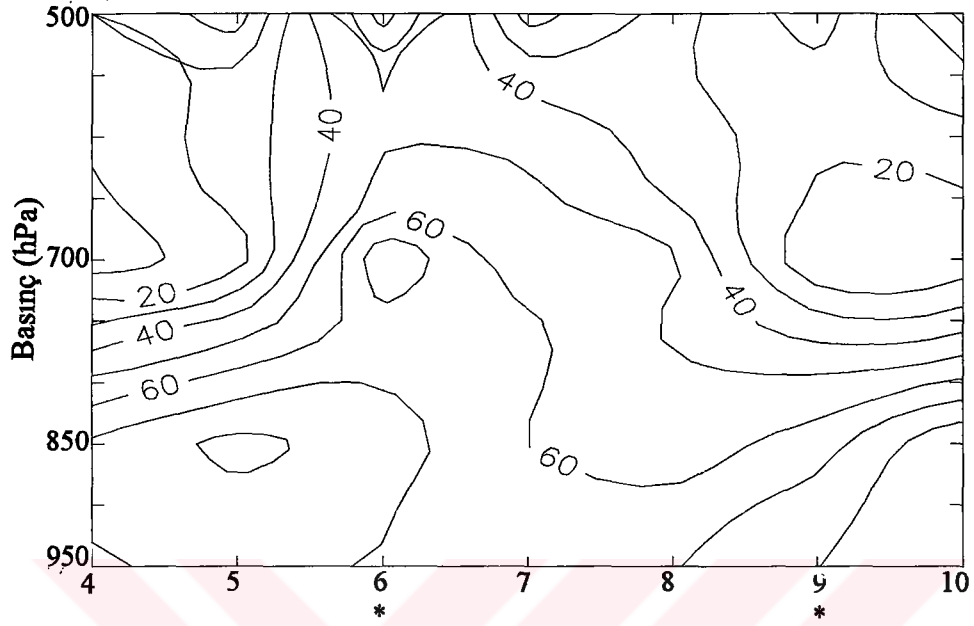


e) RH(E6) 06-15 Ocak 1990

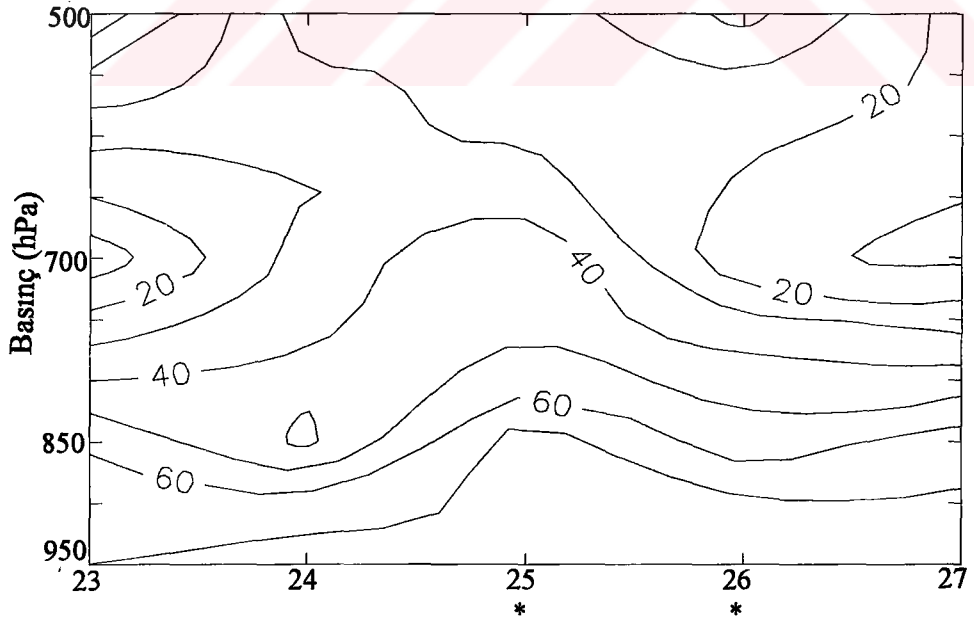


f) RH(E8-9) 25-31 Ocak 1990

Şekil A.10 (devam)

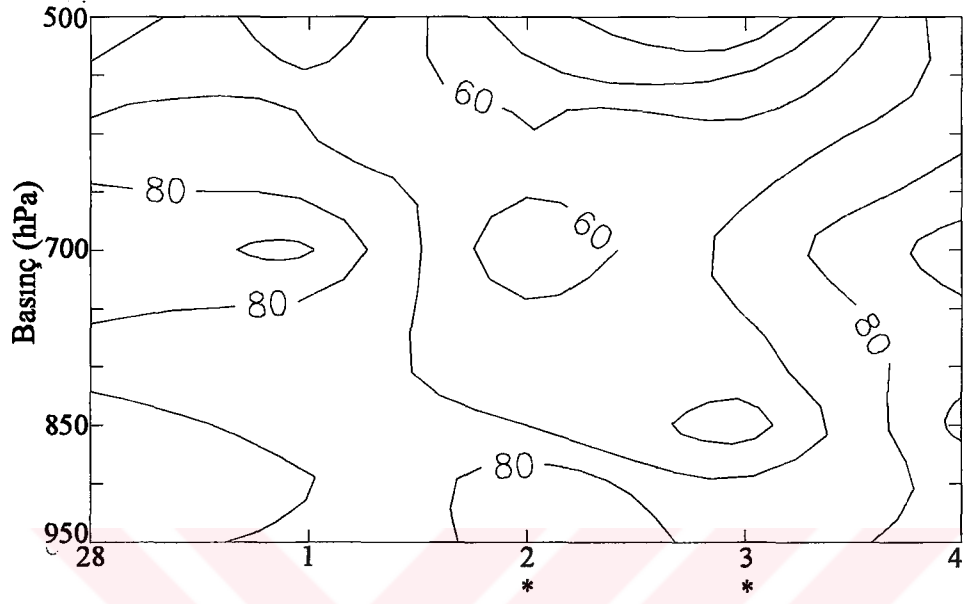


g) RH(E10) 06-09 Şubat 1990

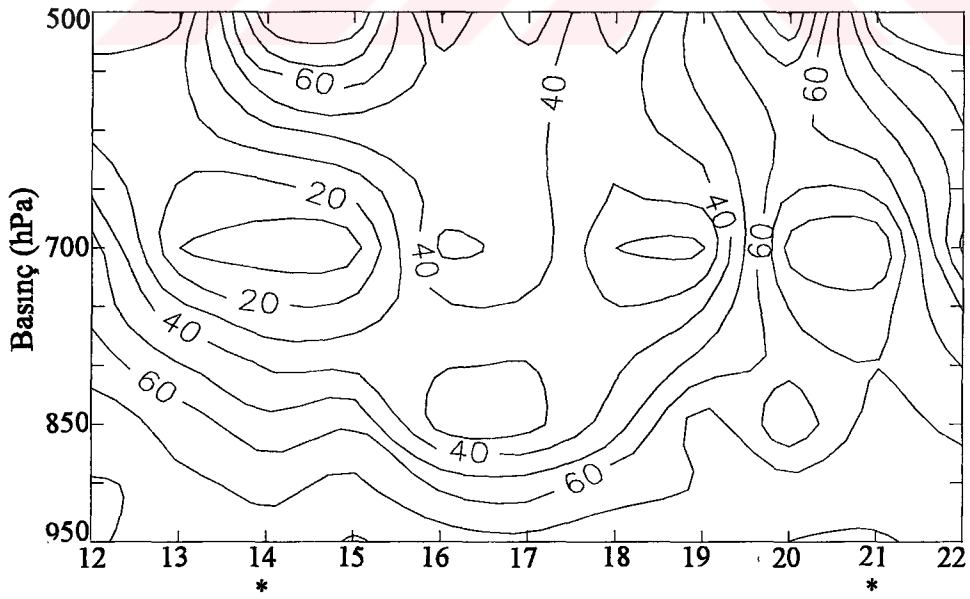


h) RH(E11) 25-26 Şubat 1990

Şekil A.10 (devam)

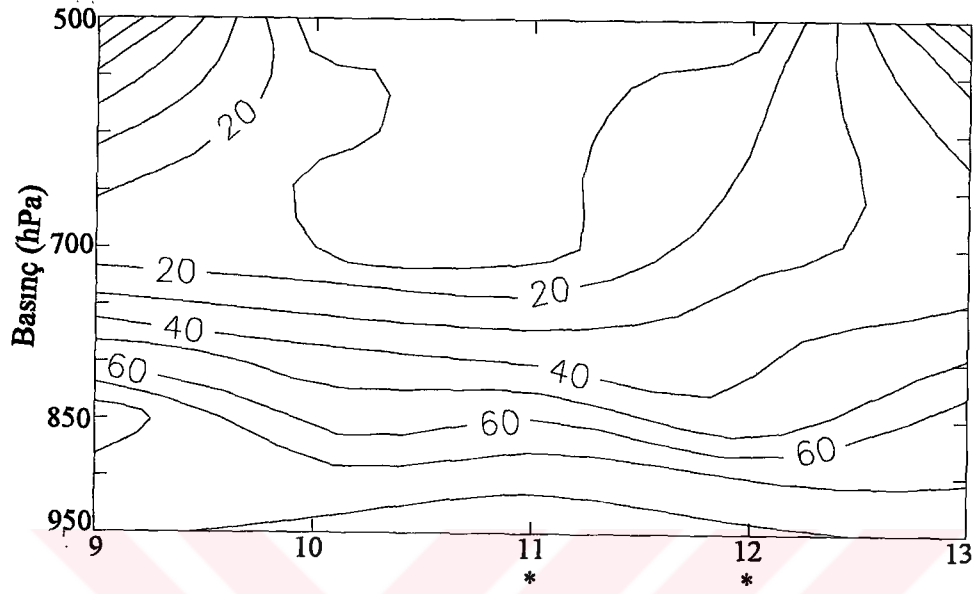


i) RH(E12) 02-03 Mart 1990

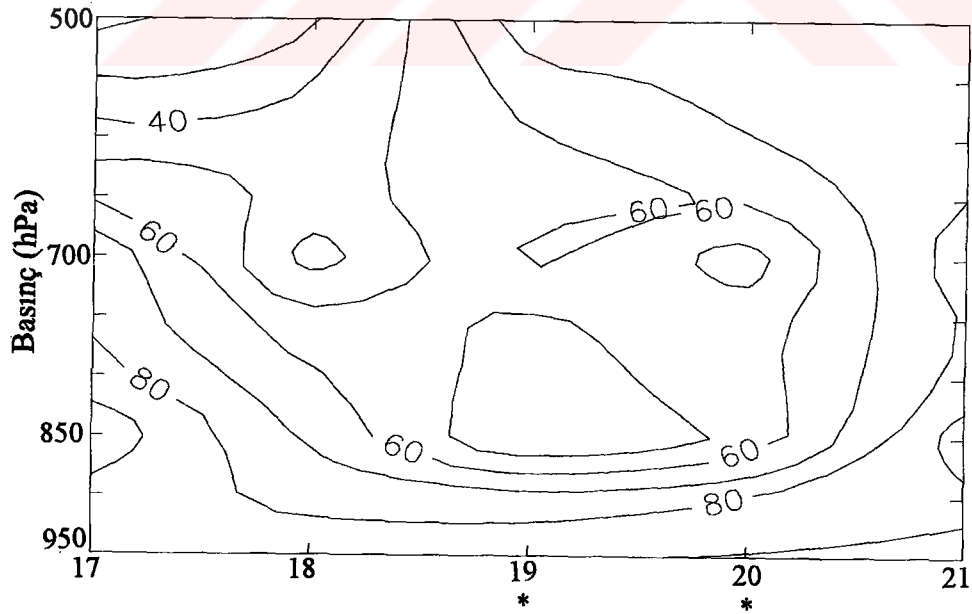


j) RH(E13) 14-21 Kasım 1990

Şekil A.10 (devam)

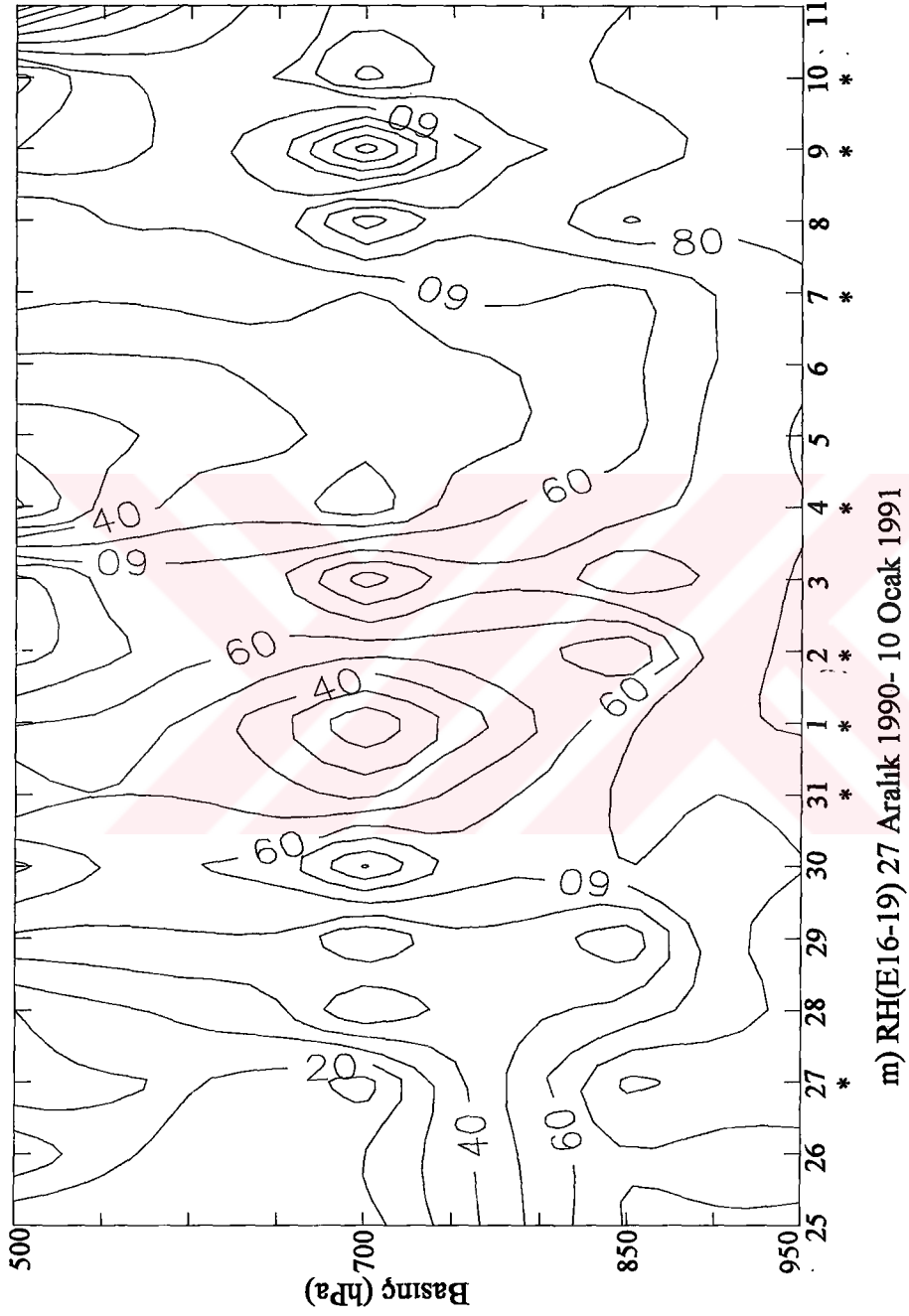


k) RH(E14) 11-12 Aralık 1990

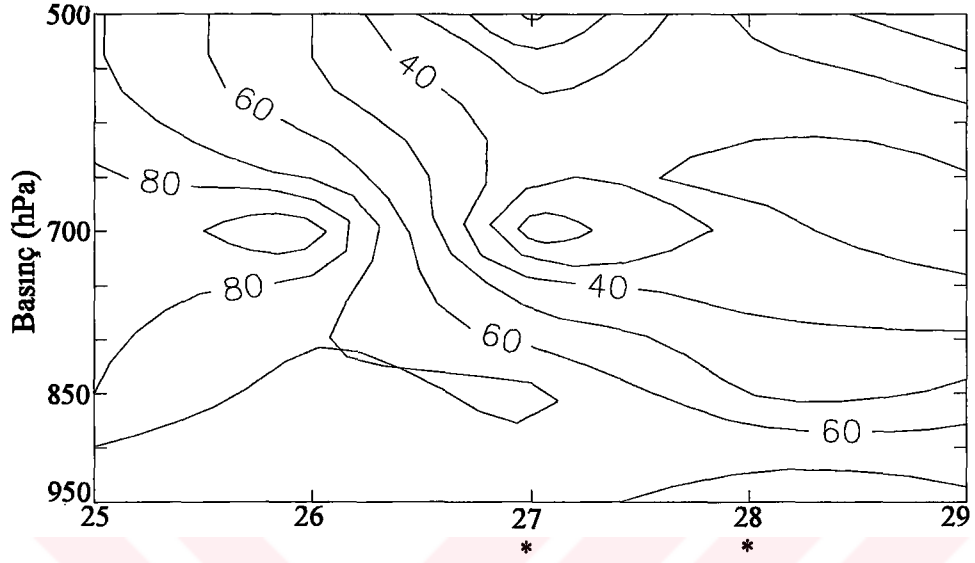


l) RH(E15) 19-20 Aralık 1990

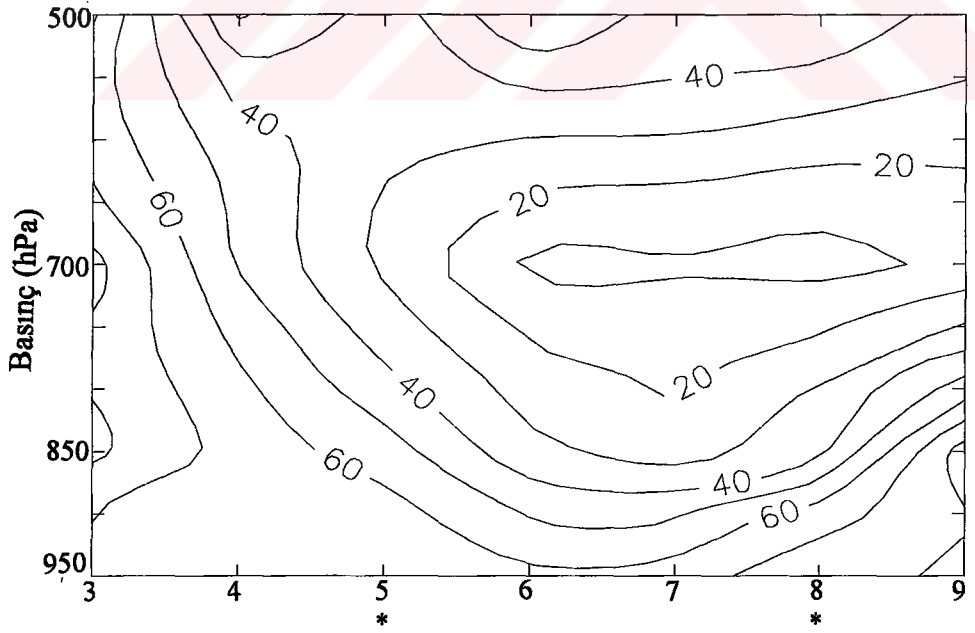
Şekil A.10 (devam)



Şekil A.10 (devam)

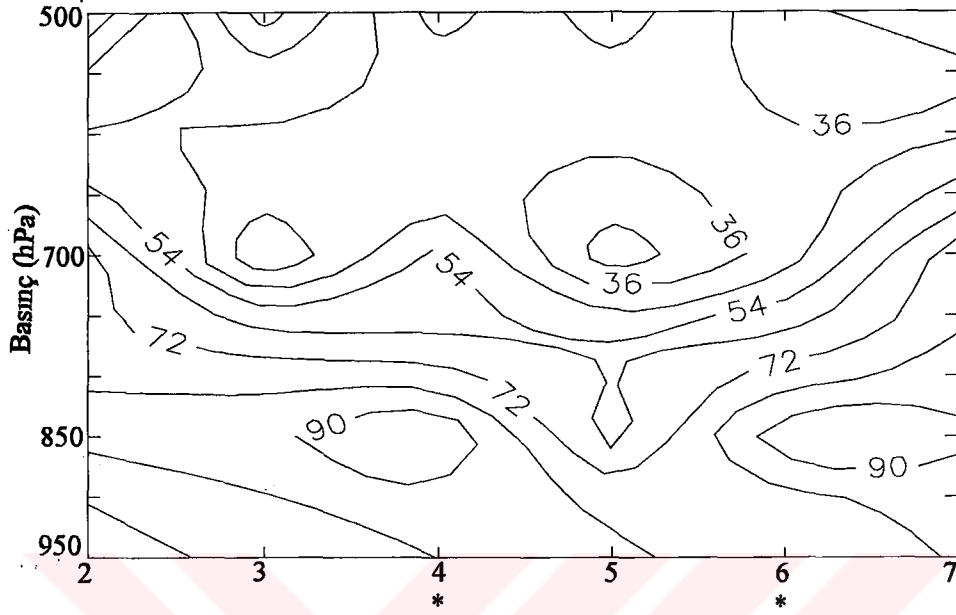


n) RH(E20) 27-28 Ocak 1991

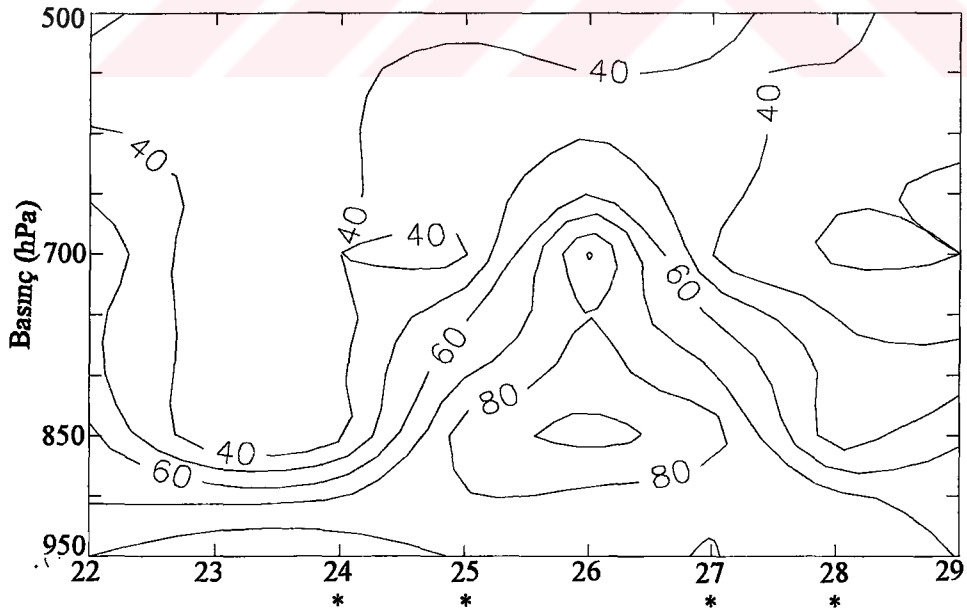


o) RH(E21) 05-08 Şubat 1991

Şekil A.10 (devam)

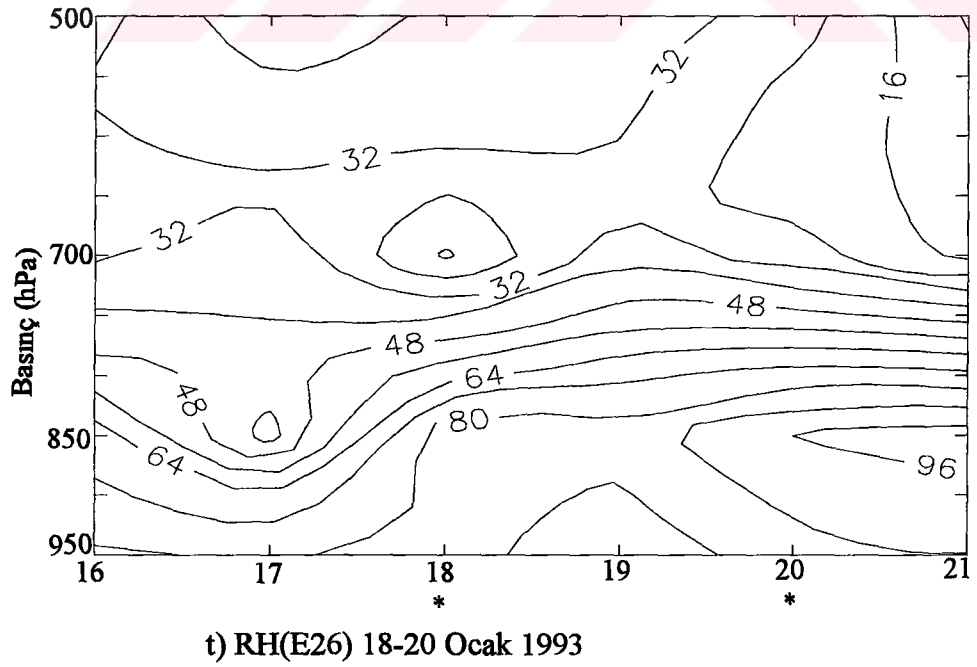
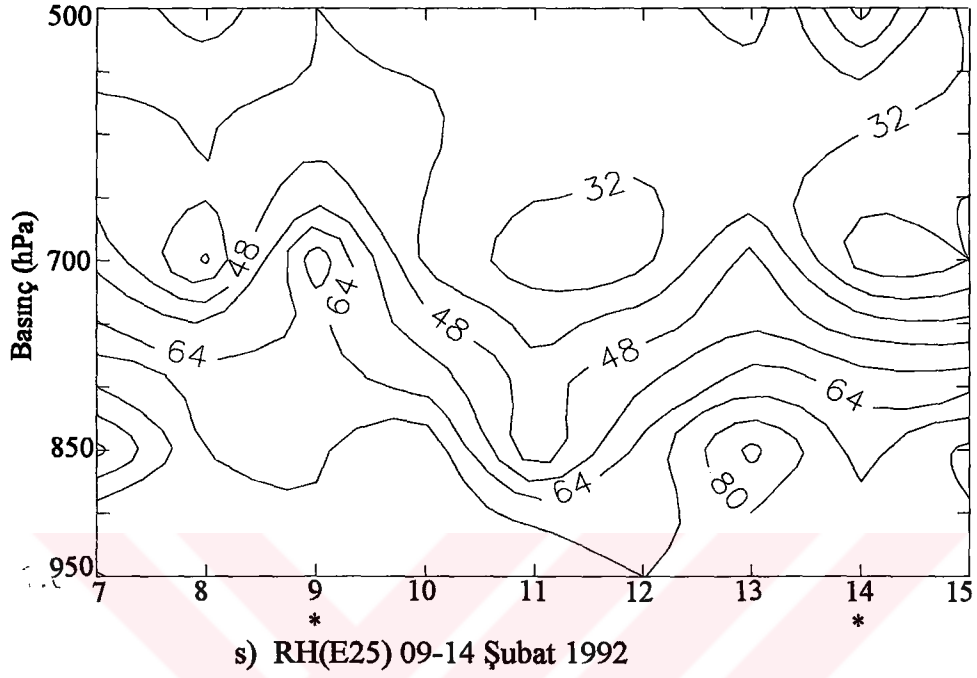


p) RH(E22) 04-06 Ocak 1992

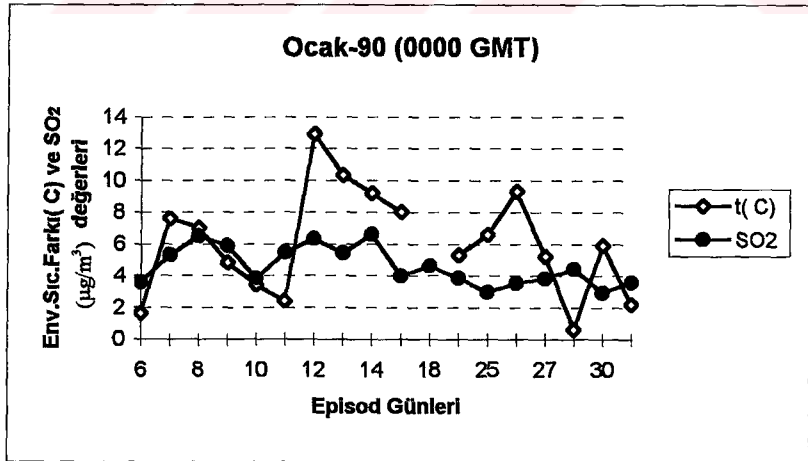
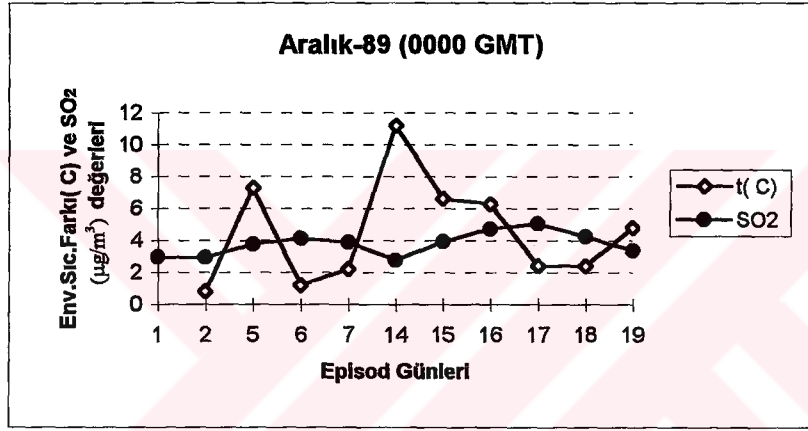
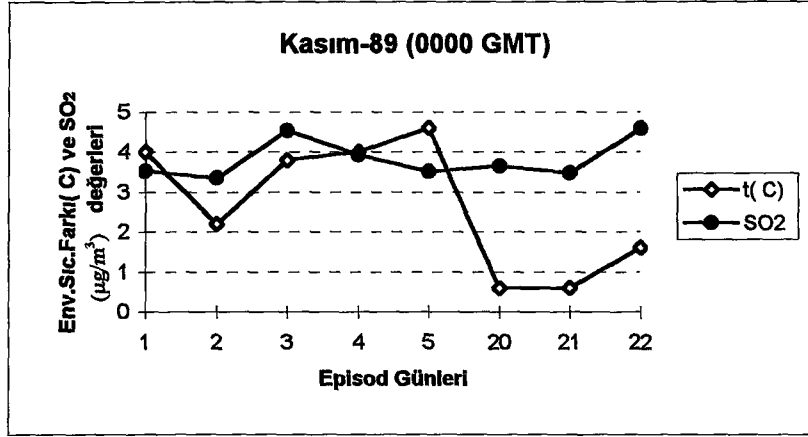


r) RH(E23-24) 24-28 Ocak 1992

Şekil A.10 (devam)

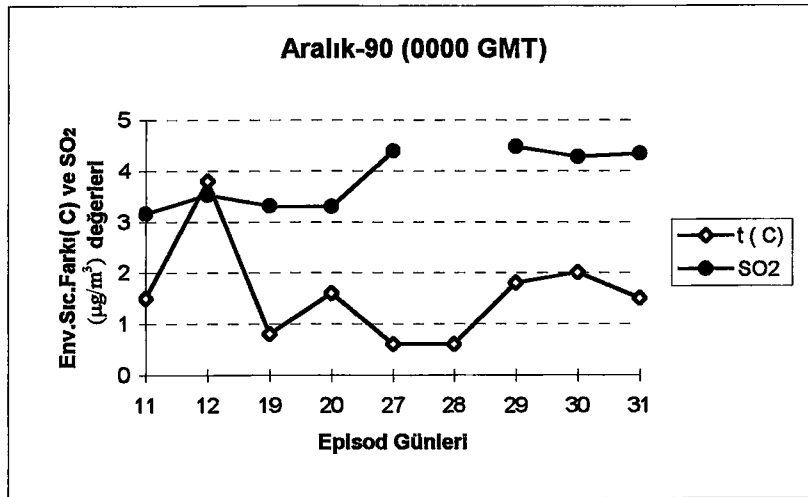
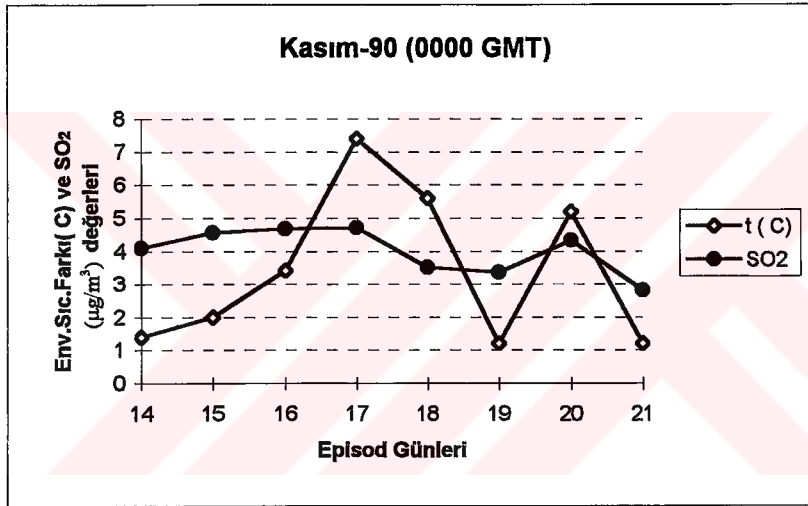
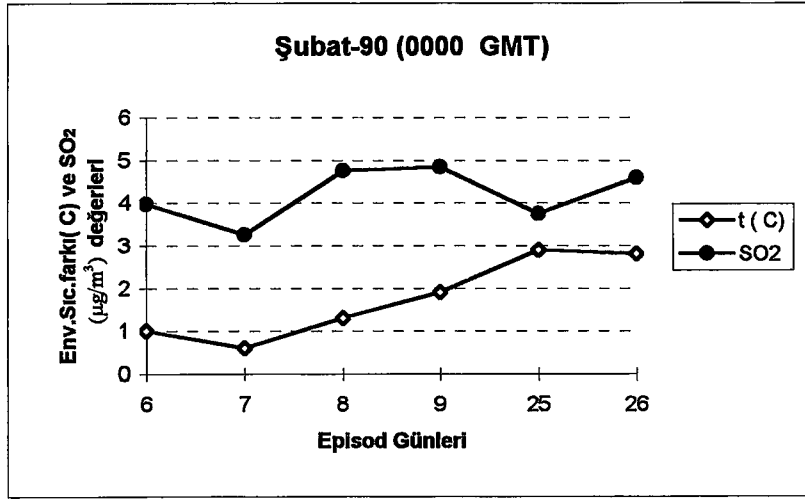


Şekil A.10 (devam)

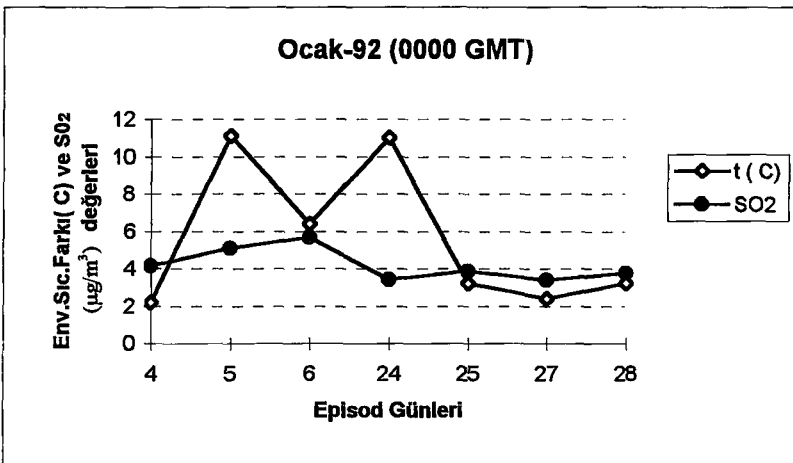
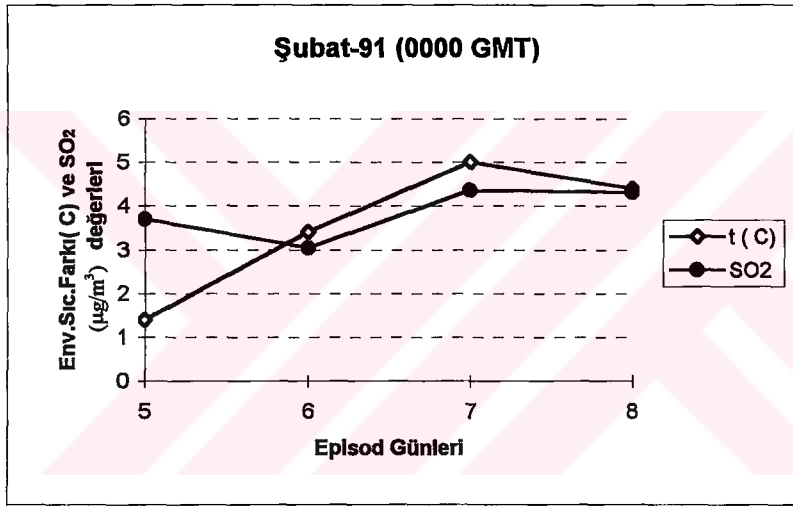
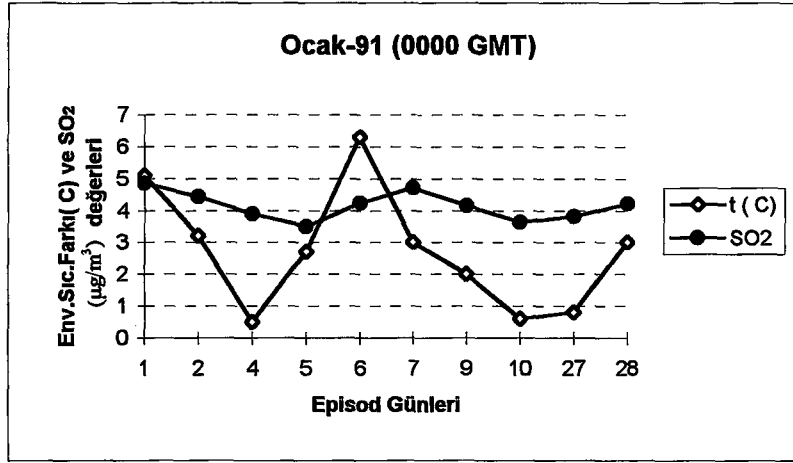


Not: SO2 değerleri 100'e bölünmüştür.

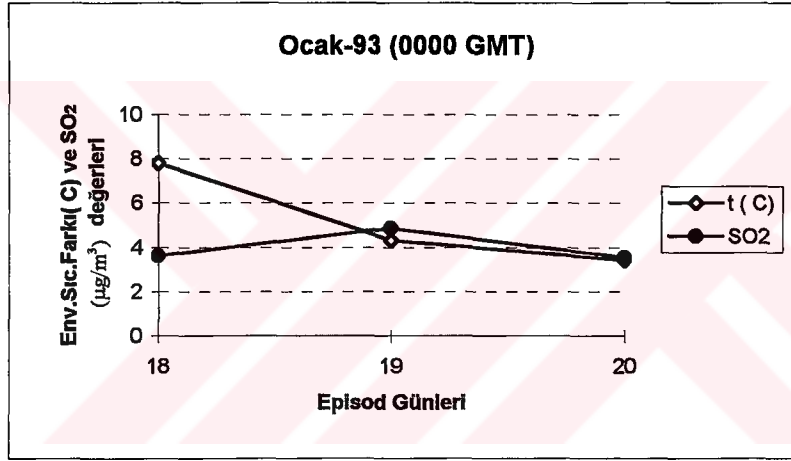
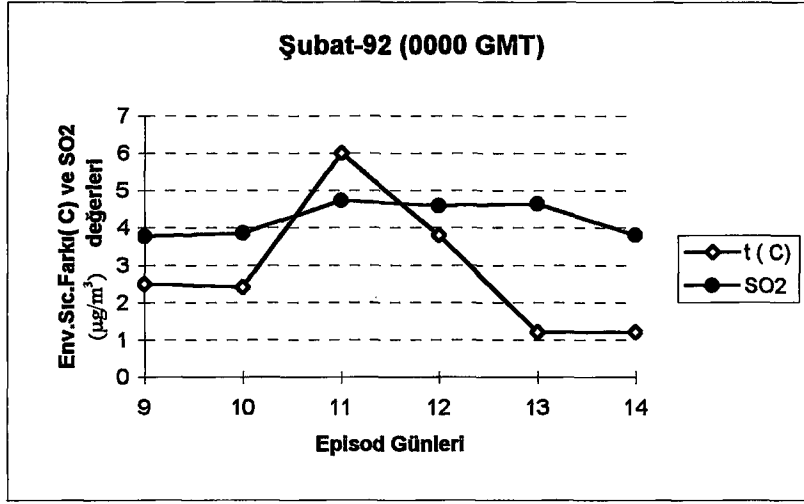
Şekil A.11 Enverziyon sıcaklık farkı ve SO2 değerleri



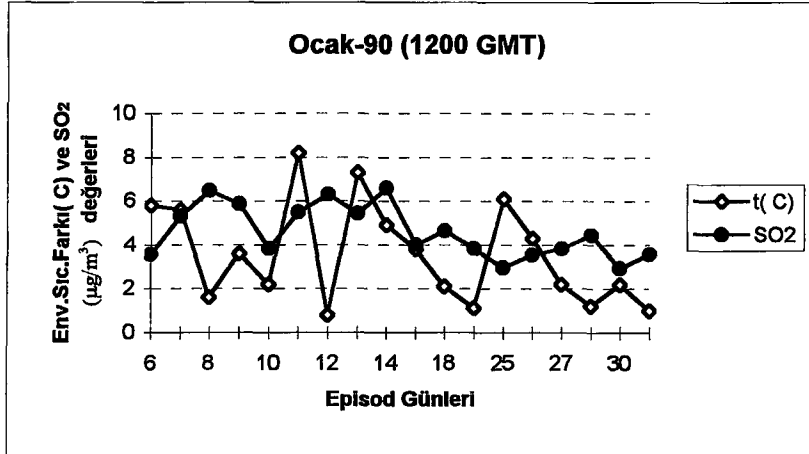
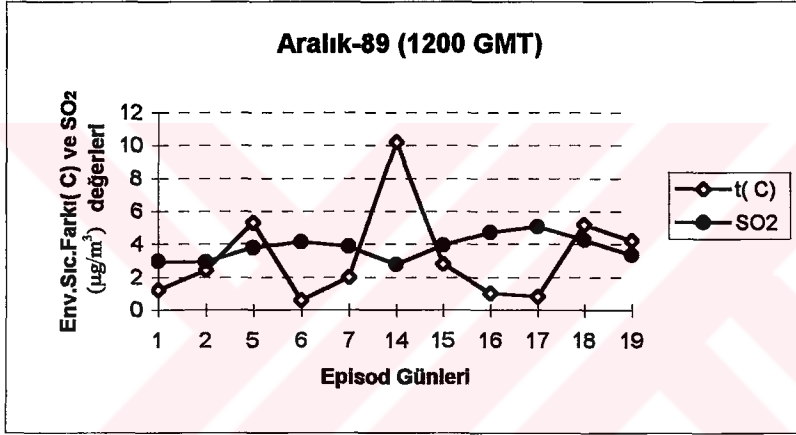
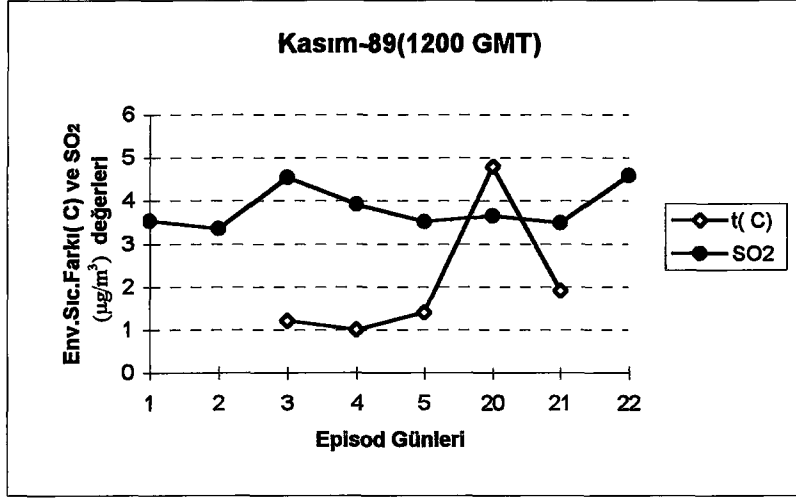
Şekil A.11 (devam)



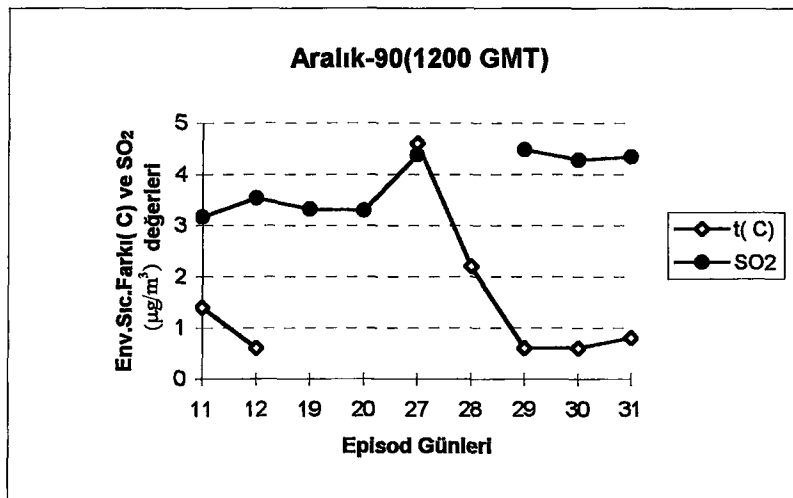
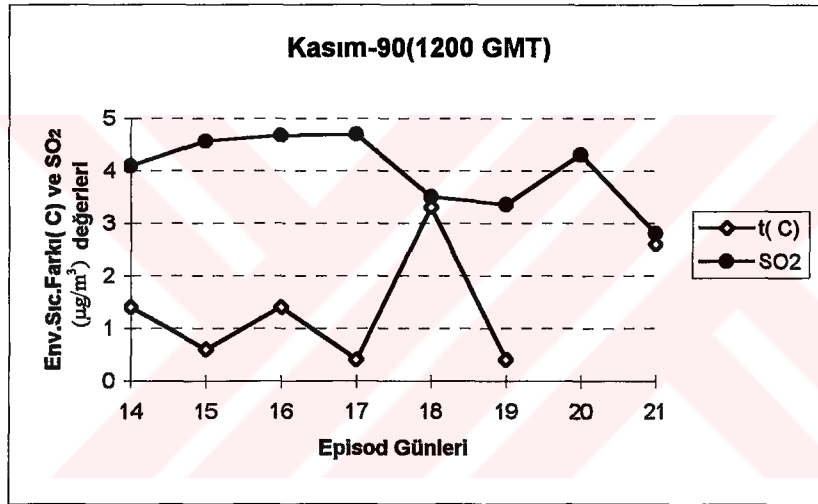
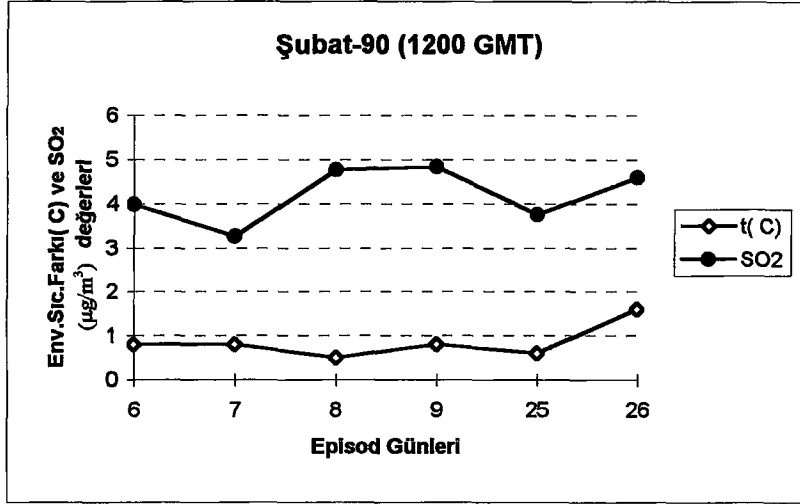
Şekil A.11(devam)



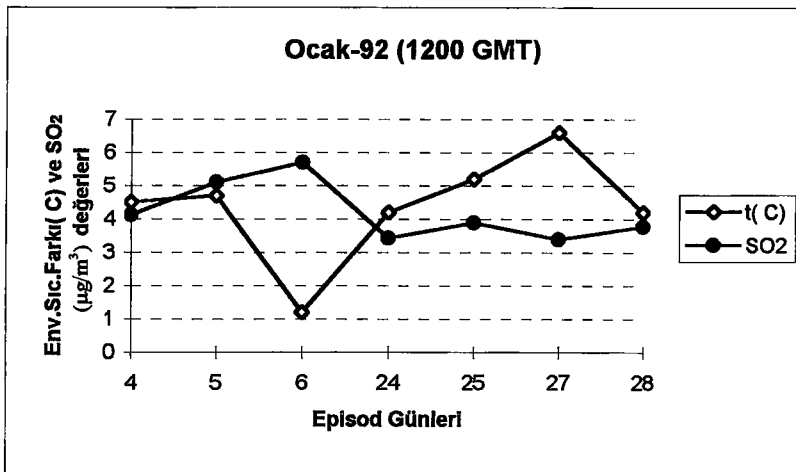
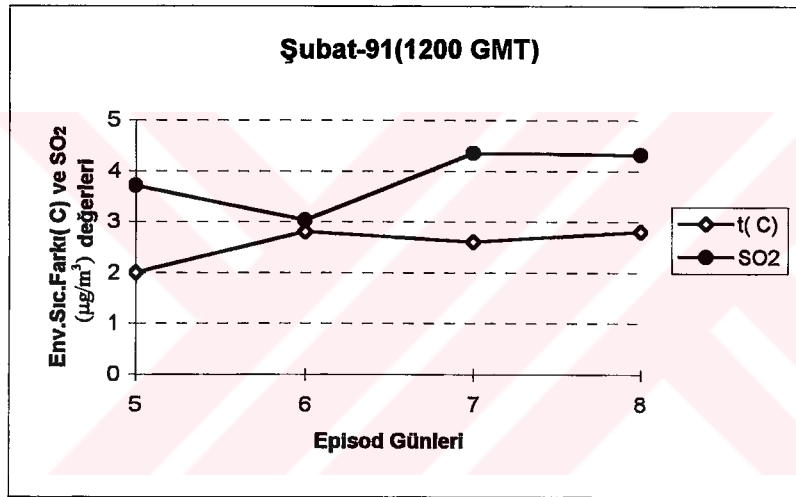
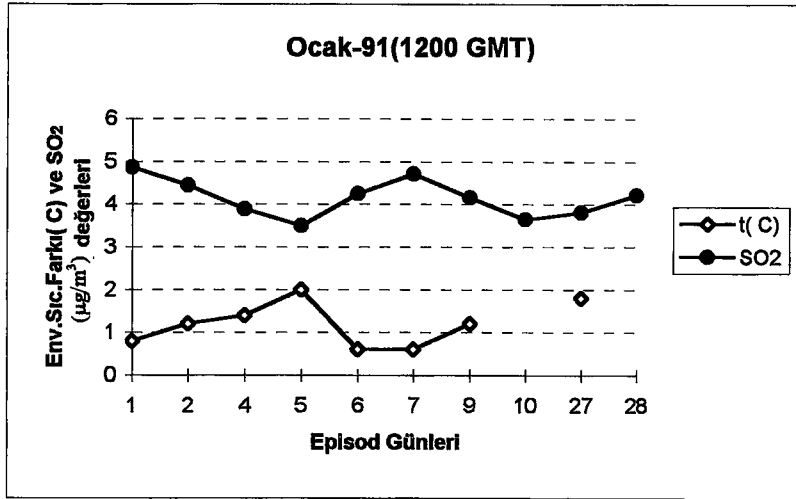
Şekil A.11(devam)



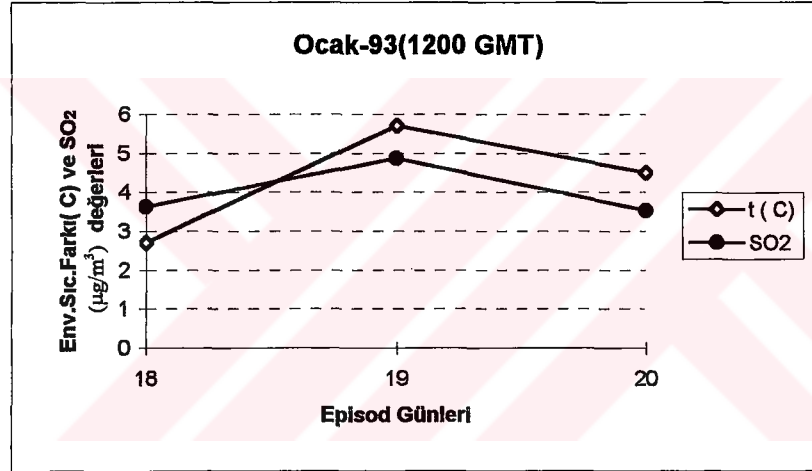
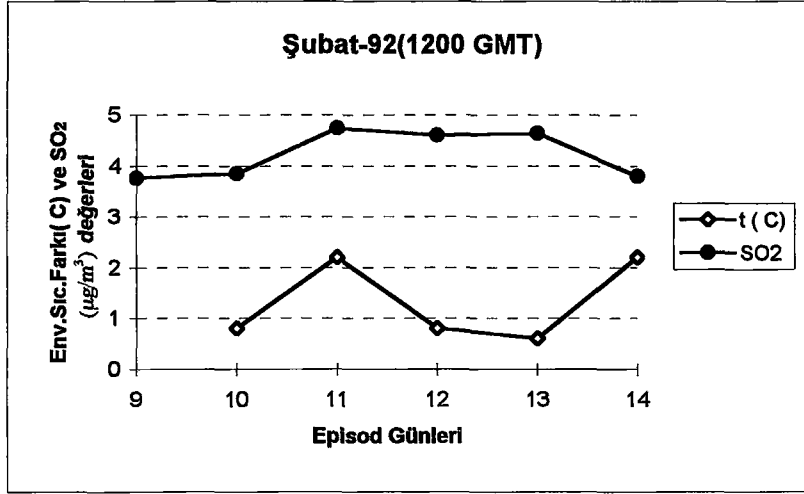
Şekil A.11(devam)



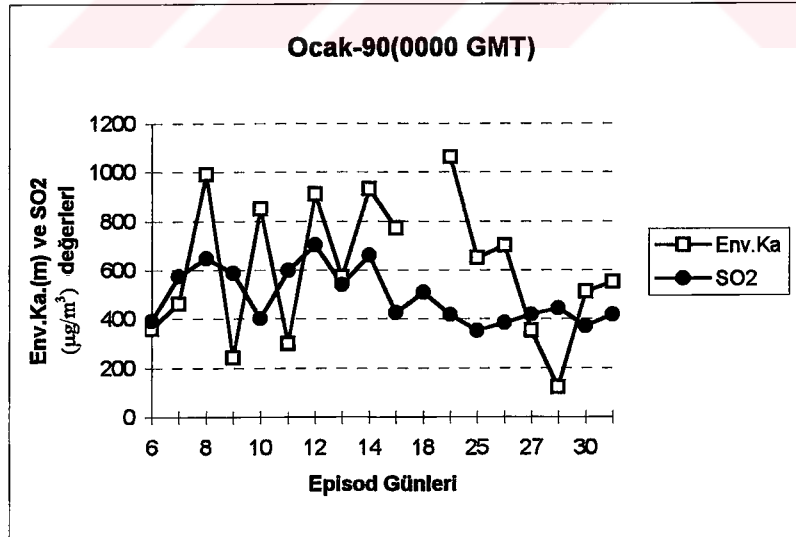
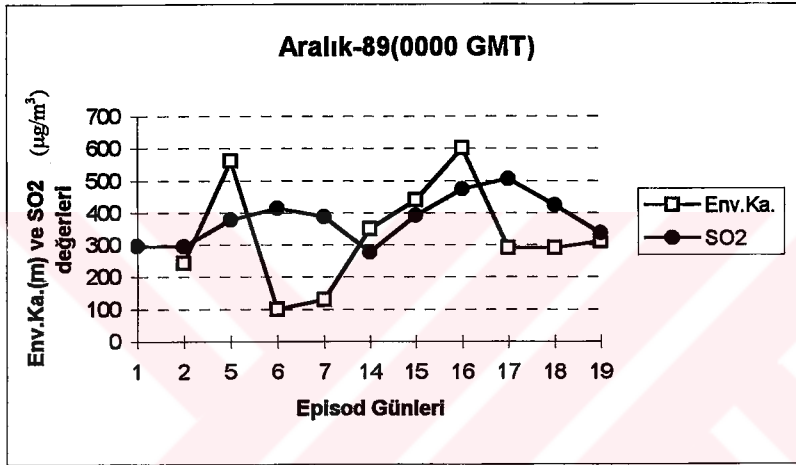
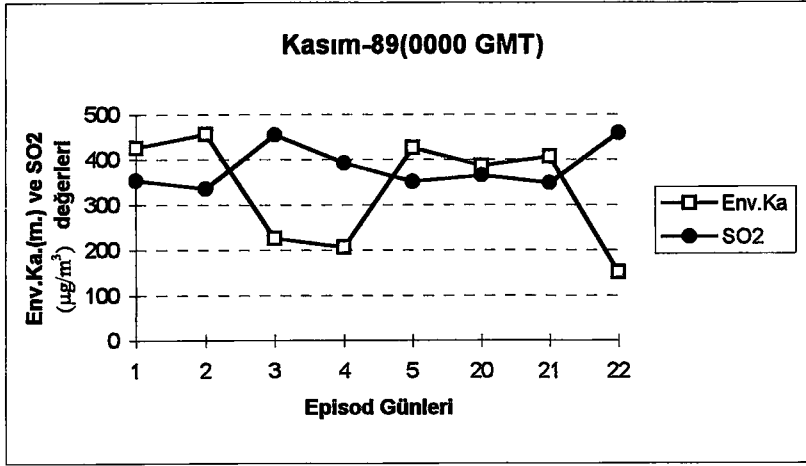
Şekil A.11(devam)



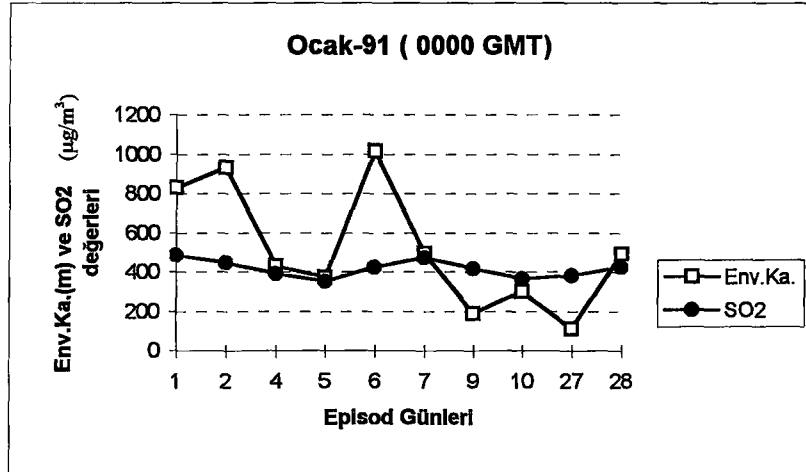
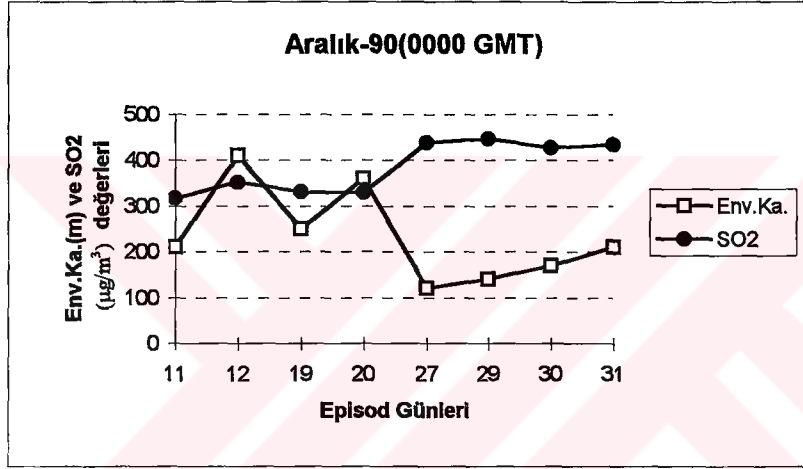
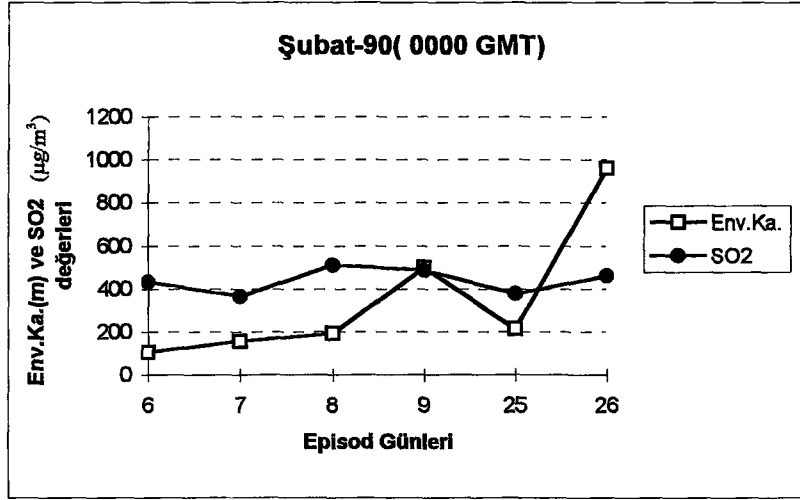
Şekil A.11(devam)



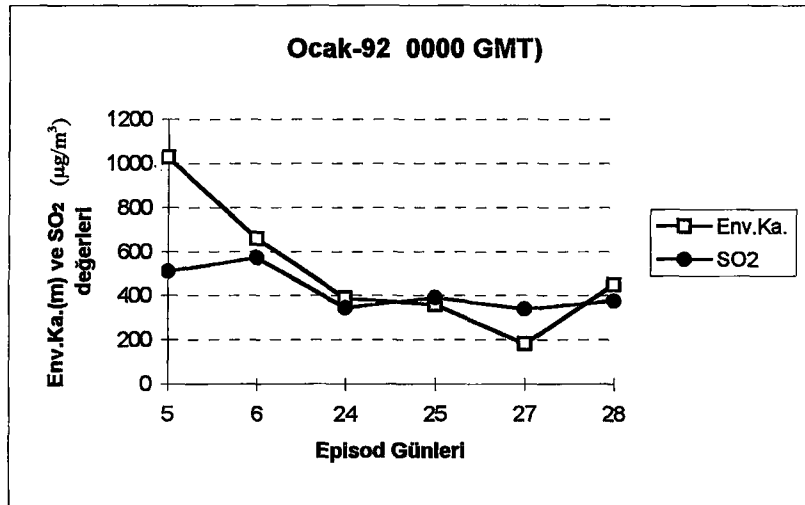
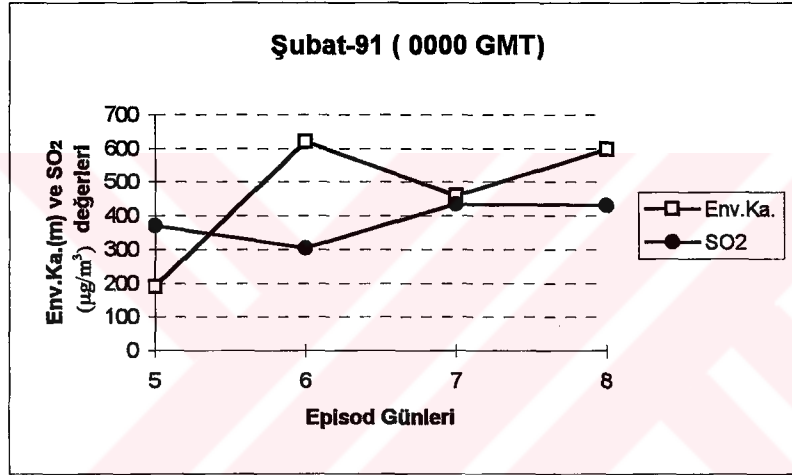
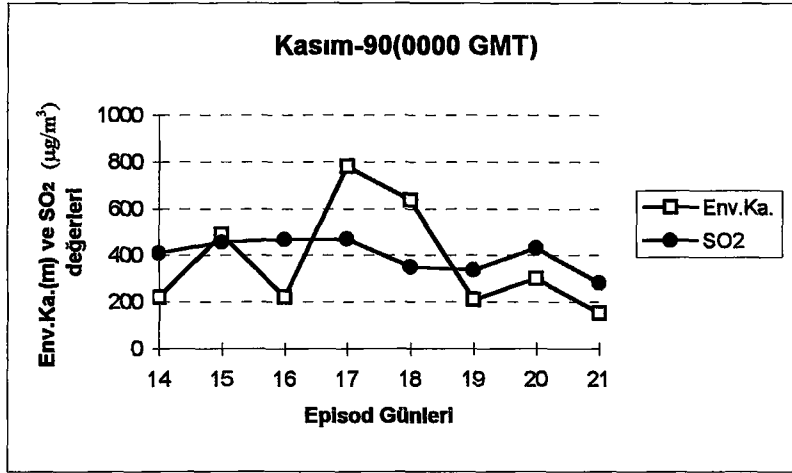
Şekil A.11(devam)



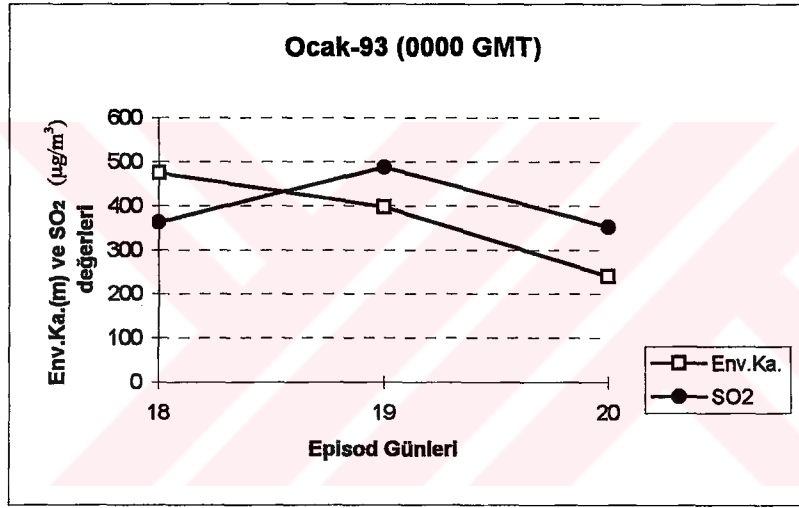
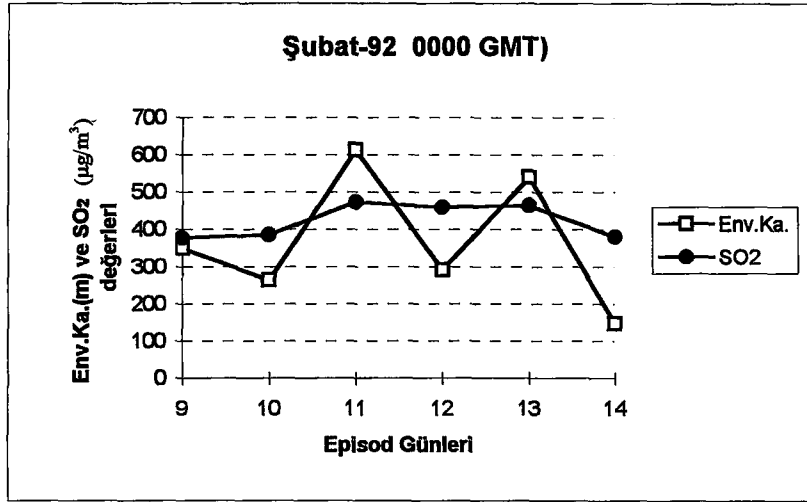
Şekil A.12 Enverziyon (0000 GMT ve 1200 GMT) kalınlığı ve SO<sub>2</sub> değerleri.



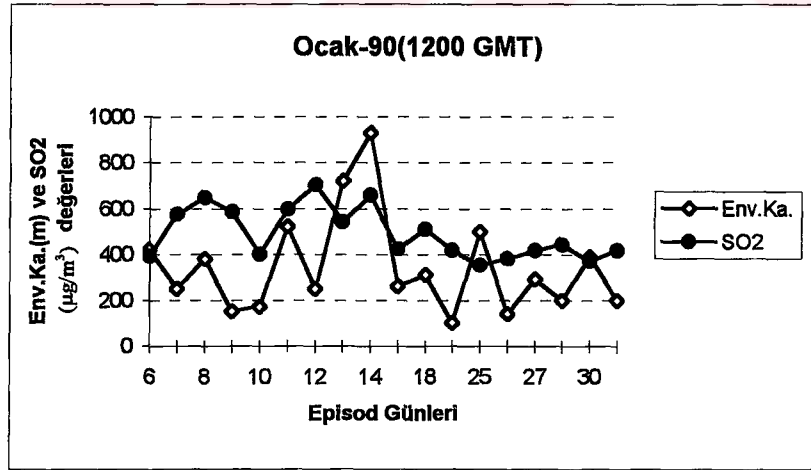
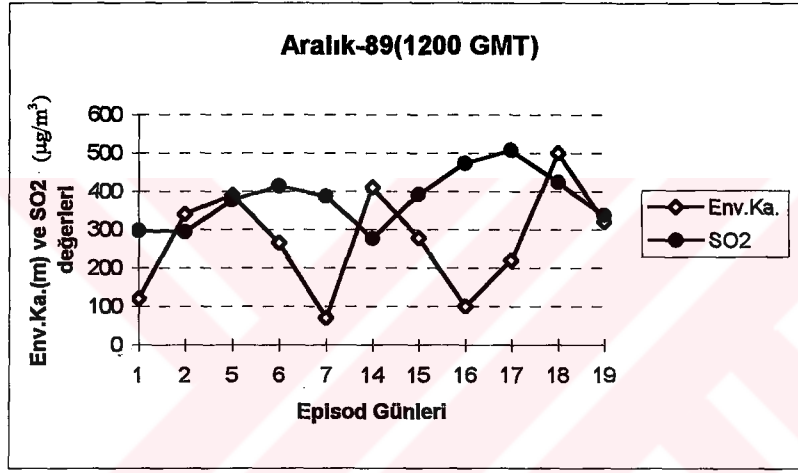
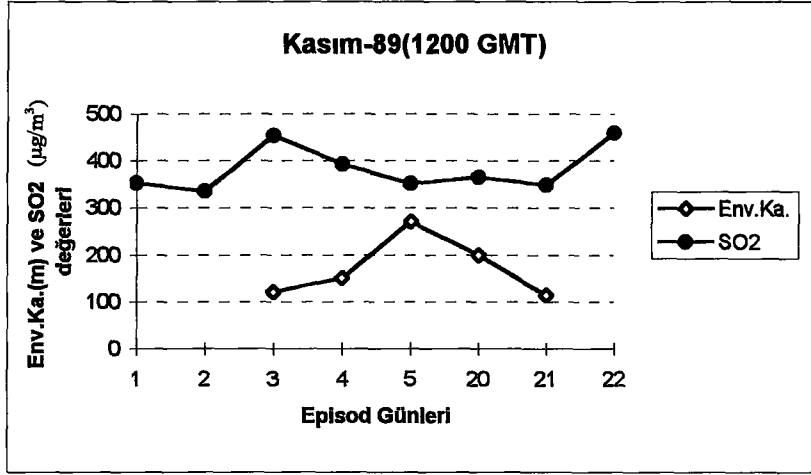
Şekil A.12 (devam)



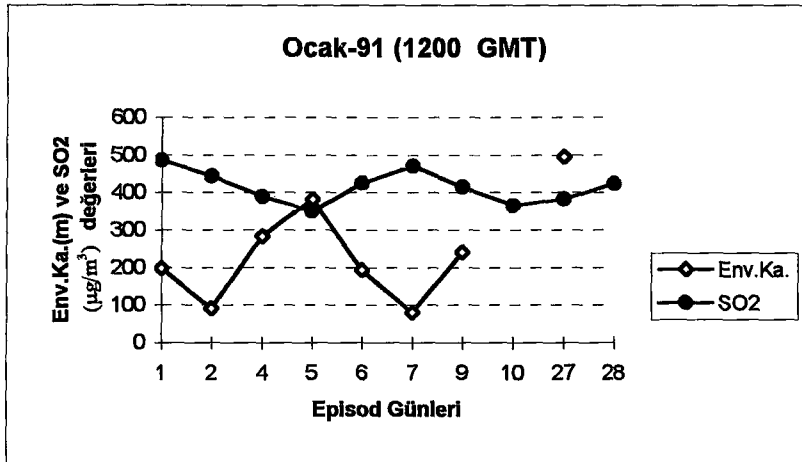
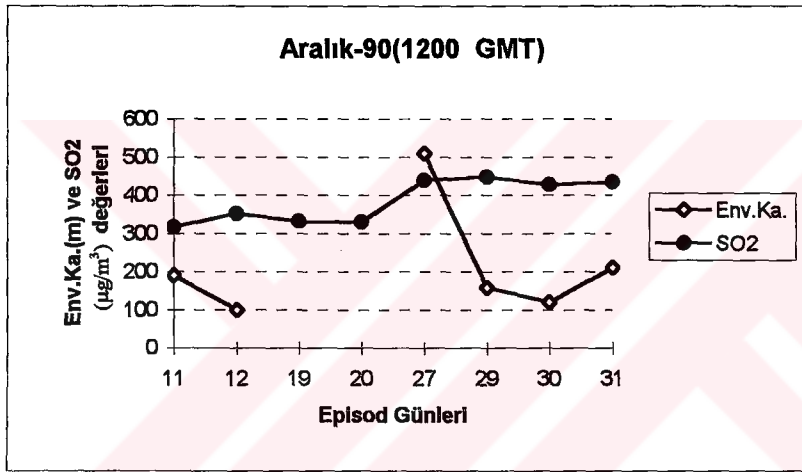
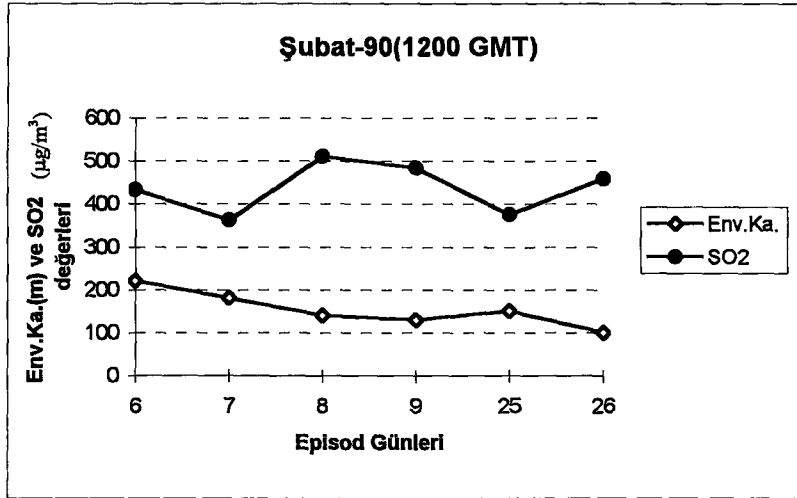
Şekil A.12 (devam)



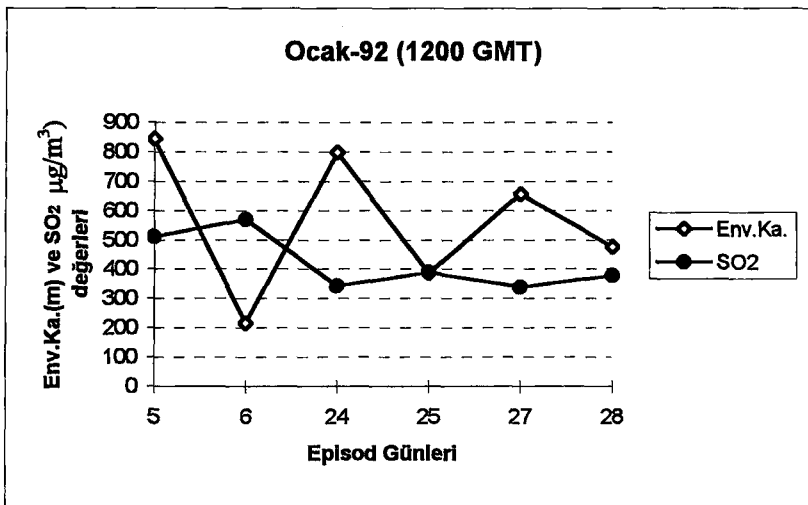
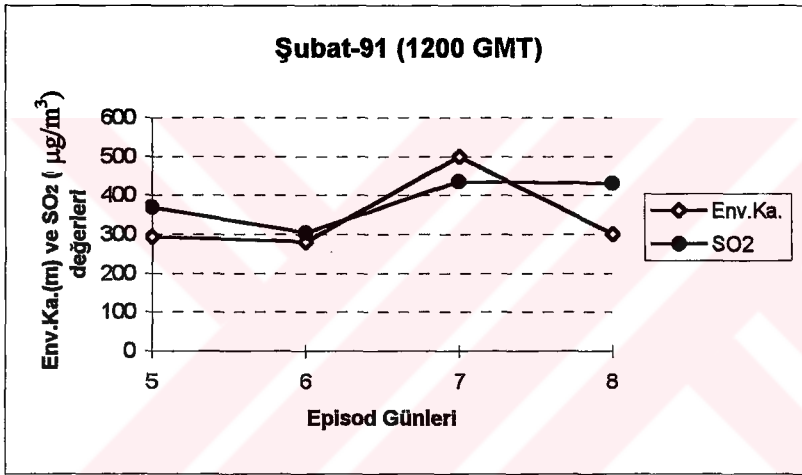
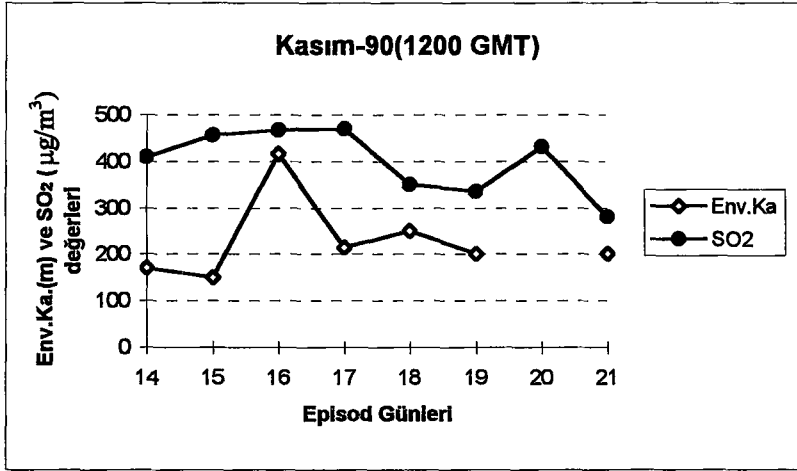
Şekil A.12 (devam)



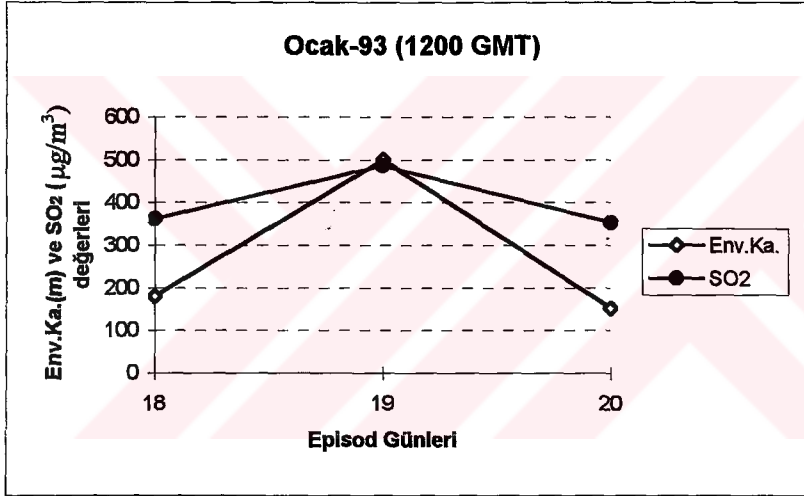
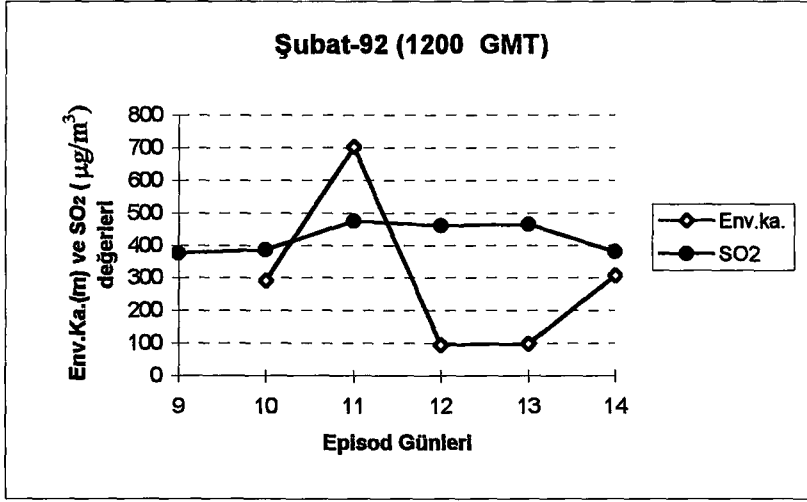
Şekil A.12 (devam)



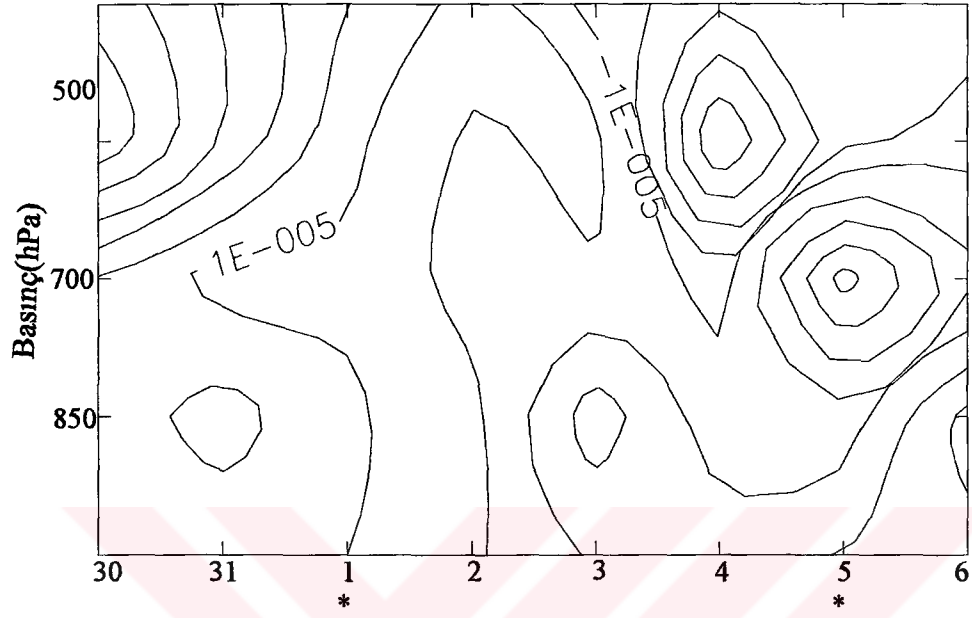
Şekil A.12 (devam)



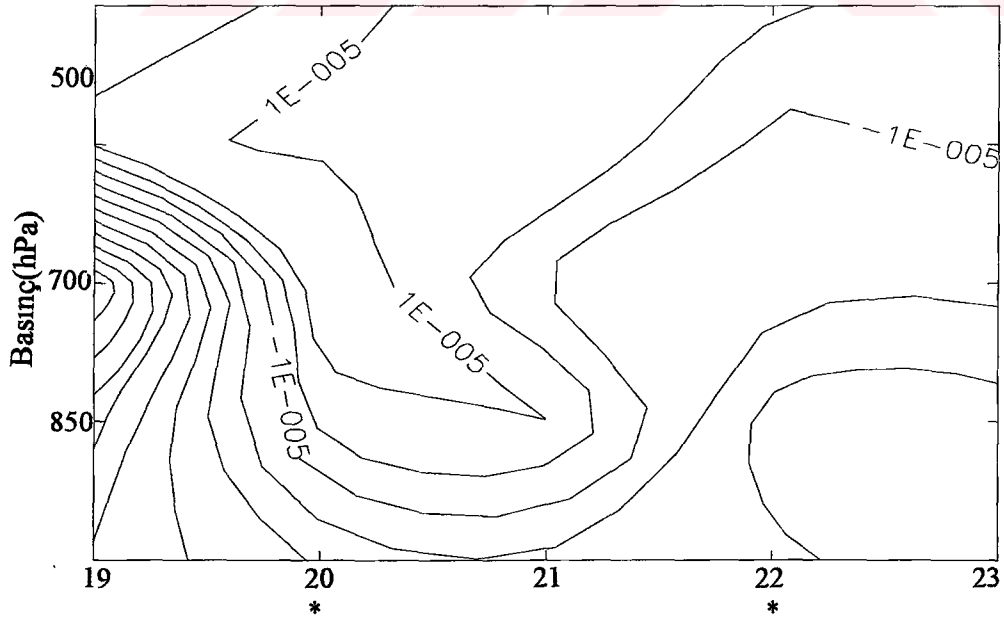
Şekil A.12 (devam)



Şekil A.12 (devam)

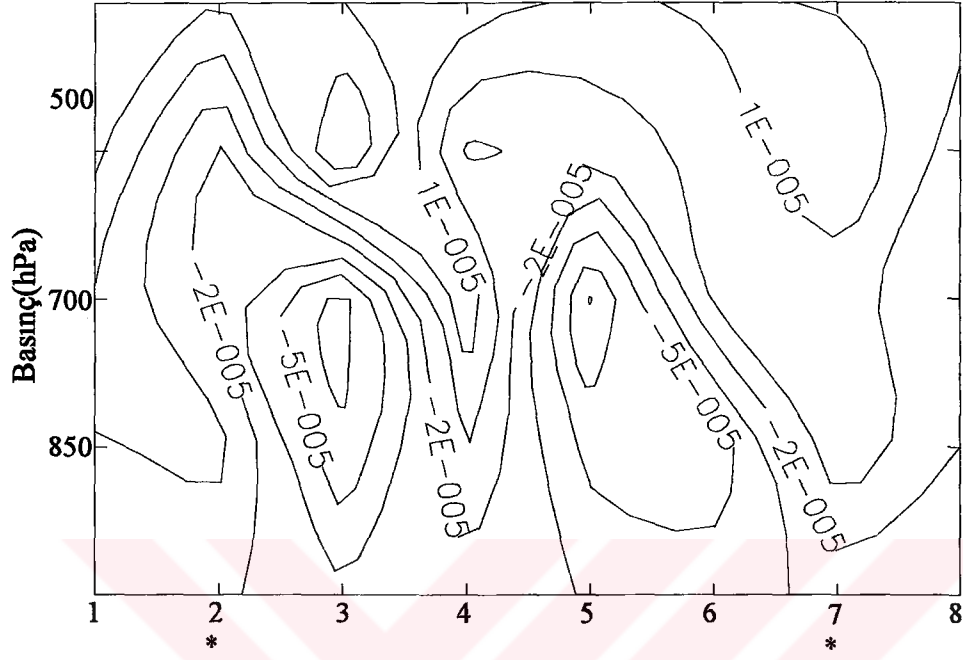


a)  $\zeta$  (E2) 01-05 Kasım 1989

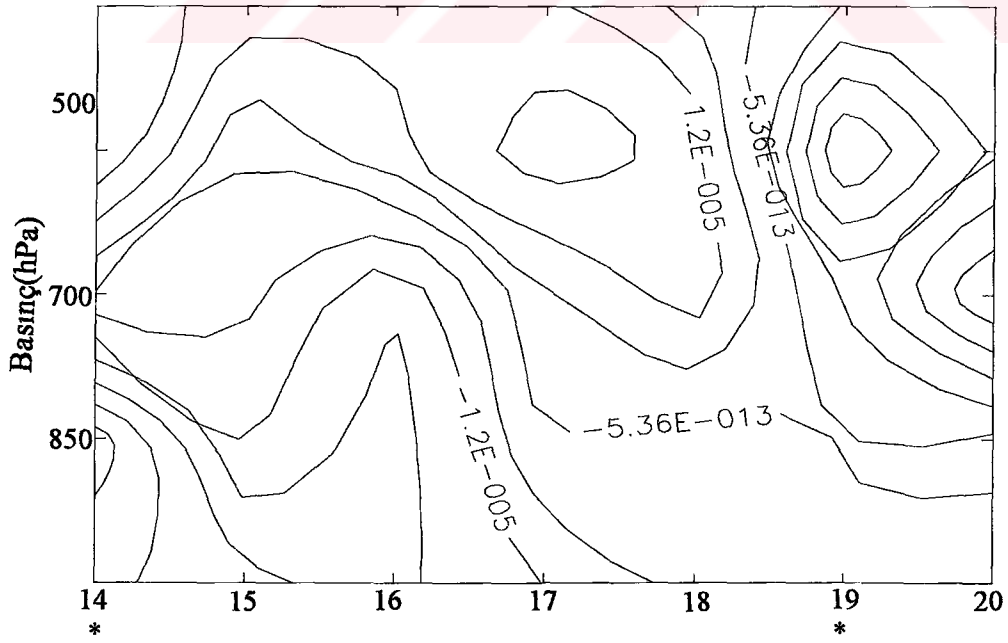


b)  $\zeta$  (E2) 20-22 Kasım 1989

Şekil A.13  $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  episod günlerine ait bağıl vortisitinin düşey profili.

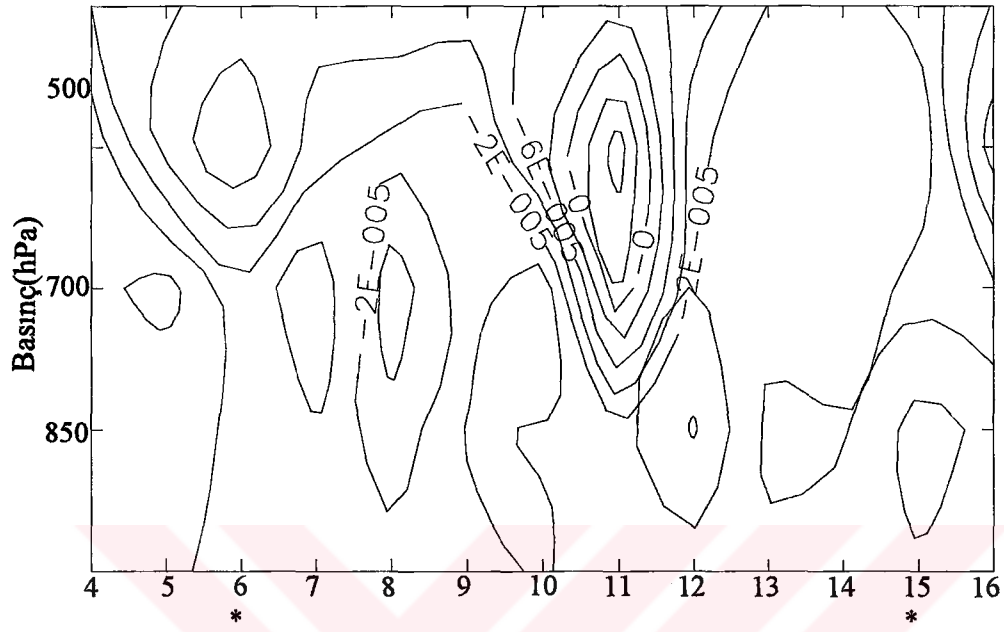


c)  $\zeta$  (E3-4) 01-07 Aralık 1989

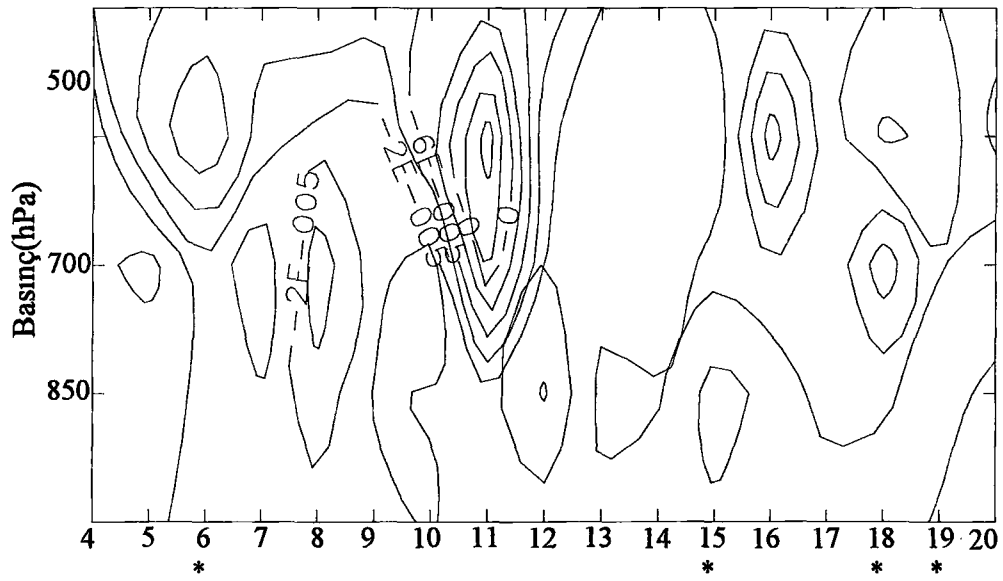


d)  $\zeta$  (E5) 14-19 Aralık 1989

Şekil A.13 (devam)

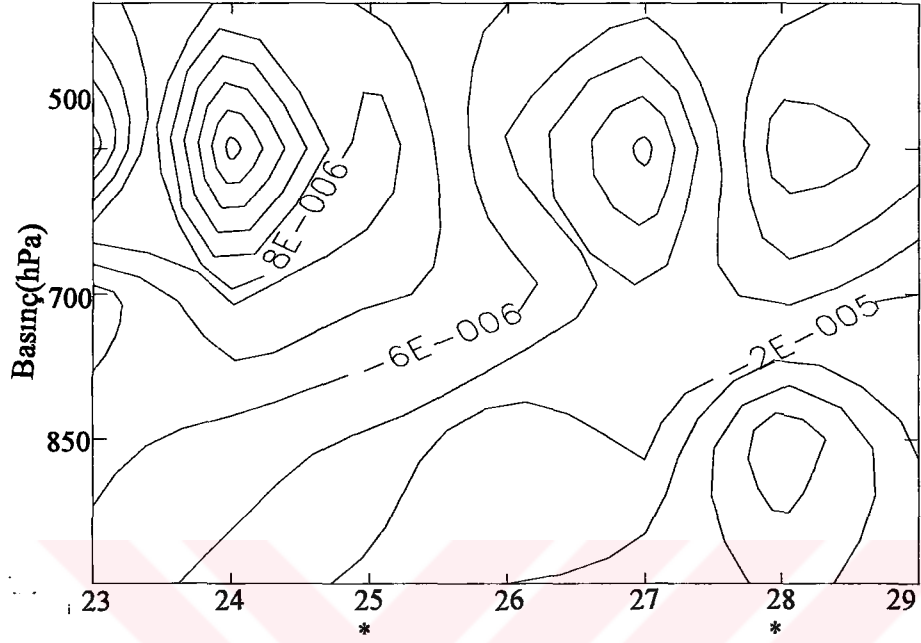


e)  $\zeta$  (E6) 06-15 Ocak 1990

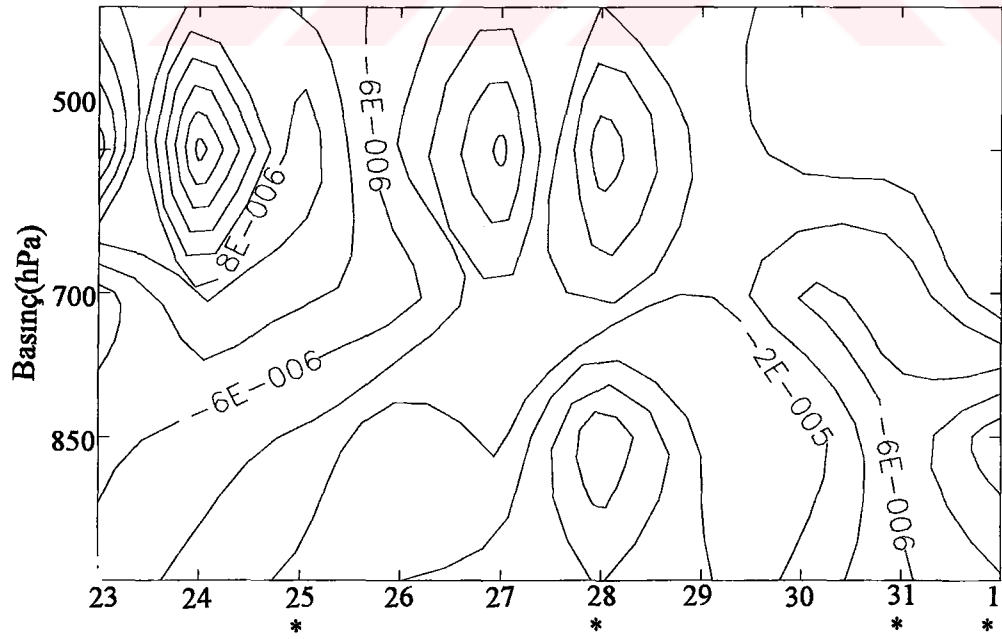


f)  $\zeta$  (E6-7) 06-20 Ocak 1990

Şekil A.13 (devam)

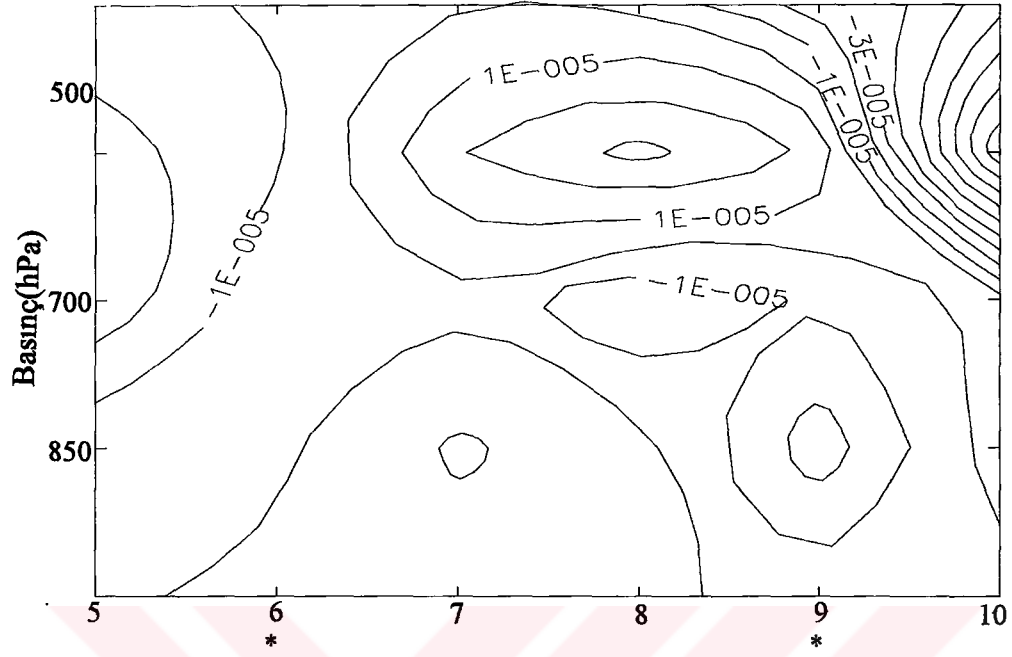


g)  $\zeta$  (E8) 25-28 Ocak 1990

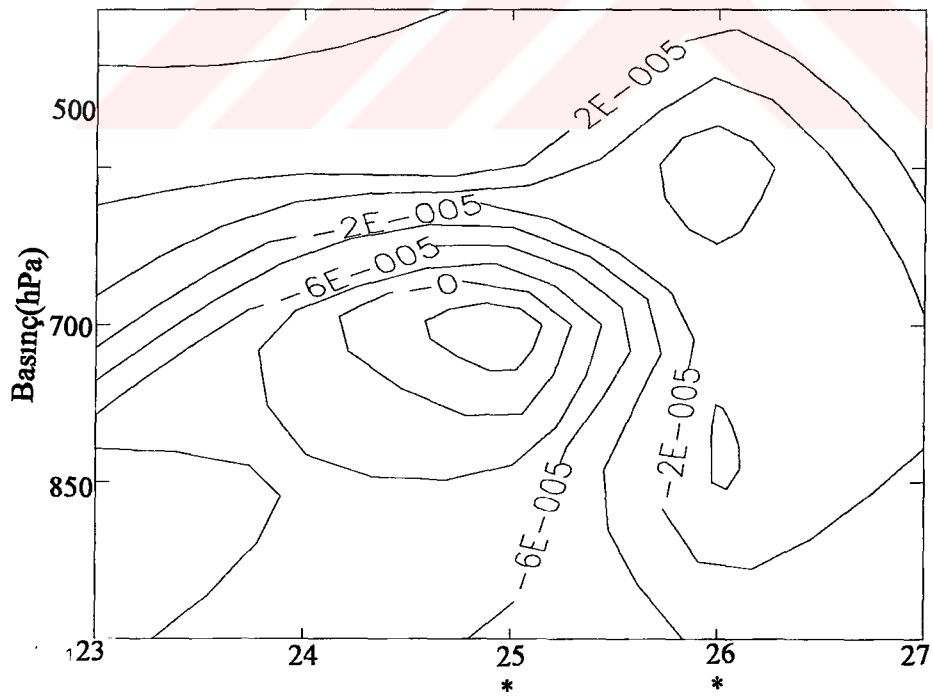


h)  $\zeta$  (E8-9) 25-31 Ocak 1990

Şekil A.13 (devam)

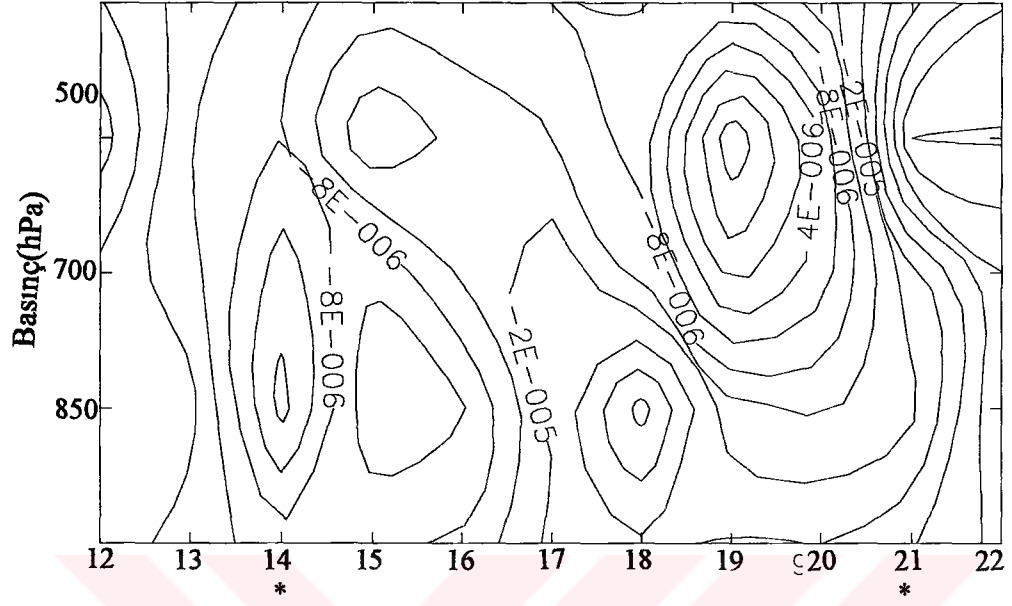


i)  $\zeta$  (E10) 06-09 Şubat 1990

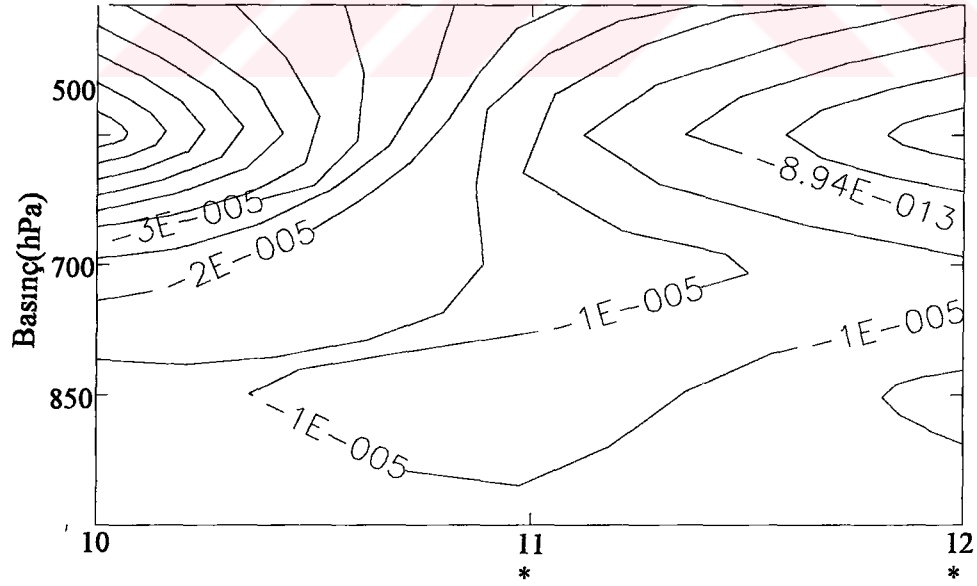


j)  $\zeta$  (E11) 25-26 Şubat 1990

Şekil A.13 (devam)

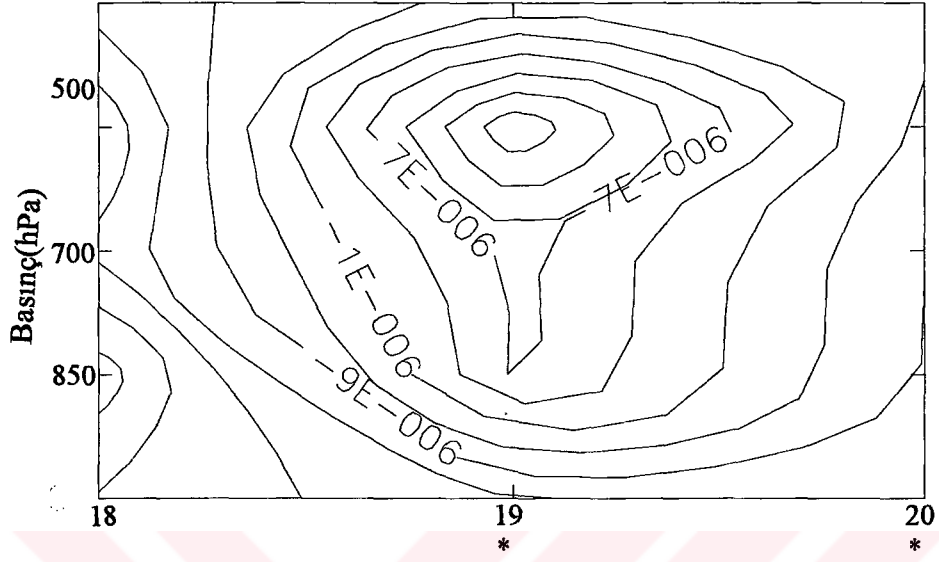


k)  $\zeta$  (E13) 14-21 Kasım 1990

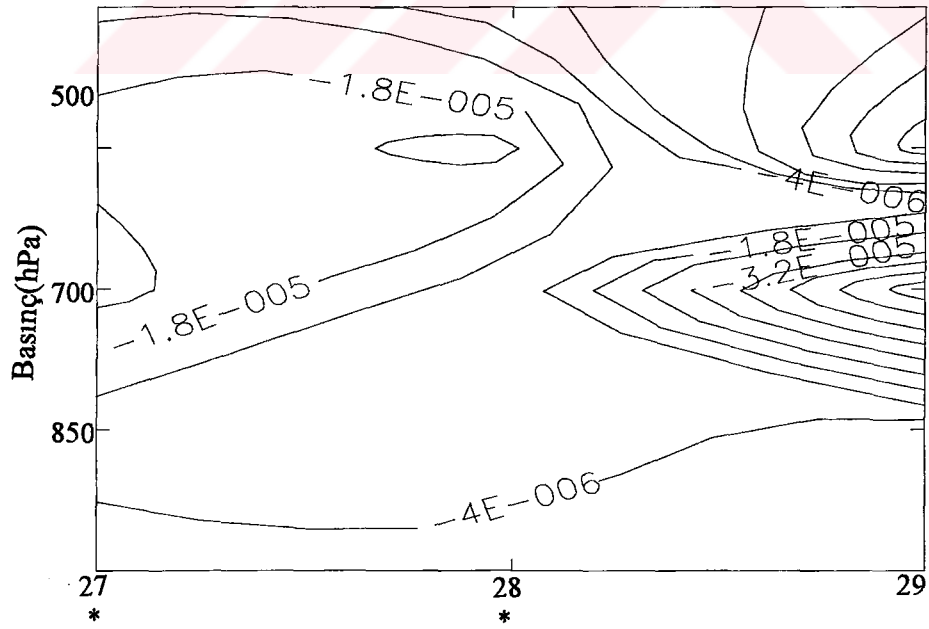


l)  $\zeta$  (E14) 11-12 Aralık 1990

Şekil A.13 (devam)

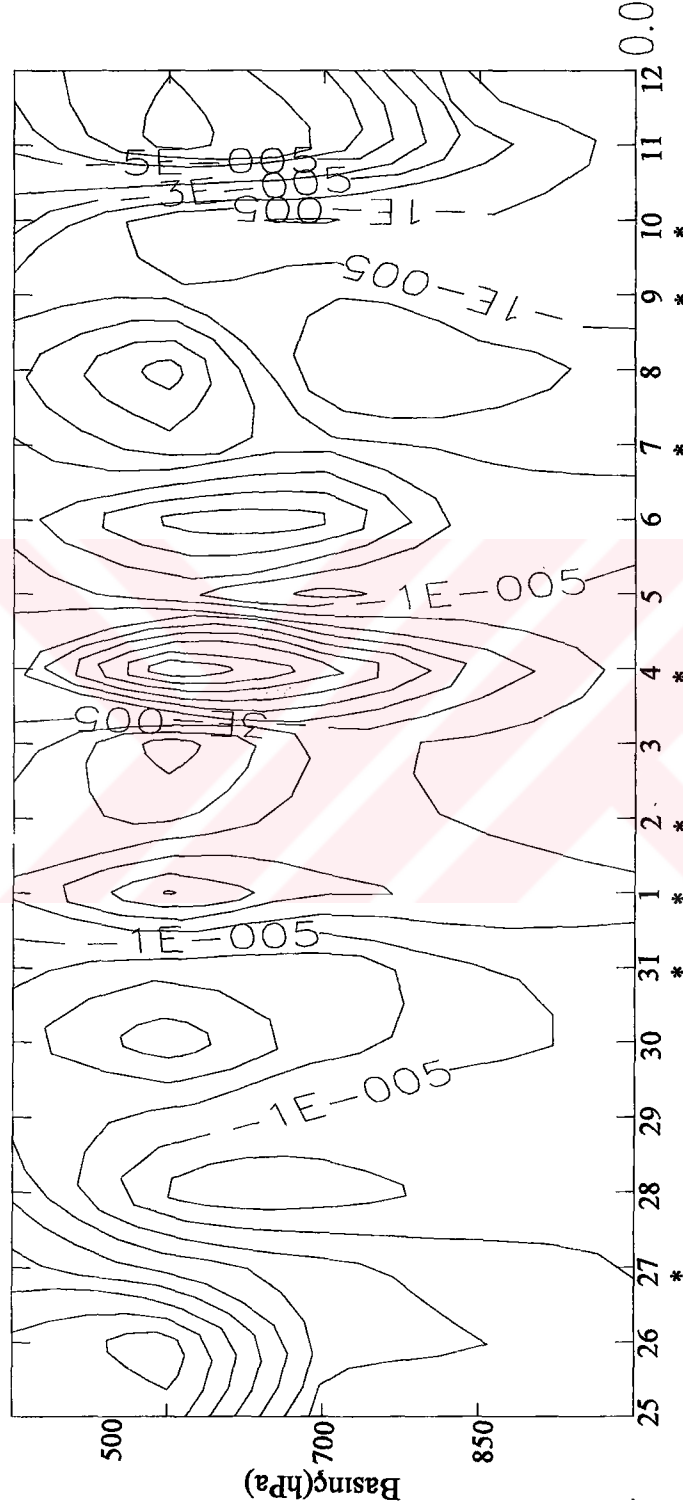


m)  $\zeta$  (E15) 19-20 Aralık 1990



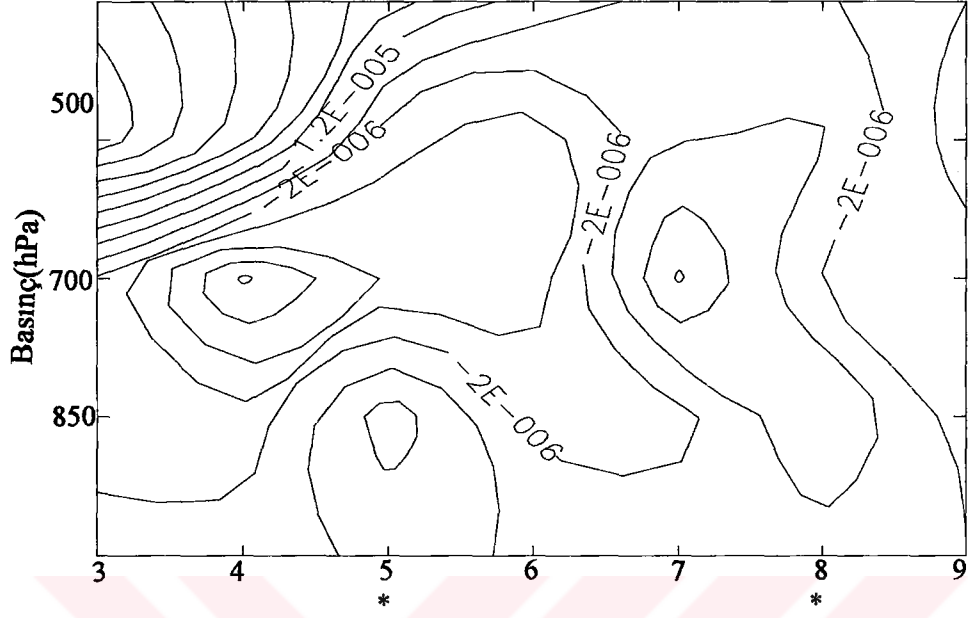
n)  $\zeta$  (E20) 27-28 Ocak 1991

Şekil A.13 (devam)

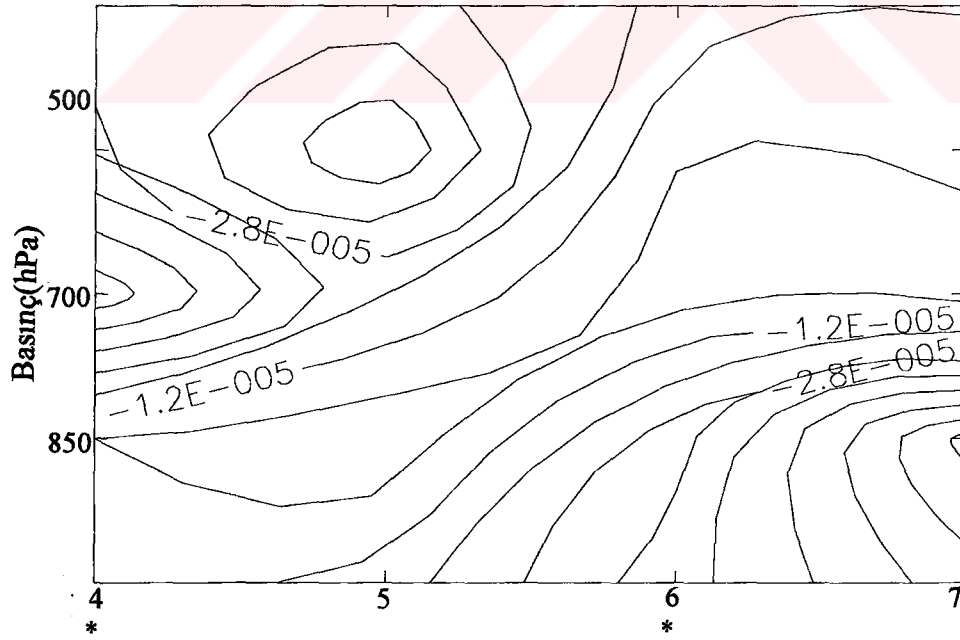


o)  $\zeta$  (E16-19) 27 Aralık 1990-10 Ocak 1991

Şekil A.13 (devam)

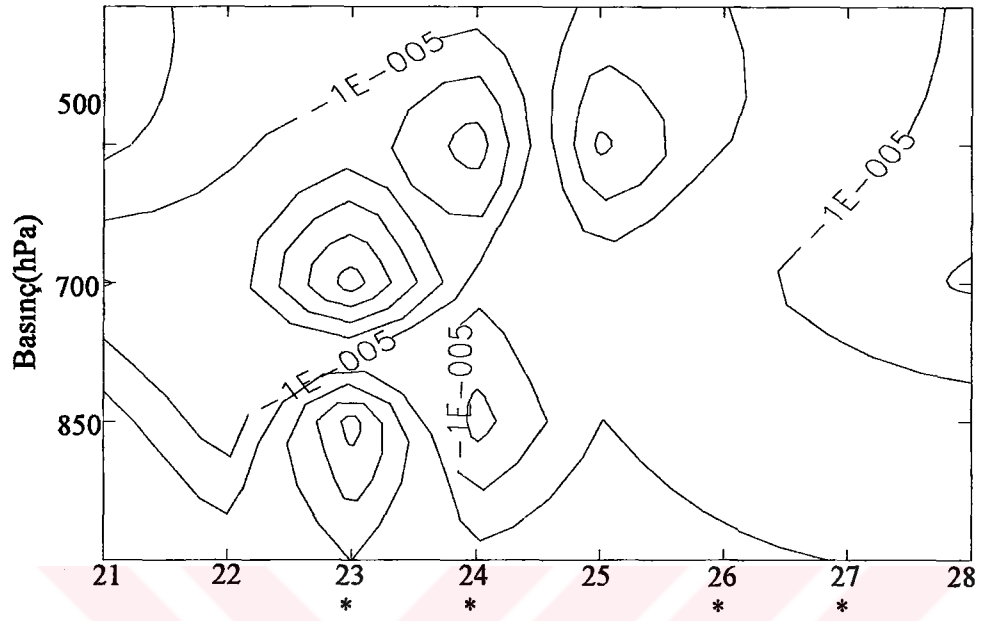


p) ζ (E21) 05-08 Şubat 1991

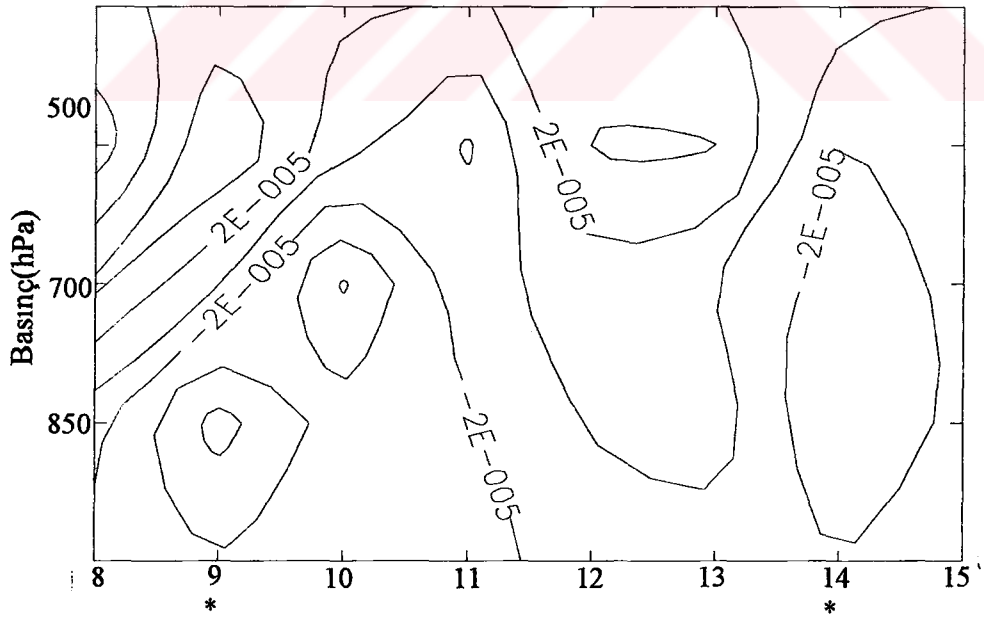


r) ζ (E22) 04-06 Ocak 1992

Şekil A.13 (devam)

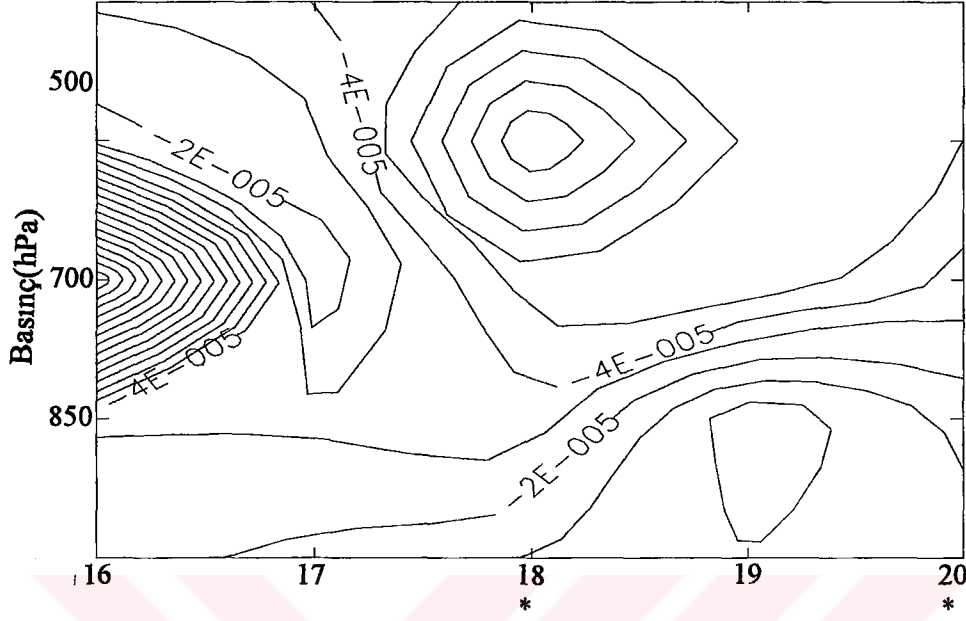


s)  $\zeta$  (E23-24) 24-28 Ocak 1992



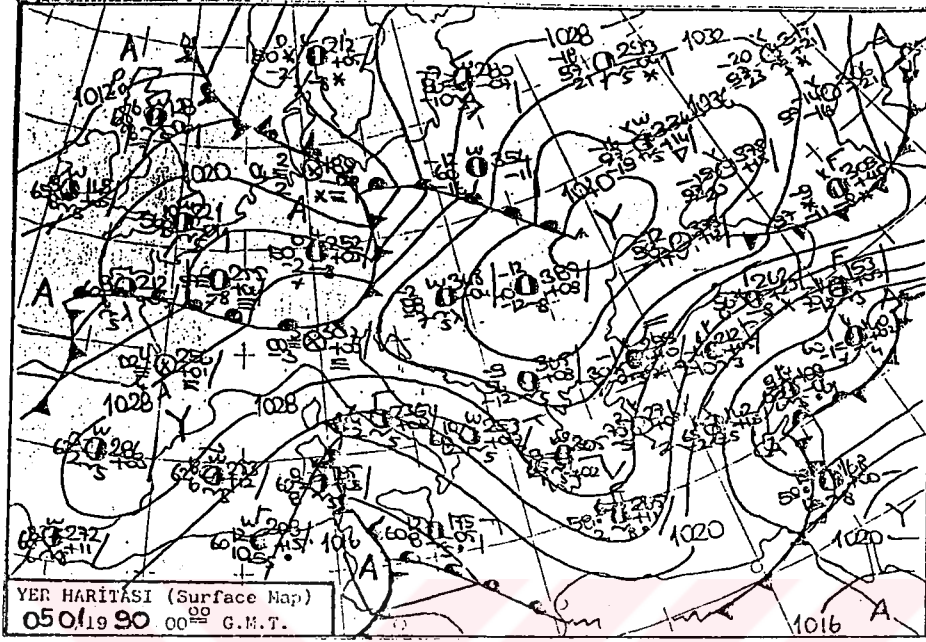
t)  $\zeta$  (E25) 09-14 Şubat 1992

Şekil A.13 (devam)

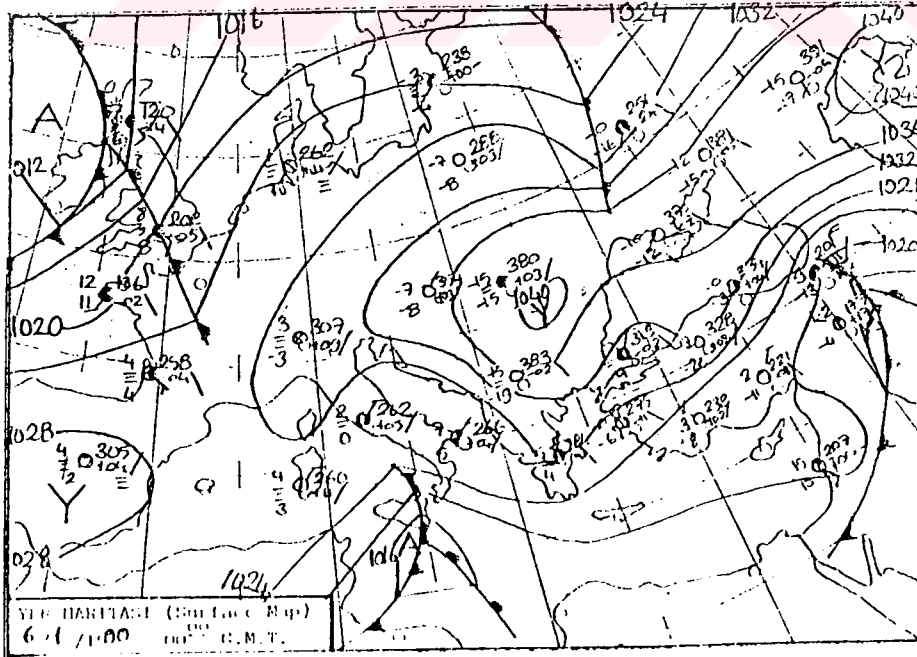


u)  $\zeta$  (E26) 18-20 Ocak 1993

Şekil A.13 (devam)

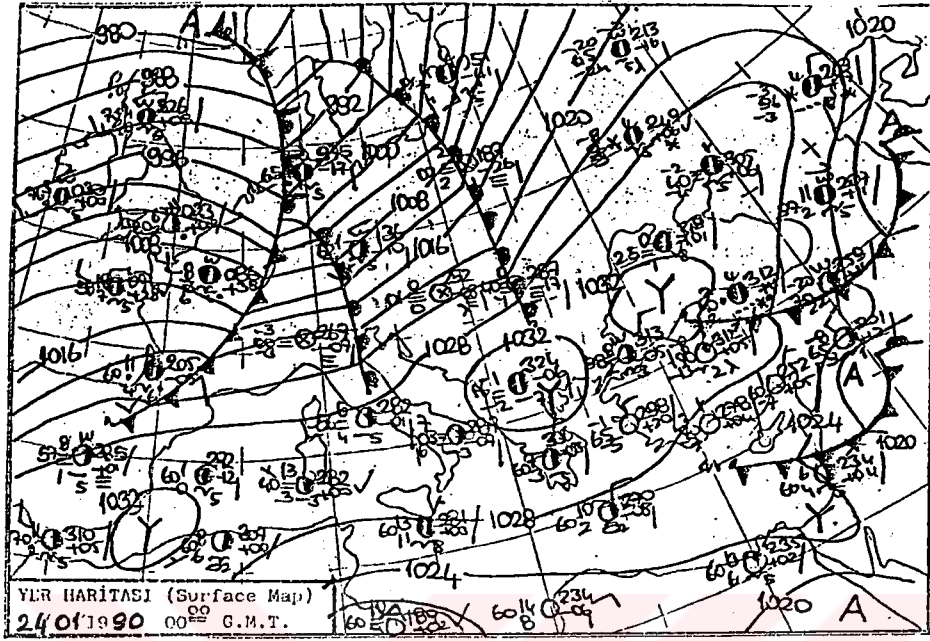


a) E6'nın bir önceki günü.

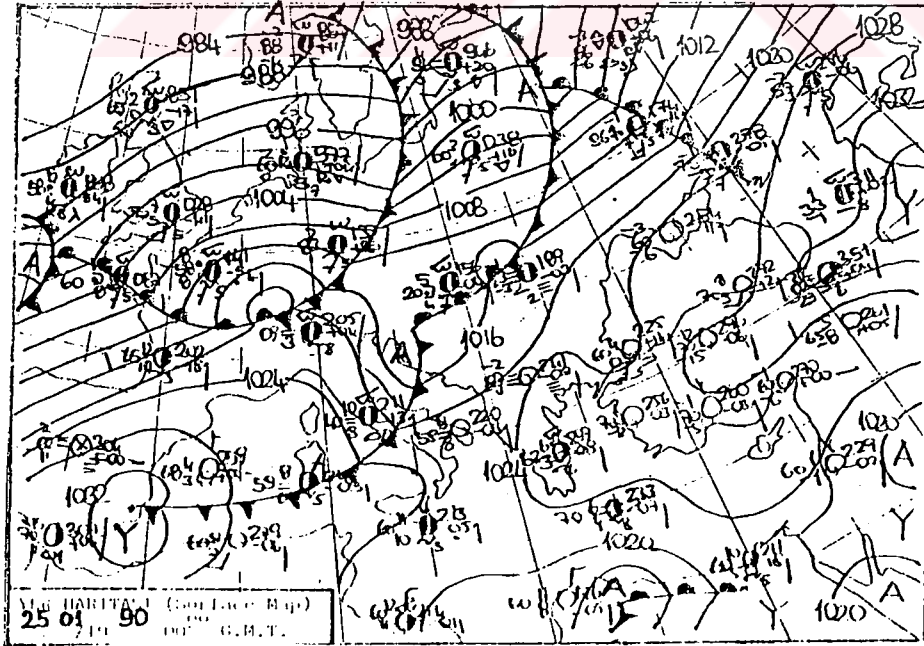


b) E6'nın birinci günü.

Şekil A.14 Episodların ( $\text{SO}_2 \geq 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) birinci ve bir önceki gününe ait sinoptik yer haritaları

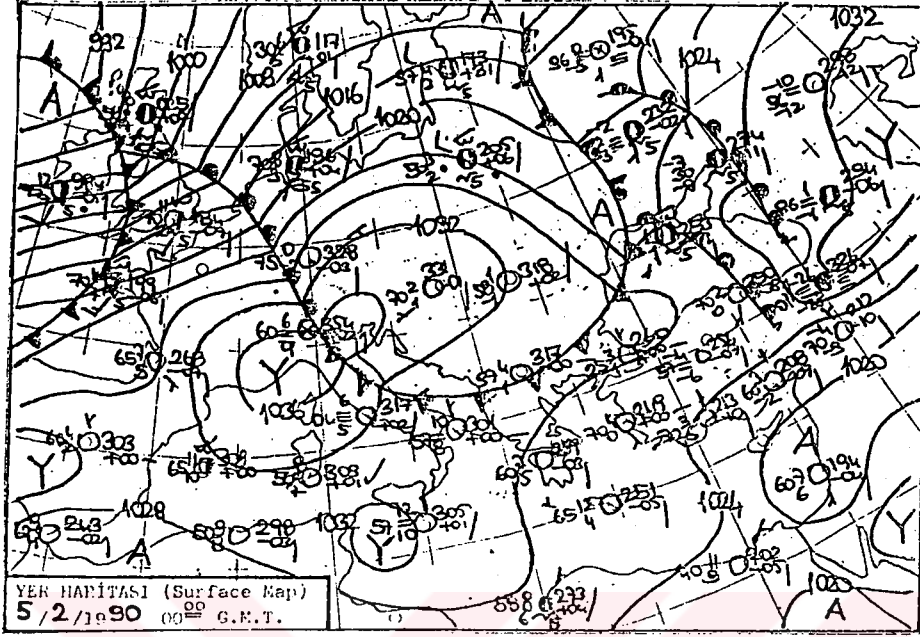


c) E8'in bir önceki günü.

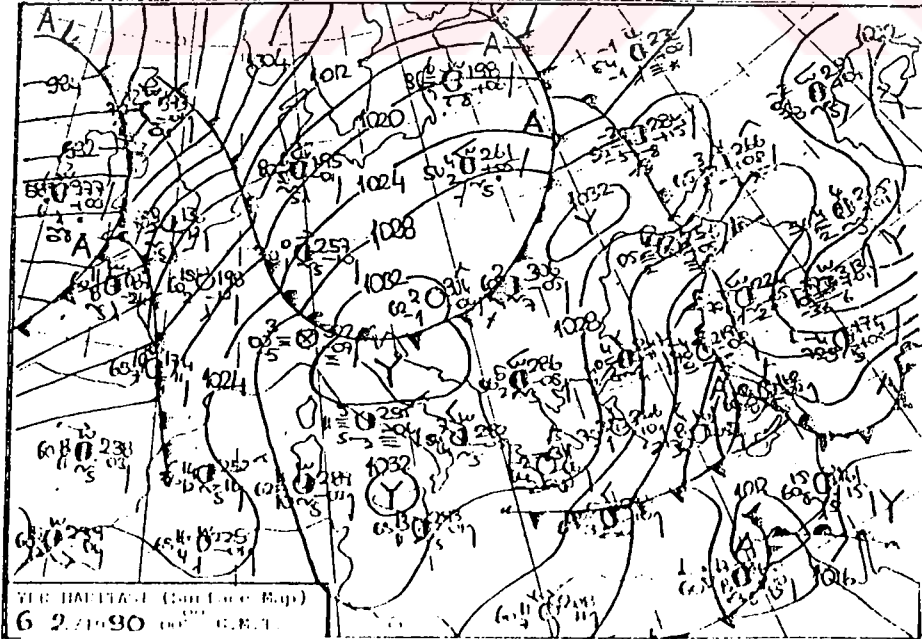


d) E8'in birinci günü.

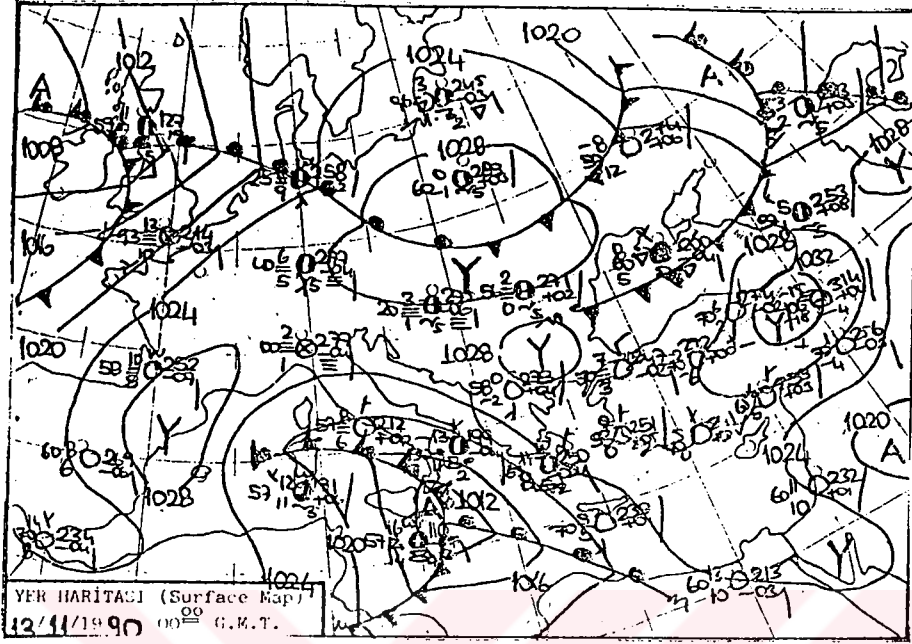
Şekil A.14 (devam)



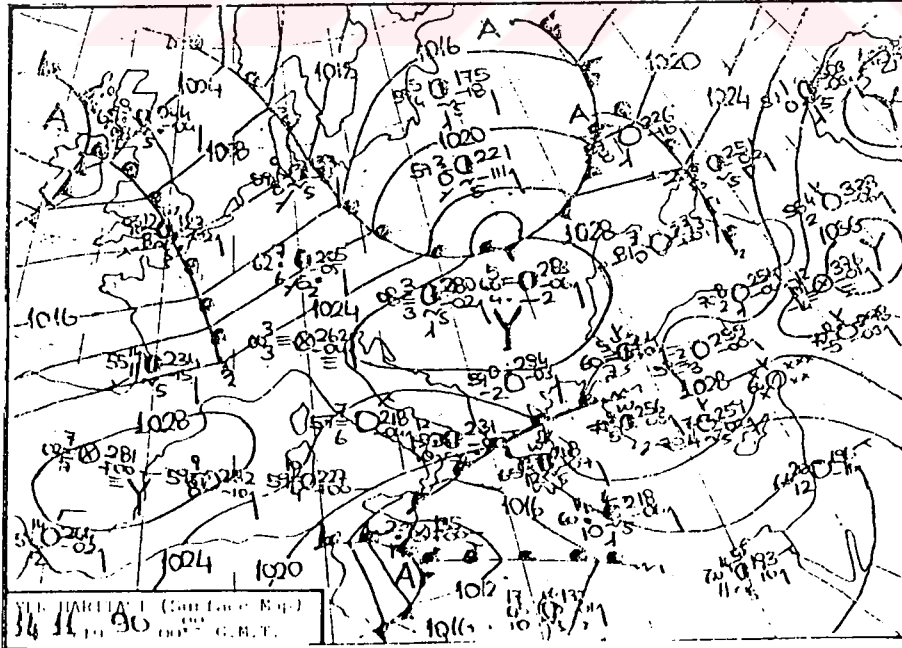
e) E10'nun bir önceki günü



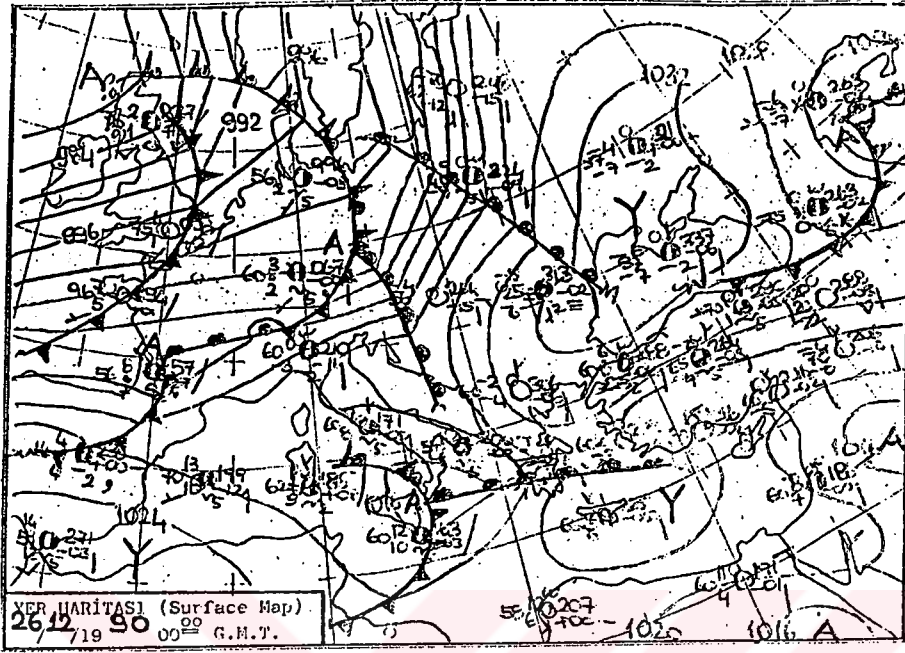
f) E10'nun birinci günü



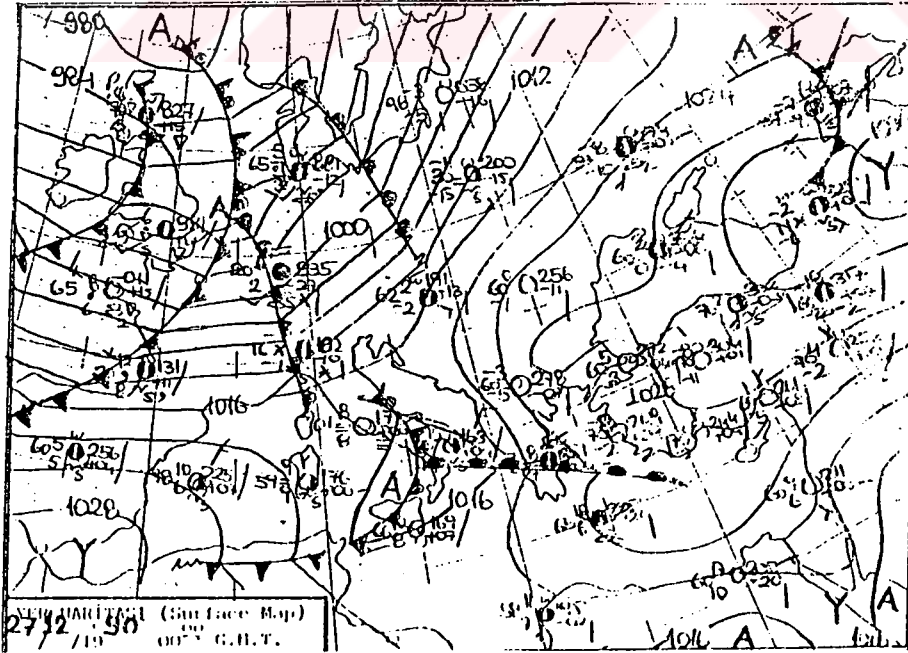
g) E13'ün bir önceki günü



h) E13'ün birinci günü

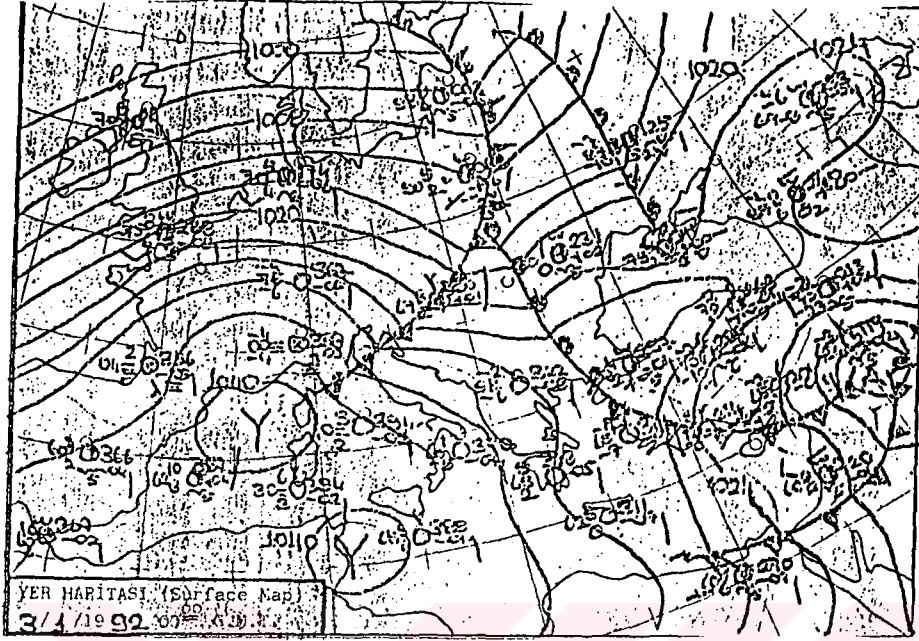


i) E16'nın bir önceki günü

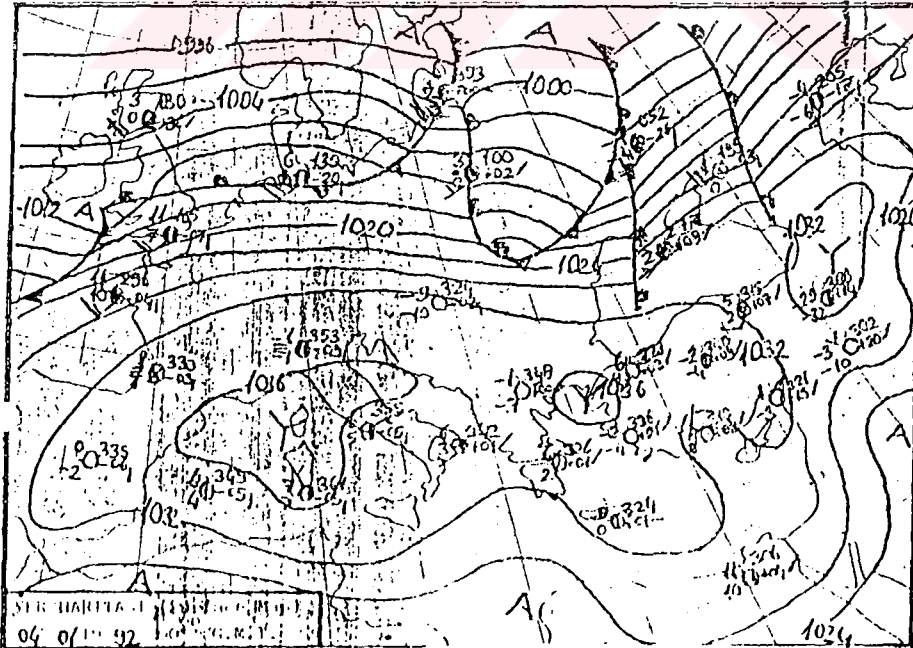


j) E16'nın birinci günü

Şekil A.14 (devam)

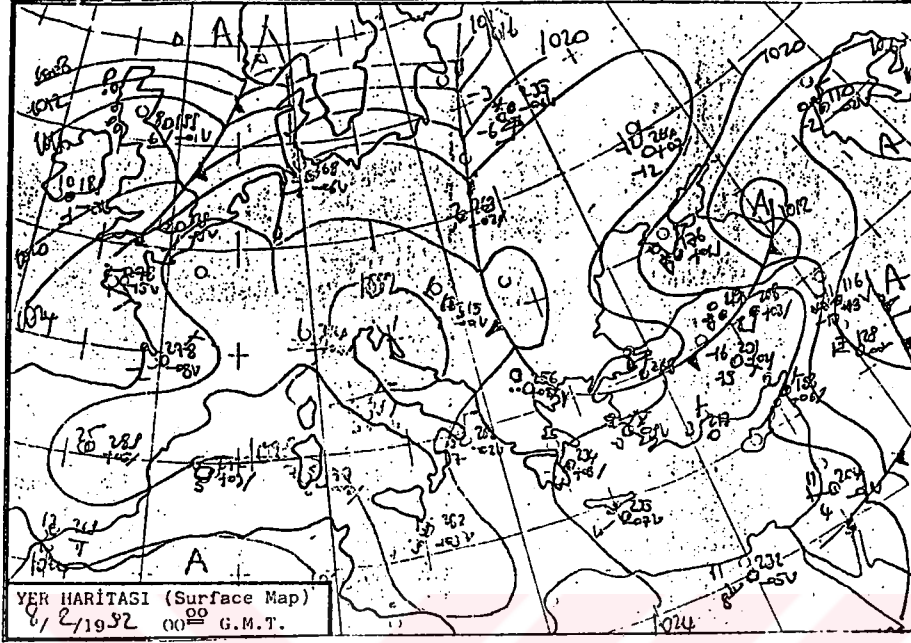


k) E22'nin bir önceki günü

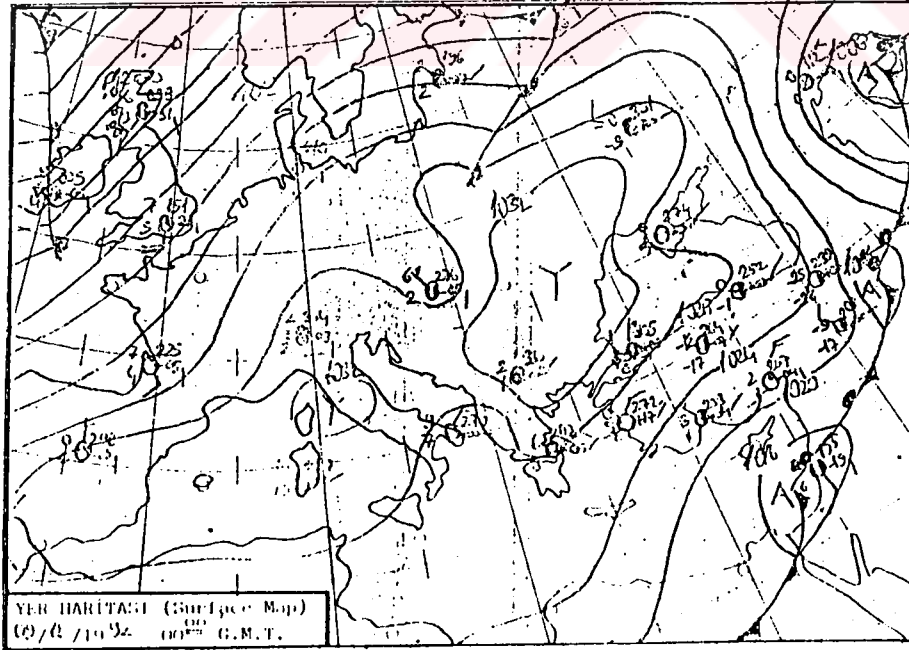


l) E22'nin birinci günü

Şekil A.14 (devam)

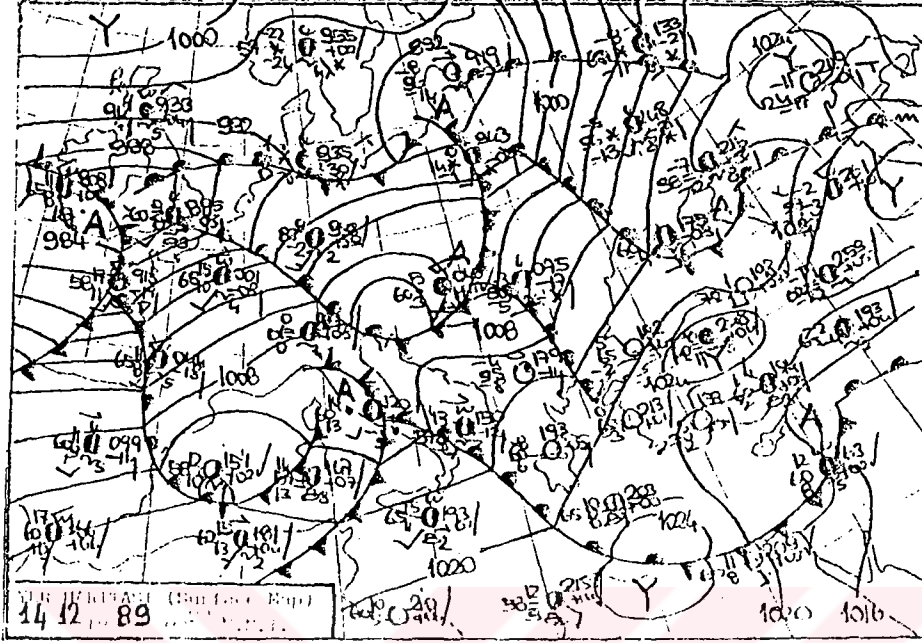


m) E25'in bir önceki günü

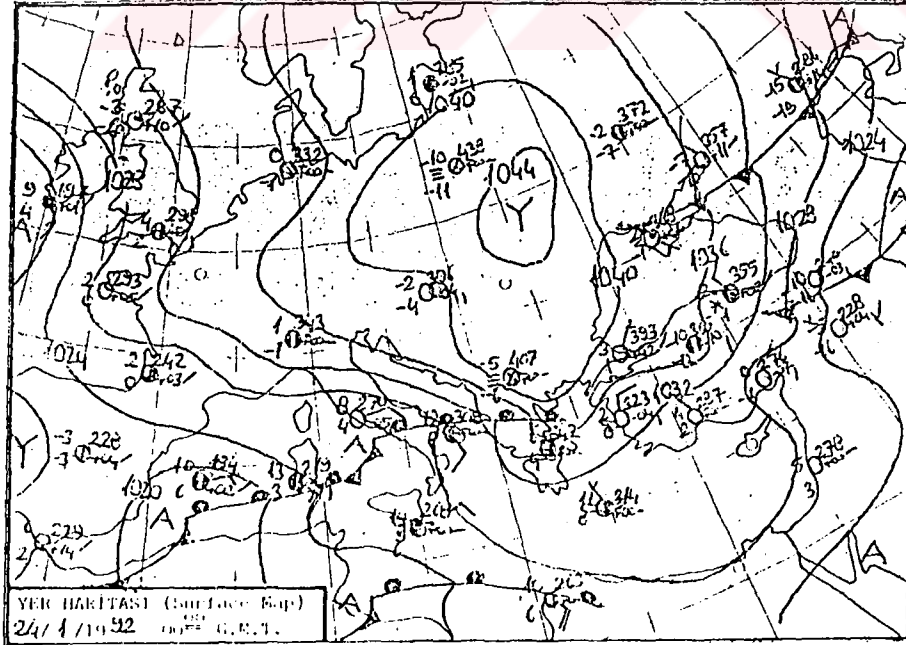


n) E25'in birinci günü

Şekil A.14 (devam)

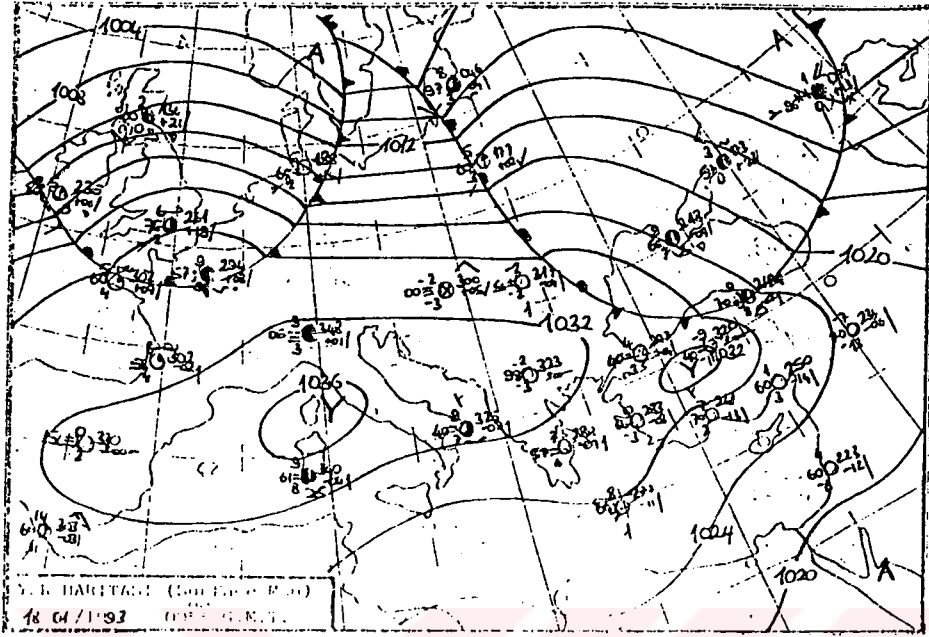


o) E5'in birinci günü



p) E23'ün birinci günü

Şekil A.14 (devam)



r) E26'nın birinci günü

Şekil A.14 (devam)

Tablo B.1 SO<sub>2</sub> ≥ 400 µg/m<sup>3</sup> episod günlerindeki sabit basınç seviyelerindeki (0000 GMT) sıcaklık değerleri (°C).

| Episodlar     |         | E4S01(01-05/11/1989) |     |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S02 (20-22/11/1989) |       |       |       |       |       |    |     |     |       | E4S03 (01-02/12/1989) |       |    |     |     |       |       |       |    |     |     |       |       |       |
|---------------|---------|----------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----|-----|-----|-------|-----------------------|-------|----|-----|-----|-------|-------|-------|----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Günler        |         | G-2                  | G-1 | G0    | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | E+1   | G-2   | G-1   | G0                    | G+1   | G+2   | E+1   | G-2   | G-1   | G0 | G+1 | G+2 | E+1   | G-2                   | G-1   | G0 | G+1 | G+2 | E+1   | G-2   | G-1   | G0 | G+1 | G+2 | E+1   |       |       |
| Basınç<br>Yer |         | *                    | *   | 4.8   | 6.4   | 5.6   | 6.0   | 5.6   | 6.0   | -2.1  | -1.1  | -4.5                  | -4.1  | 2.0   | 7.0   | 2.4   | -1.5  | *  | *   | *   | 7.0   | 2.4                   | -1.5  | *  | *   | *   | 7.0   | 2.4   | -1.5  | *  | *   | *   | 7.0   | 2.4   | -1.5  |
|               | 850 hPa | *                    | *   | 7.4   | 7.0   | 7.0   | 9.0   | 9.0   | 10.4  | -6.1  | -6.7  | -6.3                  | -5.1  | 2.0   | 6.0   | -0.9  | -6.5  | *  | *   | *   | 6.0   | -0.9                  | -6.5  | *  | *   | *   | 6.0   | -0.9  | -6.5  | *  | *   | *   | 6.0   | -0.9  | -6.5  |
|               | 700 hPa | *                    | *   | 1.0   | -2.5  | 2.4   | 1.2   | 2.8   | 2.2   | -13.3 | -15.3 | -10.7                 | -8.1  | -5.7  | -4.5  | -3.1  | -14.5 | *  | *   | *   | -4.5  | -3.1                  | -14.5 | *  | *   | *   | -4.5  | -3.1  | -14.5 | *  | *   | *   | -4.5  | -3.1  | -14.5 |
|               | 500 hPa | *                    | *   | -19.1 | -17.9 | -16.1 | -16.7 | -15.3 | -16.3 | -24.1 | -24.9 | -23.9                 | -23.3 | -23.7 | -19.9 | -17.3 | -23.9 | *  | *   | *   | -19.9 | -17.3                 | -23.9 | *  | *   | *   | -19.9 | -17.3 | -23.9 | *  | *   | *   | -19.9 | -17.3 | -23.9 |

| Episodlar     |         | E4S04(05-07/12/1989) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S05(14-19/12/1989) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S06(06-15/01/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Günler        |         | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | G+2                  | G+3   | G+4   | G+5   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | G+3                  | G+4   | G+5   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | E+1   |       |       |
| Basınç<br>Yer |         | -3.1                 | -2.9  | -2.7  | -4.7  | -1.5  | 2.8   | -6.1  | -5.9  | -6.9  | -5.1  | -3.3                 | 1.6   | 3.8   | 1.0   | 1.2   | 0.4   | -2.5  | -10.5 | -13.5 | 0.4   | -2.5                 | -10.5 | -13.5 | 0.4   | -2.5  | -10.5 | -13.5 | 0.4   | -2.5  | -10.5 | -13.5 | 0.4   | -2.5  | -10.5 | -13.5 | 0.4   | -2.5  | -10.5 |
|               | 850 hPa | -8.1                 | -7.1  | -6.9  | -5.3  | -5.1  | -0.7  | -8.9  | -11.1 | -12.3 | -2.3  | 1.0                  | 5.2   | 6.6   | 7.0   | 5.8   | -1.7  | -7.9  | -12.7 | -7.3  | -1.7  | -7.9                 | -12.7 | -7.3  | -1.7  | -7.9  | -12.7 | -7.3  | -1.7  | -7.9  | -12.7 | -7.3  | -1.7  | -7.9  | -12.7 | -7.3  | -1.7  | -7.9  | -12.7 |
|               | 700 hPa | -14.1                | -9.9  | -5.1  | -8.3  | -9.7  | -7.3  | -9.5  | -8.1  | -6.9  | -8.1  | -0.9                 | -4.3  | 1.6   | 1.6   | 3.8   | -12.1 | -17.1 | -13.9 | -13.1 | -12.1 | -17.1                | -13.9 | -13.1 | -12.1 | -17.1 | -13.9 | -13.1 | -12.1 | -17.1 | -13.9 | -13.1 | -12.1 | -17.1 | -13.9 | -13.1 | -12.1 | -17.1 | -13.9 |
|               | 500 hPa | -27.3                | -20.5 | -21.5 | -23.1 | -23.1 | -21.9 | -25.7 | -26.7 | -24.3 | -21.9 | -20.1                | -16.9 | -14.5 | -18.1 | -14.5 | -24.9 | -33.9 | -29.3 | -29.9 | -24.9 | -33.9                | -29.3 | -29.9 | -24.9 | -33.9 | -29.3 | -29.9 | -24.9 | -33.9 | -29.3 | -29.9 | -24.9 | -33.9 | -29.3 | -29.9 | -24.9 | -33.9 | -29.3 |

| Episodlar     |         | E4S06(06-15/01/1990) (devam) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S07(18-19/01/1990) |       |       |       |       |       |      |       |       |       | E4S08(25-28/01/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Günler        |         | G-2                          | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | G+5   | G+6   | G+7   | G+8                  | G+9   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1  | E+1   | G-2   | G-1   | G0                   | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | G+5   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | G+5   | E+1   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Basınç<br>Yer |         | -12.7                        | -12.5 | -9.3  | -8.9  | -12.7 | -8.3  | -9.7  | -8.3  | -9.7  | -8.3  | -9.7                 | -8.3  | -5.9  | -5.9  | -6.5  | -5.1  | -5.3 | 0.6   | -1.9  | -3.1  | -6.7                 | -7.5  | -6.9  | -5.5  | -4.1  | -12.7 | -12.5 | -9.3  | -8.9  | -12.7 | -8.3  | -9.7  | -8.3  | -9.7  | -8.3  | -5.9  | -5.9  | -6.5  | -5.1  | -5.3  | 0.6   | -1.9  | -3.1  | -6.7  | -7.5  | -6.9  | -5.5  | -4.1  |
|               | 850 hPa | -8.3                         | -9.9  | -8.7  | -8.7  | -2.5  | -1.9  | -1.1  | -4.5  | -5.3  | -5.3  | -5.3                 | -4.5  | -5.3  | -5.3  | -8.9  | *     | -0.5 | -0.7  | -5.1  | -7.1  | -6.3                 | -1.9  | -0.9  | -3.1  | -2.5  | -11.9 | -12.7 | -9.9  | -8.7  | -8.7  | -2.5  | -1.9  | -1.1  | -4.5  | -5.3  | -5.3  | -8.9  | *     | -0.5  | -0.7  | -5.1  | -7.1  | -6.3  | -1.9  | -0.9  | -3.1  | -2.5  |       |
|               | 700 hPa | -11.9                        | -12.7 | -11.3 | -8.7  | -5.3  | -5.1  | -4.9  | -7.5  | -7.5  | -7.5  | -7.5                 | -4.9  | -7.5  | -7.5  | -5.3  | *     | -2.7 | -10.7 | -16.1 | -13.1 | -5.3                 | -5.7  | -3.3  | -8.1  | -4.9  | -26.1 | -24.7 | -12.7 | -11.3 | -8.7  | -5.3  | -5.1  | -4.9  | -7.5  | -7.5  | -7.5  | -5.3  | *     | -2.7  | -10.7 | -16.1 | -13.1 | -5.3  | -5.7  | -3.3  | -8.1  | -4.9  |       |
|               | 500 hPa | -26.1                        | -24.7 | -28.5 | -23.5 | -21.9 | -22.3 | -22.9 | -23.7 | -23.7 | -21.9 | -22.3                | -22.9 | -23.7 | -21.7 | -21.7 | -20.7 | *    | -22.1 | -28.5 | -31.5 | -24.9                | -22.7 | -24.7 | -23.1 | -23.7 | -22.7 | -26.1 | -24.7 | -24.7 | -28.5 | -23.5 | -21.9 | -22.3 | -22.9 | -23.7 | -23.7 | -21.7 | -21.7 | -20.7 | -22.1 | -28.5 | -31.5 | -24.9 | -22.7 | -24.7 | -23.1 | -23.7 | -22.7 |

| Episodlar     |         | E4S09(30-31/01/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S10(06-09/02/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S11(25-26/02/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S12(02-03/03/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Günler        |         | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Basınç<br>Yer |         | -5.5                 | -4.1  | -3.3  | 1.0   | -0.7  | -0.3  | -2.9  | -2.9  | -2.9  | -0.9  | -0.9                 | 0.0   | -0.9  | -2.5  | -1.9  | -1.1  | 0.4   | 1.2   | 1.8   | 5.8   | 7.6                  | 0.0   | 2.0   | 6.8   | 2.6   | -5.5  | -4.1  | -3.3  | 1.0   | -0.7  | -0.3                 | -2.9  | -2.9  | -2.9  | -0.9  | -0.9  | 0.0   | -0.9  | -2.5  | -1.9  | -1.1  | 0.4   | 1.2   | 1.8   | 5.8   | 7.6   | 0.0   | 2.0   | 6.8   |
|               | 850 hPa | -3.1                 | -2.5  | 0.2   | 3.0   | 3.0   | -4.5  | -5.1  | -5.1  | -3.1  | -3.1  | 0.2                  | 0.6   | -4.9  | -3.7  | -0.9  | -1.1  | 4.0   | 4.8   | 3.2   | 5.0   | -2.3                 | 5.0   | 2.6   | -3.1  | -2.5  | 0.2   | 3.0   | 3.0   | -4.5  | -5.1  | -5.1                 | -3.1  | -3.1  | 0.2   | 0.6   | -4.9  | -3.7  | -0.9  | -1.1  | 4.0   | 4.8   | 3.2   | 5.0   | -2.3  | 5.0   | 2.6   |       |       |       |
|               | 700 hPa | -8.1                 | -4.9  | -2.7  | -3.5  | -7.5  | -3.3  | -5.1  | -15.7 | -8.9  | -8.9  | -8.7                 | -6.7  | -5.9  | -3.9  | -8.3  | -4.5  | -2.7  | -2.1  | -8.5  | -4.9  | -4.7                 | -5.1  | -6.1  | -6.1  | -8.1  | -4.9  | -2.7  | -3.5  | -7.5  | -3.3  | -5.1                 | -15.7 | -8.9  | -8.7  | -6.7  | -5.9  | -3.9  | -8.3  | -4.5  | -2.7  | -2.1  | -8.5  | -4.9  | -4.7  | -5.1  | -6.1  |       |       |       |
|               | 500 hPa | -23.7                | -22.7 | -21.5 | -24.1 | -25.3 | -22.1 | -20.9 | -31.3 | -26.5 | -25.3 | -24.9                | -24.1 | -20.7 | -22.9 | -18.9 | -23.9 | -21.5 | -21.9 | -22.1 | -22.3 | -21.9                | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9                | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 | -22.3 | -21.9 |

Tablo B.1 (devam)

| Episodlar |          | E4S13(14-21/11/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S14(11-12/12/1990) |       |       |       |       | E4S15(19-20/12/1990) |       |       |       |       |
|-----------|----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Günler    |          | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | G+5   | G+6   | G+7   | E+1   | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   |
| Yer       |          | 3.7                  | -0.5  | 0.4   | 1.6   | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 7.0   | 4.8   | 8.0   | 6.4   | 5.6                  | 0.6   | -0.5  | 0.4   | 2.6   | 3.2                  | -0.5  | 0.6   | 0.0   | 0.0   |
| 850 hPa   | Seviyesi | -2.7                 | -2.9  | -0.3  | 2.4   | 6.0   | 9.8   | 9.6   | 5.8   | 8.8   | 7.0   | 8.8   | 1.2                  | 0.2   | 0.4   | 4.0   | 6.0   | -0.5                 | -0.3  | 1.8   | 1.0   | -2.5  |
| 700 hPa   |          | -12.1                | -5.9  | -3.9  | -2.3  | -0.3  | 1.0   | 1.2   | -0.7  | -2.7  | -3.1  | 1.0   | -7.9                 | -4.9  | -0.7  | -1.5  | -0.9  | -10.1                | -7.1  | -5.9  | -6.5  | -8.9  |
| 500 hPa   |          | -27.1                | -24.1 | -22.1 | -19.5 | -17.9 | -17.7 | -17.5 | -20.1 | -18.3 | -17.1 | -15.3 | -27.9                | -19.7 | -16.1 | -15.7 | -18.5 | -28.5                | -24.3 | -24.1 | -24.3 | -26.1 |

| Episodlar |                  | E4S16(27-31/12/1990) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S17(01-02/01/1991) |       |       |       |       | E4S18(04-07/01/1991) |       |       |       |       |
|-----------|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Günler    |                  | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | E+1   | G-2   | G-1   | G0                   | G+1   | E+1   | G-2   | G-1   | G0                   | G+1   | G+2   | G+3   | E+1   |
| Yer       |                  | -4.1                 | -1.9  | -5.5  | -5.1  | -2.9  | 1.0   | -0.5  | -1.9  | 1.0   | -0.5  | -1.9                 | 0.0   | 2.8   | 0.0   | 2.8   | -0.5                 | -0.9  | -1.1  | 1.0   | 3.0   |
| 850 hPa   | Basma<br>Sevyesi | -5.9                 | -6.3  | -8.9  | -1.1  | 0.0   | 2.0   | 0.0   | 1.2   | 2.0   | 0.0   | 1.2                  | 1.4   | 1.2   | 1.4   | 1.2   | -1.1                 | 3.0   | 3.8   | 3.6   | 0.8   |
| 700 hPa   |                  | -14.1                | -11.1 | -5.5  | -6.1  | -5.3  | -6.9  | -5.5  | -1.7  | -6.9  | -5.5  | -1.7                 | -2.5  | -5.1  | -2.5  | -5.1  | -3.5                 | -2.1  | -1.7  | -5.9  | -8.1  |
| 500 hPa   |                  | -31.1                | -26.5 | -23.9 | -24.3 | -23.9 | -22.9 | -22.1 | -21.1 | -21.1 | -22.9 | -22.1                | -21.1 | -21.5 | -21.7 | -21.5 | -21.7                | -21.5 | -17.9 | -19.3 | -23.9 |

| Episodlar |  | E4S19(09-10/01/1991) |       |       |       |       |       | E4S20(27-28/01/1991) |       |       |       |       |       | E4S21(05-08/02/1991) |       |       |       |       |  |
|-----------|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| Günler    |  | G-2                  | G-1   | G0    | G+1   | E+1   | G-2   | G-1                  | G0    | G+1   | E+1   | G-2   | G-1   | G0                   | G+1   | G+2   | G+3   | E+1   |  |
| Yer       |  | 1.0                  | 3.0   | 2.4   | 4.6   | 4.0   | -2.3  | -3.7                 | -5.5  | -5.9  | -2.7  | -6.5  | -9.1  | -11.5                | -7.7  | -9.9  | -11.3 | -7.5  |  |
| 850 hPa   |  | 3.6                  | 0.8   | 3.0   | 3.2   | 2.0   | -5.9  | -7.9                 | -7.5  | -2.9  | -1.9  | -11.3 | -11.5 | -10.1                | -7.3  | -5.1  | -6.9  | -9.3  |  |
| 700 hPa   |  | -5.9                 | -8.1  | -5.3  | -7.9  | -7.9  | -16.9 | -20.9                | -5.3  | -7.1  | -6.9  | -16.9 | -17.9 | -15.1                | -9.1  | -7.9  | -10.1 | -10.9 |  |
| 500 hPa   |  | -23.9                | -25.7 | -22.9 | -25.1 | -24.7 | -26.9 | -30.9                | -20.9 | -24.3 | -23.9 | -30.9 | -31.9 | -31.1                | -27.9 | -29.7 | -29.1 | -25.9 |  |

| Episodlar |                 | E4S22 (04-06/01/1992) |       |       |       |       |       |       | E4S23 (24-25/01/1992) |       |       |       |       |       |       | E4S24 (27-28/01/1992) |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-----------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Günler    |                 | G-2                   | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | E+1   | G-2   | G-1                   | G0    | G+1   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1                   | E+1   | G-2   | G-1   | G0    | G+1   | E+1   |
| Yer       |                 | -8.3                  | -6.1  | -2.7  | -8.5  | -6.5  | -1.3  | -7.5  | -10.1                 | -10.3 | -9.1  | -6.7  | -9.1  | -10.3 | -9.1  | -6.7                  | -9.1  | -8.3  | -9.9  | -9.9  | -8.5  |       |
| 850 hPa   | Basma<br>Sevyei | -9.3                  | -10.3 | -2.1  | 0.2   | -0.1  | -3.7  | -6.9  | -4.3                  | -0.9  | -8.1  | -9.1  | -8.1  | -9.1  | -8.1  | -9.1                  | -9.1  | -8.1  | -9.3  | -6.1  | -6.7  |       |
| 700 hPa   |                 | -19.9                 | -12.5 | -3.5  | -0.3  | -7.7  | -11.7 | -12.3 | -9.1                  | -7.1  | -8.3  | -10.1 | -8.3  | -10.1 | -8.3  | -10.1                 | -8.3  | -10.1 | -6.9  | -5.1  | -7.5  |       |
| 500 hPa   |                 | -33.5                 | -24.9 | -19.1 | -21.1 | -26.9 | -28.7 | -27.3 | -26.1                 | -25.9 | -24.3 | -25.3 | -24.3 | -25.3 | -24.3 | -25.9                 | -24.3 | -24.3 | -25.3 | -24.9 | -24.9 | -25.1 |

Tablo B.1 (devam)

| Episodlar |                   | E4S25 (09-14/02/1992) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | E4S26 (18-20/01/1993) |       |       |       |       |  |
|-----------|-------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| Günler    |                   | G-2                   | G-1   | G0    | G+1   | G+2   | G+3   | G+4   | G+5   | E+1   | G-2   | G-1                   | G0    | G+1   | G+2   | E+1   |  |
| Yer       |                   | -5.3                  | -8.9  | -11.7 | -9.5  | -12.3 | -9.7  | -3.9  | -1.7  | -1.5  | -7.1  | -9.3                  | -9.1  | -1.3  | -4.1  | -5.9  |  |
| 850 hPa   | Basma<br>Seviyesi | -8.5                  | -11.5 | -10.5 | -8.7  | -6.3  | -5.7  | -3.3  | -0.9  | -0.5  | -6.7  | -2.7                  | -1.5  | -0.3  | -1.7  | -2.7  |  |
| 700 hPa   |                   | -17.3                 | -20.9 | -21.3 | -13.1 | -5.9  | -10.7 | -11.3 | -5.1  | -5.1  | -13.9 | -5.3                  | -0.7  | -2.5  | -3.5  | -7.3  |  |
| 500 hPa   |                   | -32.9                 | -28.3 | -40.9 | -31.5 | -26.3 | -27.7 | -26.5 | -24.5 | -22.1 | -23.3 | -21.5                 | -18.9 | -21.3 | -20.9 | -22.5 |  |

Tablo B.2 Episod günlerindeki (SO<sub>2</sub> > 400 mg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub>, vortisiti, termal rüzgar, adveksiyon, enverziyon ve basınç gradyanı değerleri

| Sıra No. | Ep. No. | Episod tarihi |    | SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> | Vortisiti |           |           |           | Termal Rüzgar | Adv. (°)   | Enverziyon |          |          |          | Basınç Gradyanı |          |        |
|----------|---------|---------------|----|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|--------|
|          |         |               |    |                                   | 850 hPa   |           | 700 hPa   |           |               |            | 0000 GMT   |          | 0000 GMT |          | 1200 GMT        |          | Basmaç |
|          |         |               |    |                                   | 1200 GMT  | 0000 GMT  | 0000 GMT  | 500 hPa   |               |            | Tab.Yük.   | Kalınlık | Sic.fark | Tab.Yük. | Kalınlık        | Sic.fark |        |
| 1        | E1      | 1989          | 11 | 1                                 | 353       | 4,67E-06  |           | 7,75E-06  | 1,24E-05      | 0,1624 (-) |            | 894      | 426      | 4        |                 | B        |        |
| 2        |         |               | 2  | 335                               | 2,67E-05  | 2,55E-06  | -3,60E-06 | -1,80E-06 | 0,1802 (+)    |            | 894        | 456      | 2,2      |          |                 | B        |        |
| 3        |         |               | 3  | 454                               | 1,59E-05  | -2,50E-05 | -9,40E-07 | 2,77E-06  | 0,1624 (+)    |            | 894        | 226      | 3,8      | 2000     | 120             | 1,2 A    |        |
| 4        |         |               | 4  | 392                               | -4,00E-06 | -4,50E-06 | -1,40E-05 | -6,00E-05 | 0,1624 (+)    |            | 894        | 206      | 4        | 2400     | 150             | 1 B      |        |
| 5        |         |               | 5  | 351                               | -8,60E-06 | -4,30E-06 | 3,38E-05  | -2,30E-05 | 0,274 (+)     |            | 894        | 426      | 4,6      | 2330     | 270             | 1,4 A    |        |
| 6        | E2      |               | 20 | 365                               | -3,20E-07 | 2,27E-06  | 1,90E-05  | 8,85E-06  | 0,5443 (+)    |            | 894        | 386      | 0,6      | 2050     | 200             | 4,8 B    |        |
| 7        |         |               | 21 | 348                               | -2,80E-05 | 1,02E-05  | -1,00E-05 | 9,09E-06  | 0,045 (+)     |            | 894        | 406      | 0,6      | 1546     | 114             | 1,9 C    |        |
| 8        |         |               | 22 | 459                               | -2,80E-05 | -3,40E-05 | -1,40E-05 | -1,30E-05 | 0,5272 (-)    |            | 1050       | 150      | 1,6      |          |                 | B        |        |
| 9        | E3      |               | 12 | 296                               | 1,20E-05  | -6,00E-06 | 6,38E-06  | 2,80E-05  | 0,5873 *      |            |            |          |          | 2580     | 120             | 1,2 C    |        |
| 10       |         |               | 2  | 294                               | -1,40E-05 | -7,50E-07 | -2,30E-05 | -2,50E-05 | 0,3431 *      |            | 2800       | 243      | 0,8      | 2660     | 340             | 2,4 C    |        |
| 11       | E4      |               | 5  | 377                               | -5,00E-06 | -5,00E-05 | -8,10E-05 | -1,50E-05 | 0,3022 (+)    |            | 1610       | 560      | 7,3      | 1510     | 390             | 5,3 B    |        |
| 12       |         |               | 6  | 414                               | 5,92E-06  | -6,10E-05 | -3,50E-06 | 6,13E-07  | 0,3849 (+)    |            | 1200       | 100      | 1,2      | 2730     | 265             | 0,6 B    |        |
| 13       |         |               | 7  | 367                               | -2,70E-05 | 6,36E-06  | -3,70E-07 | 2,48E-05  | 0,6891 (+)    |            | 2250       | 130      | 2,2      | 1880     | 70              | 2 B      |        |
| 14       | E5      |               | 14 | 277                               | -2,60E-06 | -3,90E-05 | -3,50E-07 | 2,39E-05  | 0,1424 (+)    |            | 1550       | 350      | 11,2     | 1330     | 410             | 10,2 C   |        |
| 15       |         |               | 15 | 392                               | 1,44E-05  | -1,20E-05 | -4,50E-06 | 7,52E-07  | 0,2252 (+)    |            | 1160       | 340      | 6,6      | 1250     | 278             | 2,8 C    |        |
| 16       |         |               | 16 | 473                               | -5,70E-07 | -2,10E-05 | -1,70E-05 | 1,07E-05  | 0,2849 (+)    |            | 1000       | 600      | 6,3      | 1300     | 100             | 1 C      |        |
| 17       |         |               | 17 | 506                               | -1,10E-05 | -6,80E-07 | 5,33E-06  | 2,16E-05  | 0,0901 (+)    |            | 890        | 290      | 2,4      | 970      | 220             | 0,8 C    |        |
| 18       |         |               | 18 | 424                               | -1,70E-05 | -2,60E-06 | 1,50E-05  | 1,85E-05  | 0,8606 (-)    |            | 890        | 290      | 2,4      | 1900     | 500             | 5,2 C    |        |
| 19       |         |               | 19 | 336                               | -2,40E-05 | 2,12E-07  | -6,80E-06 | -3,00E-05 | 0,2627 (-)    |            | 890        | 310      | 4,8      | 1100     | 320             | 4,2 C    |        |
| 20       | E6      | 1990          | 1  | 355                               | 2,55E-05  | -1,10E-06 | -1,40E-05 | -7,90E-05 | 0,4638 (-)    |            | 1490       | 360      | 1,6      | 1480     | 420             | 5,8 C    |        |
| 21       |         |               | 7  | 531                               |           | -1,60E-06 | 1,63E-05  | -3,00E-05 | 0,1911 (+)    |            | 1120       | 460      | 7,6      | 1550     | 250             | 5,6 A    |        |
| 22       |         |               | 8  | 646                               | -2,90E-05 | -3,40E-05 | -5,20E-05 | -1,40E-05 | 0,7551 (-)    |            | 890        | 990      | 7        | 1310     | 380             | 1,6 A    |        |
| 23       |         |               | 9  | 586                               | -4,00E-05 | 1,16E-06  | -1,10E-05 | -7,90E-06 | 0,274 (+)     |            | 890        | 240      | 4,8      | 2060     | 150             | 3,6 A    |        |
| 24       |         |               | 10 | 382                               | -4,10E-05 | -7,40E-07 | 1,43E-05  | -7,50E-05 | 0,5644 (+)    |            | 1050       | 850      | 3,4      | 1210     | 170             | 2,2 B    |        |
| 25       |         |               | 11 | 548                               | -5,00E-05 | -1,40E-05 | -0,00012  | -0,00015  | 0,5096 (-)    |            | 1200       | 300      | 2,4      | 1370     | 520             | 8,2 A    |        |
| 26       |         |               | 12 | 630                               | -1,20E-05 | -4,20E-05 | -2,00E-05 | -2,60E-05 | 0,3248 (+)    |            | 890        | 910      | 12,9     | 890      | 250             | 0,8 A    |        |
| 27       |         |               | 13 | 541                               | -7,30E-06 | 4,02E-06  | -7,00E-06 | -2,30E-07 | 0,3279 (-)    |            | 1130       | 570      | 10,3     | 890      | 720             | 7,3 A    |        |

Tablo B.2 (devam)

| Sıra No. | Episod No. | Episod tarihi |    | SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> | Vortisiti |           |           |           |            |            | Termal Rüzgar | Adv. (*) | Enverziyon |          |          |          |          |          | Basınç Gradyanı |  |
|----------|------------|---------------|----|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|---------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|--|
|          |            |               |    |                                   | 850 hPa   |           | 700 hPa   |           | 500 hPa    |            |               |          | 0000 GMT   |          | 1200 GMT |          |          |          |                 |  |
|          |            |               |    |                                   | Yıl       | Ay        | Gün       | 1200 GMT  | 0000 GMT   | 0000 GMT   |               |          | 0000 GMT   | 0000 GMT | 0000 GMT | Tab.Yük. | Kalınlık | Sic.fark |                 |  |
| 28       | 29         | 1990          | 1  | 14                                | 659       | -8,90E-06 | 2,05E-06  | -1,50E-06 | -1,30E-05  | 0,3431 (+) |               |          | 890        | 930      | 9,2      | 1070     | 930      | 4,9 A    |                 |  |
| 15       |            |               |    | 398                               | -2,30E-05 | -2,80E-06 | 7,38E-06  | -1,50E-05 | 0,2252 (-) |            |               | 1110     | 770        | 8        | 1150     | 260      | 3,8 C    |          |                 |  |
| 30       | E7         | 31            | 19 | 18                                | 463       | -2,50E-06 | 5,50E-06  | 5,25E-05  | -2,30E-05  | 0,1857 *   |               |          |            |          |          | 1490     | 310      | 2,1 B    |                 |  |
| 31       | 19         |               |    | 383                               | -3,90E-05 | -1,70E-05 | 1,78E-06  | -1,60E-05 | 0,1424 *   |            |               | 890      | 1060       | 5,3      | 1180     | 100      | 1,1 C    |          |                 |  |
| 32       | E8         | 33            | 25 | 25                                | 294       | -1,60E-05 |           | 2,48E-06  | 1,43E-05   | 0,3185 (+) |               |          | 1410       | 650      | 6,6      | 1450     | 500      | 6,1 B    |                 |  |
| 33       | 26         |               |    | 353                               | -1,50E-05 | -2,60E-05 | -2,20E-05 | -1,40E-05 | 0,6891 (+) |            |               | 1080     | 700        | 8,1      | 1320     | 140      | 4,3 C    |          |                 |  |
| 34       | 35         | 37            | 27 | 27                                | 381       | 1,47E-05  | -1,80E-05 | -1,90E-05 | -3,60E-05  | 0,4505 (+) |               |          | 890        | 350      | 5,2      | 1520     | 290      | 2,2 C    |                 |  |
| 35       |            |               |    | 28                                | 442       | -6,10E-06 | -4,80E-05 | -9,90E-06 | 5,54E-06   | 0,0901 (+) |               |          | 890        | 120      | 0,6      | 2040     | 200      | 1,2 B    |                 |  |
| 36       | E9         | 37            | 30 | 30                                | 291       | -1,30E-05 | -2,20E-05 | -5,00E-06 | -2,30E-05  | 0,1424 (+) |               |          | 1190       | 510      | 5,9      | 1210     | 390      | 2,2 C    |                 |  |
| 37       | 31         |               |    | 355                               | -9,00E-06 | -4,70E-06 | -7,60E-06 | -2,40E-05 | 0,2426 (+) |            |               | 890      | 550        | 2,2      | 1500     | 200      | 1 B      |          |                 |  |
| 38       | E10        | 39            | 2  | 6                                 | 398       | 1,79E-06  | -1,90E-06 | -3,60E-06 | -1,10E-05  | 0,1857 (+) |               |          | 2985       | 105      | 1        | 3080     | 220      | 0,8 B    |                 |  |
| 39       | 7          |               |    | 325                               | -3,60E-06 | 1,14E-05  | -3,10E-06 | 1,94E-05  | 0,2297 (+) |            |               | 1350     | 154        | 0,6      | 2020     | 180      | 0,8 C    |          |                 |  |
| 40       | 41         | 42            | 8  | 8                                 | 476       | -1,20E-05 | 3,02E-06  | -1,80E-05 | 3,26E-05   | 0,2014 (+) |               |          | 1330       | 192      | 1,3      | 1200     | 140      | 0,5 C    |                 |  |
| 41       |            |               |    | 9                                 | 484       | 2,92E-06  | -2,50E-05 | -8,30E-06 | 1,75E-05   | 0,3632 (+) |               |          | 1010       | 180      | 1,9      | 2050     | 130      | 0,8 A    |                 |  |
| 42       | E11        | 43            | 25 | 25                                | 375       | -5,00E-06 | -7,30E-05 | -0,00014  | 2,12E-05   | 0,3185 (+) |               |          | 1670       | 210      | 2,9      | 2200     | 150      | 0,6 B    |                 |  |
| 43       | 26         |               |    | 459                               | -2,60E-05 | 2,17E-06  | -2,20E-06 | -3,70E-05 | 0,1624 (-) |            |               | 890      | 960        | 2,8      | 2140     | 100      | 1,6 B    |          |                 |  |
| 44       | E12        | 45            | 3  | 2                                 | 352       | -2,90E-05 | -1,10E-05 | 1,53E-05  | -2,40E-06  | 0,1624 (+) |               |          | 1427       | 373      | 2,3      | 4000     | 380      | 1,7 B    |                 |  |
| 45       | 3          |               |    | 388                               | -3,40E-05 | -1,20E-05 | -5,20E-06 | -3,40E-05 | 0,637 (+)  |            |               | 890      | 450        | 4        | 2300     | 140      | 14,1 B   |          |                 |  |
| 46       | E13        | 47            | 11 | 14                                | 409       | -1,50E-05 | -2,20E-05 | -1,70E-05 | -7,80E-06  | 0,5424 (+) |               |          | 890        | 220      | 1,4      | 1920     | 170      | 1,4 A    |                 |  |
| 47       | 15         |               |    | 456                               | -4,10E-07 | 2,43E-06  | -3,10E-06 | -2,50E-05 | 0,4505 (+) |            |               | 890      | 490        | 2        | 1820     | 150      | 0,6 A    |          |                 |  |
| 48       | 49         | 50            | 16 | 16                                | 467       | -8,40E-06 | -1,30E-06 | -1,50E-05 | -1,80E-05  | 0,3431 (+) |               |          | 890        | 220      | 3,4      | 1584     | 416      | 1,4 A    |                 |  |
| 49       |            |               |    | 17                                | 470       | -2,30E-05 | -2,10E-05 | -2,40E-05 |            | 0,3185 (+) |               |          | 890        | 780      | 7,4      | 3166     | 214      | 0,4 A    |                 |  |
| 50       | 51         | 52            | 18 | 18                                | 350       | -2,50E-06 | -4,00E-05 | -1,20E-05 | -4,90E-06  | 0,4153 (+) |               |          | 890        | 635      | 5,6      | 2630     | 250      | 3,3 C    |                 |  |
| 51       |            |               |    | 19                                | 335       | -1,20E-05 | -1,60E-05 | 1,27E-05  | 2,62E-05   | 0,4975 (+) |               |          | 890        | 210      | 1,2      | 2300     | 200      | 0,4 C    |                 |  |
| 52       | 53         | 53            | 20 | 20                                | 431       | -3,20E-05 | -1,30E-05 | 1,21E-06  | 4,35E-06   | 0,2548 (+) |               |          | 890        | 300      | 5,2      |          |          | B        |                 |  |
| 53       |            |               |    | 21                                | 280       | -2,90E-05 | -1,80E-05 | -2,40E-05 | -5,60E-05  | 0,2297 (-) |               |          | 890        | 150      | 1,2      | 2300     | 200      | 2,6 B    |                 |  |

Tablo B.2 (devam)

| Sıra No. | Ep. No. | Episod tarihi |    | SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> | Vortisitli |           |           |           | Termal Rüzgar | Adv. (*)   | Enverziyon |          |          |          |          |          | Başlangıç Gradyanı |          |
|----------|---------|---------------|----|-----------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|
|          |         |               |    |                                   | 850 hPa    |           | 700 hPa   |           |               |            | 500 hPa    |          | 0000 GMT |          |          | 1200 GMT |                    |          |
|          |         | Yıl           | Ay | Gün                               | 1200 GMT   | 0000 GMT  | 0000 GMT  | 0000 GMT  | 500 hPa       | 0000 GMT   | Kalınlık   | Sic.fark | Tab.Yük. | Kalınlık | Sic.fark | Tab.Yük. | Kalınlık           | Sic.fark |
| 54       | E14     | 1990          | 12 | 11                                | 316        | -1,80E-05 | -6,30E-06 | -1,40E-05 | -7,60E-06     | 0,0901 (+) |            | 890      | 210      | 1,5      | 1420     | 190      | 1,4                | B        |
| 55       |         |               |    | 12                                | 352        | -1,60E-05 | -1,70E-06 | -6,30E-06 | 1,38E-05      | 0,1624 (+) |            | 890      | 410      | 3,8      | 1300     | 100      | 0,6                | C        |
| 56       | E15     |               |    | 19                                | 331        | -5,50E-06 | 7,44E-06  | 8,24E-06  | 2,19E-05      | 0,2426 (+) |            | 890      | 250      | 0,8      |          |          |                    | B        |
| 57       |         |               |    | 20                                | 329        | -1,60E-05 | -9,30E-06 | -8,90E-06 | -5,90E-06     | 0,1624 (-) |            | 890      | 360      | 1,6      |          |          |                    | B        |
| 58       | E16     |               |    | 27                                | 438        | -1,80E-05 | -6,90E-06 | 3,28E-06  | 1,65E-05      | 0,1424 (-) |            | 890      | 220      | 0,6      | 1620     | 510      | 4,6                | B        |
| 59       |         |               |    | 28                                | 431        |           |           | -2,60E-05 | -2,30E-05     | 0,274 (+)  |            | 890      | 220      | 0,6      | 1310     | 231      | 2,2                | B        |
| 60       |         |               |    | 29                                | 447        | -2,40E-05 | -2,00E-05 | -1,20E-05 | -3,30E-06     | 0,1424 (+) |            | 890      | 140      | 1,8      | 1375     | 158      | 0,6                | B        |
| 61       |         |               |    | 30                                | 427        | -1,10E-05 | -5,90E-06 |           | 2,63E-05      | 0,3849 (-) |            | 1040     | 1210     | 2        | 2570     | 120      | 0,6                | B        |
| 62       |         |               |    | 31                                | 434        | -1,20E-05 | -9,30E-06 | 7,23E-06  | 6,64E-06      | 0,0637 (+) |            | 890      | 210      | 1,5      | 1750     | 210      | 0,8                | B        |
| 63       | E17     | 1991          | 1  | 1                                 | 486        | -2,00E-05 | -2,90E-05 | -3,10E-05 | -5,10E-05     | 0,1624 (+) |            | 890      | 830      | 5,1      | 1513     | 197      | 0,8                | A        |
| 64       |         |               |    | 2                                 | 444        | -1,70E-05 | -1,80E-05 | -2,70E-05 | -7,90E-06     | 0,1424 (+) |            | 890      | 930      | 3,2      | 1480     | 90       | 2,2                | C        |
| 65       | E18     |               |    | 4                                 | 389        | -3,60E-05 | -3,80E-05 | -7,60E-05 | -0,0001       | 0,2252 (+) |            | 890      | 430      | 0,5      | 1483     | 283      | 1,4                | B        |
| 66       |         |               |    | 5                                 | 350        | 1,74E-05  | -9,30E-06 | 3,41E-06  | -1,30E-05     | 0,5572 (+) |            | 890      | 370      | 2,7      | 1215     | 381      | 2                  | C        |
| 67       |         |               |    | 6                                 | 424        | -7,60E-06 | -2,60E-06 | -4,30E-05 | -4,30E-05     | 0,1351 (+) |            | 890      | 1015     | 6,3      | 1335     | 193      | 0,6                | C        |
| 68       |         |               |    | 7                                 | 471        | -2,10E-05 | -1,20E-05 | -7,00E-06 | 6,62E-06      | 0,2849 (+) |            | 890      | 493      | 3        | 2450     | 80       | 0,6                | B        |
| 69       | E19     |               |    | 9                                 | 415        | -2,50E-06 | -4,00E-06 | -1,90E-05 | -1,20E-05     | 0,1802 (+) |            | 890      | 190      | 2        | 4860     | 240      | 1,2                | A        |
| 70       |         |               |    | 10                                | 364        | -2,10E-05 | -9,40E-06 | 9,10E-07  | -1,40E-06     | 0,1274 (+) |            | 890      | 300      | 0,6      |          |          |                    | A        |
| 71       | E20     |               |    | 27                                | 381        | 4,35E-06  | -5,60E-06 | -2,80E-05 | -2,30E-05     | 0,3632 (-) |            | 890      | 110      | 0,8      | 1536     | 494      | 1,8                | A        |
| 72       |         |               |    | 28                                | 422        | -2,50E-05 | -9,70E-06 | -6,60E-06 | -2,60E-05     | 0,4436 (+) |            | 890      | 490      | 3        |          |          |                    | A        |
| 73       | E21     |               |    | 5                                 | 370        | -1,50E-05 | 1,56E-06  | -1,50E-05 | -7,10E-06     | 0,2014 (+) |            | 890      | 190      | 1,4      | 1523     | 297      | 2                  | B        |
| 74       |         |               |    | 6                                 | 303        | -1,50E-05 | -3,20E-06 | -1,30E-05 | -1,30E-05     | 0,1007 (+) |            | 1240     | 620      | 3,4      | 1420     | 280      | 2,8                | B        |
| 75       |         |               |    | 7                                 | 435        | 7,75E-06  | -4,20E-06 | 1,98E-05  | 4,80E-06      | 0,0637 (+) |            | 890      | 460      | 5        | 1400     | 500      | 2,6                | B        |
| 76       |         |               |    | 8                                 | 431        | 1,41E-05  | 1,19E-05  | -2,00E-06 | 5,81E-06      | 0,2884 (+) |            | 890      | 598      | 4,4      | 2000     | 300      | 2,8                | B        |
| 77       | E22     | 1992          | 1  | 4                                 | 412        | 1,11E-05  | -4,00E-06 | -5,70E-05 | -2,70E-05     | 0,1007 (+) |            | 1191     | 272      | 2,2      | 1368     | 369      | 4,5                | A        |
| 78       |         |               |    | 5                                 | 509        | -3,40E-06 | 2,60E-06  | -2,00E-06 | -5,10E-05     | 0,2252 (+) |            | 904      | 1025     | 11,1     | 924      | 843      | 4,7                |          |
| 79       |         |               |    | 6                                 | 569        | -4,90E-05 | -3,30E-05 | -2,60E-07 | -4,60E-06     | 0,3632 (+) |            | 890      | 657      | 6,4      | 3554     | 215      | 1,2                |          |

Tablo B.2 (devam)

| Sıra No.       | Ep. No. | Episod tarihi |    |           | SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> | Vortisiti |           |            |            |            | Termal Rüzgar | Adv. (*) | Enverziyon |          |          |          |          | Basiq Gradyanı |
|----------------|---------|---------------|----|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------------|
|                |         |               |    |           |                                   | 850 hPa   |           | 700 hPa    |            | 500 hPa    |               |          | 0000 GMT   |          | 1200 GMT |          |          |                |
|                |         | Yıl           | Ay | Gün       |                                   | 1200 GMT  | 0000 GMT  | 0000 GMT   | 0000 GMT   | 0000 GMT   |               |          | 0000 GMT   | Tab.Yük. | Kalinlik | Sic.fark | Tab.Yük. |                |
| 80             | E23     | 1992          | 1  | 24        | 342                               | 2,61E-05  | 7,84E-05  | -0,0001    | -1,60E-05  | 0,5136 (-) |               | 1193     | 385        | 11       | 1867     | 797      | 4,2      | B              |
| 81             | 25      |               |    | 388       | -2,80E-07                         | -3,80E-05 | -4,00E-06 | -6,00E-05  | 0,7456 (+) |            | 932           | 357      | 3,2        | 1722     | 385      | 5,2      | C        |                |
| 82             | E24     |               |    | 27        | 338                               | -7,00E-06 | -5,30E-08 | -1,50E-06  | 1,03E-05   | 0,045 (-)  |               | 950      | 179        | 2,4      | 1452     | 656      | 6,6      | B              |
| 83             | 28      |               |    | 376       | -1,00E-05                         | 4,85E-06  | -2,20E-05 | -7,40E-07  | 0,548 (+)  |            | 890           | 447      | 3,2        | 1411     | 476      | 4,2      |          |                |
| 84             | E25     |               | 2  | 9         | 376                               | -8,30E-05 | -6,70E-05 | 7,97E-08   | 5,97E-05   | 0,1857 (+) |               | 893      | 250        | 2,5      |          |          |          | C              |
| 85             | 10      |               |    | 385       | 1,25E-05                          | -3,00E-05 | -6,20E-05 | 6,77E-06   | 1,3913 (-) |            | 962           | 264      | 2,4        | 1423     | 290      | 0,8      | B        |                |
| 86             | 11      |               |    | 473       | -1,40E-06                         | -2,10E-05 | -7,40E-06 | -2,20E-05  | 0,2849 (+) |            | 890           | 612      | 6          | 1963     | 701      | 2,2      | C        |                |
| 87             | 12      |               |    | 460       | -1,50E-05                         | 1,51E-06  | 9,37E-06  | 4,06E-05   | 0,1424 (+) |            | 890           | 290      | 3,8        | 1710     | 94       | 0,8      | B        |                |
| 88             | 13      |               | 14 | 464       | -6,50E-05                         | 9,42E-06  | 6,10E-07  | 4,00E-05   | 0,2426 (+) |            | 890           | 540      | 1,2        | 2405     | 98       | 0,6      | B        |                |
| 89             | 380     |               |    | -1,60E-05 | -4,00E-05                         | -3,20E-05 | -2,00E-05 | 0,3279 (+) |            | 890        | 147           | 1,2      | 2669       | 307      | 2,2      | C        |          |                |
| 90             | E26     |               |    | 18        | 362                               | -4,40E-05 | -3,50E-05 | -5,50E-05  | -0,0001    | (+)        |               | 890      | 474        | 7,8      | 1200     | 180      | 2,7      | C              |
| 91             | 19      |               |    | 486       | -1,80E-05                         | 7,53E-06  | -5,90E-05 | -5,80E-05  | 0,3185 (+) |            | 914           | 396      | 4,3        | 1800     | 500      | 5,7      | C        |                |
| 92             | 20      |               |    | 352       | 4,58E-06                          | -1,30E-05 | -3,70E-05 | -5,00E-05  | 0,3022 (-) |            | 943           | 240      | 3,4        | 1548     | 152      | 4,5      | A        |                |
| Genel Ortalama |         |               |    |           | 411                               | -1,20E-05 | -1,20E-05 | -1,40E-05  | -1,20E-05  | 0,313      |               | 1047     | 429        | 3,77     | 1801     | 289      | 2,68     |                |

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ŞAHİN 1963 yılında Malatya’da doğdu. 1981 yılında Malatya Fatih Lisesi’nden mezun oldu. 1982 yılında İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimler Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü’ne girdi. Adı geçen bölümü 1986 yılında tamamlayarak aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Meteoroloji Programı’nda Yüksek Lisansı kazandı. “Evapotranspirasyon Hesaplanmasında Bir Model” adlı Yüksek Lisans tezini 1989 yılında verdi. 1990 yılında Çevre Bakanlığı’nda Çevre Uzman Yardımcısı olarak çalışmaya başladı. Halen Çevre Bakanlığı’nda Şube Müdürü V. olarak görev yapan Mustafa ŞAHİN evli ve iki çocuk babasıdır.

DOKÜMAN  
T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE KLİMA BAKANLIĞI  
MÜHÜR