**T.C**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi

**Tahsin KARA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği**

**Anabilim Dalı**

**KONYA, 2009**

**T.C**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi**

**Tahsin KARA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**KONYA, 2009**

**Bu tez 19/08/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU**

**Danışman**

**Prof. Dr. Cevat İNAL**

**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Tayfun ÇAY**

**Üye**

# ÖZET
# YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi

Tahsin KARA

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU

2009, 142 sayfa

Bu çalışmada doğrusal zaman serileri yöntemlerinden otoregresif (AR) ve otoregresif hareketli ortalama (ARMA) modelleri kullanılarak sabit GPS istasyonlarının koordinat bileşen verilerine ayrı ayrı zaman serisi analizi yapıldı. Özellikle doğrusal zaman serileri modellerinin seçilmesinin nedeni istasyon verilerinin koordinat bileşenleri incelendiğinde kuzey (Dn) ve Doğu (De) bileşenlerinin doğrusal olarak arttığını görüyoruz. Yine Dn ve De bileşenlerinin otokorelasyon ve kısmiotokorelasyon grafiklerinde derecelerinin 1 olduğunu ve otokorelasyonlarının artı yönde azalan eğilimde, kısmiotokorelasyonlarının ise birinci dereceden sonra artı yönde aniden azalarak eksi ve artı yönlerde küçük değişmeler yaptığı ve bu eğilimlerin zaman serileri modellerinden otoregresif (AR) modeline uygun olduğu söylenebilir.

Sabit GPS istasyonlarının koordinat bileşenlerinden yükseklik (Du) bileşenleri incelendiğinde mevsimsel etkilerin olduğu görülmüş ve Du bileşenlerinin sıcaklık ve basınçla ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için korelasyon analizi yapılmıştır ve Du bileşenlerinin sıcaklık ve basınçla ilişkisinin olduğu görülmüştür. İstasyonların yükseklik bileşenlerinin sıcaklık ve basınca ne kadar bağımlı olduğunu anlamak için regresyon analizi yapılmıştır.

Zaman serileri grafiklerinden, sabit GPS istasyonlarının depremlerden etkilendiği görülmüş ve yapılan modelleme ve analizlerde deprem bilgileri de dikkate alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sabit GPS İstasyonu, Zaman Serileri Analizi, Trend, Regresyon

**ABSTRACT**
**MSc THESIS**

Time Series Analysis of Permanent GPS Stations

Tahsin KARA

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU

2009, 142 pages

In this study, data of coordinate component of stationary GPS stations was separately analysed in terms of time series using autoregressive(AR) and autoregressive moving average (ARMA) models which are the linear time series methods. The reason why especially linear time series models were chosen is that when coordinate constitutes of station data are studied north (Dn) ve east (De) constitutes can be monitored to increase linearly. Also, degrees of Dn ve De constitutes are 1 in auto-regression and partial- auto-regression graphics and their autocorrelations are in downward tendency in the positive direction; and decreasing suddenly in the positive direction after the first degree, their partial-autocorrelations make small changes in both positive and negative directions. It can be said that these tendencies are consistent with the auto-regression model (AR), among the models of time series.

When height (Du) constitutes of stationary GPS stations's coordinate constitutes are studied, seasonal effects are observed and it is reasearched if these Du constitutes have a relationship with heat and pressure. To do this, correlations were anlayized and it is found that Du constitutes are related to heat and pressure. A regression analysis was carried out to understand how much dependant are the height constitutes of the stations on heat and pressure.

It is seen in time series graphics that stationary GPS stations are affected by earthquakes. And in analysis and modelling, earthquake data was taken into consideration.

**Keywords:** Stationary GPS station, time series analysis, trend, regression

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başladığım andan itibaren tezimin hazırlanması aşamasında bilgisini, alakasını, zor durumlarımda anlayışını ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Danışmanım ve hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU' na çok teşekkür ederim. Yüksek Lisans ders aşamasında bilgileriyle ve içtenlikleriyle üzerimde emeği bulunan tüm hocalarıma teşekkür ederim. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Jeodezi Şubesindeki değerli mesai arkadaşlarıma zor günlerimde hoşgörülü oldukları için ve desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında manevi desteğini esirgemeyen ve bana inanan sevgili eşim Ayten KARA' ya teşekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

**ÖZET…… ..... i**

**ABSTRACT ..... ii**

**TEŞEKKÜR..... iii**

**İÇİNDEKİLER..... iv**

**ŞEKİL LİSTESİ..... viii**

**ÇİZELGE LİSTESİ..... x**

**KISALTMA LİSTESİ ..... xii**

**1 GİRİŞ ..... 1**

**2 ZAMAN SERİLERİ ..... 2**

2.1 Zaman Serilerinin Tarihçesi ..... 2

2.2 Temel Kavramlar ..... 2

2.2.1 Süreç ..... 2

2.2.2 Durağanlık ..... 3

2.3 Zaman Serilerinin Tanımı ..... 4

2.3.1 Zaman serilerinin elemanları ..... 7

2.3.1.1 Uzun - Dönemli genel trend ..... 7

2.3.1.2 Konjonktür dalgalanmaları ..... 8

2.3.1.3 Mevsimsel dalgalanmalar ..... 9

2.3.1.4 Varyasyon ve düzensiz rastgele dağılımlar ..... 10

2.3.2 Trend ..... 10

2.3.2.1 Trend' in grafik yöntem ile belirlenmesi ..... 10

2.3.2.2 Hareketli ortalamalar yöntemi ..... 12

2.3.2.3 En küçük kareler yöntemi ..... 14

**3 ZAMAN SERİLERİ ÇEŞİTLERİ ..... 19**

3.1 Otokorelasyon Fonksiyonu ..... 19

3.2 Kısmi Otokorelasyon ..... 21

3.3 Hareketli Ortalama (Moving Avarege, MA) Serileri ..... 21

3.4 Otoregresif (Auto Regressive, AR) Zaman Serileri ..... 23

3.5 Fark Denklemleri ..... 26
3.6 Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) Serileri ..... 27
3.7 Holt-Winters Üstel Düzeltme Kestirim Modeli ..... 29
3.8 Fourier Tekniği ..... 30
3.8.1 Fourier dönüşümleri ..... 32
3.9 Mevsimsel Zaman Serileri ..... 34
3.9.1 Mevsimsel etkilerin testi ..... 34
3.9.2 Hareketli ortalama yöntemi ..... 35

**4 ZAMAN SERİLERİNDE ARIMA MODELLERİ ..... 36**

4.1 Durağan ARIMA Modelleri ..... 36
4.1.1 Otoregresif modeller: ARIMA(p,0,0) ..... 37
4.1.1.1 ARIMA(1,0,0) = AR(1) süreci ..... 40
4.1.1.2 ARIMA(2,0,0): AR(2) süreci ..... 42
4.1.2 Hareketli ortalama modelleri: ARIMA(0,0,q) ..... 44
4.1.2.1 ARIMA(0,0,1): MA(1) süreci ..... 46
4.1.2.2 ARIMA(0,0,2): MA(2) sürece ..... 48
4.1.3 Karma Otoregresif–Hareketli ortalama modeli:ARIMA(p,0,q) 49
4.1.3.1 ARIMA(1,0,1): ARMA(1,1) süreci ..... 50
4.2 Durağan Olmayan ARIMA Modelleri ..... 50
4.2.1 ARIMA(p,d,q) modeli ..... 50
4.2.2 Box ve Jenkins model kurma stratejisi ..... 53

**5 ZAMAN SERİLERİNDE MODELLEME ..... 55**

5.1 Model Seçim Kriterleri ..... 56
5.1.1 Standart belirlenim katsayısı-$R^2$ ..... 57
5.1.2 F-İstatistiği yaklaşımı ..... 57
5.1.3 Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ..... 58
5.1.4 Schwarz Bilgi Kriteri (SIC) ..... 58

**6 ZAMAN SERİLERİ SONUÇLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER ..... 60**

6.1 Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serilerini Etkileyen Faktörler ..... 60
6.1.1 Uyduların etkileri ..... 60
6.1.2 Uzun dönemli sinyal yansıma etkisi (multipath- çokyolluluk) . 61
6.1.3 Atmosferin etkisi ..... 61
6.1.4 Okyanus yüklenmesi ..... 62
6.1.5 Donanımın etkisi ..... 62

**7 IGS SABİT GPS İSTASYONLARI VE GERÇEK ZAMANLI GNSS AĞLARI ..... 64**

7.1 IGS Sabit GPS İstasyonları ..... 64
7.1.1 IGS veri organizasyonu ..... 66

7.1.2 IGS' in topladığı verilerden elde ettiği sonuçlar ..... 67
7.1.3 IGS de veri iletişimi ..... 68
7.1.4 IGS veri formatı ..... 69
7.2 Gerçek Zamanlı GNSS Ağları ..... 69
7.2.1 Gerçek Zamanlı GNSS ağların prensibi ..... 70
7.2.2 Gerçek Zamanlı GNSS ağların kullanım alanları ..... 72

**8 SAYISAL UYGULAMA ..... 73**

8.1 Sabit GPS İstasyonlarının Ham Verilerine Göre Zaman Serileri Grafikleri ..... 75
8.2 ANKR, TUBI, ISTA ve TRAB Sabit GPS İstasyon verilerinden Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması ..... 80
8.2.1 V - Testi ..... 80
8.3 ANKR, TUBI, ISTA ve TRAB Sabit GPS İstasyonlarının Yükseklik Bileşenlerinin Ortalama Sıcaklık ve Basınç ile Regresyon Analizleri ..... 83
8.3.1 Regresyon ..... 87
8.3.1.1 Regresyon değerlerinin standart sapma, standart hata ve güven sınırları ..... 90
8.3.2 ANKR sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi ..... 91
8.3.3 TUBI sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi ..... 99
8.3.4 ISTA sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi ..... 102
8.3.5 TRAB sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi ..... 104
8.4 Depremlerin ANKR, TUBI ve ISTA Sabit GPS İstasyonlarına Etkilerinin Araştırılması ..... 107
8.4.1 Deprem ..... 107
8.4.2 Depremlerin ANKR sabit GPS istasyonuna etkileri ..... 108
8.4.3 Depremlerin TUBI sabit GPS istasyonuna etkileri ..... 113
8.4.4 Depremlerin ISTA sabit GPS istasyonuna etkileri ..... 116
8.5 MATLAB' la Sabit GPS İstasyonlarının Zaman Serileri Analizi ..... 119
8.5.1 TRAB sabit GPS istasyonu verilerinin MATLAB' a aktarılması ..... 119
8.5.2 Trendin Giderilmesi ..... 121
8.5.3 Verilerin filtrelenmesi ..... 122
8.5.4 MATLAB ile modelin kurulması ..... 123
8.5.5 ANKR, TUBI ve ISTA sabit GPS istasyonları modelleme sonuçları ..... 128

**9 SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 131**

9.1 Sonuç ..... 131

9.2 Öneriler ..... 132

**10 KAYNAKLAR ..... 134**

**11 EKLER ..... 137**

Sayfa

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Zaman serilerine ait bileşenler ..... 6
Şekil 2.2 Zaman serilerine ait bileşenler ..... 6
Şekil 2.3 Olası Trend Gösterimleri ..... 8
Şekil 2.4 Olası Konjonktür dalgalanmaları ..... 9
Şekil 2.5 Olası Mevsimsel Dalgalanmalar ..... 9
Şekil 2.6 1991- 97 arası Satış Grafiği ..... 12
Şekil 2.7 1960-66 Yılları arası TEFE grafiği ve hareketli ortalamalar trendi ..... 13
Şekil 3.1 100 Örnek bir MA zaman serisinin kısmi otokorelasyon grafiği ..... 22
Şekil 3.2 100 Örnek bir MA zaman serisinin otokorelasyon grafiği ..... 22
Şekil 3.3 100 birim zamanlık örnek zaman serisinin otokorelasyon grafiği ..... 25
Şekil 3.4 100 birim zamanlık örnek zaman serisinin kısmi otokolerasyon grafiği ..... 25
Şekil 3.5 Kare dalga fonksiyonunun Fourier yaklaşımı ..... 32
Şekil 4.1 Durağan dışı ARIMA süreci yapısı ..... 36
Şekil 7.1 IGS Ağı (Haziran 2009 itibariyle) ..... 66
Şekil 7.2 IGS organizasyon şeması ..... 67
Şekil 7.3 Ağ Prensipli RTK' nın Çalışma Sistemi ..... 71
Şekil 7.4 TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ..... 72
Şekil 8.1 ANKR Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri ..... 76
Şekil 8.2 TUBI Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri ..... 77
Şekil 8.3 ISTA Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri ..... 78
Şekil 8.4 TRAB Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri ..... 79
Şekil 8.5 ANKR yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği ..... 83
Şekil 8.6 ANKR yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği ..... 84
Şekil 8.7 ISTA yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği ..... 84
Şekil 8.8 ISTA yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği ..... 85
Şekil 8.9 TUBI yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği ..... 85
Şekil 8.10 TUBI yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği ..... 86
Şekil 8.11 TRAB yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği ..... 86
Şekil 8.12 TRAB yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği ..... 87
Şekil 8.13 Regresyon doğrusu ..... 88
Şekil 8.14 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin birinci bölümünün ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu ..... 93
Şekil 8.15 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin birinci bölümünün ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu ..... 94
Şekil 8.16 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin ikinci bölümünün ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu ..... 95
Şekil 8.17 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin ikinci bölümünün ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu ..... 96
Şekil 8.18 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin üçüncü bölümünün ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu ..... 98

Şekil 8.19 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin üçüncü bölümünün ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu ..... 99
Şekil 8.20 TUBI Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu ..... 100
Şekil 8.21 TUBI Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu ..... 101
Şekil 8.22 ISTA Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu ..... 103
Şekil 8.23 ISTA Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu ..... 104
Şekil 8.24 TRAB Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu ..... 105
Şekil 8.25 TRAB Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu ..... 106
Şekil 8.26 ANKR kuzey bileşeni (Kuzey (Dn))'ni etkileyen depremler ..... 111
Şekil 8.27 ANKR doğu bileşeni (Doğu (De))'ni etkileyen depremler ..... 111
Şekil 8.28 ANKR yükseklik bileşeni (Yükseklik (Du))'ni etkileyen depremler ..... 112
Şekil 8.29 Orta-Çankırı depremi 09.06.2002 Magnitüd 4.1 ..... 112
Şekil 8.30 Ilgaz-Çankırı depremi 18.07.2004 Magnitüd 4.2 ..... 113
Şekil 8.31 TUBI kuzey bileşeni (Kuzey (Dn))'ni etkileyen depremler ..... 115
Şekil 8.32 TUBI doğu bileşeni (Doğu (De))'ni etkileyen depremler ..... 115
Şekil 8.33 TUBI yükseklik bileşeni (Yükseklik (Du))'ni etkileyen depremler ..... 116
Şekil 8.34 ISTA kuzey bileşeni (Kuzey (Dn))'ni etkileyen depremler ..... 116
Şekil 8.35 ISTA doğu bileşeni (Doğu (De))'ni etkileyen depremler ..... 117
Şekil 8.36 ISTA yükseklik bileşeni (Yükseklik (Du))'ni etkileyen depremler ..... 117
Şekil 8.37 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni Zaman serileri grafiği ..... 121
Şekil 8.38 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni Zaman serileri ve trendi giderilmiş grafiği ..... 122
Şekil 8.39 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni trend ve filtrelenmiş grafiği ..... 123
Şekil 8.40 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni otokorelasyon grafiği ..... 124
Şekil 8.41 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni kısmi otokorelasyon grafiği ..... 124
Şekil 8.42 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni AR(1) grafiği ..... 125
Şekil 8.43 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni ARMA(1 1) grafiği ..... 126
Şekil 8.44 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni ARMA(2 2) grafiği ..... 126
Ek Şekil 1: ANKR Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 137
Ek Şekil 2: ANKR Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 137
Ek Şekil 3: ANKR Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 138
Ek Şekil 4: TUBI Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 138
Ek Şekil 5: TUBI Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 139
Ek Şekil 6: TUBI Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 139
Ek Şekil 7: ISTA Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 140
Ek Şekil 8: ISTA Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 140
Ek Şekil 9: ISTA Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 141
Ek Şekil 10: TRAB Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 141
Ek Şekil 11: TRAB Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 142
Ek Şekil 12: TRAB Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması ..... 142

Sayfa

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Satış Değerleri ..... 11
Çizelge 2.2 Satış Değerleri ..... 11
Çizelge 2.3 TEFE değerleri ve hareketli ortalaması ..... 13
Çizelge 3.1 Örnek verilerin otokorelasyon katsayıları ..... 24
Çizelge 3.2 Örnek verilerin kısmi otokorelasyon katsayıları ..... 25
Çizelge 8.1 ANKR istasyonu, uyuşumsuz ölçüler ..... 82
Çizelge 8.2 TUBI istasyonu, uyuşumsuz ölçüler ..... 82
Çizelge 8.3 ISTA istasyonu, uyuşumsuz ölçüler ..... 82
Çizelge 8.4 TRAB istasyonu, uyuşumsuz ölçüler ..... 82
Çizelge 8.5 ANKR birinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri ..... 92
Çizelge 8.6 ANKR birinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi ..... 92
Çizelge 8.7 ANKR birinci bölüm ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri ..... 93
Çizelge 8.8 ANKR birinci bölüm ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 93
Çizelge 8.9 ANKR ikinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri ..... 95
Çizelge 8.10 ANKR ikinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi ..... 95
Çizelge 8.11 ANKR ikinci bölüm ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri ..... 96
Çizelge 8.12 ANKR ikinci bölüm ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 96
Çizelge 8.13 ANKR üçüncü bölüm ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri ..... 97
Çizelge 8.14 ANKR üçüncü bölüm ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi ..... 97
Çizelge 8.15 ANKR üçüncü bölüm ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri ..... 98
Çizelge 8.16 ANKR üçüncü bölüm ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 98
Çizelge 8.17 TUBI ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri ..... 100
Çizelge 8.18 TUBI ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 100
Çizelge 8.19 TUBI ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri ..... 101
Çizelge 8.20 TUBI ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 101
Çizelge 8.21 ISTA ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri ..... 102
Çizelge 8.22 ISTA ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 102
Çizelge 8.23 ISTA ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri ..... 103
Çizelge 8.24 ISTA ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 103
Çizelge 8.25 TRAB ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri ..... 105
Çizelge 8.26 TRAB ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi ..... 105
Çizelge 8.27 TRAB ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri ..... 106
Çizelge 8.28 TRAB ortalama basınca göre, varyans analizi ..... 106
Çizelge 8.29 ANKR'yi etkileyen depremler ..... 106
Çizelge 8.30 ANKR'yi etkileyen depremler ..... 106
Çizelge 8.31 TUBI'yi etkileyen depremler ..... 106
Çizelge 8.32 ISTA'yı etkileyen depremler ..... 106

Çizelge 8.33 TRAB istasyonunun kuzey North (Dn) ham koordinat farkları dosyası ..... 119
Çizelge 8.34 TRAB istasyonunun temizlenmiş Dn koordinat farkları dosyası ..... 120
Çizelge 8.35 ANKR istasyonu Dn zaman serileri modellemeleri ..... 128
Çizelge 8.36 ANKR istasyonu De zaman serileri modellemeleri ..... 129
Çizelge 8.37 ANKR istasyonu Du zaman serileri modellemeleri ..... 129
Çizelge 8.38 TUBI istasyonu Dn, De ve Du zaman serileri modellemeleri ..... 130
Çizelge 8.39 ISTA istasyonu Dn, De ve Du zaman serileri modellemeleri ..... 130

## KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| ABD | Amerika Birleşik Devletleri. |
| AFD | Ayrık Fourier Dönüşümü. |
| AIC | Akaike Information Criterion (Akaike Bilgi Kriteri). |
| AR | Auto Regresive (Otoregresif). |
| ARIMA | Auto Regresive Intedrated Moving Average (Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama). |
| ARMA | Auto Regresive Moving Average (Otoregresif Hareketli Ortalama). |
| CMR | Compact Measurement Record (Kısa Ölçüm Kaydı). |
| CORS | Continously Operating Reference Stations (Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları). |
| EUREF | Europe Referance Frame (Avrupa Referans Ağı). |
| FORTRAN | Formula Translating (Formül Çevirme). |
| GALILEO | Avrupa Navigasyon Uydu Sistemi. |
| GLONASS | Global Navigation Satellite System (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi). |
| GNSS | Global Navigational Satellite System (Global Uydu Navigasyon Sistemi). |
| GPS | Global Position System (Küresel Konum Belirleme Sistemi). |
| IAG | International Association Geodesy (Uluslar arası Jeodezi Birliği). |
| IGS | International GPS Service (Uluslar arası GPS Servisi). |
| ITRF | International Terrestrial Referance Frame (Uluslar arası Yersel Referans Ağı). |
| KTÜ | Karadeniz Teknik Üniversitesi. |
| MA | Moving Average (Hareketli Ortalama). |
| MATLAB | Matrix Laboratory (Matris Laboratuarı). |
| RG | Rastlantısal Gidiş. |
| RINEX | Receiver Indepentent Exchange (Alıcıdan Bağımsız Format). |
| RTCM | Radio Technical Commission for Maritime Services (Denizyolları Radyo Teknik Kurul Servisi). |
| RTK | Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik). |
| SIC | Schwarz Information Criterion (Schwarz Bilgi Kriteri). |
| TEFE | Toptan Eşya Fiyat Endeksi. |
| TUSAGA | Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı. |
| TÜBİTAK | Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. |
| YY | Epok (Yıl). |

# 1 GİRİŞ

Zaman serileri bilimin her dalında uygulama bulabilen, istatistiğin bazen de ekonometri biliminin uygulama alanıdır. Zaman serisi, zaman içinde gözlenen ölçümlerin bir dizisidir. Örneğin; bir fabrikadan ihraç edilen haftalık ürün miktarı, bir karayolunda meydana gelen yıllık kazalar, mevsimsel deniz seviyesi yüksekliği, sabit bir noktanın yıllık koordinat değişimleri zaman serilerine örnek olarak verilebilir. Zaman serilerinin kullanımı önceden herhangi bir şekilde elde edilmiş zamansal veriler ya da belli aralıklarla yapılmış ölçüler ile bilinmeyen zaman aralıklarında ya da kurulan matematik model ile ileriye yönelik tahmin şeklindedir.

Bu çalışmada zaman serilerinin analizinde trend, periyodiklik ve mevsimsel bileşenler gibi konu başlıklarının yanında, zaman serilerini kapsayan matematiksel modeller ve zaman serileri analizinde uygun modelin seçilmesi konuları açıklanmıştır.

Zaman serileri analizi işlemlerinde Türkiye de bulunan sabit GPS istasyonları kullanılmıştır. Bunlar Ankara da ANKR, İstanbul da TUBI ve ISTA, Trabzon da TRAB isimli istasyonlardır.

Modelleme için günümüzde, bilimsel ve birçok meslek gurubunun benimsediği ve özellikle mühendislik alanında daha çok tercih edilen MATLAB yazılımı tercih edilmiştir.

Ülkemizin deprem kuşağında bir ülke olmasından dolayı sabit GPS istasyonlarının depremler sonrasındaki davranışları ve depremlerin istasyonlara etkileri araştırılmış ve irdelenmiştir.

Ülkemizde bir yıllık süreçte dört mevsimin yaşandığı dikkate alınarak, sıcaklık ve basınç değişmelerinin sabit GPS istasyonlarının yükseklik bileşenlerine etkileri araştırılmıştır.

# 2 ZAMAN SERİLERİ

## 2.1 Zaman Serilerinin Tarihçesi

Bilimsel açıdan zaman serilerinin analizi çok eski zamanlardan bu yana gelişmekte olan bir süreçtir. Fiziksel spektrum analizi 1664 yılında Newton tarafından ışık sinyali frekans bileşenlerine ayrılmıştır. 1800 yılında Herschel, güneş ışığını birçok farklı bantlara Newton' un spektrum aracının yerini alan bir ölçüm yapmıştır.

Devam eden yıllarda birçok araştırmacı periodgramlar hesapladı ve bunların eşitlikleri belirlendi. 1930'lu yıllardan itibaren Wiener, Cramer, Kolmogorov, Barlett, ve Tukey zaman serilerinin analizinde önemli gelişmelere imza atmıştır. Özellikle Tukey zaman dizilerinin ele alındığı birçok alanda çalışmıştır (Brillinger 2002).

## 2.2 Temel Kavramlar

### 2.2.1 Süreç

Süreç zaman içerisinde değişim gösteren bir çeşit fiziksel olay olarak düşünülür. Bu süreç belli zaman boyunca ölçüler yapılarak belirlenir. Bu süreçler genelde ölçü dizileri olup bunlar zamana veya konuma bağlı olarak ifade edilirler. Zaman serilerinin sayısal nicelikleri matematiksel olarak analiz edilirler ve bu sürecin fiziksel davranışları gözlenir.

Süreçler genellikle tek boyutlu olarak düşünülür. Fakat çok boyutlu olması da muhtemeldir. Bu duruma iki ya da üç boyutlu bir konum ile örnek verilebilir.

Süreçler sürekli ve ayrık olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gerçekte her süreç kesintisiz yani sürekli olmasına rağmen, verilerin elde edilmesinde kullanılan yöntemler sebebiyle sürekli süreçler ayrık örneklemlere dönüşür. Örneğin; deniz yüzeyi değişimini eş zamanlı olarak kaydeden bir analog sistem sürekli olarak ifade edilir.

Fakat bu sonuç sayısal bilgilere dönüştürüldüğünde ayrık bir süreç ortaya çıkar. Zaman serileri genellikle ayrık bilgiler üzerinde çalışırlar.

Süreçler deterministik ve rastgele olmak üzere de ayrılırlar. Hiçbir analizci bir sürecin ne kadar deterministik ne kadar rastgele olduğu hakkında fikir yürütemez. Genel olarak deterministik kısım tahmin edilebilir. Rastgele kısımda tahmin edilemeyen kısım olarak dikkate alınır. Bu nedenle sürecin deterministik ve rastgele kısımları modellemek isteyenin tercihine göre değişebilir.

Herhangi bir rastgele büyüklük, bir değişkene (sıcaklık,basınç,nem,tektonik hareketler vs..) bağlı olarak farklı değerler alabilir. Rastgele büyüklüklerin bağımlı değişkene göre değişimleri bir fonksiyonu tanımlar. Buna rastgele fonksiyon adı verilir. Rastgele fonksiyon deyince belirli bir gözlemin sonuçları yardımıyla tanımlanan ve gözlemin birçok tekrarlanması sırasında farklı değerler alabilen fonksiyonlara rastgele fonksiyon veya rastgele süreç adı verilir. Rastgele süreçlere atmosferin bir noktasındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimi; mevsimsel değişimlerin sabit bir GPS noktasının koordinatlarına etkisi, iki nokta arasındaki rüzgâr hızının yüksekliğe bağlı değişimi örnek olarak gösterilebilir.

### 2.2.2 Durağanlık

Rastgele sürecin farklı iki gerçekleşmesi tahmin edilemez. Bir sürecin tek bir gerçekleşmesi örnek kayıt olarak adlandırılır. Tüm bu gerçekleşmelerin bir araya gelmesiyle rastgele süreç veya stokastik süreç ortaya çıkar. Rastgele süreçte tüm örnekler birbirinden farklı değerler alır.

Stokastik süreç, durağan ve durağan olmayan süreçler olarak sınıflandırılır. Bir süreç istatistikî özellikleri argümandan bağımsız ise durağandır. Yani, tüm gerçekleştirmelerdeki istatistikî momentleri (örneğin ortalama değer) tüm değerler için aynı (zaman içerisinde değişmiyor) ise durağan denir. Bu sürecin tam tersi ise durağan olmayan olarak adlandırılır.

Stokastik süreçlerin belirlenmesi için çok sayıda küme ortalamaları gerekmektedir.

Bu işlem pahalı ve aynı zamanda karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle mümkünse az

sayıda gözlem ile yetinilmeye çalışılır.

Durağan süreçlerde ortalama elde edilen ölçülerin aritmetik ortalaması ile hesaplanır. Bu ortalama μ ile tanımlanırsa:

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} X_i \tag{2.1}$$

formülü ile elde edilir. Ayrıca analiz değerlerinin küme ortalamasıyla karşılaştırılması gerekir. Yani hesaplanan ortalamanın ölçülerden farkı alınır. Bu farkı bize ortalamadan sapmayı verecektir. Ortalamadan sapma ölçü sayısına oranlanırsa örneklemin varyansı hesaplanmış olur.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \mu)^2 \tag{2.2}$$

## 2.3 Zaman Serilerinin Tanımı

Zamanın periyodik noktalarında, bir cevap değişkeni gözlemlenmesi yoluyla verilerin toplanması zaman serisi olarak adlandırılır (Sincich 1996). Zaman serileri belli zaman aralıklarında bir değişkenin ardışık değerlerinin kaydedilmesiyle ortaya çıkar. Zaman serilerinde bağımsız değişken çalışılan konunun içeriğine göre değişebilir. Bu Jeodezi Biliminde koordinat bileşenlerindeki değişim, Ekonomi Biliminde yıllık TEFE, bir A firması için yıllık ihraç edilen ürün miktarı olarak karşımıza çıkabilir. Veri kayıt aralığı genellikle eşit kabul edilir. Ama uygulama esnasında genellikle eşit olmayan zaman serileri ile karşılaşılır. Bu durum analiz aşamasında problemler oluşturmaktadır.

Ekonomistler, işadamları, yöneticiler genelde karar vermede zaman periyodu ile kaydedilen bilgilere ihtiyaç duyar. Zaman serileri, gelecekteki operasyonların bir yıldan fazla genelde 5, 10, 15, ve 20 yıla dayanan uzun dönem planlamasında ve tahminleşmesinde kullanılabilen ölçümleri belirlemek için analiz edilmektedir (Mann 1995).

Zaman serileri analizi, bir serinin özelliklerini özetler ve serinin göze çarpan yapısını ortaya koymaya çalışır. Bu işlem zaman boyutunda yapılabileceği gibi frekans boyutunda da ele alınmaktadır. Başka deyişle frekans boyutunda periyodik hareketler dikkate alınırken, zaman boyutunda da zamanın farklı noktalarındaki gözlemler arasında ortaya çıkan ilişkiler üzerinde durulmaktadır. Her iki boyutta da yapılan analizler birbirini tamamlayıcı özelliğe sahiptirler ve aynı bilgi farklı yollarda zaman serisinin niteliği hakkında farklı fikirler vermektedir.

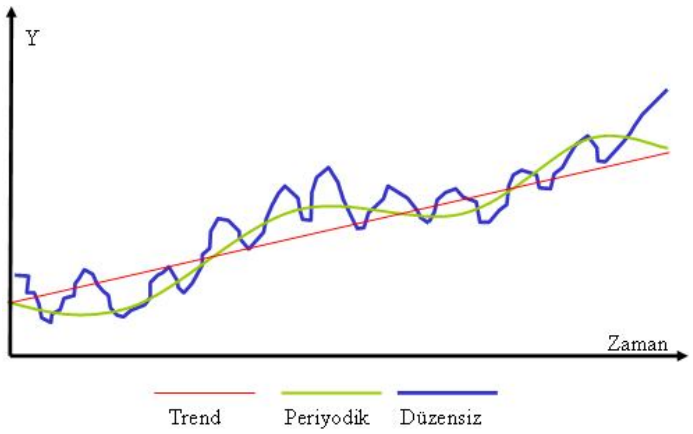
Yukarıda anlattıklarımızdan yararlanarak belki de regresyon ile zaman serisi arasında nasıl bir fark olduğunu merak edebilirsiniz. Bunlar arasındaki en temel fark varsayımlarıdır. Basit regresyondaki bağımsız değişken durumundaki değişkenler, zaman serilerinde karşımıza bağımlı değişken olarak çıkmaktadır ve rastgele değildirler.

Zaman serileri analizinde dört temel amaç vardır:

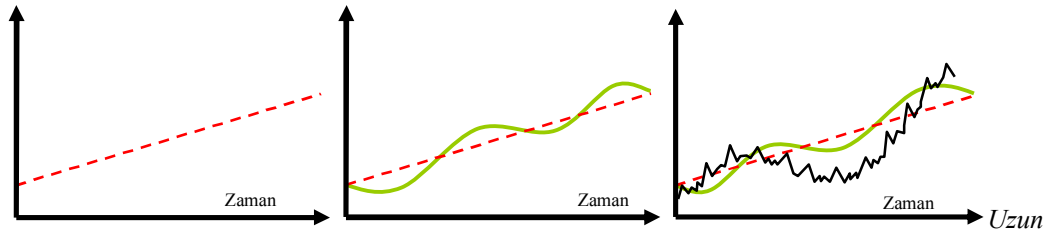
1. Veriler toplandıktan sonra grafiğe döküldüğünde verilerin dönemlik değişimi ve eğilimi hakkında kabaca bilgi edinilebilir. Değişkene basit bir matematik model belirlenebilir. Ayrıca diziye uymayan aykırı değerler tespit edilebilir.
2. Gözlenen değerler iki veya daha fazla parametreye bağlıysa her parametre için ayrı grafikler oluşturulur. Bu parametreler arası matematiksel ilişki (regresyon) zaman serileri analizinde bu noktada devreye girer.
3. Zaman serilerinden kurulan matematik model doğrultusunda gelecekteki bir değer için tahminde bulunması istenebilir. Bu kullanım şekli endüstri ve ekonomik alanlarda sıkça uygulama bulur. Ayrıca gözlenen değerler ileride problem oluşturacak düzeye gelirse önceden önlem alınabilir.
4. Kurulan matematiksel model doğrultusunda belli bir noktada önceden tahmin edilen değerin o noktada tahmin edilen değere ne kadar yaklaşıldığı da zaman serisinin kontrolünü sağlar. Örneğin belli bir zaman için kestirilen su seviyesi beklenen değere yaklaşmamış ise yeni bir model kurulabilir ya da bir fabrika için tahmin edilen verimlilik miktarı beklenenin altında kalmış ise üretim politikası değiştirilebilir.

Bir zaman serisinin gözlenen değerlerinin bu üç bileşenden oluştuğu düşünülerek fonksiyonel bir ilişki (şekil 2.1 ve şekil 2.2)

*Zaman Serisi= f(Trend Bileşeni, Periyodik Bileşen, Stokastik Bileşen)*




Şekil 2.1 Zaman serilerine ait bileşenler




*Dönem Trend* *Trend ve Devirli Hareket* *Trend, Devirli ve Mevsimsel Hareketler*

Şekil 2.2 Zaman serilerine ait bileşenler

biçiminde yazılabilmektedir. Buna göre Yt gibi bir zaman serisinde bütün bileşenlerin toplam modeli

$$Y_t = T_t + Y_t + Z_t \tag{2.3}$$

biçiminde ifade edilmektedir.

Zaman serileri aynı zamanda çarpım modeli ile de ifade edilebilir.

$$Y_t = T_t \cdot Y_t \cdot Z_t \tag{2.4}$$

Burada; $Y_t$, t dönemindeki serinin gözlemlerini, $T_t$, trend bileşeni, $Y_t$, periyodik bileşen ve $Z_t$, stokastik bileşeni göstermektedir. Zaman serinin deterministik bir trend bileşenine sahip olması durağan olmayan zaman serilerinde durağan dışılığın nedenlerinden biridir. Bu tür serilerin durağan hale dönüştürülmesi için trend veya periyodik etkilerinden arındırılması gerekmektedir.

Chatfield (1989) zaman dizilerinin rastgele gözlemlerinden olan farklılığını gözlemlerin birbiriyle kolerasyonlu olmasına ve analiz edilirken zaman sırasının göz önünde bulundurulması kuralına göre ayırt etmiştir. Daha pek çok özellikleri, zaman dizilerinin analizinde değişik yaklaşımlar kullanılmasını gerektirmektedir. Burada üzerinde durulması gereken noktalardan biri zaman dizilerinin deterministik ya da stokastik olarak incelenebileceğidir. Deterministik analizle fiziksel olayları modellenerek geleceğe yönelik tahmin yapılabilmektedir. Stokastik analizde ise stokastik sürecin istatistiksel özellikleri ya da davranış biçimi hakkında fikir yürütebilir. Geleneksel yöntemlerle analiz daha çok bir zaman dizisindeki eğilimin, periyodik etkilerin ve geriye kalan düzensiz hareketlerin ayrıştırılmasıyla ilgilidir.

### 2.3.1 Zaman serilerinin elemanları

Zaman serilerinin analizi seriyi oluşturan bileşenlerden ayrışımını gerektirir. Bir seriyi bileşenlerine ayırmak için kapsadığı dört bileşen arasında belli bir ilişki bulunduğu varsayılmalıdır. Genellikle izlenilen yol bir zaman serisinin birkaç bileşenini toplamı ya da çarpımından meydana geldiği varsayımıdır (Akalın 1990).

Bir Klasik Modelde, Zaman Serisi Dört Elemana Sahiptir (Mann 1995).

1. Uzun – dönemli genel trend (T)
2. Konjonktür dalgalanmaları (C )
3. Mevsimsel dalgalanmalar (S)
4. Varyasyon ve düzensiz rast gele hareketler (I)

$$Y = (T)(C)(S)(I)$$

İstatistiksel yönden zaman serilerinin amacı; bahsedilen dört elemandan her birinin, olayın aldığı değerler üzerinde ne ölçüde etkili olduğunu araştırmaktır.

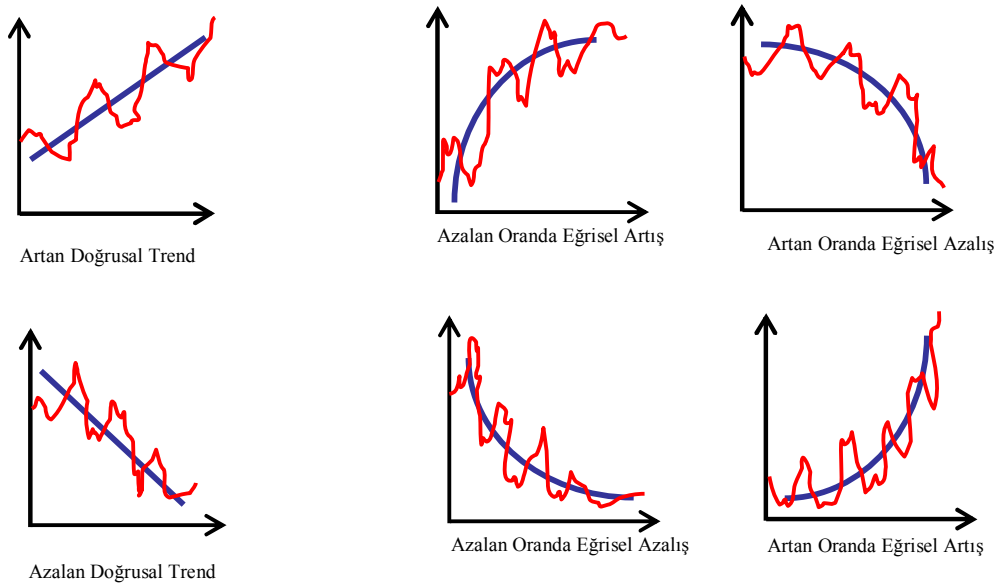
#### 2.3.1.1 Uzun - Dönemli genel trend

Olayın bağlı olduğu temel ve taşıdığı özellikler, uzun – dönemde çok fazla değişmeyen belirli bir yön taşıdığından uzun – dönemli genel trend olarak adlandırılır.

Trend bir zaman bir zaman serisinin uzun dönemde belirli bir yöne doğru gösterdiği gelişme veya ilerlemedir. Trend analizi bir uzun dönem analizi olduğundan verilerin aylık veya mevsimlik olarak verilmiş olması tahlilin sonucunu etkilemeyecektir (Köksal 1985).

Trend' in yön ve şiddeti her zaman sabit kalmaz. Trend doğrusal ya da eğrisel olabilir.

Şekil 2.3 gerçekleşmesi mümkün olan birkaç eğrisel ve doğrusal trend şekillerini göstermektedir.

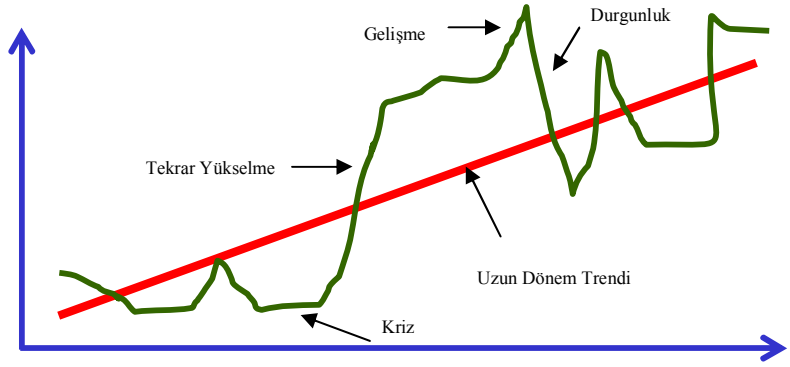



Şekil 2.3 Olası Trend Gösterimleri

### 2.3.1.2 Konjonktür dalgalanmaları

Bağımlı değişkende uzun bir zaman periyodunda oluşan ve ekonomide genel bir kriz olduğunda gerilemeyi, daha sonra büyümeyi karakterize eden dalgalanmalar konjonktür dalgalanmaları olarak tanımlanır.

Bir trend doğrusu veya eğrisi etrafındaki uzun dönemli dalgalanmaları konjonktür dalgalanmalarıdır (şekil 2.4). Bu hareketler mevsim dalgalanmalarına benzer şekilde periyodik olarak tekrar etmekte iseler de periyotların uzunluğu ve sürelerin belirsizliği ile dikkati çeker (Köksal 1985).

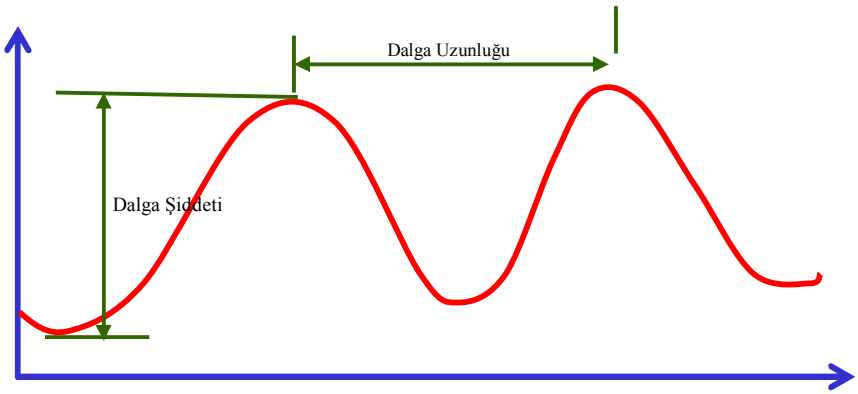



Şekil 2.4 Olası Konjonktür dalgalanmaları

#### 2.3.1.3 Mevsimsel dalgalanmalar

Ekonomiksel olayların zaman içinde izlendiği doğal ve sosyal nedenlerden dolayı, mevsime göre oluşan değişmeler mevsimsel dalgalanmalar olarak adlandırılır. Mevsimsel dalgalanmaların dalga uzunluğu 12 ay olmaktadır.

Bu dalgalanmalar mevsimlere göre değişen alkolsüz içki, gazete veya buzdolabı satışları ile ilgili seriler olabileceği gibi, caddelerdeki trafiğin saatlere göre değişmesinin, saatlere göre sinema seyircisi sayısındaki değişmenin veya bayramlara göre satışların gösterdiği dalgalanmaların belirlendiği seriler olabilir (şekil 2.5)(Köksal 1985).




Şekil 2.5 Olası Mevsimsel Dalgalanmalar

#### 2.3.1.4 Varyasyon ve düzensiz rastgele dağılımlar

Varyasyon ve düzensiz rastgele hareketler, doğal ve sosyo – ekonomik nedenlerden dolayı ortaya çıkabilir. Ancak, sözü edilen hareketlerin ne zaman, nasıl bir dalga şiddeti ile meydana geleceği belirsizlik taşıdığı için tahmini mümkün olmaz.

Bu nedenle bu tip hareketleri bir istatistiksel ölçüyle ifade edebilmek zordur. Örneğin sel baskınları gerek tarım gerekse sanayi üretimde büyük zararlara sebep olmaktadır. Doğa olaylarının rastgeleliğinin fazla olması nedeniyle sel baskınları önceden tahmin etmek olası değildir (Mann 1995).

### 2.3.2 Trend

Analiz edilecek veriler çeşitli nedenlerle az ya da çok sapma gösterirler. Fakat uzun bir süre verilerin eğilimi sabit bir değer gösterebilir. Bir zaman serisinin belli bir yönde göstermiş olduğu eğilime trend adı verilir. Zaman serilerinde trend bileşeni bulunduğu tespit edilirse, bu bileşenin seriden ayrıştırılması için En Küçük Kareler Yöntemi ile uydurulan bir doğru veya eğri denklemi elde edilmektedir.

Trend' in hesaplanmasında kullanılan birkaç yöntem vardır. Bunlara biraz değinecek olursak;

#### 2.3.2.1 Trend' in grafik yöntem ile belirlenmesi

Grafik yöntemde bir dik koordinat sisteminden yararlanılır. Yatay eksene zaman düşey eksene ise değerler işaretlenir. İşaretler birleştiğinde zaman serisinin trendi ortaya çıkar. Aşağıdaki çizelge 2.1 ve şekil 2.6 1991-1997 yıllarına ait Satış Değerlerine aittir.

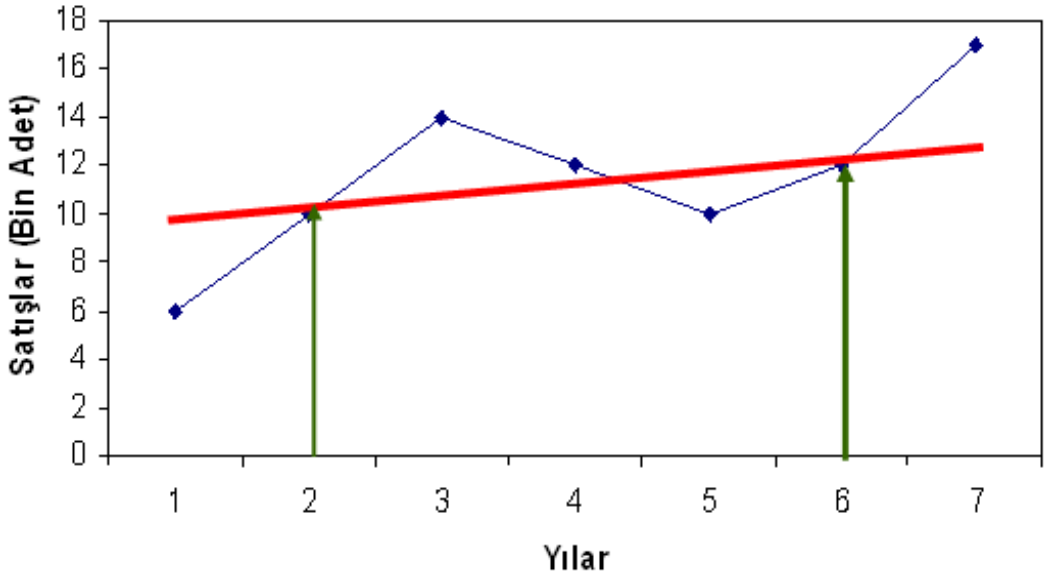
Çizelge 2.1 Satış Değerleri

| **Yıllar** | **Satışlar (1000 Adet)** |
|---|---|
| 1991 | 6 |
| 1992 | 10 |
| 1993 | 14 |
| 1994 | 12 |
| 1995 | 10 |
| 1996 | 12 |
| 1997 | 17 |

Tek sayılı zaman serilerinde tam ortadaki eleman dikkate alınmadan seri iki eşit kısma bölünür ve aritmetik ortalaması buna göre bulunur (çizelge 2.2) (Akdeniz 1998).

Çizelge 2.2 Satış Değerleri

| Yıllar | Satışlar (1000 Adet) | |
|---|---|---|
| 1991 | 6 | |
| 1992 | 10 | Y1 = (6+10+14) / 3 = 10 |
| 1993 | 14 | |
| 1994 | 12 | |
| 1995 | 10 | |
| 1996 | 12 | Y2 = (10+12+17) / 3 = 13 |
| 1997 | 17 | |




Şekil 2.6 1991- 97 arası Satış Grafiği

Basit grafik yönteminin genelde iki sakıncası vardır:

1. Yöntem trendin doğrusal varsayımına dayandırılmakta ancak trend doğrusal olmayabilir.
2. Serinin her iki kısmında konjonktürel dalgalanmaların etkisinin aynı olduğu varsayılmaktadır. Özellikle ekonomiksel gelişmelerde bu durum çoğu zaman gerçeğe uymayabilir (Akdeniz 1998).

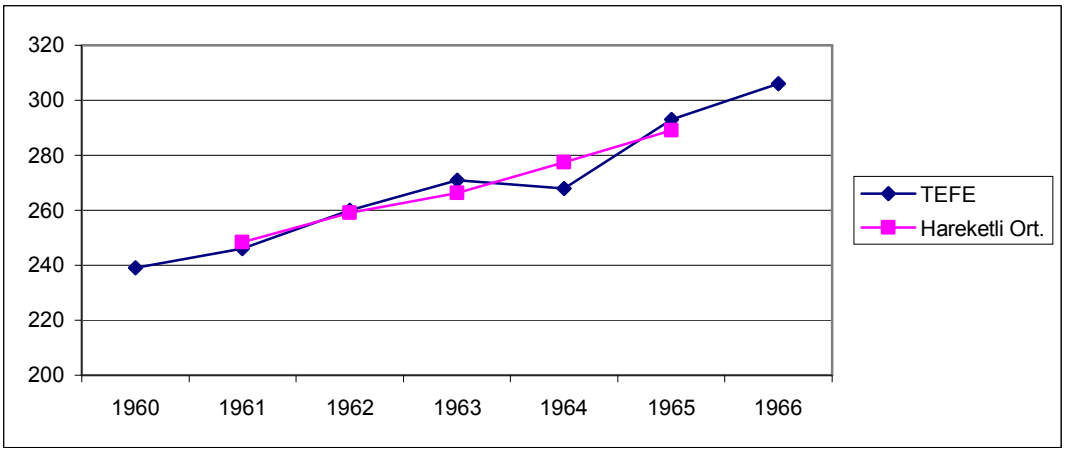
#### 2.3.2.2 Hareketli ortalamalar yöntemi

Genellikle, değerlerde ani düşüş ve yükseliş gösteren serilerde kullanılır. Bu nedenle bir önceki ve bir sonraki değerlerle ortalama alarak bu alçalma ve yükselmelerde dengeleme imkânı oluşur. Çizelge 2.3 ve şekil 2.7 de 1960 – 1966 yıllarına ait Toptan Eşya Fiyat Endeksi (TEFE) hareketli ortalaması görülmektedir.

Hareketli ortalamalar yöntemi; konjonktürel ve mevsimsel dalgalanmaları yok etmek amacıyla kullanılır (Sincich 1996).

Çizelge 2.3 TEFE değerleri ve hareketli ortalaması

| YILLAR | TEFE | Har.Ort. |
|---|---|---|
| 1960 | 239 | |
| 1961 | 246 | 248.33 |
| 1962 | 260 | 259 |
| 1963 | 271 | 266.33 |
| 1964 | 268 | 277.33 |
| 1965 | 293 | 289 |
| 1966 | 306 | |




Şekil 2.7 1960-66 Yılları arası TEFE grafiği ve hareketli ortalamalar trendi

Hareketli ortalamalar bir zaman serisine ait her değerin yerine, o değer ve daha önce ve sonra gelen birkaç değerin ortalamasının bu değer yerine yazılması suretiyle elde edilen bir zaman serisidir. Örneğin yıllık verilerde üçer yıllık hareketli ortalamalar hesaplamak istiyorsak, her yılın değeri bir önceki ve bir sonraki değerlerle toplanarak üçe bölünür ve bulunan değer fiili değerin yerine konulur. Benzer şekilde daha çok yılı veya ayları içine alan hareketli ortalamalar hesaplanabilir (Köksal 1985).

Hareketli ortalamalar trend hesabının sağlıklı olabilmesi için gerekli şartlar şunlardır.

- Olayın trendi doğrusal olmalı.
- Serideki dalgaların uzunluğu aynı olmalıdır.
- Serideki dalgaların şiddeti aynı olmalıdır.

Hareketli Ortalamalar Yönteminin Dezavantajları;

- Hareketli ortalamalar için gerekli şartlar sağlanamazsa, doğru sonuçlar elde edilmez.
- Hareketli ortalamalar tekniği ile elde edilen sonuçlar serideki uzun ve şiddetli dalgaların etkisi altındadır.
- Serinin başındaki ve sonundaki bazı elemanların hareketli ortalaması bulunamaz.

#### 2.3.2.3 En küçük kareler yöntemi

Yöntemin esası; zaman ile sonuçlar arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ortaya çıkarmaktır.

Trend'i en iyi tanımlayacak fonksiyon tipinin seçilmesi;

- Zaman X, olayın aldığı değerler Y ekseni üzerinde işaretlenerek olayın grafiği çizilir. Bu grafikten olayın uzun dönemde nasıl bir gelişme gösterdiği hangi tip fonksiyonla ifade edilebileceği, bükülme noktasına göre eğirinin derecesi belirlenir.
- Fonksiyon tipi grafikle belirlenmesi mümkün olmadığında, fonksiyon tiplerinin standart hataları hesaplanır; en küçük standart sapması olan fonksiyon tipi seçilir (Akdeniz 1998).

En Küçük Kareler Yönteminde, kullanılan fonksiyonun verilere en yakın denkleminin nasıl yazıldıklarını ele alacak olursak;

- *Doğrusal denklem* **:**

$$Y=a+bX \qquad (2.5)$$

Bu eşitlik genelde artma ve azalmaları sabitlik gösteren seriler için kullanılır.

Y = a + bX denklemindeki a ve b katsayıları iki yolla hesaplanır.

1. Yol: Normal Denklemler

$$\sum Y = na + b\sum X$$
$$\sum \mathrm{XY} = \mathrm{a}\sum \mathrm{X} + \mathrm{b}\sum X^2 \qquad (2.6) \text{ ve } (2.7)$$

2. Yol: Kodlu Yol

$$\sum Y = na \qquad \sum \mathrm{XY} = b\sum X^2 \qquad (2.8)$$
$$a = \left(\sum Y\right)/n \qquad b = \left(\sum XY\right)/\left(\sum X^2\right) \qquad (2.9)$$

a) Seri tek sayıda ise: Zaman bloğunda, tam ortadaki değer orijin olarak alınarak, sıfır değeri konur. Bundan öncekilere -1,-2,-3, vb; sonrakilere ise +1, +2, +3 değeri verilir.

b) Seri çift sayıda ise: Zaman sütununda tam ortadaki iki değerden büyük olana +1, küçük olana – 1 değeri verilerek +3, +5 , ... ve -3, -5, ... konularak işleme devam edilir (Gökmençelebi 1976).

*Standart hatasının hesabı ise*;

n < 30 ise; n ≥ 30 ise;

1. Yol:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n-2}} \qquad S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum \left(Y - Y'\right)^2}{n}} \qquad (2.10)$$

2. Yol:

$$S_{yx}=\sqrt{\frac{\sum Y^2-a\sum Y-b\sum XY}{n-2}} \qquad S_{vx}=\sqrt{\frac{\sum Y^2-a\sum Y-b\sum XY}{n}} \tag{2.11}$$

$S_{yx}$:Tahminin Standart Hatasını

Y :Bağımlı değişkenin gözlenen değerini

Y' :Bağımlı değişkenin regresyondan hesaplanan değerini

n :Gözlem sayısını

a ve b: Regresyon katsayılarını ifade eder.

- *Parabol denklemi* :

  $Y=a+bX+cX^2$ (2.12)

Bu eşitlik, yükselmeyi alçalmanın takip ettiği yön değiştirmeyi veren veriler için kullanılır.

$Y = a + bX + cX^2$ a, b, c katsayıları şu yollarla bulunur.

1. Yol: Normal Denklemler:

$$\begin{aligned}\sum Y &= na+b\sum X+c\sum X^2\\ \sum XY &= a\sum X+b\sum X^2+c\sum X^3\\ \sum X^2Y &= a\sum X^2+b\sum X^3+c\sum X^4\end{aligned} \tag{2.13}$$

2. Yol: Kodlu Yol

$$a=\frac{\left(\sum Y\right)\left(\sum X^4\right)-\left(\sum X^2Y\right)\left(\sum X^2\right)}{n\left(\sum X^4\right)-\left(\sum X^2\right)^2}$$

$$\begin{aligned}\sum Y &= na+c\sum X^2\\ \sum X^2Y &= a\sum X^2+c\sum X^4\\ \sum \mathrm{XY} &= \mathrm{b}\sum X^2\end{aligned} \quad \text{veya} \quad b=\frac{\sum XY}{\sum X^2} \tag{2.14}$$

$$c=\frac{n\left(\sum X^2Y\right)-\left(\sum X^2\right)\left(\sum Y\right)}{n\left(\sum X^4\right)-\left(\sum X^2\right)}$$

n: Trend periyodundaki zaman öğesinin sayısını,

Y: Zamana göre serinin değerini

X: Zamanı temsil eder.

*Standart hatanın hesabı ise*;

n < 30 ise  n ≥ 30 ise

1. Yol:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n-3}} \qquad S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n}} \tag{2.15}$$

2. Yol:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n-3}} \qquad S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n}} \tag{2.16}$$

$S_{yx}$: Tahminin Standart Hatasını

Y: Bağımlı değişkenin gözlenen değerini

Y': Bağımlı değişkenin regresyondan hesaplanan değerini

n: Gözlem sayısını

a ve b: Regresyon katsayılarını ifade eder.

- *Üstel denklem* **:**

  $Y=a.b^x$ (2.17)

Bu denklem, artma ya da azalma oranı sabit olan serileri hesaplamayı sağlar.

- *Hiperbol denklemi* **:**

  $1/Y=a+bX$ (2.18)

- *Kübik denklem* **:**

  $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$ (2.19)

Serinin grafiğinde alçalma ve yükselmeleri içeren iki bükülme varsa kullanılır.

- *Geometrik denklem* **:**

  $Y = a \cdot X^b$ (2.20)

Denklemlerde;

Y: Değerleri, X: Yılları, a, b, c: Regresyon katsayılarını temsil ediyor.

# 3 ZAMAN SERİLERİ ÇEŞİTLERİ

Bir zaman serisi, ilgilenilen bir büyüklüğün zaman içerisinde sıralanmış bir kümesidir. Zaman serisi ile ilgili bu analizin yapılma amacı ise, gözlem kümesince temsil edilen gerçeğin anlaşılması ve zaman içerisindeki değişkenlerin gelecekteki değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesidir (Allen 1964).

Zaman serilerinde trend, mevsimsel etkiler, periyodik bileşenler ve düzensiz hareketler elemine edildikten sonra eldeki serinin modellemesine geçilir. Zaman serileri uygun biçimde modellenebilirse geçmişteki ve şimdiki gözlemleri kullanarak geleceğe yönelik tahminler yapılabilir. Zaman serileri çok geniş bir kestirim yöntemleri yelpazesine sahiptir. Çözümlemeyi yapacak olan kişi eldeki verilerin niteliğine göre uygun modeli seçmekle yükümlüdür.

## 3.1 Otokorelasyon Fonksiyonu

Korelasyon iki değişken arasındaki birlikte hareket etmenin veya nedensel olmayan bir ilişkinin ölçüsüdür. Otokorelasyon ise kavramsal olarak bir serinin her hangi bir dönemdeki değeri ile bir önceki veya bir sonraki dönem değeri arasında birlikte hareket etme ilişkisini ima eder (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

Değişkenlere otoregresif bir modelin uyup uymadığına, değişkenin otokorelasyon katsayısı incelenerek karar verilmektedir. Durağan serilerde ardışık gözlemler arası iç bağımlılık ölçütü olarak otokorelasyon katsayısı kullanılmaktadır. N gözlem sayısı olmak üzere, $\overline{Z}$ gözlem sayısının ortasına denk gelen veri, $Z_i$ stokastik bileşenin k gecikmeli otokorelasyon katsayısı $r_k$ ile hesaplanmaktadır.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \overline{Z})(Z_{i+k} - \overline{Z})}{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \overline{Z})^2} \tag{3.1}$$

Ljung ve Box (1978) bir grup otokorelasyonun sıfır olup olmadığını denemek için, modife edilmiş Q istatistiğini önermiş ve bu modife edilmiş istatistiğin küçük

örneklemelerde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Bu istatistik,

$$Q = N(N+2)\sum_{k=1}^{h} r^2(k)/(N-k) \approx \chi_f^2 \tag{3.2}$$

dir. Burada f, hesaplanacak otokorelasyon sayısını ifade etmektedir. Serinin durağanlık varsayımı altında bu istatistiğin dağılımı serbestlik derecesi f olan ki karedir. Test sonucu $r_k$'ların sıfırdan istatistiksel olarak önemli derecede farklı olduğu belirlenirse, Zt stokastik bileşeni p'inci dereceden otoregresif modeller ile ifade edilebilir demektir.

Ayrıca model uygunluğunu testi için de tahmin hatalarının otokorelasyonu yöntemi de kullanılır. Geleceğe yönelik tahmin işleminde bir modelin incelenen bir seri için uygunluğuna karara vermede tahmin hatalarının otokorelasyonu yapılır. Tahmin hatası tahmin modeline dayanarak her gözlem değeri için elde edilen tahmin değerinin ilgili gözlem değerinden çıkarılmasıyla bulunur ve $a_t$ harfi ile gösterilir.

$$a_t = X_t - \overline{X}_t \tag{3.3}$$

Gözlem değerleri için hesaplanan tahmin hatalarının ardı ardına sıralanmasıyla meydana gelen seriye **tahmin hataları zaman serisi** veya **hatalar serisi** denir. Hatalar serisinin farklı k-gecikmelerindeki otokorelasyon katsayıları,

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \overline{Z})(Z_{i+k} - \overline{Z})}{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \overline{Z})^2} \tag{3.4}$$

Tahmin hataları otokorelasyon katsayıları

$$\pm t_c \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \tag{3.5}$$

limitleri arasında kalıyorsa model uygun modeldir ve hatalar tesadüfidir. Aksi halde model geçersizdir. Burada n gözlem sayısı, $\frac{1}{\sqrt{n}}$ standart sapma ve $t_c$ tablo değeridir.

## 3.2 Kısmi Otokorelasyon

Zaman serilerinde önemli bir etken de kısmı otokorelasyondur. İleride açıklanacak olan otoregresif ve hareketli ortalamalar modellerinde p ve q'nun kaçıncı dereceden olması gerektiği bilinemez. Bu derecelerin tespiti kısmı otokorelasyon ile yapılır. Kısmi korelasyon diğer bütün gecikmeli gözlemlerin etkisinden arındırıldıktan sonra $X_t$ değişkeni ile bu değişkenden herhangi bir k-gecikmesiyle elde edilen $X_{t+k}$ değişkeni arasındaki ilişkiyi inceler. Bu ilişkinin derecesini belirleyen katsayıya da kısmi otokorelasyon katsayısı denir ve $\phi_{mm}$ sembolü ile gösterilir. Serinin kısmi otokorelasyon katsayıları

$$\phi_{mm} = \frac{r_m - \sum_{j=1}^{m-1} \phi_{m-1,j} r_{m-1}}{1 - \sum_{j=1}^{m-1} \phi_{m-1,j} r_j} \tag{3.6}$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

## 3.3 Hareketli Ortalama (Moving Avarege, MA) Serileri

Bir hareketli ortalama süreci bağımlı değişkenin, gürültü sürecine sahip geçmiş hata terimleriyle ifade edilmesidir (Bozkurt 2007).

Eğer serinin gecikmeli hata terimi, şimdiki hata terimini etkiliyorsa hareketli ortalama süreci tanımlanır. Bir hareketli ortalama sürecinde değişkenin tahmin değeri hata terimlerinin tahmin değeri ile ilgilidir.(Sandy 1990)

$$Z_t = \mu + a_1 - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \tag{3.7}$$

Burada at, $a_{t-1}, \ldots a_{t-q}$ hata terimlerini, $\theta_1, \theta_2 \ldots \theta_q$ hata terimleri ile ilgili katsayıları, μ ortalama değeri göstermektedir.

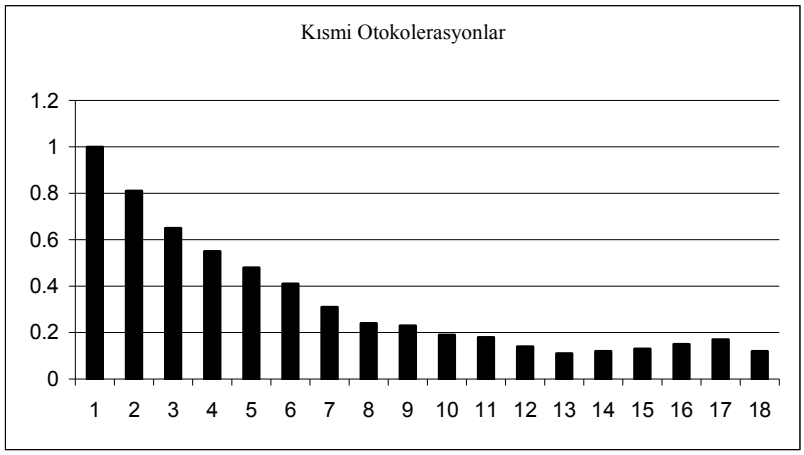
Bu eşitlikte, eşitliğin sağ tarafı anlamlı q sayısı kadar hata terimi ile ifade edilmektedir. Hata terimi, sıfır ortalamaya ve sabit varyansa sahiptir.

MA süreci, yavaş etkileri modellemede kullanılan ve serideki trend eğilimini ortadan

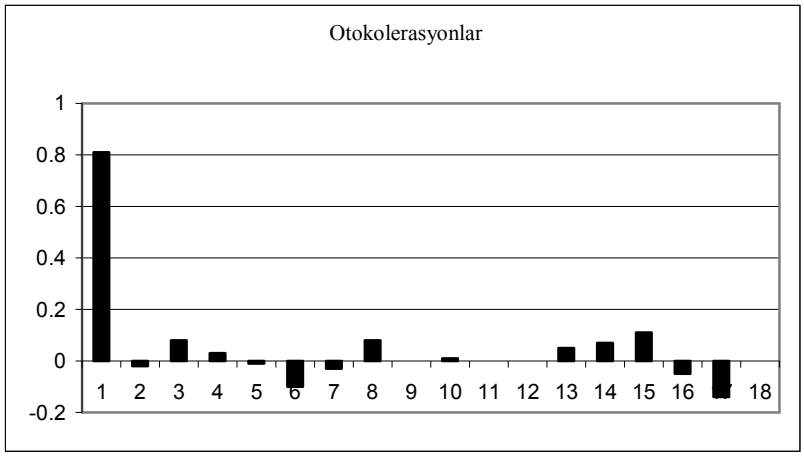
kaldırmak için tercih edilen bir yöntemdir.

Birçok zaman serisi başka bir serinin lineer kombinasyonu şeklinde yazılabilir (Akdi 2003). Hareketli ortalama zaman serilerine en basit örnek bağımsız aynı dağılıma sahip değişkenler dizisidir. MA serilerinin otokorelasyonları belli bir noktadan sonra sıfır olur. Kısmi otokorelasyonları ise üstel azalır. Herhangi bir zaman serisi verildiğinde otokorelasyonlar ve kısmi otokorelasyonlar hesaplanarak model derecesi belirlenebilir.

Aşağıda şekil 3.1 ve şekil 3.2 de bir MA serisinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri görülmektedir.




Şekil 3.1 100 Örnek bir MA zaman serisinin kısmi otokorelasyon grafiği




Şekil 3.2 100 Örnek bir MA zaman serisinin otokorelasyon grafiği

## 3.4 Otoregresif (Auto Regressive, AR) Zaman Serileri

Bir AR modelinde, bağımlı değişken geçmişteki değerinin bir fonksiyonudur. Birçok zaman serisi verisi de bu süreci içermektedir. AR(p) modelinde $Z_t$ değeri, serinin p dönem geçmiş değerlerinin ağırlıklı toplamının ve tesadüfi hata teriminin doğrusal fonksiyonudur. Bu durum aşağıdaki gibi bir denklemle ifade edilebilir.

$$Z_t = \mu + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \ldots + \phi_p Z_{t-p} + Z_t \tag{3.8}$$

Burada $Z_{t-1}, Z_{t-2} \ldots Z_{t-p}$ geçmiş gözlem değerleri, $\phi_1, \phi_2 \ldots \phi_p$ geçmiş gözlem değerleri için katsayılar, μ ortalama değer ve $Z_t$ de hata terimidir. Eşitlikte geçen $\phi$ terimlerini uygulamada önceden bilmek mümkün değildir. Çeşitli yaklaşımlar vasıtası ile hatalar kareleri toplamını sıfır yapan model derecesi ve $\phi$ parametreleri hesaplanır.

Yukarıdaki eşitlik sabit parametrenin olmadığı ve bağımlı değişkenin cari değerinin sadece kendi geçmiş değerleri ve hata terimi ile açıklandığı bir modeldir. Bu sürece AR(p) süreci denmektedir.

$X_1, X_2, \ldots, X_t$ gibi bir gözlemler dizimiz olsun. Serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyonlar serilerin modellenmesinde, başka bir deyişle model derecelerinin belirlenmesinde çok kullanışlı fonksiyonlardır. İstatistiksel analizler yapılırken model bilinmez ve veriye uygun bir model uydurulur. Uydurulan bu modele ilişkin istatistiksel sonuçlar elde edilir. Bu yüzden verilere iyi bir model uydurabilmek için serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyonlarının hesaplanması gereklidir. Tabi bu hesaplanan otokorelasyonlar ve kısmi otokorelasyonlar elimizdeki verinin veya örneklemin otokorelasyonu ve kısmi otokorelasyonu olacaktır. Örneklemin ortalaması;

$$\overline{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} X_t \tag{3.9}$$

Örneklemin Otokovaryansı ;

$$\hat{\gamma}_n(h) = \frac{1}{n-h}\sum_{t=1}^{n-h}\left(X_t - \overline{X}_n\right)\left(X_{t+h} - \overline{X}_n\right) \tag{3.10}$$

Örneklem Otokorelasyonu;

$$\hat{\rho}_n(h) = \frac{\hat{\gamma}_n(h)}{\hat{\gamma}_n(0)} \qquad \text{ya da} \qquad r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \overline{Z})(Z_{i+k} - \overline{Z})}{\sum_{i=1}^{N}(Z_i - \overline{Z})^2} \tag{3.11}$$

Kısmi otokorelasyon fonksiyonu ise;

$$\phi_{mm} = \frac{r_m - \sum_{j=1}^{m-1}\phi_{m-1,j}\, r_{m-1}}{1 - \sum_{j=1}^{m-1}\phi_{m-1,j}\, r_j} \tag{3.12}$$

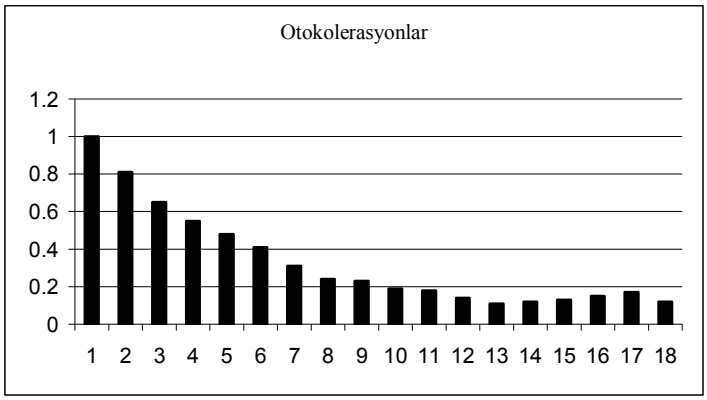
şeklinde ifade edilir. Daha önce de açıklandığı üzere otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları model belirlenmesinde kullanılır. Bir AR serisinin model derecesi serinin otokorelasyonunun sıfır olduğu nokta olarak kabul edilir. Böylece modelin derecesi belirlenmiş olur.

Aşağıda çizelge 3.1 ve şekil 3.3 de bir AR serisinin otokorelasyon ve çizelge 3.2 ve şekil 3.4 de bir AR serisinin kısmi otokorelasyon durumları görülmektedir.

Otokorelasyonlar;

Çizelge 3.1 Örnek verilerin otokorelasyon katsayıları

| **h** | ***0*** | ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** | ***5*** | ***6*** | ***7*** | ***8*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\mathbf{r_k}$ | 1 | 0.81 | 0.65 | 0.55 | 0.48 | 0.41 | 0.31 | 0.24 | 0.23 |
| **h** | ***9*** | ***10*** | ***11*** | ***12*** | ***13*** | ***14*** | ***15*** | ***16*** | ***17*** |
| $\mathbf{r_k}$ | 0.19 | 0.18 | 0.14 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.12 |

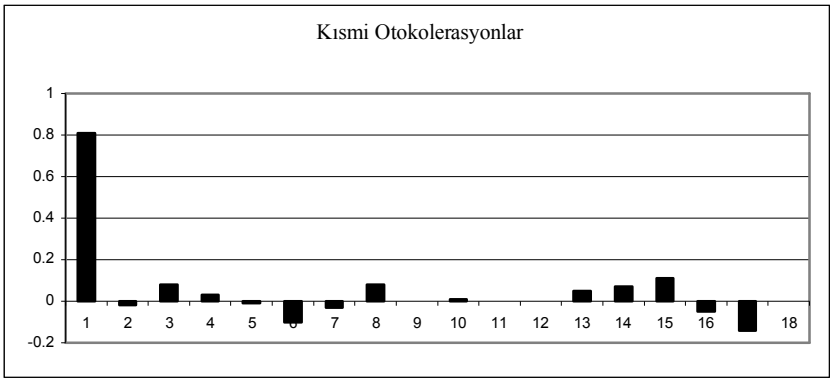



Şekil 3.3 100 birim zamanlık örnek zaman serisinin otokorelasyon grafiği

Kısmi Otokorelasyonlar;

Çizelge 3.2 Örnek verilerin kısmi otokorelasyon katsayıları

| **h** | ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** | ***5*** | ***6*** | ***7*** | ***8*** | ***9*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\phi$ | 0.81 | -0.02 | 0.08 | 0.03 | -0.01 | -0.1 | -0.03 | 0.08 | 0 |
| **h** | ***10*** | ***11*** | ***12*** | ***13*** | ***14*** | ***15*** | ***16*** | ***17*** | ***18*** |
| $\phi$ | 0.01 | 0 | 0 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | -0.05 | -0.14 | 0 |




Şekil 3.4 100 birim zamanlık örnek zaman serisinin kısmi otokolerasyon grafiği

Çizelgelerden ve şekillerden de anlaşılacağı gibi, seri birinci derece otoregresif zaman serisi modeline uygundur. Çünkü kısmi otokorelasyon katsayısı birinci dereceden sonra sıfır olmaktadır. Ayrıca otokorelasyon katsayıları üstel olarak azalmaktadır. Serinin otokorelasyon katsayılarının üstel olarak azalması o serinin aynı zamanda durağan bir seri olduğunun işaretidir. Yani seri bir AR(1) serisidir.

## 3.5 Fark Denklemleri

Fark denklemleri teorisi veya matematiği, zaman serisi yöntemlerinin temelini teşkil eder. Zaman serisi stokastik bileşenler (olasılıklı bileşenler) içeren fark denklemlerinin tahminleri ile ilgilenir. Zaman serilerinin geleneksel kullanımı, bir değişkenin geçmişteki değerlerine dayanarak zaman yolunu önraporlamaktır. Dizinin öngörülen bileşenleri gelecek için de tahmin edilebileceğinden bir dizinin dinamik yolu devam ettirilerek ön raporları geliştirilebilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

Fark denklemleri, zaman serilerinin otokovaryans fonksiyonunun bulunmasında (otoregresif zaman serileri) ve öngörülerin hesaplanması gibi durumlarda karşımıza çıkmaktadır (Akdi 2003).

Her hangi bir $t$ anındaki $X_t$ rasgele değişkeninin, $t$-1 anındaki $X_{t-1}$ değerine dönüştüren transformasyon, gerileme operatörü $BX_t = X_{t-1}$ olarak verilmiş olsun. Bu durumda, $k \geq 1$ için $B^k$ operatörü de $B^k X_t = X_{t-k}$ olur. Burada $B$ operatörünün fonksiyonu, bildiğimiz türev, integral operatörleri gibidir. $B^{-1}B = I$ olacak şekilde bir $B^{-1}$ operatörü varsa, buna $B$ operatörünün tersi denir, $I$ ile gösterilir ve bu $I$ operatörüne, birim (identity) operatörü denir. Zaman serilerinde çok karşılaştığımız fark operatörü ise $B$ gerileme operatörü yardımı ile tanımlanır. $d$ pozitif tam sayı olmak üzere $d'$ nci fark operatörü, $\nabla^d X_t = (1-B)^d X_t$ olarak verilir. Eğer serinin kendisi durağan değil fakat, $Z_t = \nabla^d X_t$ serisi durağan ise, $X_t$ serisine $d'$ nci dereceden bütünleşik bir seri denir ve $X_t \sim I(d)$ ile gösterilir.

Kolayca görülebileceği gibi,

$$(1-B)^{-1} = 1 + B + B^2 + B^3 + \ldots\ldots \tag{3.13}$$

$$(1-B)^{-2} = 1 + 2B + 3B^2 + 4B^3 + \ldots\ldots \tag{3.14}$$

$$(1-\mathrm{mB})^{-1} = 1 + mB + \mathrm{m}^2B^2 + m^3 B^3 + \ldots\ldots \tag{3.15}$$

özdeşliklerini yazabiliriz. Şimdi kabul edelim ki, $\{Y_t : t \in T\}$ rastgele değişkenlerinin dizisi,

$$Y_t + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \alpha_3 Y_{t-3} + \ldots\ldots + \alpha_n Y_{t-n} = r_t \tag{3.16}$$

modeline uygun olarak verilmiş olsun. Bu şekilde tanımlanan denkleme, $n$ nci dereceden lineer ( doğrusal ) fark denklemi adı verilir. Burada $\alpha_i$ ,$i$=1,2,3,…,$n$ değerleri, reel sayılar olup, $\alpha_n \neq 0$ dır. Eğer bu denklemde $r_t$ özdeş olarak sıfır ise yani denklem,

$$Y_t + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \alpha_3 Y_{t-3} + \ldots\ldots + \alpha_n Y_{t-n} = 0 \qquad (3.17)$$

şeklinde verilmiş ise bu denkleme *n'* nci dereceden homojen lineer fark denklemi denir. Buradaki amaçlardan bir tanesi, *n'* nci dereceden lineer fark denkleminin çözümünü bulmaktır. Bunun için önce homojen denklemin çözümü bulunur. Daha sonra fark denklemi için, bir özel çözüm bulunduktan sonra, bu iki çözümün toplamı, fark denkleminin çözümüdür. Homojen denklemin çözümü bulunurken, serinin karakteristik denkleminin çözümünden faydalanılır. Dolayısı ile karakteristik denklemin çözümünden elde edilen köklerin reel, kompleks ve tekrar eden köklerin bulunmasına göre çözüm değişecektir.

## 3.6 Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) Serileri

Ampirik çalışmalarda bir araştırmacının karşı karşıya kaldığı durumlardan birisi, veri üretme sürecinin görüntüsünü teşhis etmek ve daha sonra zaman serisi verilerinin gerçekleşmelerini kullanarak karşı gelen istatistiksel modeli tanımlamaktır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

Zaman serisi istatistiksel modellerinin iki önemli sınıfı olan otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) süreçleri daha önce açıklandı. Nitekim AR ve MA süreçlerinin belirli bazı özelliklere sahip oldukları otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının bulunmasıyla görülebilir. Örneğin MA(q) sürecinin derecesi hesaplanan k'inci gecikme için otokorelasyon katsayısı $\rho_k$' nın kesildiği gecikme dönemi ile belirlenebilir. Başka bir ifadeyle q' dan daha büyük gelişmelerde otokorelasyonlar sıfır olarak alınır.

Bununla birlikte bir model için hesaplanan otokorelasyonlar, $\rho_k$' lar daha ileri gecikmelerde sıfıra doğru bir azalma gösterir fakat kısmi otokorelasyonların hesaplamasında çok kısa süreli gecikmelerde kesilme söz konusu oluyorsa otoregresif sürecin daha baskın olduğu söylenebilir. Bunun gibi birçok farklı durum

vardır. Örneğin zaman serisi verileri için hem otokorelasyon hem de kısmi otokorelasyon fonksiyonları belirli bir gecikmede kesilmediği gibi sıfıra doğru çok yavaş hareket edebilirler. Bu durumlarda zaman serisi hem otoregresif hem de hareketli ortalama bileşenlerini aynı anda içerebilir ve zaman serisi modelinde bu iki durum birlikte ortaya çıkabilir.

Birçok durağan tesadüfi süreç otoregresif veya hareketli ortalama süreci ile modellenemez; bazen zaman serisi her iki süreci birlikte gösterebilir. Başka bir ifadeyle zaman serisi modeli hem AR, hem de MA bileşenleri p ve q' uncu dereceden olmak üzere ARMA(p,q) olarak tanımlanabilir. Bu seri aynı zamanda Box-Jenkis modeli olarak da bilinir.

İstatistiksel modelin cebirsel gösterimi,

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + ... + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + .... + \theta_q \varepsilon_{t-q} \tag{3.18}$$

olarak sunulabilir. Bu denklemde p otoregresif kısmın derecesini, q hareketli ortalama kısmın derecesini, $\theta$'lar hareketli ortalama parametrelerini, $\phi$ otoregresif parametreler ve ε modelin rasgele değişkenlerini ifade eder.

Burada kesme terimi δ , $Y_t$' nin ortalaması ile ilgili iken hatalar $\varepsilon_t$, $E(\varepsilon_t)=0$ ve varyans $Var(\varepsilon_t)=\sigma^2_\varepsilon$ ile korelasyonsuz tesadüfi değişkenler olduğu varsayılır. Eğer bu süreç durağan ise tüm dönemler için sabit bir ortalamaya μ sahiptir. Çünkü denklem (3.18) in beklenen değeri alındığında,

$$E(Y_t) = E(Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + ... + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + .... + \theta_q \varepsilon_{t-q}) \tag{3.19}$$

$$\mu = \delta + \phi_1 \mu + .... + \phi_p \mu + 0 + \theta_1 0 + .... + \theta_q 0 \tag{3.20}$$

$$\mu = \delta + \phi_1 \mu + .... + \phi_p \mu \tag{3.21}$$

yazılabilir. Burada $E(Y_t)= E(Y_{t-1})= E(Y_{t-2})=……= E(Y_{t-p})= \mu$ ve $E(\varepsilon_t)= E(\varepsilon_{t-1})= E(\varepsilon_{t-2})=……= E(\varepsilon_{t-q})=0$ özellikleri kullanılmıştır. Gerekli düzenlemeler yapılırsa ortalama,

$$\mu = \frac{\delta}{1 - \phi_1 - ... - \phi_p} \tag{3.22}$$

elde edilir. Bu sonuç aynı zaman da durağanlık için gerekli koşuluda belirtir. Yani,

$$\phi_1 + \phi_2 + .... + \phi_p < 1 \qquad (3.23)$$

olmalıdır.

Denklemlerdeki simgelerin anlamları;

$Y_t$ : Kesikli tesadüfi değişken

E($Y_t$) : $Y_t$ zaman serisinin beklenen değeri

## 3.7 Holt-Winters Üstel Düzeltme Kestirim Modeli

Yaygın kullanılan basit modellerden bir tanesi Holt – Winters modelidir. Bu modelin amacı bir zaman serisindeki genel eğilimi ve varsa mevsimsellik hesaba katılır.

Öncelikle mevsimsel olmayan zaman serilerinin kestirimini ele alalım. Burada hedef sadece serinin şimdiki düzeyini değil, genel eğilimini de tahmin etmektir. Bu amaç için eğilim şimdiki düzey ile bir önceki düzeyin farkı olarak ele alınır.

Serinin $t$ anında gözlenen değeri $X_t$ ile, düzey tahmini ise $X'_t$ ile gösterilsin. Genel eğilim tahmini de $T_t$ olsun. Bu iki tahmin denklemi şöyledir ;

$$\begin{aligned} X'_2 &= X_2 \\ T_2 &= X_2 - X_1 \end{aligned} \qquad (3.24)$$

$$X'_t = A(X'_{t-1} + T_{t-1}) + (1 - A)X'_T \qquad (0 < A < 1 \text{ , } t=1,2,3...,n) \qquad (3.25)$$

$$T_T = B \cdot T_{t-1} + (1 - B)(X_t - X_{t-1}) \qquad (0 < B < 1 \text{ , } t=1,2,3...,n) \qquad (3.26)$$

Bu modeldeki A ve B parametreleri ilk açıklanan yöntemde olduğu gibi modellemeyi yapan kişiye bağlıdır. n anından başlayıp serinin gelecekteki $X_{n+h}$ değerinin kestirimi

$$X''_{n+h} = X'_n + h \cdot T_n \qquad (h=1,2,3,\ldots) \qquad (3.27)$$

eşitliği ile hesaplanır.

## 3.8 Fourier Tekniği

Zaman serilerini meydana getiren sinyallerin ayrıştırılması Fourier tekniğinin çıkış noktasıdır. Diğer zaman serilerinde olduğu gibi Fourier tekniğinde de serinin trend'den arındırılmış olması gereklidir. T periyotlu bir fonksiyona sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının toplamı şeklinde yaklaşılabilir.

$$g(t) = a_0 + 2\sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos\left(\frac{2\pi}{T} kt\right) + 2\sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin\left(\frac{2\pi}{T} kt\right) \tag{3.28}$$

g(t) Fourier dizilerinin gösterimidir. Formülde ifade edilen $a_k$ ve $b_k$ g(t) fonksiyonunun Fourier katsayılarıdır. Bir dizinin Fourier serisine açılabilmesi için şu şartlar aranır:

- Tanım aralığında fonksiyon tek değerli olmalı
- [0,T] aralığında fonksiyon sürekli ve sonlu sayıda maksimum ve minimum noktaya sahip olmalı
- [0,T] aralığında integrali alınabilmelidir.

Yukarıdaki koşullar altında Fourier dizileri, fonksiyonun sürekli olduğu yerde g(t)' ye yakınsar. Süreksizlik noktalarında ise dizi fonksiyonun sağdan ve soldan limitlerinin aritmetik ortalamasına yakınsar (Buttkus 2000).

Fourier serileri periyodik fonksiyonların spektrumunu araştırmak için kullanışlı olmasına rağmen kendisini sürekli tekrar etmeyen fonksiyonlarda kullanılamaz. Fourier serilerine alternatif olacak ve periyodik olmayan fonksiyonların analizini yapabilecek bir yöntem vardır o da Fourier dönüşümüdür.

Mühendislikte fonksiyonlar sınırlı sayıda ayrık değerler yardımıyla temsil edilir. Veriler, çoğunlukla ayrık formatta toplanır veya dönüştürülür. Analog sistemlerden alınan sürekli sinyal, bir bilgisayarda analiz ve değerlendirme işlemine tabi tutulmak istendiğinde ayrık veri dizisine dönüştürülür. Örnekleme (sampling) teorisine göre oluşturulan ayrık veri dizisi, sinyalin belli zaman aralıklarında kaydedilen büyüklük değerleridir. Sürekli g(t) fonksiyonundan ayrık g(tk) dizisine geçiş,

$$g(t) \rightarrow g(k\Delta t) = g(t_k) \qquad k = 0,1,2,... \tag{3.29}$$

ile gösterilebilir. Burada t ayrık değerler arasındaki sabit zaman aralığıdır.

Teoride sinyal sonsuz zaman aralığında gösterilse de, sinyal sayısallaştırıldığında sonlu zaman aralığından (time-limited) söz edilir.

$g(t)$ fonksiyonundaki $a_0$ , $a_k$ , $b_k$ katsayılarının hesabı için aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir

$$a_0 = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)dt \tag{3.30}$$

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\cos\left(\frac{2\pi}{T}kt\right)dt \qquad \text{k=1 , 2 , 3 …} \tag{3.31}$$

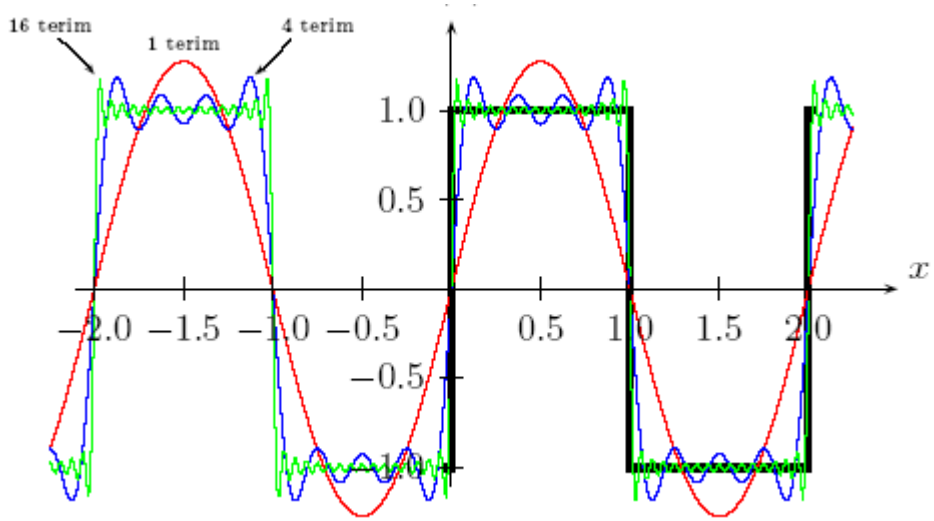
$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\sin\left(\frac{2\pi}{T}kt\right)dt \qquad \text{k=1 , 2 , 3 …} \tag{3.32}$$

Bu yolla Fourier dizilerinin oluşturulması “Harmonik Analiz” olarak da bilinir. Kısacası harmonik analiz seçilen bir periyodik fonksiyonun frekans bileşenlerine ayrılması işlemidir(Abbak 2005). Ortaya çıkan çözüm probleme bir yaklaşımdır. Doğruluk dizideki terim sayısıyla doğru orantılıdır. Bunu basit bir örnek ile açıklayabiliriz. Bir kare dalga ele alalım. Kare dalganın matematiksel fonksiyonu,

$$g(x) = \begin{cases} 1 \rightarrow 0 < x < 1 \\ -1 \rightarrow 1 < x < 2 \end{cases} \tag{3.33}$$

şeklinde ifade edilir.

Fourier serisinin seçilen terim sayısına göre döndüreceği değerlerin grafiği şekil 3.5 deki gibidir.




Şekil 3.5 Kare dalga fonksiyonunun Fourier yaklaşımı

### 3.8.1 Fourier dönüşümleri

Fourier serileri periyodik fonksiyonların spektrumunu araştırmak için kullanışlı araç olmasına karşın, kendini düzenli olarak tekrar etmeyen fonksiyonlarda kullanılamaz. Fourier serilerine alternatif olacak ve periyodik olmayan fonksiyonların analizini yapabilecek bir yöntem vardır o da Fourier dönüşümüdür(Abbak 2005).

Mühendislikte fonksiyonlar sınırlı sayı da ayrık değerler yardımıyla temsil edilir. Veriler genellikle ayrık formatta toplanır ya da dönüştürülür. Analog sistemlerden alınan bir sürekli sinyal bilgisayarda analiz ve değerlendirme işleminde ayrık veri dizisine dönüştürülür. Bu noktada örneklem aralığı önem taşımaktadır. Analiz esnasında en çok kullanılan dönüşüm Hızlı Fourier Dönüşümüdür. Hızlı Fourier Dönüşümde birçok algoritma kullanılır. Bu algoritmalardan çok kullanılanlardan birisi Sande-Tukey algoritmasıdır. Bu algoritmayı şu şekilde özetleyebiliriz;

Zaman serisindeki veri sayısı N olsun. Bu N sayısı ikinin kuvveti şeklinde bir sayı olsun.

$$N = 2^M \tag{3.34}$$

şeklinde ifade edilebilir. Hızlı Fourier Dönüşümünün atası olarak kabul edilebilecek Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) şu şekilde ifade edilir.

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} \qquad k = 0,1,2...N-1 \tag{3.34}$$

Ayrık Fourier Dönüşümünde periyodik olmayan dizilerin analizi söz konusu olduğunda dizinin bütünü bir dalga olduğu varsayımı kullanılır. Bu durumda $\omega = 2\pi / T$ iken $\omega = 2\pi / N$ haline gelir. Bu durumda eşitlik,

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n W^{nk} \tag{3.35}$$

halini alır. Eşitlikte geçen $W = e^{-i(2\pi/N)}$ ifadesi kompleks değerli ağırlık fonksiyonu olarak da ifade edilir. Dizi iki eşit parçaya bölünerek eşitlik dizinin iki yarısı için yeniden düzenlenirse;

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} + \sum_{n=N/2}^{N-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} \tag{3.36}$$

halini alır. Eşitlikte bulunan k=0, 1, 2, … N-1 olmak üzere ikinci toplam teriminin birinci terimle birlikte tutarlı hale gelebilmesi için $m = n - N/2$ yeni değişkeni elde edilir. Yeni değişken yerine konur ve denklem sadeleştirilirse;

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + e^{-i\pi k} f_{n+N/2}) e^{-i2\pi kn/N} \tag{3.37}$$

elde edilir. Bu eşitlikte özel bir durum söz konusudur. $e^{-i\pi k}$ ifadesi k'nın tek ya da çift olması durumuna göre sırasıyla 1 veya -1 değeri alır. Bir sonraki adım dönüşümü k değerlerinin tek ya da çift olması durumuna göre ayırmak olacaktır. Çift değerler için;

$$F_{2k} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + e^{-i\pi k} f_{n+N/2}) e^{-i2\pi(2k)n/N} \tag{3.38}$$

Tek değerler için ise ;

$$F_{2k+1} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - e^{-i\pi k} f_{n+N/2}) e^{-i2\pi(2k+1)n/N} \tag{3.39}$$

eşitliği kullanılır. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus vardır. Eşitlikte 2k terimi

kullanıldığından $k = 0,1,2...(N/2)-1$ aralığında değer alır. Ağırlık fonksiyonu gösterimde kullanılırsa çift değerler için;

$$F_{2k} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + f_{n+N/2}) W^{2kn} \tag{3.40}$$

Tek değerler için ise;

$$F_{2k+1} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - f_{n+N/2}) W^n W^{2n} \tag{3.41}$$

eşitlikleri kullanılır. Bu tek ve çift ifadeler bir dizinin N/2 uzunluğundaki elemanının dönüşümü olarak yorumlanabilir.

## 3.9 Mevsimsel Zaman Serileri

Birçok zaman serisi belirli dönemlerde mevsimsel faktörlerin etkisi altında bulunabilir. Genelde mevsimsel etkiler aylık dönemler itibariyle ortaya çıkar. Yıllık verilerde daha çok günlük, haftalık, aylık veya üç aylık verilerin bütüncül toplamını yansıttığından ya da bu verilerin bir ortalamasını gösterdiğinden mevsimsellik etkisi pek açık bir şekilde görülmez (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

Mevsimin etkisinde olan değişkenler yılın bazı dönemlerinde diğerlerine oranla daha yüksek veya daha düşük değerlere ulaşırlar. Örneğin bir yılın belirli dönemlerinde soğuk içeceklerin tüketiminin artması veya azalması, bazı dönemlerde doğalgaz kullanımının artması veya azalması, sıcaklık, düşen yağmur miktarı vs. gibi zaman serilerinde dönemsel olma özelliğine sahip olsalar bile ardışık dönemlerde tam olarak tekrarı söz konusu olmayabilir (Chatfield 1980).

### 3.9.1 Mevsimsel etkilerin testi

Seride mevsimsel etkilerin varlığını test etmek üzere kullanılan birkaç yöntem mevcuttur. Bunlardan en basit olanı, serinin grafiğinin incelenmesidir. Mevsimsel etki taşıyan bir zaman serisinin kolerogramı incelendiğinde, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin belirli gecikmeler için yüksek değerler aldığı gözlenebilir.

Ancak gerek grafik, gerekse kolegram yoluyla mevsimselliğin varlığına karar verilemiyorsa, mevsimselliğin test edilmesi gerekir (Bozkurt 2007).

- Yapay değişkenlerle mevsimsel etkilerin testi: serideki mevsimsellik deterministik kabul edilirse, mevsimsel ilişkinin olup olmadığı yapay değişkenler yardımı ile ortaya konulabilir.
- Kruskal – Wallis testi: Kısa dönemli öngörülerde başarılı sonuçlar veren ve parametrik olmayan bir test olan Kruskal-Wallis testi, uygulanmasındaki basitlik nedeniyle tercih edilmektedir.

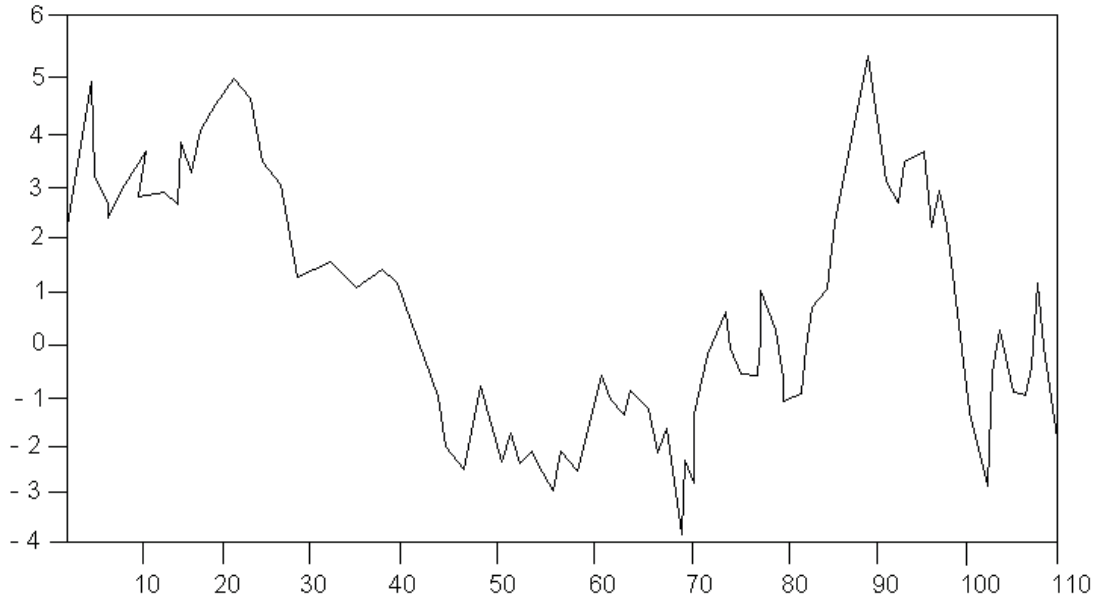
### 3.9.2 Hareketli ortalama yöntemi

Mevsimsel düzenleme teknikleri, seriyi mevsimsel değişkenlerden arındırmada kullanır. Seri, sözü edilen trend, konjonktürel dalgalanmalar, mevsimsel etkiler ve düzensiz bileşen gibi dört bileşenin çarpımları ile ifade edilmektedir.

# 4 ZAMAN SERİLERİNDE ARIMA MODELLERİ

## 4.1 Durağan ARIMA Modelleri

Zaman serilerinin durağan bir sürece sahip olduğu hipotezinden yola çıkarak AR, MA ve ARMA zaman serileri modellerini ele alındı. Fakat günlük yaşantıda zaman serileri modellerinin birçoğu bir zaman aralığı içerisinde değişim gösteren ve görünürde rastlantısal sürecin özelliklerini barındırdığından durağan dışıdır. Tesadüfi yürüyüş süreci durağan dışı bir süreçtir. Şekil (4.1) de görüldüğü gibi.




Şekil 4.1 Durağan dışı ARIMA süreci yapısı

ARIMA modellerinin amacı, zaman serilerinin hareketini açıklamak olup bu bağlamda hem analitik amaçla, hem de zaman serilerinin sistematik kısmını tahmin amacı ile kullanılmaktadır. ARIMA modellerinde temel yaklaşım ise incelenen değişkenin bu günkü değerinin, geçmiş değerlerinin ağırlıklı toplamı ve tesadüfi şokların bileşimine dayandığı şeklinde ifade edilmektedir. Öngörü için seçilecek algoritmanın gözlenen zaman serisinin davranışının incelenmesi ile belirlenecek olması nedeniyle tüm ARIMA modellerinde zaman serisinin özellikleri ayrıntılı olarak incelenmektedir. Model seçiminde ise serinin durağan olup olmaması,

mevsimsel etki taşıyıp taşımaması belirleyici olmaktadır. Bu nedenle ilk olarak zaman serisinin özellikleri ortaya çıkarılmakta ve uygun bir model bulmaya çalışılmaktadır. Ardından seriyi en iyi öngöreceği saptanan form üzerinde analizler yapılmaktadır (Akgül 2003).

Genel ARIMA modelleri arasında yer alan otoregresif model, hareketli ortalamalar, karma hareketli ortalama-otoregresif modeller durağan serilere uygun olan modellerdir.

### 4.1.1 Otoregresif modeller: ARIMA(p,0,0)

Tek değişkenli zaman serileri modellerinden "otoregresif": AR model de sürecin cari değeri $Y_t$, sürecin bir önceki değerleri $Y_{t-1}$ artı bir şok ile doğrusal bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. $Y_t$, trend etkisi ortadan kaldırılmış seriyi göstermektedir. Model ile zaman serisinin geçmiş değerlerine dayanarak gelecek değerleri ile ilgili bilgi sağlamak mümkün olmaktadır. AR modellerinde veriye uygun modelin bulunması kolaydır ve genellikle başarılı bir öngörü sağlarlar (Akgül 2003).

Bir serinin cari değerlerinin geçmiş dönemlerdeki değerleri ile arasındaki doğrusal bağlantı doğru belirlendiğinde, sistemin kalıntıları tesadüfi değişken özelliği taşıyacaktır. Bunu sağlayacak olan süreç ise "*otoregresif*" süreç olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlamda p' inci mertebeden otoregresif modelde: AR(p) zaman serisi değişkenin cari değeri, serinin p-dönem geçmiş değerlerin ağırlıklı toplamına artı tesadüfi hata terimine bağlı olarak açıklanmaktadır. p, otoregresif sürecin mertebesidir ve modelde kullanılan serinin geçmiş değerlerinin sayısını göstermektedir. Genel olarak

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + .... + \phi_P y_{t-P} + a_t \tag{4.1}$$

veya

$$y_t - \phi_1 y_{t-1} - \phi_2 y_{t-2} - .... - \phi_P y_{t-P} = a_t \tag{4.2}$$

şeklinde ifade edilen süreç, "p-inci mertebeden otoregresif süreç":AR(p) olarak adlandırılmaktadır (4.1) ve (4.2) nolu denklemlerde $a_t$ ile simgelenen hata terimi, sıfır

ortalama ve sabit varyansa sahip, bağımsız rastlantısallığa sahiptir. Ayrıca $a_t$' ler, $y_{t-p}$' lerden bağımsız olup herhangi bir dönemdeki hata ile de arasında ilişki söz konusu değildir.

δ ile simgelenen yığılım parametresine sahip AR(p) süreci

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + .... + \phi_P y_{t-P} + \delta + a_t \tag{4.3}$$

veya

$$y_t - \phi_1 y_{t-1} - \phi_2 y_{t-2} - .... - \phi_P y_{t-P} + \delta = a_t \tag{4.4}$$

şeklinde ifade edilmektedir. δ, stokastik sürecin ortalaması ile ilgili sabittir ve "yığılım parametresi" olarak adlandırılmaktadır. Modele sabitin katılması ise zaman serisinin sıfırdan farklı ortalamasının olmasına izin verilmesi şeklinde ifade edilebilir. Denklemlerde $\phi_1, \phi_2, ...., \phi_P$ olarak simgelenen parametreler, ağırlıklardır.

AR(p) süreci, $BY_t = Y_{t-1}$ , $B^2Y_t = Y_{t-2}$ olarak işleyen geri kaydırma işlemcisi: B kullanıldığında (δ=0 varsayımı ile)

$$\left(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - .... - \phi_P B^P\right) y_t = a_t \tag{4.5}$$

veya kısaca

$$\phi(B) y_t = a_t \tag{4.6}$$

olarak gösterilebilir. p-inci mertebeden AR işlemcisi olan $\phi$(B) açılımı ise

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - .... - \phi_P B^P \tag{4.7}$$

olarak yapılmaktadır.

(4.3) ve (4.4) nolu modellerde $\delta, \sigma_a^2, \phi_1, \phi_2, ...., \phi_P$ olacak şekilde (p+2) tane; (4.1) ve (4.2) nolu modellerde ise $\sigma_a^2, \phi_1, \phi_2, ...., \phi_P$ olacak şekilde (p+1) tane bilinmeyen parametre vardır ve bu değerler verilerden tahmin edilmektedir. $\sigma_a^2$ gürültü süreci özelliği taşıyan $a_t$' nin varyansını simgelemektedir.

Süreç (4.7) nolu modelden yararlanarak $y_t = \phi^{-1}(B) a_t$ olarak yazıldığında

polinomiyal denklemin açılımı ile

$$y_t = -\frac{1}{1-\phi_1 B-\phi_2 B-...-\phi_p B^p} a_t \tag{4.8}$$

$$y_t = \frac{1}{(1-\lambda_1 B)(1-\lambda_2 B).....(1-\lambda_p B)} a_t$$

olacak şekilde ifade edilir. (6.7) nolu polinom, $\phi(B)=(1-\lambda_1 B)(1-\lambda_2 B)\ldots.(1-\lambda_p B)$ olarak ifade edildiğinde $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_p$, $y^P-\phi_1 y^{P-1}-\phi_2 y^{P-2}....-\phi_P=0$ denkleminin köklerini simgelemektedir ve gerekli koşul tüm *i* ler için

$$|\lambda_i|=|1/\phi_i|>1 \tag{4.9}$$

olması şeklinde ortaya konmaktadır. Bu ifade

$$|\phi_i|<1 \tag{4.10}$$

olması ile aynıdır ve bu da karakteristik denklem olarak da adlandırılan $\phi(B)=0$ denklemine ait köklerin *"birim daire dışına"* düşmesi ile aynı anlamdadır. Ayrıca bu durum gerçekleştiğinde $y_t$'nin varyansı: Var($y_t$) sonlu olmakta ve (4.5) nolu model söz konusu olmaktadır.

AR modellerinde durağanlıktan bahsedilebilmesi için $\phi_i$ ile simgelenen katsayılarının toplamının birden küçük olması gerekmektedir. Bu ifade, tüm *i* ler için (i=1,2,…,p)

$$\sum_{i=1}^{p} \phi_i < 1 \tag{4.11}$$

olarak gösterilmekte ve ancak *"durağanlık koşulu"* olarak adlandırılan bu koşul sağlandığında serinin yakınsayacağı vurgulanmaktadır.

ARIMA modellerinin uygulanabilmesi için gerekli şartlardan olan durağanlığın kısıtlayıcı bir varsayım olduğu, bunun yanı sıra aslında tüm zaman serilerinde sağlanması gereken bir özellik olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca homojenlik anlamında durağanlığın ise ARIMA modelleri için gerekli olan, ancak yeterli olmayan bir koşul olduğu ifade edilmektedir (Akgül 2003).

Otoregresif süreç durağan olabilir veya durağan olmayabilir fakat *"her zaman çevrilebilirdir"* şeklinde ifade edilen özellik, AR(p) modelinin seriyi oluşturmada MA(q) modeline bir seçenek olarak ele alınabileceğini ortaya koymaktadır.

AR modelinin çevrilebilirlik özelliği $y_t = \mu + a_t - \theta a_{t-1}$ (4.12)

olarak oluşturulan MA(1) modelinden yararlanılarak gösterilebilir. model geri kaydırma işlemcisi kullanılarak $y = \mu + (1- \theta B)a_t$ olarak gösterilmekte ve her iki tarafı $(1 - \theta B)$ ya bölündüğünde

$$\frac{y_t}{(1-\theta B)} = \left(\frac{\mu}{(1-\theta B)}\right) + a_t \quad \text{ve} \quad y_t = \left(\frac{\mu}{(1-\theta B)}\right) + \theta y_{t-1} + \theta^2 y_{t-2} + ... + a_t \qquad (4.13)$$

denklemi elde edilmektedir. (4.13) nolu denklem, $y_t$ 'nin kendi geçmiş değerlerinin bir fonksiyonudur ve MA(1) sürecinin AR(p) süreci olarak gösterilebileceğini ifade etmektedir.

#### 4.1.1.1 ARIMA(1,0,0) = AR(1) süreci

Birinci mertebeden AR süreci: AR(1) veya başka bir deyişle "*Markovsüreci*", doğru veri yaratma süreci olduğunda zaman serisi için uygun model

$y_t = \phi y_{t-1} + a_t$ veya $y_t - \phi y_{t-1} = a_t$ (4.14)

olarak ifade edilmektedir. Yığılım parametresine sahip olmayan birinci mertebeden otoregresif süreç geri kaydırma işlemcisi ile, (4.5)' den yararlanarak $(1-\phi B)y_t = a_t$, $y_t = (1- \phi B)^{-1} a_t$ şeklinde gösterilmekte, buradan da

$y_t = (1+\phi B+ \phi^2 B^2 + ....)a_t$ , $= a_t + \phi a_{t-1} + \phi a_{t-2} + ....$ (4.15)

elde edilmektedir. Bu bir doğrusal filtre gösterimi olup $|\phi|<1$ olması halinde yansıyacaktır ve bu nedenle de "durağanlık koşulu" olarak adlandırılmaktadır.

Yığılım parametresine sahip olan birinci mertebeden otoregresif süreç $\delta \neq 0$ durumu için

$y_t = \phi y_{t-1} + \delta + a_t$ ve $y_t - \phi y_{t-1} = \delta + a_t$ (4.16)

ve geri kaydırma işlemcisi: B kullanılarak

$$(1-\phi B)y_t= \delta+a_t \quad (4.17)$$

olarak ifade edilmektedir.

Tüm AR süreçlerinde olduğu gibi AR(1) sürecinde de çözüm için karakteristik denklemin kökünün elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için

$$(1-\phi_1 B)= (1-\lambda_1 B)=0 \quad (4.18)$$

şeklinde ifade edilen karakteristik denklemin kökü $\lambda_t$ olduğunda, $\lambda_t$ için çözüm, $(1-\phi_1 B)=0$ den $B= 1/\phi_1$ olarak elde edildiği için,

$$\lambda_1= 1/\phi_1 \quad (4.19)$$

olmakta ve durağanlık için gerekli koşul denkleminin kökünün mutlak değer olarak birden büyük olmasına indirgenmektedir.

Bu durum $|\lambda_1|=|1/\phi_1|>1$ veya başka bir deyişle $|\phi_1|<1$ olarak ifade edilmekte olup AR sürecinin "*kararlılık*" veya "*durağanlık koşulu*" olarak adlandırılmaktadır. $|\phi_1|<1$ olması durumunda AR(1) sürecinin durağanlığı, $|\phi 1|<1$ olması durumunda yt' nin her bir dönemde sürekli büyüme eğilimi gösteren bir seri olması söz konusu olmaktadır.

AR(1) sürecine verilebilecek en iyi örnek Rastlantısalsal Gidiş:RG sürecidir. Yığılıma sahip olan ve yt = yt-1 + δ + at olarak gösterilen RG sürecinde $\phi$ı=1 dir. RG sürecinde otoregresif parametre $\phi$ı =1 olduğundan, varyans zamana bağlı olarak artacağı için süreç durağan değildir. Ayrıca δ>0 olması durumunda süreç yukarı doğru yığılacaktır.

AR(1) sürecinin durağan olmadığına, ancak "*çevrilebilir*" olduğuna değinilmişti. AR modellerinin "*çevrilebilir*" olmasının ne anlama geldiği (4.17) nolu denklemde AR(1) modelinden yararlanılarak ortaya konabilir. Bunu görmek için ilk olarak sürecinin bir dönem önceki gecikmelerinin alınması ile $y_{t-1}=a_{t-1} + \phi y_{t-2}$ denklemi ve (4.17) nolu denklemde $y_{t-1}$ yerine eşitliğin sağdaki değerleri yerleştirilince $y_{t-1}=a_t + \phi (a_{t-1}+\phi y_{t-2})$ denklemi elde edilmektedir. AR(1) sürecin iki dönem gecikmesi

alındığında $y_{t-2}=a_{t-2}+\phi y_{t-3}$ denklemi, yine (4.14) de $y_{t-2}$ yerine eşitliğin sağındaki değerler yerleştirilince $y_t= a_t+\phi [a_{t-1}+\phi (a_{t-2} + \phi y_{t-3})]$ denklemi, işlemlere aynı şekilde devam edildiğinde $y_t= a_t+ \phi a_{t-1}+ \phi^2 a_{t-2}+\ldots$. Denklemine ulaşılmaktadır. Yapılan işlemler sonrasında başlangıçtaki $y_t= a_t+\phi y_{t-1}$ olarak tanımlanan AR(1) modelinin, $y_t= a_t+ \phi a_{t-1} + \phi^2 a_{t-2}+\ldots$. Olarak tanımlanan MA(q) modeli ile ifade edilmesi, sürecin "*çevrilebilir*" olduğunu ortaya koymaktadır.

Öngörünün tüm ARIMA modellerinin olduğu gibi AR modellerinin de temel amaç olduğu ifade edilmekte ve süreci tanımlayan uygun modelin AR(1) olması durumunda zaman serisinin gelecek değerleri, serinin en yakın geçmişteki değerine dayanarak öngörülmektedir. Zaman serilerinin çoğu için bu gibi öngörülerin uygun olduğu, ancak öngörünün bir tek gözlemden daha çok sayıda gözleme dayanarak elde edilmesinin daha geçerli bir yaklaşım olacağı ifade edilmektedir.

#### 4.1.1.2 ARIMA(2,0,0): AR(2) süreci

AR(2) modeli, sabitin veya yığılım parametresinin olması durumunda, $\delta\neq 0$ iken

$$y_t=\delta + \phi y_{t-1}+ \phi y_{t-2} + a_t \qquad (4.20)$$

veya $\delta\neq 0$ iken

$$y_t= \phi y_{t-1}+ \phi y_{t-2} + a_t \qquad (4.21)$$

ve geri kaydırma işlemcisi: B kullanıldığında ise

$$(1- \phi_1 B- \phi_2 B^2)y_t=\delta+a_t \qquad (4.22)$$

olarak gösterilmektedir. $a_t$, 0-ortalamalı ve $\sigma^2$ varyanslı tesadüfi hata terimini, $\phi_1$ ve $\phi_2$ tahmin edilecek parametreleri simgelemektedir. Denklemlerde AR(2) sürecinde $y_t$' nin sadece iki dönem geçmiş değerinin bir fonksiyonu olarak ifade edildiği görülmektedir.

Tek parametreye sahip olan AR(1) modelinde durağanlık koşulunun $|\phi 1|<1$ olduğuna değinilmişti. AR(2) sürecinde ise $\phi 1$ ve $\phi 2$ olarak simgelenen iki

parametre söz konusu olduğundan, durağanlık koşulu, anılan parametrelerle ilgili olarak ifade edilmektedir. Koşullar AR(1)' de olduğu gibi yine karakteristik denklemlerin çözümünden elde edilen köklere bağlı olarak ortaya konmaktadır.

(4.21) modelinin çözümü; $(1- \phi_1 B- \phi_2 B^2) =(1-\lambda_1 B)(1-\lambda_2 B)=0$ (4.23)

Karakteristik denkleminin kökleri olan $\lambda_1$ ve $\lambda_2$' nin eldesi ile sağlanmaktadır. Modelde $\lambda_1$ ve $\lambda_2$, $y^2-\phi_1 y-\phi_2=0$ denkleminin kökleridir ve köklerin durağanlık koşullarını sağlaması gerekmektedir. Durağanlık için $\phi$ (B)= $(1- \phi_1 B-\phi_2 B^2)=0$ denkleminin köklerinin birim daire dışına düşmesi gerekliliği, $\phi_1$ ve $\phi_2$ parametrelerinin

$$\phi_1 + \phi_2<1 , \quad \phi_2 - \phi_1<1 , \quad -1<\phi_2<1 \tag{4.24}$$

Bölgeleri içine düşmesini vurgulamaktadır (Box ve Jenkins 1976).

(4.23) nolu denklemlin kökleri,

$$\lambda_1, \lambda_2 = \frac{\phi_1 \pm \sqrt{\phi_1^2 + 4\phi_2}}{2}$$

olarak elde edilmekte ve söz konusu olan kısıt, durağanlık için köklerin $|\lambda_1| <1$ , $|\lambda_2|<1$ olması şeklinde ifade edilmektedir. $|\lambda_i|<1$ olması,

$$\left| \frac{\phi_1 \pm \sqrt{\phi_1^2 + 4\phi_2}}{2} \right| < 1$$

olmasını işaret etmektedir. Buradan da $\phi_1$ ve $\phi_2$ için (4.24) deki üç kısıt elde edilmektedir.

Ayrıca AR(2) sürecinde, $\phi$' nın üstteki sınırlar içinde yer alması durumunda otokorelasyon katsayıları olan $\rho_1$ ve $\rho_2$' nın de durağanlık şartlarını sağlaması için $-1< \rho_1<+1$, $-1< \rho_1<+1$, $\rho^2_1<1/2(\rho_2+1)$ sınırları içine düşmesi gerekmektedir.

Kısıtlar sağlandığında süreç için "zayıf durağanlık" koşulları sağlanmış olmaktadır. Kökler reel veya kompleks olabilirler. Bu bağlam da köklerin kompleks olması $\phi 12+4\phi_2<0$ koşuluna dayanmakta olup ρk, sinüs dalgalarının bir fonksiyonu olmaktadır.

### 4.1.2 Hareketli ortalama modelleri: ARIMA(0,0,q)

Otoregresif modellerde olduğu gibi hareketli ortalama modellerinde de hata terimlerinin zaman içinde bağımsız ve tesadüfi olduğu, gürültü sürecinde oluşturulduğu varsayılmaktadır. "*q mertebesinde hareketli ortalama*":MA(q) modelleri, incelenen zaman serisi değişkeninin bugünkü değerini, gürültü sürecinin bugünkü ve q dönem geriye giderek geçmiş değerlerinin ağırlıklı toplamı ile açıklayan modellerdir.MA(q) süreci, tanım gereği q durağan gürültü terimin ortalaması olduğu için MA süreçlerinin tümü durağandır, MA süreçleri için tartışılan özellik ise "*çevrilebilirliktir*" tir.

Süreç, yığılım parametresinin modelde yer alıp almamasına bağlı olarak

$$y_t=\mu + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} -\ldots.- \theta_p a_{t-q} \quad (4.25)$$

veya

$$y_t= a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} -\ldots.- \theta_p a_{t-q} \quad (4.26)$$

olacak şekilde gösterilmektedir. Artı veya eksi değerler alabilen parametreleri simgeleyen $\theta_i$ ağırlıkları, $y_t$ durağan seriyi göstermektedir. $A_{t-1}$, $a_{t-2}$, $a_{t-q}$ geçmiş dönem öngörü hatalarını ve $\mu$, $\theta_1$, $\theta_2$,…., $\theta_q$ ise sırası ile sabit ve MA parametrelerini simgelemektedir.

Model (4.26) geri kaydırma işlemcisi: B kullanıldığında ise, $\mu=0$ olması halinde

$$Y_t=(1-\theta_1 B- \theta_2 B^{2-} \theta_3 B^3-\ldots.- \theta_q B^q)a_t \quad (4.27)$$

veya kısaca

$$y_t=\theta(B)a_t \quad (4.28)$$

olarak ifade edilmektedir. MA(q) işlemcisi olarak adlandırılan $\theta(B)$, B işlemcisinin polinomiyal fonksiyonudur ve açılımı

$$\theta(B)=(\theta_0-\theta_1 B- \theta_2 B^{2-} \theta_3 B^3-\ldots.- \theta_q B^q) \quad (4.29)$$

olarak yapılmaktadır. $\theta_0$, genellikle $\theta_0=1$ alınmaktadır Box ve Jenkins MA sürecini, "$y_t$ çıktısı, $a_t$ girdi iken $\theta(B)$ transfer fonksiyonunun doğrusal filtreden geçmesi ile

elde edilmektedir" ifadesi ile tanımlamaktadır.

Denklemlerde $a_t$, ortalaması sıfır ve varyansı sabit olan bağımsız dağılmış tesadüfi bir değişkendir, $[a_t \sim (0,\sigma^2_a)]$. Ayrıca her bir artık terimin normal ve tesadüfi dağıldığı varsayılmaktadır. Gürültü süreci uygulamada sık karşılaşılan bir süreç olmadığından, gürültü olmayan süreçler için gürültü' nün ağırlıklı toplamının sürecin iyi bir gösterimi olduğu ifade edilmektedir.

Sürecin çevrilebilirlik koşulu, (4.28) nolu modelin

$$a_t = \theta^{-1}B(y_t) \qquad (4.30)$$

olarak ifade edilmesi ile ortaya konmaktadır. Koşullar, (4.29) de gösterilen karakteristik denklemin köklerinin birim daire dışına düşmesi ile açıklanmakta ve sürecin "*çevrilebilirlik koşulu*" ,$(1- \theta_1 B)a_t = y_t$ şeklinde tanımlanan MA(1) süreci için $|\theta_1|<1$ olarak ifade edilmektedir.

(4.27) nolu modelde q kökü olan B polinomu $y_t=(1-\lambda_1 B)(1-\lambda_2 B)\ldots.( 1-\lambda_q B)a_t$ olarak ifade edildiğinde $\lambda_1, \lambda_2,\ldots., \lambda_q,$ $y^q + \theta_1 y^{q-1} +\ldots.+\theta_q =0$ denkleminin köklerini simgelemektedir. Model tahmin edildiğinde at=[θ(B)]-1yt denkleminde [θ(B)]-1 den yararlanarak yakınsama sağlayan artıklar hesaplanmakta ve tüm i'ler için $|\lambda i|<1$ olması, "*çevrilebilirlik koşulu*" olarak adlandırılmaktadır. Sürecin çevrilebilirlik koşulu, benzer şekilde (4.29) de gösterilen karakteristik denkleminin köklerinin "*birim daire dışına*" düşmesi olarak da ifade edilmektedir. Ayrıca θ(B) serisi sonlu olduğundan, durağanlık için MA sürecinin parametreleri üzerine bir kısıt koymanın gerekli olmadığı da vurgulanmaktadır (Box ve Jenkins 1976).

Çevrilebilirlik koşulunun sağlanması durumunda MA(1) sürecinin $y_t = \rho_1 y_{t-1} + \rho_2 y_{t-2} +\ldots.+ a_t$ olacak şekilde, yani AR(∞) olarak gösterilmesi mümkün olacaktır. Başka bir deyişle ρ' ların toplamı için $\sum|\rho_i|<\infty$ eşitsizliğinin geçerli olması durumunda yakınsama sağlanacağından MA(1) modeli $(1-\theta B)^{-1}y_t = a_t$ veya $(1+ \theta B + \theta_2 B^2 +\ldots)y_t = a_t$ olarak ifade edilmektedir. Bu koşulun gecikme uzunluğu arttıkça katsayılara daha az ağırlık verilmesini sağladığı ve gerekli ancak yeterli olmayan bir koşul olduğu ifade edilmektedir. Koşulun sağlanamaması durumunda ise gecikme arttıkça hata terimlerine verilen ağırlıkların artması söz konusu olacaktır. q-mertebesine sahip MA(q) süreci için koşul, i=1,2,…,q için

$$\sum \theta_i < 1 \qquad (4.31)$$

olarak ifade edilmektedir.

Değinildiği gibi AR sürecinin daima çevrilebilir olmasına karşılık MA süreci daima durağandır. Ayrıca $\phi_p$ parametrelerinin "durağanlık sınırlarını" ve $\theta_q$ parametrelerinin "çevrilebilirlik sınırlarını" geçmesi durumunda serinin durağan olmadığı; sınırlar içinde kalmaları durumunda ise serinin durağan olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle $\phi_p$ ve $\theta_q$' ye ait değerlere de dikkat edilmesi gerekmektedir. Parametrelerin durağanlık ve çevrilebilirlik sınırlarını geçmediği, ancak $\phi_1$ veya $\theta_1$' nin değerlerinin büyük olması durumunda seçilen zaman serisi modellerin uygun olmadığına karar verilmektedir.

(4.22) nolu modelde bilinmeyen parametre ve karakteristik öğelerin sayısı, $\sigma_a^2, \theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_q$ olmak üzere (q+1) iken (4.29) nolu modelde bilinmeyen sayısı μ,σ2a,θ1,θ2,…,θq olmak üzere (q+2) tanedir. Ayrıca MA sürecinde tahmin edilecek parametreleri, diğer bir değişle ağırlıkları simgeleyen θ1,θ2,…,θq değerleri ile ilgili olarak konulmuş kısıtlar söz konusu değildir, bu nedenle tüm değerleri alabilirler. Modelle ilgili olarak yapılan tek varsayım ise, AR ve MA süreçlerinde tesadüfi hata terimlerinin gürültü süreci tarafından belirlenmiş olması gerekliliğidir.

Tesadüfi sürecin tam bir modelinin oluşturulması için sonsuz sayıda gecikmeli hata teriminin kullanılması gerekli olduğundan MA sürecinin mertebesi, sonsuz derecede büyük olmakta ve bu nedenle $\sum_{i=0}^{\infty} \theta_i^2$ 'nin yakınsaması gerekmektedir. Yakınsama ile i'lerin büyümesi sonucunda $\theta_i$' lerin küçülmesi ifade edilmektedir. Başka bir deyişle MA(q) modelinde durağanlığın sağlanması için i' ler büyüdükçe $\theta_i$' lerin küçülmesi gerekmektedir. Bu özellik süreç durağan olduğunda k-arttıkça korelasyon katsayılarının küçülecek olmasına dayanmakta ve bu durumda otokorelasyon fonksiyonu' nun sıfır'a yaklaşması ile tutarlı olmaktadır.

#### 4.1.2.1 ARIMA(0,0,1): MA(1) süreci

MA(1) modeli, yığılım parametresinin olması veya olmamasına bağlı olarak

$$y_t = \mu + a_t - \theta_1 a_{t-1} \quad (4.32)$$

$$y_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} \quad (4.33)$$

veya (4.32) den yararlanarak ve geri kaydırma işlemcisi: B kullanılarak kısaca

$$y_t = (1-\theta_1 B)a_t \quad (4.34)$$

olarak ifade edilmektedir. $y_t$ durağan seriyi, $a_t$, saf hata terimi, $\theta_1$ MA parametresi göstermektedir.

MA(1) süreci parametreleri $(1-\theta_1 B)=0$ karakteristik denkleminin çözümü ile elde edilmekte ve kökün, $B=\theta_1^{-1}$, birim daire dışına düşmesi gerekmektedir.

MA modellerinde tüm $\theta_i$' ler için süreç durağandır ve sürecin çevrilebilir olması için $\theta_1$'in $-1 < \theta_1 < 1$ aralığında olması gerekmektedir. Ayrıca $|\theta_1|<1$ olduğunda $y_t = (1- \theta_1 B)a_t$ modelinin $\frac{y_t}{(1-\theta B)} = a_t$ olarak gösterilmesinin mümkün olduğu, yani $(1- \theta_1 B)^{-1} = \pi(B)$ "birim daire içinde" veya "üzerinde" ise yakınsayacağı ifade edilmektedir. Bu ifade, $(1 - \theta_1 B)=0$ da $B= \theta_1^{-1}$'in köklerinin "*birim daire dışına*" düşmesi ile aynı anlamdadır.

Tüm MA süreçlerinin durağan olduğuna, ancak çevrilebilirlik özelliğine dikkat edilmesi gerektiğine değinilmişti. Sürecin çevrilebilir olması ile de $|\theta_1|<1$ olduğunda MA(1) sürecinin geometrik olarak azalan ağırlıklarla daha yüksek mertebeli AR süreçlerine çevrilebilir olması ifade edilmektedir.

MA(1) süreci için tanımlanan (4.33) nolu modelden yararlanılarak $y_t = a_t - \theta_1 a_{t-1}$, $y_t = a_t + \phi_1 a_{t-1} + \phi_2 a_{t-2} + \ldots = a_t + \phi(a_{t-1} + \Phi a_{t-2} + \ldots)$, $y_t = \phi y_{t-1} + a_t$ işlemleri ile MA(1) sürecinin AR(1) sürecine çevrilebilir olduğu kolayca görülebilmektedir. MA(1) modellerinin çevrilebilir olması için gerekli olan koşul $|\theta_1|<1$ olmasıdır ve MA sürecinde AR gösterimine yakınsama sağlamak için $|\theta_1|<1$ kısıdının gerçekleşmesi gerekmektedir.

Kısıt, çevrilebilirlik koşulu olarak adlandırılmakta, bu da MA sürecinin AR($\infty$) gösterimi cinsinden yazılabileceğini ifade etmektedir.

Tesadüfi sürecin tam bir modelini oluşturmak için sonsuz sayıda gecikmeli artık

terimin ve bunlara karşı gelen ağırlıkların olması gerekmektedir. Bu durum da MA sürecinin mertebesi q, sonsuz derecede geniş olacaktır. Ayrıca elde edilen $\sum\theta_i^2$ değerinin yakınsaması gerekmekte ve yakınsama ile i' lerin büyümesi ile $\theta_i$' lerin küçülmeleri ifade edilmektedir. Bu bağlamda MA modelinde durağanlığın sağlanması için de i' ler büyüdükçe $\theta_i$' lerin küçülmesi gerekmektedir. Sürecin durağan olması durumunda ise, k-arttıkça $\rho_k$' nın küçülmesi söz konusu olmaktadır. Bu durum, durağan sürecin göstergesi olarak otokorelasyon fonksiyonu'nun sıfıra yaklaşması ile de tutarlı olmaktadır.

#### 4.1.2.2 ARIMA(0,0,2): MA(2) sürece

İkinci mertebeden hareketli ortalama: MA(2) süreci, $\mu=0$ varsayımı ile

$$y_t= a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} \tag{4.35}$$

veya geri kaydırma işlemcisi ile kısaca

$$y_t= (1- \theta_1 B - \theta_2 B^2)a_t \tag{4.36}$$

olarak ifade edilmektedir ve MA(2) süreci $\theta_1$ ve $\theta_2$' nin tüm değerleri için durağandır. Süreç, (4.35) nolu denklem yerine

$$y_t = \mu + \theta(B)a_t \tag{4.37}$$

olarak gösterildiğinde, $\mu$ sürecin düzeyini belirlemekte ve sürecin ortalamasını simgelemektedir. $\theta$, $a_t$'yi, $y_t$'ye dönüştüren doğrusal işlemcidir ve filtrenin "transfer fonksiyonu" olarak adlandırılmaktadır. (4.37)'deki $\theta(B)$ polinomunun açılımı $\theta(B) = 1+ \theta_1 B + \theta_2 B^2$ olarak yapılmaktadır. Açılımda ağırlık olarak yer alan $\theta_1$ ile $\theta_2$ değerleri, teorik olarak sonlu veya sonsuz olabilirler. Dizin "sonlu" olması veya "sonsuz ancak yakınsar" olması durumunda, filtrenin kararlı olduğundan bahsedilmekte ve $y_t$ sürecinin durağan olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca $y_t$' nin durağan olmaması durumunda $\mu$' nin belirli bir anlamı olmayacağı vurgulanmaktadır.

(4.36) nolu denklemin kökleri $(1+ \theta_1 B + \theta_2 B^2)= (1- \lambda_1 B)( 1- \lambda_2 B)=0$ karakteristik denkleminde $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ , $y^2 + \theta_1 y + \theta_2=0$ kuadratik denkleminin kökleridir. $|\lambda_i|<1$ olması koşulu ile kökler

$$\left|\frac{-\theta \mp \sqrt{\theta_1^2 - 4\theta_2}}{2}\right| < 1$$

Olarak elde edilmekte ve buradan elde edilen $\theta_1$ ve $\theta_2$ değerlerinin $\theta_1 + \theta_2 > -1$ , $\theta_2 - \theta_1 > -1$ , $|\theta_2| < 1$ koşullarını sağlaması gerekmektedir. Bu koşullardan ilk ikisi $\theta_1^2 - 4\theta_2 > 0$ olması halinde $(\theta_1^2 - 4\theta_2) < (2+\theta_1)^2$ veya $(\theta_1^2 - 4\theta_2) < (2-\theta_1)^2$ olduğunu, üçüncü $|\theta_2| < 1$ koşulu ise $\theta_2 = \lambda_1 \lambda_2$ olduğunu ortaya koymaktadır. $1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 = 0$ karakteristik denkleminin köklerinin "*birim daire dışına düşmesi*", başka bir deyişle $\theta_1 + \theta_2 < 1$ , $\theta_2 - \theta_1 < 1$ , $-1 < \theta_2 < 1$ olması durumunda, MA(2) sürecinin "*çevrilebilir*" olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca bu koşulların AR(2) durağanlık koşullarına paralel olduğu görülmektedir.

### 4.1.3 Karma Otoregresif–Hareketli ortalama modeli:ARIMA(p,0,q)

Durağan süreçlerin sadece AR veya MA süreçlerinin değil de, her iki sürecin özelliklerine sahip oldukları durumda, başka bir deyişle zaman serilerinin hem AR hem de MA bileşenine sahip olmaları durumunda AR ve MA terimlerinin modelde bir arada yer almaları söz konusu olmaktadır. Bu gibi durumlarda oluşturulacak olan ve seriler için daha iyi bir uyum sağlayacak olan modeller "*karma otoregresif hareketli ortalama*":ARMA(p,q) modelleri olarak adlandırılmaktadır (Akgül 2003).

ARMA modelinde AR süreci ile MA sürecinin doğrusal fark denklemleri şeklinde ele alınması gerekmektedir. Bu durumda p'inci mertebeden fark denklemi

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i y_{t-i} + x_t$$

olarak gösterilirken, $x_t$'nin MA(q)süreci özelliği gösteriyor olması durumunda denklem

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^{q} \beta_i a_{t-i} \qquad (4.38)$$

şeklinde gösterilmektedir. (4.38) nolu modelin karakteristik köklerinin tümünün daire içinde olması durumunda ise, $y_t$ sürecinin ARMA modeli ile

oluşturulmuş olduğu ifade edilmektedir.

(4.38) nolu modelde görüldüğü gibi $y_t$' nin geçmiş durağan gözlemleri ile ve geçmiş tesadüfi hata terimlerinin bir bileşimi olarak doğrusal bir fonksiyonu ile tanımlanmaları durumunda ARMA modeli söz konusu olmaktadır. Modelin mertebeleri p ve q dur ve sırası ile son istatistiksel önemli AR ve MA katsayılarının gecikmesini gösterirler. Modelde $y_t$, durağan seridir.

#### 4.1.3.1 ARIMA(1,0,1): ARMA(1,1) süreci

Zaman serilerinin hem AR(1) bileşeninin, hem de MA(1) bileşeninin olması durumunda, serilerin daha iyi uyumunu sağlanmak amacı ile AR ve MA terimleri bir modelde ele alınmakta ve ARMA(1,1) modeli söz konusu olmaktadır. Model, $\delta \neq 0$ varsayımı altında,

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \delta + a_t - \theta_1 a_{t-1} \tag{4.39}$$

veya gecikme işlemi kullanılarak kısaca

$$y_t - \phi_1 B y_t = \delta + a_t - \theta_1 B a_t \tag{4.40}$$

$$(1-\phi_1 B) y_t = \delta + (1 - \theta_1 B) a_t$$

olarak gösterilmektedir. ARMA(1,1) sürecinin $-1 < \phi_1 < +1$ olduğundan "*durağan*", $-1 < \theta_1 < 1$ olduğunda ise "çevrilebilir" olduğu ifade edilmektedir ve bu durum, modelin durağanlık koşullarının AR(1), çevrilebilirlik koşullarının MA(1) modelleri ile aynı olduğunu ortaya koymaktadır.

### 4.2 Durağan Olmayan ARIMA Modelleri

#### 4.2.1 ARIMA(p,d,q) modeli

Süreçlerin ortalamasının, varyansının ve kovaryansının zamana bağlı olarak değişmemesi durumunda, başka bir deyişle seriler durağan olduklarında AR(p), MA(q), ARMA(p,q) modellerinden birinin uygun olacağına değinilmişti. Ancak

zaman serilerinin çoğunda ortalama ve/veya varyansta zamana bağlı bir eğilim gözlenmektedir. Serilerin sabit bir ortalama etrafında dağılmaması veya stokastik sürecin karakteristiklerinin zamana bağlı olarak değişmesi nedeni ile durağan olmayan seriler ortaya çıkmaktadır. Bu gibi serilerin ise durağan hale dönüştürülmeleri gerekli olmaktadır. Mevsim etkisi taşıyan veya trende sahip olan serilerin düzeltilmesi gerekmekte ve genellikle bu özelliklere sahip serilerin durağan olana kadar farkı alınmaktadır. Durağan olmayan seriler için uygun modeller sağlayan "bütünlenen otoregresif-hareketli ortalama": ARIMA modelleri, d-kere farkı alındığında durağanlığı sağlanan seriye uygulandığında "durağan ARMA" modeli olarak ifade edilmektedir (Akgül 2003).

Durağan olmayan $y_t$ serisinin d' inci mertebeden farkı alınarak durağanlaştırıldığında yeni seri: $w_t$ olarak tanımlanıyorsa, dönüşüm

$$w_t = \Delta^d y_t = (1-B)^d y_t \tag{4.41}$$

şeklinde gösterilmektedir. $w_t$, durağanlaştırılmış seriyi simgelemektedir ve süreç ARMA(p,q) süreci olarak ifade edilmektedir. Bu durumda model

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + \phi_2 w_{t-2} + \ldots + \phi_p w_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \tag{4.42}$$

olarak ifade edilmektedir. Benzer şekilde fark serisi wt'nin bir ARMA(p,q) sürecine sahip olması durumunda ise, $y_t$ değişkeninin (p,d,q) mertebesi ile bir ARIMA(p,d,q) sürecine sahip olduğu ifade edilmektedir.

ARIMA(p,d,q) modelinin orjinal veri cinsinden genel gösterimi, $\delta \neq 0$ varsayımı ile

$$\Delta^d y_t = \delta + \gamma_1 \Delta^d y_{t-1} + \gamma_2 \Delta^d y_{t-2} + \ldots + \gamma_p \Delta^d y_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \tag{4.43}$$

olacak şeklinde yapılmaktadır. İncelenen $y_t$ serisinin durağan olmaması nedeni ile yapılan (4.41) nolu dönüşüm ile serinin durağanlığı sağlanmakta ve ardından (4.42) model ile gösterilmektedir. (4.43) daki model

$$\varphi(B) y_t = \theta(B) a_t \tag{4.44}$$

olarak ifade edildiğinde ise $\varphi(B)$, "*durağan olmayan AR işlemcisi*" ni göstermektedir. $\varphi(B)=0$ polinomunun köklerinin d tanesi birdir ve geri kalan kökler birim daire dışına düşecektir. (4.44) nolu modelin $\varphi(B) y_t = \phi(B)(1-B)^d y_t = \theta(B) a_t$

olarak gösterilmesi durumunda ise $\phi(B)$, "durağan AR işlemcisi"ni göstermektedir. Durağanlaştırılmış seri $\Delta dyt=wt$ olarak gösterildiğinde süreç

$$\phi(B)\Delta^d y_t=\theta(B)a_t \tag{4.45}$$

veya

$$\phi(B)w_t=\theta(B)a_t \tag{4.46}$$

olarak ifade verilecektir. Modeldeki AR işlemcisinin açılımı $\phi(B)=(1-\phi_1B-\phi_2B^2-\ldots-\phi pB^p$ olarak yapılmakta ve sürecin durağanlığının sağlanması için $\phi(B)=0$ denkleminin köklerinin birim daire dışına düşmesi gerekmektedir. Denklemin sağında yer alan $\theta(B)$, MA işlemcisidir ve açılımı $\theta(B) = (1 - \theta_1B - \theta_2B^2 -\ldots- \theta_qB^q)$ olarak yapılmaktadır. Sürecin çevrilebilir olması için de $\theta(B)=0$ denkleminin köklerinin birim daire dışına düşmesi gerekmektedir.

Üç farklı ARIMA modeli için işlemcilerin özellikleri özetlenecek olursa;

I. d=1, p=0, q=1 olması durumunda geçerli olan ARIMA(0,1,1) sürecinde $\phi(B)=1$ ve $\theta(B)=1-\theta_1B$ olduğu görülmektedir.

II. p=0, d=2, q=2 olması durumunda geçerli olan ARIMA(0,2,2), yani $\Delta^2y_t= a_t-\theta_1a_{t-1} - \theta_2a_{t-2} =(1-\theta_1B-\theta_2B^2)a_t$ sürecinde, $\phi(B)=1$ ve $\theta(B)=(1-\theta_1B-\theta_2B^2)$ olduğu görülmektedir.

III. p=1, d=1, q=1 olması durumunda geçerli olan ARIMA(1,1,1), yani $\Delta y_t - \phi\Delta y_{t-1}=a_t - \theta_1a_{t-1}$ veya $(1-\phi_1B)\ \Delta yt=(1-\theta_1B)a_t$ sürecinde, $\phi(B)=1-\phi_1B$ ve $\theta(B)=1-\theta_1B$ olduğu görülmektedir.

Durağan olmayan zaman serileri için bütünlenen ARMA modelleri olarak adlandırılan ARIMA modelleri ile durağan olmayan homojen zaman serilerinin (p,d,q) mertebesi ile modelize edilmeleri mümkün olmaktadır. Bu aşamada yapılan fark alma işlemi ise durağan olmayan serilerin durağan hale getirilmesinde dönüşüm aracı olarak kullanılmaktadır. Homojenlik mertebelerinin d=1, d=2, d=3 gibi değerleri almalarına karşın uygulamada yaygın kullanılan homojenlik mertebelerinin d=1 ve d=2 olduğu görülmektedir. Serinin mertebesi belirlendikten sonra modeldeki

otoregresif terim sayısı p ve gecikmeli hata terim sayısı q belirlenmektedir. Sonuçta ARIMA modelleri, durağan olmayan serilerin durağan olana kadar kaç kere farklarının alındığını gösteren d mertebesine AR terim sayısı p ve MA terim sayısı q' nun ilave edilmesi ile belirlenmekte ve her üç değerin seçilmesinin ARIMA modellerinde en önemli basamak olduğu ifade edilmektedir.

### 4.2.2 Box ve Jenkins model kurma stratejisi

Box ve Jenkins tarafından 1970' deki kitapları ile tanıtılan durağan olan ve homojen durağan olmayan zaman serilerinin modelize edilmesi yaklaşımında, uygun ARIMA modelinin seçilmesi için bazı stratejiler ortaya koymuşlardır. Model seçimi aşamasında bazı işlemler yapılması gerektiğini belirtmişler ve bu amaçla dört basamaktan oluşan bir deneme-yanılma süreci önermişlerdir.

Box ve Jenkins yaklaşımı olarak adlandırılan model kurma stratejisi, "*cimrilik*" prensibine dayanmaktadır ve bu prensip "verinin özelliklerini yeterli olarak yansıtan bir model için mümkün olan en az parametrenin kullanılması" olarak ifade edilmektedir. Ayrıca önerdikleri stratejinin her hangi bir optimallık kriterine dayanmadığı, pratik bir yöntem olduğu vurgulanmaktadır (Akgül 2003).

Box ve Jenkins yaklaşımında model kurmanın temel olarak dört basamaktan oluştuğuna değinilmişti. Birinci basamakta model "*belirlenir*", ikinci basamakta model "*tahmin*" edilir ve üçüncü basamakta tahmin sonrası "ayırt edici kontrol" yapılır. Bu basamaktan sonra "büyük ayırım" basamağı yer almakta, ancak çoğu kez üçüncü basamak her ikisini de kapsayacak şekilde "ayırt edici kontrol" olarak adlandırılmaktadır. En son basamak ise "*ileriye yönelik tahmin*" veya "*öngörü*" dür .

Analize zaman serilerinin grafiğinin çizimi ile başlanmakta ve serinin mevsim etkisi, trend gibi bileşenlere sahip olup olmadığı gözlenmektedir. İlk aşamada yaygın olarak otokorelasyon fonksiyonu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonundan da yararlanılmaktadır. Bu nedenle serilerin zaman grafiğinin incelenmesi, örnek otokorelasyon fonksiyonunlarının hesaplanması ve grafiklerinin çizilmesi, örnek döneminde verilerin ortalamalarının ve varyanslarının sabit olmasını sağlamak amacı ile uygun dönüşümlerin yapılması, model kurma isteminin başlangıç noktası olarak kabul

edilmektedir.

Değinildiği gibi ilk olarak zaman serilerinin grafikleri, otokorelasyon fonksiyonu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları incelenip serinin durağan olup olmadığı belirlenmektedir. Varyansta durağan olmadığı gözlenen serinin logaritmik dönüşümü yapılmaktadır. Ardından incelenen serinin özelliğine uygun olarak fark alma işlemi yapılmakta ve elde edilen fark serisinin grafiği, otokorelasyon fonksiyonu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları incelenerek fark almanın seride yarattığı etkiler incelenmektedir. Ayrıca mevsim etkisi taşıyan verilerde mevsimsel fark alma işlemi yapılmaktadır. Ancak serilerin durağanlığı sağlandığında uygun olduğu düşünülen model oluşturulmakta ve tahmin edilmektedir. Modelin öngörü amacı ile kullanılabilmesi için hata terimlerinin ayırt edici kontrolden geçmesi gerekmekte, çeşitli testlerle modelin yeterliliğine karar verildiğinde ise model öngörü amaçlı kullanılmaktadır. Modelin yetersiz olduğu durumlarda ise yeni model oluşturularak işlemler sırası ile tekrar yapılmakta ve işlemler seri için uygun model buluna kadar devam etmektedir. Uygun modelin seçiminin denemeye dayalı olması ise yöntemin sakıncası olarak kabul edilmektedir.

# 5 ZAMAN SERİLERİNDE MODELLEME

Zaman serilerinde uygulama yapılırken model parametreleri bilinmez ve bunların tahmin edilmesi gerekmektedir. Pratikte model dereceleri başlangıçta olabilecek en yüksek değerler alınarak uygun modele gidilmeye çalışılır. Fakat model derecelerinin yüksek alındığında parametre tahminleri istenildiği gibi çıkmayabilir. Örneğin model derecelerini yüksek aldığımızda varyans büyük çıkacaktır. Çünkü artıklar için daha az serbestlik derecesi olacaktır.

Herhangi bir zaman serisi verildiğinde öncelikle bu zaman serisinin karakteristikleri incelenmelidir. Bunlar, beklenen değer ($\mu$), varyans ($\sigma^2$) ve otokorelasyonlardır ($r(h)$). Verilen herhangi bir $Y_t$ zaman serisi için bu parametrelerin tahmin edicileri aşağıdaki gibi gösterilebilir,

$$\mu = \overline{Y}_n = n^{-1}\sum_{t-1}^{n} Y_t \tag{5.1}$$

$$\sigma^2 = n^{-1}\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \overline{Y}_n\right)^2 \tag{5.2}$$

$$r(h) = \frac{\sum_{t=h+1}^{n}\left(Y_t - \overline{Y}_n\right)\left(Y_{t-h} - \overline{Y}_n\right)}{\sum_{t-1}^{n}\left(Y_t - \overline{Y}_n\right)^2} \tag{5.3}$$

Box ve Pierce (1970) bir grup otokorelasyonun sıfır olup olmadığını sınamak için,

$$Q = n\sum_{k=1}^{h} r^2(k) \tag{5.4}$$

istatistiğini önermiştir. Burada n örneklem büyüklüğü ve h gecikme uzunluğudur. Serinin durağanlık varsayımı altında bu istatistiğin dağılımı serbestlik derecesi olan khi-kare dir. Yani,

$$Q = n\sum_{k=1}^{h} r^2(k) \approx \chi_h^2 \tag{5.5}$$

dir. Daha sonra Ljung ve Box (1978) modife edilmiş. $Q$ istatistiğini önermiş ve bu modife edilmiş istatistiğin küçük örneklemlerde daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Bu istatistik,

$$Q = n(n+2)\sum_{k=1}^{h} r^2(k)/(n-k) \tag{5.6}$$

şeklinde verilmektedir. Bu istatistik yine serbestlik derecesi $h$ olan khi-kare dağılımına sahiptir. Burada verilen Box-Pierce ve Ljung-Box istatistikleri aynı zamanda verilen bir ARMA(p,q) zaman serisindeki artıkların gürültü olup olmadığını sınamak için de kullanılır.

## 5.1 Model Seçim Kriterleri

Bir ARIMA modeli tahmin edildiğinde, seçilen modelin düzeltilmesi gerekiyorsa tanımlama sonucunun gözden geçirilmesi gerekir. Bu noktada;

- Tahmin edilen parametrelerden bazıları anlamsız olabilir. Böyle bir durumda anlamsız terimler modelden düşürülmelidir.
- Otokorelasyon fonksiyonu ve kısmiotokorelasyon fonksiyonları AR veya MA modellerinin seçilmesine dair bilgiler sağlar. Bununla birlikte bir AR veya bir MA modeli ile başlamak normal bir davranıştır.
- Bir ya da daha fazla uyumlu model tanımlanmış ise ve bunlardan hangisinin tercih edileceğine dair yöntemlere veya kriterlere ihtiyaç duyulabilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

En iyi ARIMA modelini seçebilmek için başvurulacak ilk ölçek minimum hata kareler toplamını vereni araştırmaktır. Veya en çok olabilirlik (benzerlik) değerini aramaktır. Ancak bu yaklaşımlar her zaman tam doğru seçim yapma şansını tanımazlar. Yine de bu iki ölçü model seçimi için başlangıçta bir ön bilgi sağlamakta kullanılabilir.

### 5.1.1 Standart belirlenim katsayısı-$R^2$

Standart belirlenim katsayısı $R^2$ zaman serisi modellerini değerlendirmek için çok fazla yararlı olmayabilir. Regresyon modelleri arasında bu kritere dayanarak seçim yapma maksimizasyonuna dayanır. Zaman serisi modellerinde de benzer biçimde kullanılabilir. Ancak regresyon modellerinde yapılan her ilave değişken durumunda $R^2$'nin değeri artar. Regresyonda bu sonucun çözümü serbestlik derecesi dikkate alınarak ayarlanmış $\check{R}^2$' lerin hesaplanmasıyla halledilmeye çalışılır. ARIMA modelleri içinde benzer çözüm önerilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

Zaman serisi modelleri için belirlenim katsayısının hesabı örneğin teorik olarak en basit AR(1) modeli $Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t$ için

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma^2}{\gamma_0} = 1 - \frac{\sigma^2}{\left[\frac{\sigma^2}{1-\phi_1^2}\right]} = \phi_1^2 \tag{5.7}$$

yazmak mümkündür. Dolayısıyla $R^2$'nin yalnızca AR parametrelerine bağlı olduğu görülebilir.

### 5.1.2 F-İstatistiği yaklaşımı

ARIMA model belirlemede model seçim kriteri olarak başvurulan ve daha ziyade bir regresyon tekniği olarak bilinen başka bir kriter F-istatistiği yaklaşımıdır. Dolayısıyla otoregresif (AR) zaman serisi modellerinin seçiminde uygulama kolaylığı ve basitliğinden ötürü çok sık kullanılır. Örneğin zaman serisi verilerine AR(2)'mi, yoksa AR(3)'mü daha uygundur? Sorusunun cevabını araştırırken gerek otokorelasyon gerekse kısmiotokorelasyon katsayılarına dayanarak AR(2)'den emin fakat AR(3)'ün ihmal edilebilir olup olmadığına karar verilemiyorsa regresyon tekniğine başvurarak parametrelerin tahminleri yapılabilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

### 5.1.3 Akaike Bilgi Kriteri (AIC)

Akaike bilgi kriteri (AIC) modeldeki terimlerin sayısını dikkate alarak modelin uyumunun iyiliğini ölçen bir kriterdir. AIC genelde çok değişkenli alternatif modeller arasında iyi bir uyum sağlayan modelin seçim kriteri amacıyla kullanılabileceği gibi ARIMA modelleri içinde uygun model derecesini tanımlamak amacıyla kullanılabilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007).

(AIC) önerilen potansiyel modeller arasında seçim yapmak üzere kullanılır. Akaike bilgi kriterinde minimum değeri veren model seçilir. Akaike bilgi kriteri aşağıdaki eşiklik ile ifade edilir,

$$AIC = N \cdot \ln\left(\sigma_e^2\right) + 2 \cdot \left(p + q\right) \tag{5.8}$$

Bu eşitlikte (AIC), N toplam veri sayısını, p otoregresif model derecesini, q hareketli ortalama model derecesini ve $\sigma_e^2$ artıklar serisinin varyansıdır. Akaike bilgi kriterinde minimum değeri veren model seçildikten sonra o model için $Q$ istatistiği de hesaplanır. Bu değer %95 güven düzeyinden küçük ise modelin uygunluğu kabul edilir.

### 5.1.4 Schwarz Bilgi Kriteri (SIC)

Schwarz bilgi kriteri AIC gibi aynı karar kurallarının uygulandığı bir istatistiktir. SIC aynı zamanda Bayes Bilgi Kriteri (BIC) olarak da adlandırılır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2007). SIC için de iki farklı tanım;

$$SIC = T \log \hat{\sigma}_{ML}^2 + m \log T \tag{5.9}$$

veya

$$SIC = T \ln(SSR) + m \ln(T) \tag{5.10}$$

biçiminde verilebilir.

Bu eşitlikte (SIC), T trend, m otoregresif ve hareketli ortalama model derecelerini,

$\hat{\sigma}^2_{ML}$ artıklar serisinin varyansı ve SSR kalıntı kareler toplamını ifade etmektedir. İyi bir uyum için ideal olan AIC ve SIC' nin mümkün olduğu kadar küçük olanını seçmektir. Birçok uygun model arasında seçim yapmada SIC kriteri büyük örneklem özelliğine sahiptir.

# 6 ZAMAN SERİLERİ SONUÇLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Zaman serilerinin gözlem değerlerinde, zaman içinde artma ya da azalma şeklinde, bazı değişmeler gözlenir. Kullanılan alıcılardan ve antenlerinden, yansıtıcı yüzeylerden, troposferden vb. çeşitli nedenlerin zaman serisi gözlem değerleri üzerindeki, yön ve şiddetinin farklı olmasından ileri gelen bu değişmeler; trend, mevsimsel değişmeler, konjonktürel değişmeler ve tesadüfi değişmeler olarak sıralanabilir. Bu değişmelere, genel olarak zaman serisi bileşenleri ya da temel faktörleri adı verilir. (Zaman serisi bileşenleri üçüncü bölümde ele alındığından dolayı bu bölümde yer verilmemiştir).

## 6.1 Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serilerini Etkileyen Faktörler

GNSS ile lokal ve küresel boyutta verilerin analizi için lokal büyüklükteki ağlardan farklı olarak bir modelleme yoluna gidilebilir. Bir birine yakın iki alıcı için atmosfer, uydu ve istasyon çevresine bağlı etkiler birbiri ile yüksek korelasyon gösterirler. İkili fark teşkil edilmesi ile bu etkilerin kolaylıkla giderilmesi mümkündür. Ancak noktalar arasındaki uzaklık arttıkça etkiler birbirinden bağımsız bir durum almaya başladığından her nokta için ayrı bir modelleme yapılabileceği söylenebilir.

### 6.1.1 Uyduların etkileri

Uydu yörünge belirlenmesinde kütle çekimine bağlı etkiler kolaylıkla modellenebilirken çekime bağlı olmayan ivmelenmeyi modellemek hala üzerinde çalışılan bir problemdir. Zira jeodezik parametreler, uydunun güneş panellerine gelen ışınımın modellendiği güneş radyasyon basıncı parametreleriyle yüksek korelasyonludur. Ayrıca radyasyon basıncı parametrelerinin modellenmesindeki uydunun güneşe göre konumuna bağlı olarak değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. GPS uydularındaki reflektörlere lazer pulsu göndermek suretiyle yapılan analizlerden bu sonuca ulaşılmıştır (Urschl ve diğ, 2005).

### 6.1.2 Uzun dönemli sinyal yansıma etkisi (multipath- çokyolluluk)

Uyduların her biri, iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. (L1, L2) Sivil GPS alıcıları L1 frekansını (UHF bandında 1575,42 Mhz), ABD Savunma bölümü, alıcıları L2 (1227,60 Mhz) frekansını dinlemektedirler. Bu sinyal "Görüş Hattında" *Line of Sight* ilerler. Yani bulutlardan, camdan ve plastikten geçebilir ancak duvar ve dağ gibi katı cisimlerden geçemez. GPS sinyalleri binalardan yansıdığı için şehir içlerinde araziye oranla hassasiyeti azalır. Buna bağlı olarak, GNSS alıcıları uydulardan gelen frekansları yeterli oranda alamadığı veya alıcı etrafındaki herhangi bir yansıtıcı yüzey sebebi ile alıcının yanlış hesaplamalara meyil vereceğinden dolayı, zaman serileri sonuçlarına beklenmedik etkiler yapacaktır.

### 6.1.3 Atmosferin etkisi

GNSS radyo dalgaları kullanır. Uydular aracılığıyla yeryüzündeki alıcılara gönderilen dalgalar, alıcıya yol boyunca farklı iki ana tabakadan geçerek ulaşır. Atmosferin üst katmanı olan iyonosferin etkisini, değişik dalga boyları kullanılarak modellemek ve elemine etmek mümkündür. İki taşıyıcı dalganın kullanıldığı GNSS için bu etki, ölçülen her iki dalgaya ait faz gözlemlerinin doğrusal kombinasyonu ile giderilebilir.

Atmosferin yere yakın troposfer katmanında radyo dalgaları özellikle su buharı nedeniyle gecikmeye uğrarlar. Troposferik etkiler, GPS çözümlerinde çiftli fark taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak etkili bir şekilde azaltılamayabilir (Dai ve diğ, 2006). Etkileri azaltmak için, su buharı, nem, sıcaklık vb. etkenlerin daha dikkatli gözlemlemeler yapılabilir ve yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilebilir.

Troposferdeki uzun vadeli sıcaklık eğiliminin doğru belirlenmesi, mevsimlik değişikliklere ve bir yıldan fazla süreçlerde işaret eğiliminin boyutuna bağlı olarak zor ve karışık bir iştir (Matthias ve diğ, 2002). İyonosferin etkisinin giderilmesinde olduğu gibi bu katmanda gözlemlerin kombinasyonu ile bir modelleme yapmak troposferin etkisini gideremektedir. Bu sebeple, atmosferdeki mevsimsel etkiler

ve anlık değişmeler nedeniyle, zaman serileri sonuçlarında beklenmedik etkiler doğurabileceği söylenebilir.

### 6.1.4 Okyanus yüklenmesi

Okyanus yüklenme etkisi GPS ile konum belirlemede, konumun yatay bileşeninden daha çok düşey bileşenini etkileyen kabuk deformasyonuna neden olmaktadır. Bu da okyanus'a yakın GPS istasyonlarının, diğer istasyonlara göre düşey bileşenlerinin analizlerinde, zaman serilerini etkileyen bir başka faktör olarak karşımıza çıkmıştır.

### 6.1.5 Donanımın etkisi

Zaman serileri sonuçlarını en çok etkileyebilecek husus istasyonları oluşturan donanımlardır diyebiliriz. İstasyonlar, uyduda üretilen ve atmosferden geçerek alıcıya gelen sinyalleri almak ve kaydetmek üzere anten ve alıcılarla donatılmıştır. Kullanıcı olarak uydu ve atmosfere müdahale şansı mümkün değildir. Bununla beraber sabit istasyonların yer seçiminde çeşitli etkiler dikkate alınır. Bunlar sinyalin veri toplayacağı 24 saat boyunca sinyal kesilmesine neden olabilecek çevresel etkilerin gözden geçirilmesidir. Antenler zemine çok yakın konumlara monte edilmemelidir. Ayrıca çevrede yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat edilmelidir. Bu iki durum sinyal çok yolluluğunun önlenmesi açısından oldukça büyük önem göstermektedir. Çok yolluluk istasyonun konumuna ve gözleme zamanındaki uydu konumuna bağlı olarak değişim gösterir.

Atmosferde ilerleyen sinyali karşılayan antenlerin kalibrasyonu yükseklik bileşenindeki doğruluğu artırmak açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Antenin elektrik merkezi ile jeodezik ölçmelerin dayandığı geometrik merkez arasındaki değişim sabit olmayıp sürekli değişim göstermektedir. Bu değişim faz merkezi değişimi olarak isimlendirilir ve belirlenmesi için son yıllarda robotik düzeneklerden yararlanılabilmektedir. Böylece anten düzleminde bütün yükseklik ve azimutlarda antenin davranışı hakkında bilgi edinilebilir (Wübbena ve diğ, 2006). Antenleri dış etkenlerden korumak üzere kullanılan radomların sinyal kalitesini dolayısıyla yükseklik bileşenindeki çözümü etkilediği de araştırılmaktadır (Hugentobler ve diğ,

2006 ), (Schmid 2006).

Bir istasyonda haftalar süren veri kesilmesi olması durumunda istasyonun periyodik hareketinin çıkarımı mümkün değildir. Bu maksatla aynı istasyonda birbirinden farklı konumlarda farklı GPS donanımı ile veri sağlanması durumunda elde edilecek zaman serisinin sürekliliği sağlanmış olur.

Zaman serilerini etkileyen diğer faktörler ise aşağıda başlıklar halinde sıralanmıştır.

- Yerel meteorolojik etki, radome malzemedeki kar etkisi, yerel refraksiyon gibi,
- Mevsimsel etki, deniz suyu akıntıları (golfstream, labrador gibi), kar erimesi etkisi
- Deprem etkisi (deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası), fay etrafındaki noktaların diğerlerine göre daha fazla hareketi gibi
- Küresel plaka hareketleri

# 7 IGS SABİT GPS İSTASYONLARI VE GERÇEK ZAMANLI GNSS AĞLARI

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, bilgisayarla eş zamanlı olarak uzay çalışmalarındaki gelişmelerinde artmasıyla 1980'li yılların en önemli ürünlerinden sayılan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) hayatımızda yerini almıştır. GPS sistemi önceleri ABD tarafından yalnızca askeri amaçlı kullanılmış ve 1980 yılından itibaren uzun bir süre jeodezik amaçlı yani diğer bir deyişle sivil amaçlı olarak kullanılmıştır. Zaman içerisinde uydu tabanlı sistemler artmış ve uydu tekniklerinin birçok alanda kullanılmaya başlanmasıyla, GNSS, insan yaşamının her alanına girmiştir. Bugün haritacılık uygulamaları dışında; gerçek zamanlı araç navigasyonu, yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi, coğrafi bilgi sistemleri, meteoroloji, tarım ve arama-kurtarma gibi birçok alanda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Sivil kullanıma 1980'li yıllarda başlayan GPS, o yıllardan itibaren jeodezik ağların oluşturulmasında kullanılmıştır. Aynı dönemlerde GPS, tektonik hareketlerin belirlenmesinde de kullanılmaya başlamış, bunun için tekrarlı ölçülerin yapılmasına olanak veren jeodinamik amaçlı noktalar tesis edilmiş ve bu sayede noktalar arası uzaklığın birkaç bin kilometreyi bulduğu baz uzunluklarının hesabı gündeme gelmiştir. Bu ve buna benzer nedenlerle, aynı noktalarda periyodik GPS ölçülerinin yapılmasını, ulusal ve uluslar arası koordinat sistemlerinin yeniden tanımlanmasını ve ulusal/uluslar arası temel GPS ağlarının ve sıklaştırma ağlarının kurulmasını sağlamak amacıyla sabit referans istasyonları kurulmaya başlanmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda ise bağımsız referans noktalarından oluşan ve gerektiğinde üzerine alet kurularak ölçü yapılan pasif jeodezik GPS ağlarının yerini günümüz de aktif sabit GNSS ağları almıştır (Kahveci 2009).

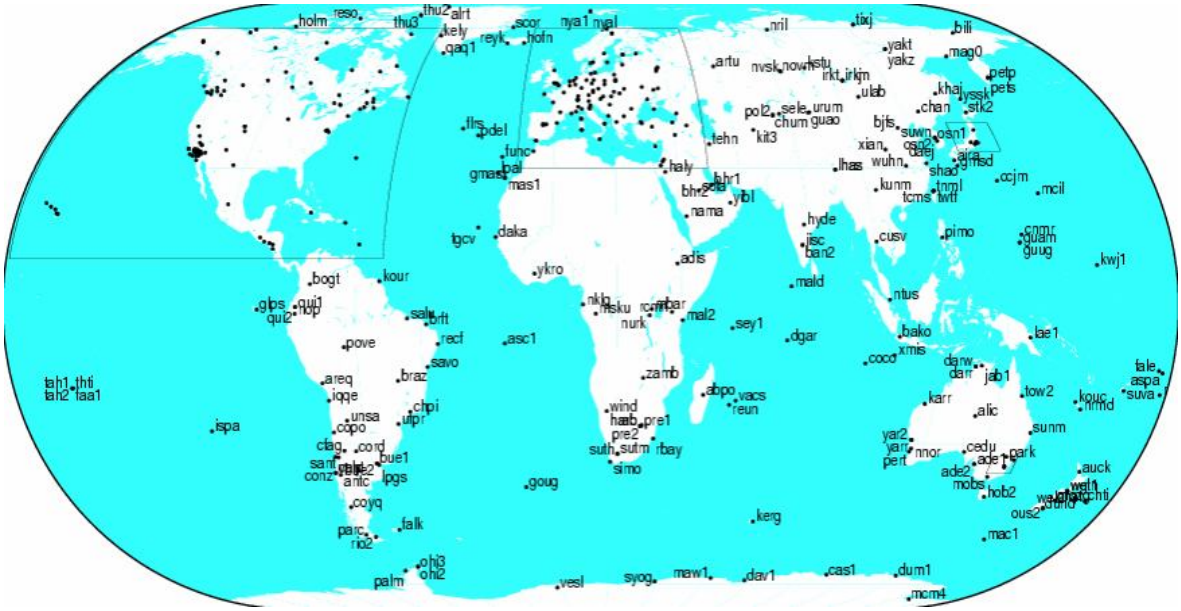
## 7.1 IGS Sabit GPS İstasyonları

Her geçen zamanda biraz daha gelişen ve çeşitlilik kazanan GNSS uygulamaları karşısında bilimsel kurumların da, GPS verilerinin uluslararası standartlarda toplanıp değerlendirilmesi, sistemin herkes tarafından daha kolay kullanılması ve çok yönlü

global izleme sistemi haline getirilmesi için çalışmaktadırlar. Bu yönde çalışma yapan kurumlardan biri de Uluslararası GPS Servisi IGS (International GPS Service)'dir. IGS, GPS verilerini ve veri ürünlerini kullanarak jeodezik ve jeofiziksel araştırmaları destekleyen ve bu konular ile ilgili olarak standart belirleme çalışmaları yapan uluslararası bir kurumdur. Servis, IAG (International Association of Geodesy) tarafından kurulmuştur.

IGS, uygulama ve denemeleri içeren büyük bir alan için gereksinim ve hedefleri karşılamak amacıyla yeterli doğrulukta GPS gözlemlerinden oluşan veri setleri toplar, arşivler ve dağıtır. Bu veri setleri internet aracılığıyla ilgili kullanıcıların elde edebildiği ürünleri oluşturmak için IGS tarafından kullanılır. Özellikle IGS ürünlerinin doğrulukları, ITRF'yi geliştirme ve yayma için, Dünya'nın katı yüzeyindeki deformasyonları ve Dünya'nın sıvı kısmındaki değişimleri (deniz seviyesi, buz tabakaları, vb), Dünya'nın dönüşünü izleme ve bilimsel uyduların yörüngelerini belirleme, iyonosferi izleme ve ayrışabilir su buharı ölçmelerini iyileştirmede yeterlidir (Şanlıoğlu 2004).

Uluslararası GPS Servisi; 1993'de IAG tarafından tanımlandı ve jeodezik ve jeofizik araştırmalara destek vermek üzere GPS yörüngeleri, izleme verileri, ve diğer ürünleri sağlamak amacıyla 1 Ocak 1994'de işletilmeye başlandı. Üniversite ve araştırma merkezlerinin katkılarıyla oluşturulan IGS'e (International GPS Service), sayıları Mayıs 2004 itibariyle 360'ı aşan istasyonlarda, yüksek kaliteli GNSS alıcılarıyla 30 saniye aralıklarla toplanan faz ve kod gözlemleri kaydedilmektedir (şekil 7.1) ve kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır (Koçak ve Ayan 2006).



Şekil 7.1 IGS Ağı (Haziran 2009 itibariyle)

Dünya üzerindeki sayıları neredeyse 360'ı geçen IGS istasyonlarından 4 tanesi de ülkemizde bulunmaktadır. Bu istasyonlar; Ankara'da Harita Genel Komutanlığı idaresindeki ANKR, İstanbul'da İTÜ Jeodezi Anabilim Dalı idaresindeki ISTA, Gebze'de TÜBİTAK idaresindeki TUBI, Trabzon'da KTÜ idaresindeki TRAB' dır. Ayrıca ülkemizdeki IGS istasyonlarının hepsi EUREF' e dâhildir.

### 7.1.1 IGS veri organizasyonu

Uluslararası GPS servisinin esas bileşenleri (şekil 7.2);

- İzleme istasyonları
- İşletim merkezleri
- Veri merkezleri
- Analiz merkezleri ve ortak analiz merkezleri
- Merkez büro ve merkezi büro bilgi sistemi




Şekil 7.2 IGS organizasyon şeması

### 7.1.2 IGS' in topladığı verilerden elde ettiği sonuçlar

- ITRF (International Terrestrial Reference Frame) sisteminde tüm IGS istasyonlarının koordinatları ve hızları,
- Jeodezik uygulamalar ve bilimsel kullanımlar için yüksek doğruluklu GPS uydu efemeris bilgileri,
- Hassas GPS uydu yörünge bilgileri,
- Yeryuvarı dönme parametrelerinin günlük değerleri x, y ve lod (gün uzunluğu),
- IGS istasyonlarının iyonosfer ve troposfer tahminleri, iyonosferin izlenmesi için toplam elektron bileşeni hakkındaki bilgi, iklimsel araştırmalar ve akabinde hava tahminleri için troposferdeki zenit yol gecikme tahminleri,
- Hassas zaman bilgisi gerektiren uygulamalar için GPS uydu ve izleme istasyonunun saat bilgileridir.

Uluslararası GPS Servisinin veri sonuçları ve bu sonuçlara göre oluşturulan ürünler birçok değişik uygulamalarda kullanılabilmek için yeterli doğruluğu karşılamaktadır.

Bunların bazıları;

- Uluslararası Yersel Referans Sistemi olan ITRF (International Terrestrial Reference Frame) ITRF YY (YY=Yıl=t 'epoch'u)'in geliştirilmesi, sıklaştırılması ve küresel olarak erişimin sağlanması,
- Yerkabuğu deformasyonlarının izlenmesi,
- Hidrosferdeki değişimlerin izlenmesi (deniz seviyesi belirleme vb.),
- Yeryuvarı dönme hareketlerinin izlenmesi,
- Bilimsel uydu yörünge bilgilerinin hesaplanması,
- İyonosfer araştırmaları ve belirlemelerinde,
- Çökelebilir su buharı ölçmelerinin düzeltilmesinde,
- İklimsel araştırmalar ve devamındaki hava tahminleri.

### 7.1.3 IGS de veri iletişimi

Uluslararası GPS Servisi izleme istasyonlarının yüksek doğruluklu alıcılar ile devamlı olarak kaydettiği GPS gözlemleri çeşitli iletişim yollarıyla (internet, radyo-modem, telefon, inmarsat, V-sat vb.) günde en az bir kez veri merkezlerince ilgili istasyonlardan toplanmaktadır. Toplanan verilerin kalitesi; gözlem sayısının, gözlenen uydu sayısının, ilk ve son kayıtların tarih ve zamanının kontrol edilmesiyle onaylanır. Veri grupları daha sonra ham alıcı veri formatından farklı genel bir format olan ve alıcıdan bağımsız format olarak tanımlanan RINEX veri formatına çevrilip sıkıştırılır. Değerlendirme merkezlerince veri merkezlerinden alınan tüm veriler değerlendirilir ve değerlendirme sonucunda bazı ürünler (GPS efemeris, istasyon koordinatları, yeryuvarı dönme parametreleri vb.) elde edilip tekrar veri merkezlerine gönderilir. Veri merkezleri daha önceden sıkıştırdıkları verilerle birlikte değerlendirme merkezinden alınan ürünleri dünyanın her tarafındaki kullanıcılar için

karşılıksız olarak internetten erişime sunarlar.

IGS ağının dayanak aldığı referans sisteminin, günümüzdeki mevcut jeodezik referans sistemlerinden, doğruluğu en yüksek olan ITRF YY olmasıdır. Farklı yıllarda (epoklarda) oluşturulan ITRF YY sistemleri arasındaki geçişi sağlayacak üç boyutlu hız vektörlerinin (Vx, Vy, Vz) dünyanın her bölgesi için tanımlı olması, IGS istasyonlarının koordinatlarının ve hızlarının tutarlı bir referans sisteminde elde edilmesini sağlamaktadır.

IGS istasyonlarının üç boyutlu koordinatları ve zamana bağlı değişimleri (hız vektörleri, Vx, Vy, Vz) belli olduğundan, bunların sürekli olarak izlenmesi ve değişmelerin saptanması ile deprem prediksiyonu çalışmalarına da altlık oluştururlar. Ayrıca, deprem sonrasında da ulusal ağlardaki nokta konum değişimlerini ve dolayısıyla yer kabuğu hareketlerini saptamada bu istasyonlar en doğru bilgileri verir.

### 7.1.4 IGS veri formatı

İzleme verisi günlük RINEX dosyası şeklinde elde edilebilir. Bütün izleme istasyonları günlük RINEX gözlem dosyasını ve navigasyon mesaj dosyasını üretir. İstasyonların bazıları ayrıca çok duyarlı hava durumu sensörleri ile donatılmış istasyonların sağladığı RINEX meteorolojik veri dosyasını ve kalite kontrol bilgisi ile özet dosya üretirler.

Bunlar; gözlem dosyaları, navigasyon mesaj dosyaları, meteorolojik dosyalar, özet dosyalar, son uydu ve istasyon saat bilgileri dosyası, son dünya dönme parametreleri dosyası, son dünya efemeris dosyası ve haftalık analiz çözüm özet dosyası.

## 7.2 Gerçek Zamanlı GNSS Ağları

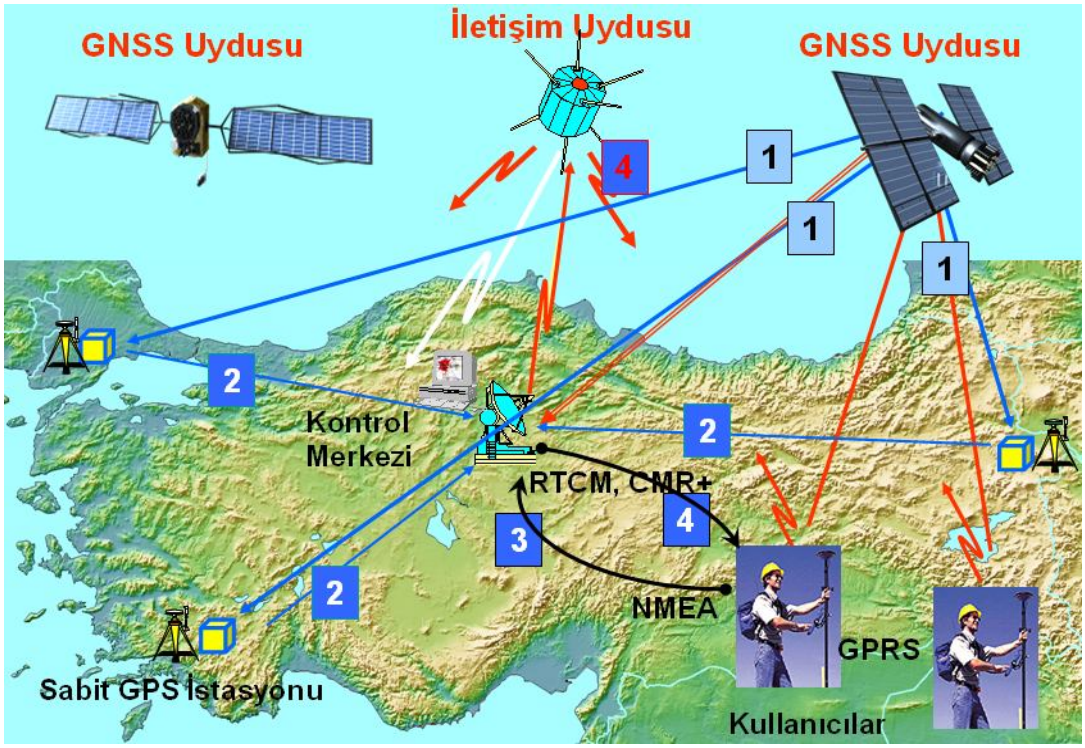
Jeodezik doğruluk isteyen tüm GNSS ağlarında en az iki alıcı ile eş zamanlı ölçümlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi koordinatları bilinen referans (baz) istasyonu diğeri ise koordinatları hesaplanacak olan gezen alıcı olarak tanımlanmaktadır. GNSS sistemindeki gelişmeler gerçek zamanlı sabit referans

istasyonlarının kurulmasını ve kullanıcılara kesintisiz hizmet sağlamasını olanaklı kılmıştır. Böylece, kullanıcının tüm alıcılarını gezen alıcı olarak kullanabilmesinin yolu açılmış, bu da zaman ve maliyet açısından önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır.

### 7.2.1 Gerçek Zamanlı GNSS ağların prensibi

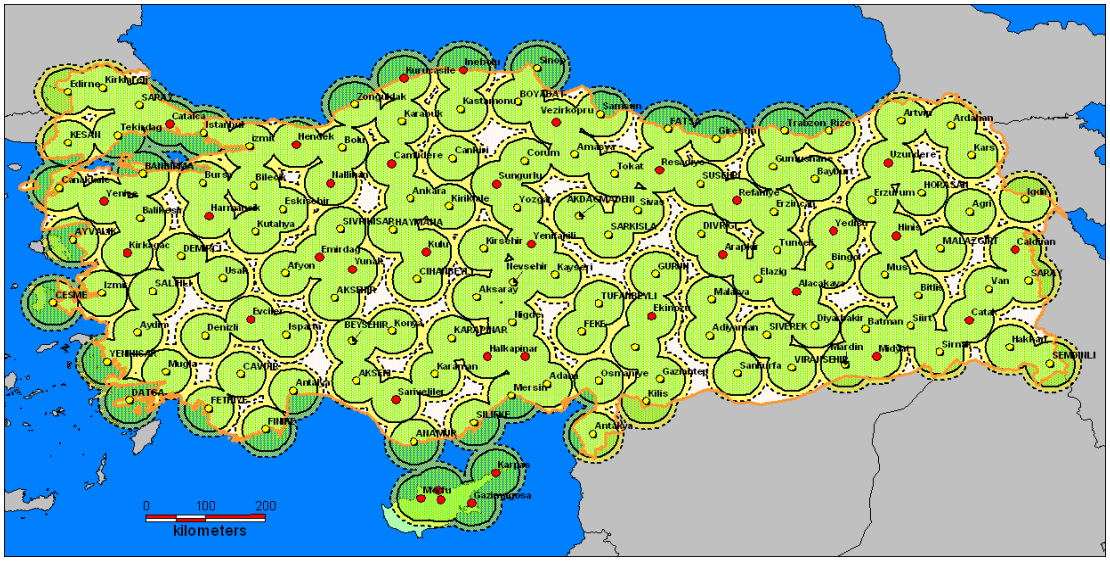
Ağ tabanlı konum belirleme sistemi olan Gerçek Zamanlı Sabit GNSS ağlarının kurulmasındaki temel hedef uzaklığa bağlı olarak farklılık/değişim gösteren hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge vb.) giderilmesidir. Gerçek zamanlı ve kontrollü hesaplamaların yapılabilmesi için ağdaki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadırlar (şekil 7.3). Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Birçok ağda ise veri kontrolü ve veri aktarımı amaçlarıyla ilave bir bilgisayarda tesis edilmektedir. İdeal ağ yapılarında yedek sistemlerde kurulmaktadır. En sonunda ise ağa herhangi bir iletişim vasıtasıyla (cep telefonu, internet vb.) bağlanabilen kullanıcılar olacaktır. Eğer kullanıcıya ağ hizmeti gerçek zamanlı verilmiyorsa buna "çevrim dışı (offline) hizmet" adı verilmektedir. Bu tür ağlar büro hesaplamaları (post processing) için kullanılmakta olup, veriler genelde RINEX formatında arşivlenmektedir. Gerçek zamanlı hizmet veren ağlarda ise genelde RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formatı kullanılmaktadır (Kahveci 2009).

RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services)'in SC-104 isimli komitesi tarafından 2004 yılı Şubat ayında Diferansiyel GNSS hizmetleri için RTCM 3.0 kullanıma sunulmuştur. RTCM 3.0'ın daha önceki versiyonlardan en önemli farkı RTK (Gerçek Zamanlı Kinematik) mesajlarını desteklemesidir. Bu protokol GNSS RTK çalışmalarına yönelik verinin yanı sıra, kod, taşıyıcı faz gözlemleri, anten ve diğer sistem parametrelerini de içermektedir. Daha da önemlisi, bu format üzerinde değişikliklere olanak verecek şekilde geliştirilmiştir (GALILEO, GPS L2C, L5, GLONASS sinyalleri gibi). CMR (Compact Measurement Record) ise Trimble firması tarafından 1996 yılında RTCM standardına alternatif olarak sunulmuştur. RTCM'e göre daha düşük bant genişliği ile avantaj sağlar.




Şekil 7.3 Ağ Prensipli RTK' nın Çalışma Sistemi

Günümüzde gerçek zamanlı hizmet veren sabit GNSS ağları en çok kullanılan ağlardır. Bunlara örnek olarak Hong Kong (SatRef), İsviçre (SWIPOS) ve Almanya (SAPOS-HEPS) verebiliriz. Büro hesaplamaları için olan ağlara ise Almanya (SAPOS-GPPS/GHPS), İsveç (SWEPOS) ve Avustralya (ARGN ve AUSPOS) örnek verilebilir. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ve Harita Genel Komutanlığı (HGK)' nın birlikte işletmesini yürüttüğü TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ağı ise her iki özelliğe sahip bir ağ olarak tasarlanmıştır (şekil 7.4).




Şekil 7.4 TUSAGA-Aktif (CORS-TR)

### 7.2.2 Gerçek Zamanlı GNSS ağların kullanım alanları

- Jeodezik çalışmalar ve mühendislik ölçmelerinde,
- Tektonik çalışmalar yani plaka hareketlerinin belirlenmesi ve depremlerin önceden tahmini gibi çalışmalarda,
- Meteorolojik çalışmalarda sayısal hava tahmini gibi,
- Ticari amaçlı kullanımlar; araç takip, kadastro, navigasyon amaçlı kullanımlar,
- Karayolu ve demiryolu yapımı ve benzeri alanlarda,
- Madencilikte ve inşaat gibi birçok alanda kullanımı söz konusudur.

Gerçek zamanlı GNSS ağları yirmi dört saat (sürekli) ölçüm yapmaları ve buna bağlı olarak günlük elde edilen veriler ile belirli bir zaman aralığı oluştuktan sonra, zaman serileri analizleri yapılarak tektonik çalışmalarda, meteorolojik çalışmalarda vb. alanlarda daha iyi tahmin sonuçlarına ulaşılmasına yardımcı olabilecek bir yöntemdir.

# 8 SAYISAL UYGULAMA

Uygulamada, Uluslararası GPS Servisi IGS (International GPS Service) istasyonları; ANKR (20805M002), TUBI (20806M001), ISTA (20807M001) ve TRAB (20808M001) kullanılmıştır.

Uygulamada kullanılan IGS istasyonların N (North(Kuzey)), E (East(Doğu)) ve U (Up(Yükseklik)) bileşenlerinin ham verileri ftp://garner.ucsd.edu/pub/timeseries/ internet adresinden temin edilmiştir. İnternetten temin edilen istasyon ham verileri, istasyonların kartezyen ölçü epok koordinatlarının kartezyen referans epok koordinatlarından farklarının alınması ve bu farkların yerel koordinat sistemindeki N, E ve U koordinatlarına çevrilmesi ile oluşmaktadır. Ölçü epok koordinatları ise, istasyonların ITRF2000 referans epok koordinatları başlangıç alınarak günlük hesaplanmıştır.

Uygulamada kullanılan istasyonlardan, ANKR istasyonunun verileri 26.06.1995 ile 21.12.2008 tarihleri arasını kapsamaktadır. TUBI istasyonunun verileri 08.05.1998 ile 21.12.2008 tarihleri arasını, ISTA istasyonunun verileri 26.12.1999 ile 21.12.2008 tarihleri arasını ve TRAB istasyonunun verileri 26.12.1999 ile 28.11.2007 tarihleri arasını kapsamaktadır.

İlk olarak istasyonların ham verileri Microsoft Office Excel'e aktarıldı. İstasyonların N, E ve yükseklik koordinat bileşenleri için ayrı ayrı zaman serileri grafikleri çizildi. Daha sonra her istasyonun N, E ve yükseklik bileşenleri tek bir grafikte birleştirildi. Bunun sonucunda istasyonların koordinat değişimleri görünür hale gelmiş oldu.

Zaman serileri grafiklerini incelediğimizde, kısa ve uzun süreli veri kesikliklerinin ve gürültünün yanı sıra beklenenden daha fazla sıçrama yapan verilerin olduğu görüldü. Dört istasyonun koordinat bileşenlerinden biri olan yükseklik bileşeninin zaman serileri grafiğine bakıldığında, dönemsel benzer şekilde hareket ettiği görülmüş ve bunun mevsimsel etkilerden dolayı olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca olağandışı değişimlerin olduğu fark edilmiş ve bu değişimlerinde depremlerden kaynaklandığı varsayılmıştır.

Öncelikli olarak, istasyonların veri kesiklikleri incelendi ve zaman serileri analizlerine olumsuz etki yapacağı düşünülerekten, uzun süreli veri kesikliklerin olduğu istasyonların ayrı epok aralıkları için ayrı analizler yapılması öngörüldü. Daha sonra, beklenenden fazla sıçrama yapan verileri, başka bir ifadeyle uyuşumsuz ölçü olarak görülen verileri elemine etmek için istatistik testlerinden biri olan V-Testi yapıldı. V-Testi, her bir istasyonun koordinat bileşenleri için yapıldı. Böylelikle zaman serileri analizlerini etkileyebileceği düşünülen uyuşumsuz ölçüler, istasyonların koordinat bileşenlerinden ayıklanmış oldu.

Yine zaman serisi grafiklerinde, dört istasyonun koordinat bileşenlerinden biri olan yükseklik bileşeninin dönemsel benzer hareketleri yaptığı tespit edilmişti. Bunun mevsimsel etkilerden olabileceği düşünülerek, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden istasyonların bulunduğu Ankara, İstanbul ve Trabzon şehirlerinin 1995 ile 2008 yıllarını kapsayan dönemleri arasındaki günlük sıcaklık ve günlük ortalama basınç değerleri temin edilmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin ettiğimiz sıcaklık ve ortalama basınç değerleri ile istasyonların yükseklik koordinat bileşenlerine hem ortalama sıcaklıklara göre hem de ortalama basınca göre regresyon analizi yapıldı.

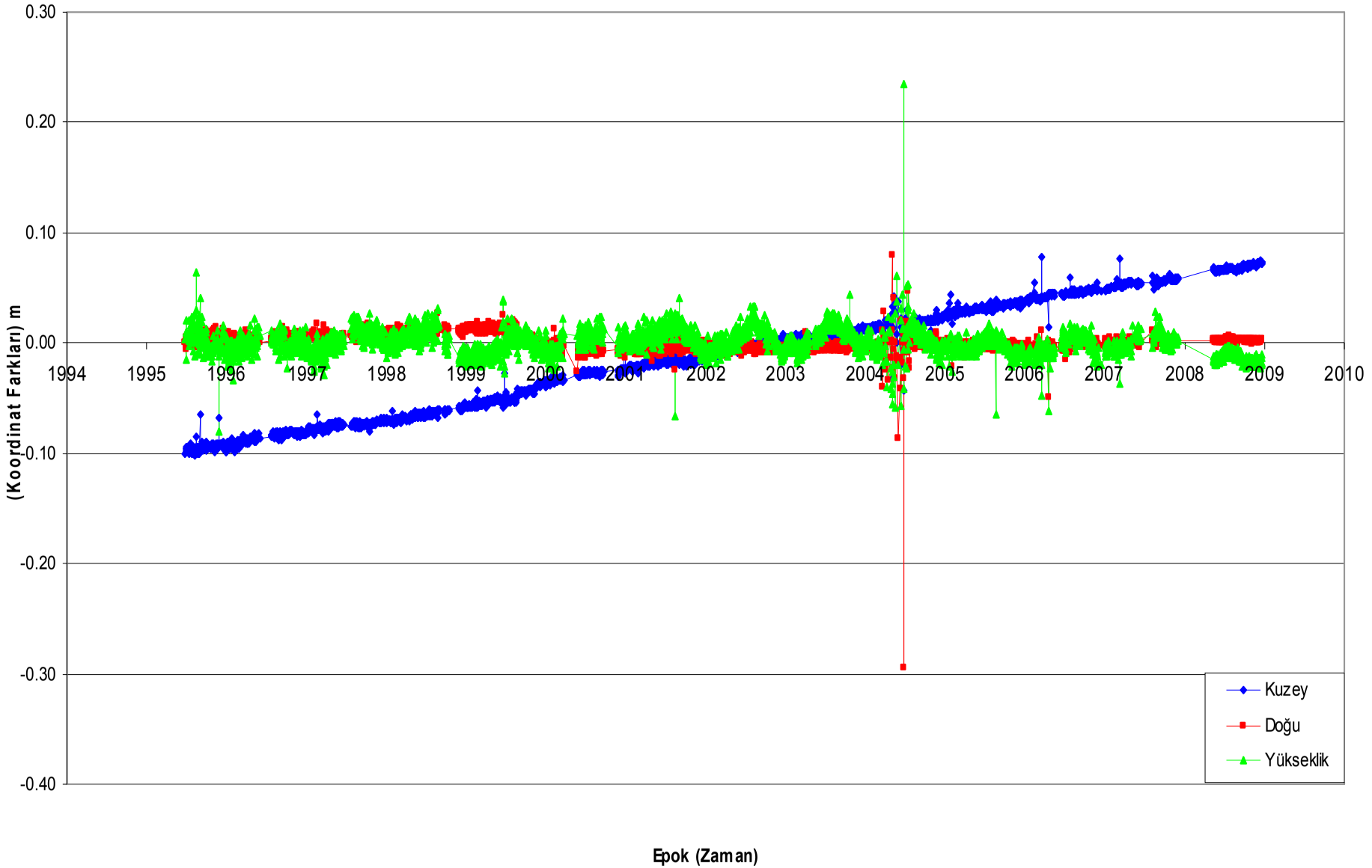
Ülkemizde 1995 ile 2008 yılları arasında meydana gelmiş depremler http://sismo.deprem.gov.tr internet adresinden temin edilmiş ve istasyonların bulunduğu şehirlerin, merkezlerinde ve yakınlarında gerçekleşen depremlerin istasyonlara yaptığı etkiler araştırılmıştır.

Zaman serileri grafiğinde gördüğümüz ve olağandışı değişim olarak nitelendirdiğimiz durumların, istasyonların zaman serileri grafiklerine baktığımızda, özellikle İstanbul'da bulunan ISTA ve TUBI istasyonları ile Ankara'da bulunan ANKR istasyonunun grafiklerinde, belli artık eğilimleri (trend) varken, örneğin; 1999.6260 epok zamanında yani 17.08.1999 tarihinde istasyonlarda ciddi değişmeler olduğu görülmektedir. Bu tarih de 17 Ağustos Gölcük Kocaeli depremi olmuştur.

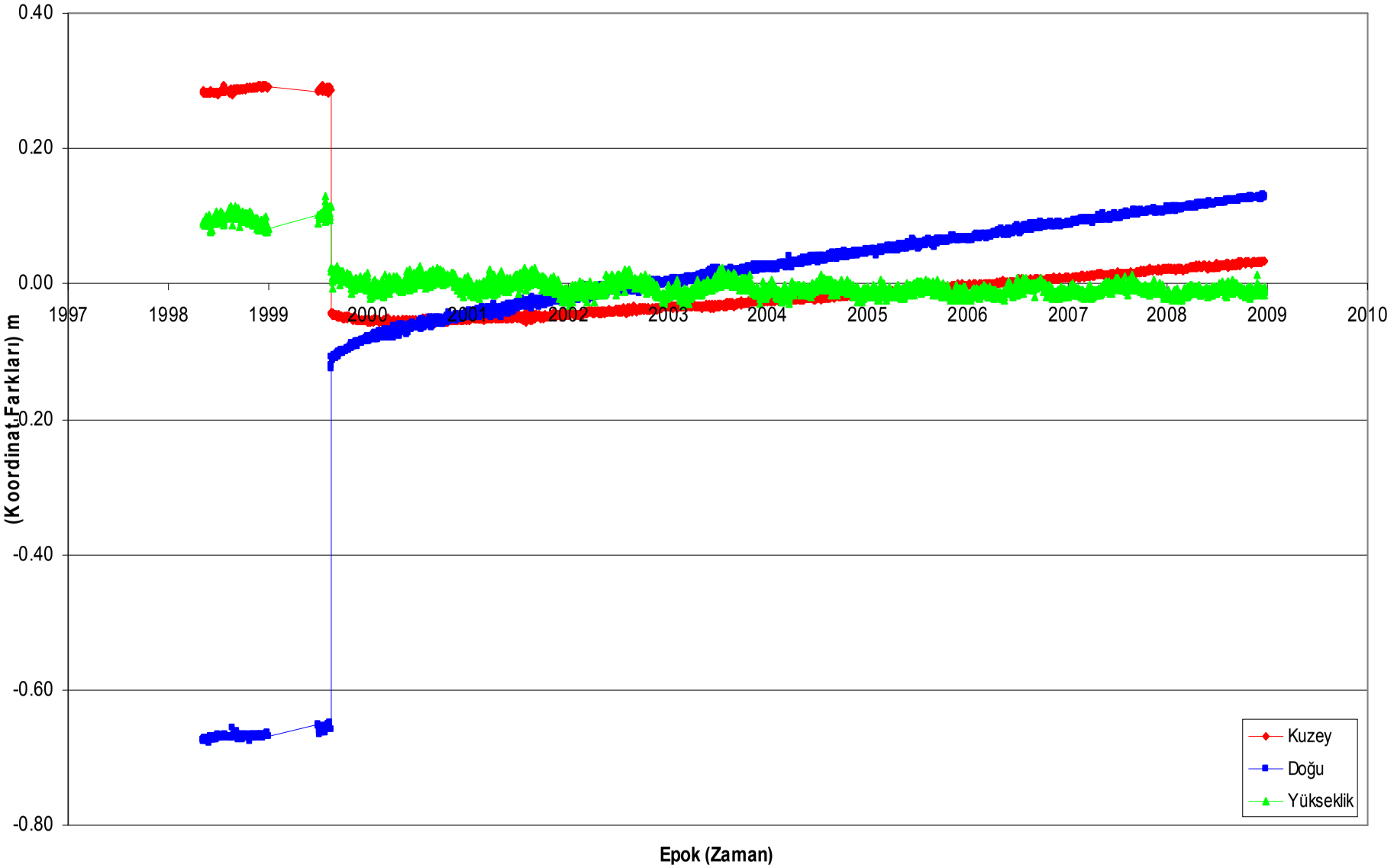
Depremlerin etkilediği istasyonların koordinat bileşenlerinin karakterlerinin değiştiği fark edilmiştir. Bu veriler ışığında, zaman serileri analizlerine olumsuz etki yapacağı düşünülerek ayrı epok aralıkları için ayrı zaman serileri analizi yapılmıştır.

## 8.1 Sabit GPS İstasyonlarının Ham Verilerine Göre Zaman Serileri Grafikleri

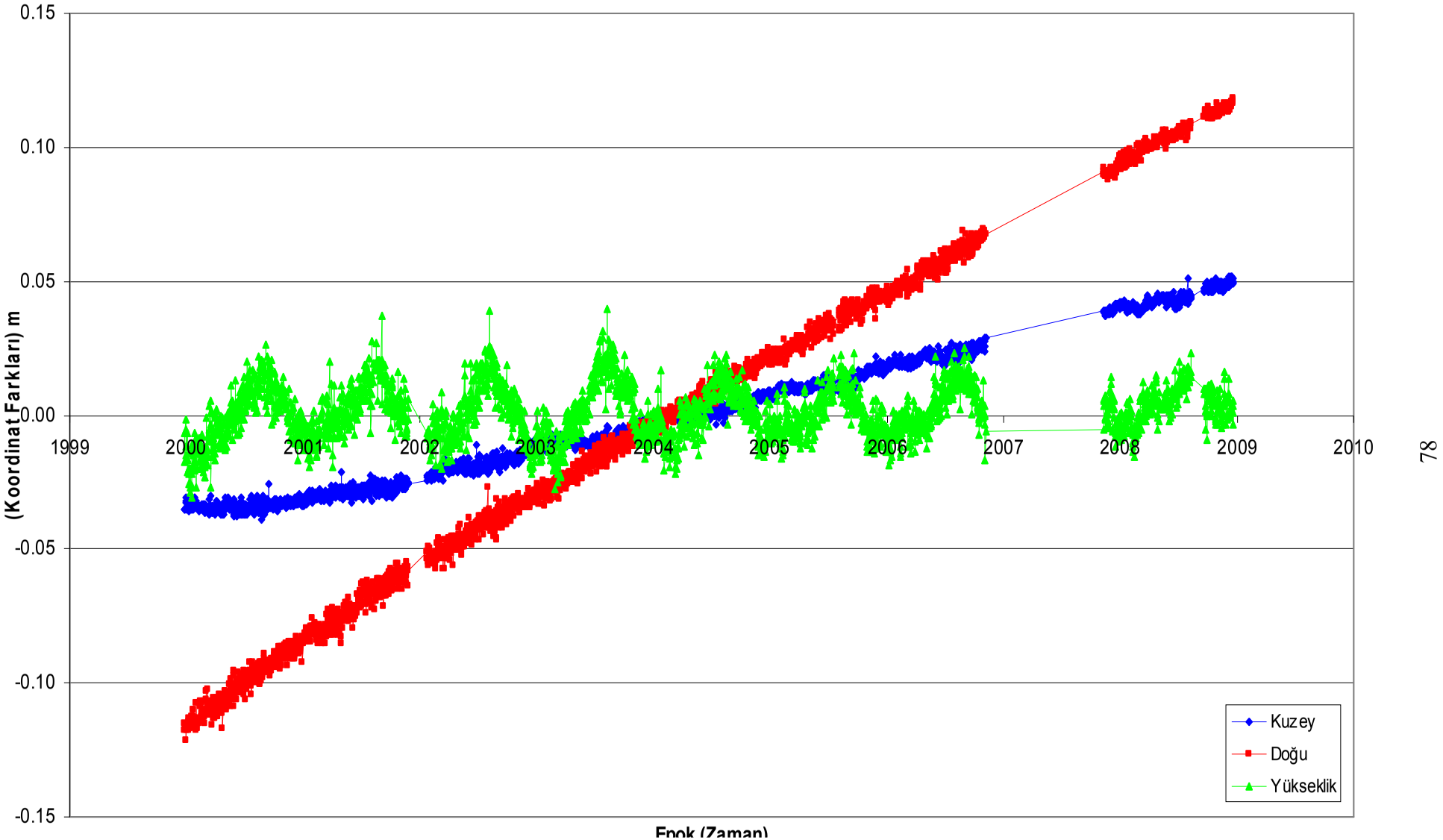
ANKR, TUBI, ISTA ve TRAB sabit GPS istasyonlarının ham koordinat bileşenleri verilerinin yıllara göre N, E ve yükseklik yönlerindeki zaman serileri grafikleri (şekil 8.1 – şekil 8.4);



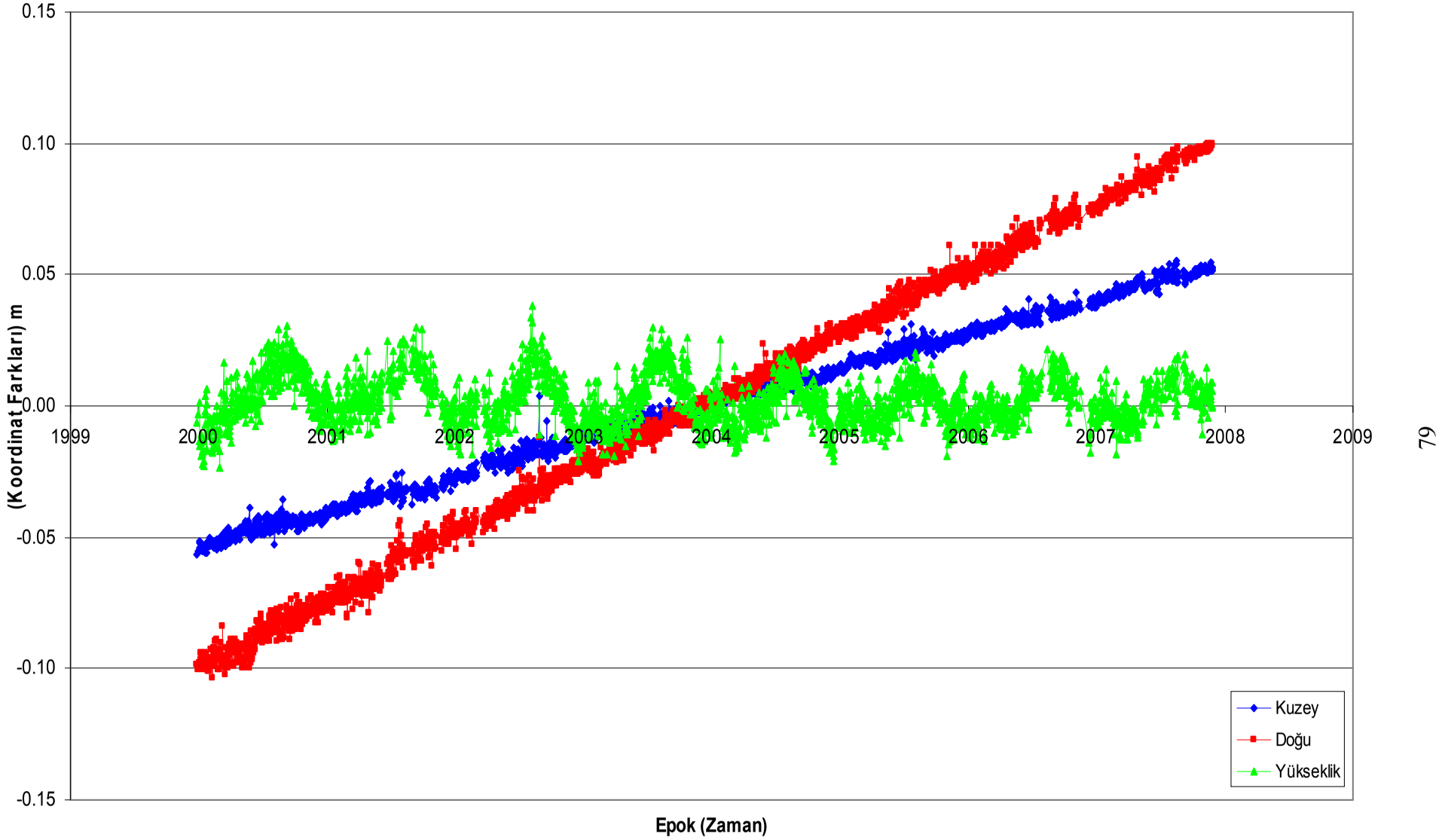

Şekil 8.1 ANKR Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri




Şekil 8.2 TUBI Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri




Şekil 8.3 ISTA Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri




Şekil 8.4 TRAB Noktasının Ham Koordinat Bileşenleri Verilerinin Zamana Bağlı Değişimleri

## 8.2 ANKR, TUBI, ISTA ve TRAB Sabit GPS İstasyon verilerinden Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması

Sabit GPS istasyonlarımızın zaman serileri grafiklerini incelediğimizde verilerin genel hareketinden, daha farklı davranış gösteren verilerin olduğu görüldü. Bu uyuşumsuz hareketlerin, yapacağımız zaman serileri analizi sonucunu etkileyeceği ele alınarak, ham verilere istatistik testlerinden V-Testi yapıldı.

### 8.2.1 V - Testi

Örneklem elemanları olan $x_1$, $x_2$,….,$x_n$ için yapılan ölçülerde büyük fark gösteren değerlerinde aynı kitleye ait olup olmadığını incelemek için kullanılır (Yerci 2002).

Bu testin uygulanabilmesi için $S = \sqrt{\frac{\sum VV}{n}}$ değerinin hesaplanması gerekir.

Burada ki V' ler örneklem elemanları ortalamasından örneklemlerin çıkarılması ile elde edilir.

Test büyüklüğü $V = \frac{\left|X_E - \overline{X}\right|}{S}$ eşitliği ile hesaplanır. Hipotez kurulur. V, n ölçü sayısı ve α yanılma değerlerine göre V tablosundan alınacak değerden küçük çıkarsa hipotez geçerli sayılır.

V – Testi uygulaması, istasyon verilerinin N,E ve U koordinat bileşenlerinin 6 aylık periyotlara ayrılmasıyla, her bir periyot için ayrı ayrı yapılmıştır. Periyotların 6 aylık seçilmesinin sebebi, veri aralığımızın uzun dönemli olmasıdır. Uzun dönemli zaman serisi grafiklerini incelediğimizde serinin durağan olmadığını ve bunun sonucunda da seride uyuşumsuz görünmeyen davranışlarında seriden çıkmamasını sağlamaktı.

Aşağıdaki çizelge 8.1 – çizelge 8.4 de ANKR, TUBI, ISTA ve TRAB sabit GPS istasyonları ham verilerinin, V – Testine tabi tutulması sonucunda, koordinat bileşenleri arasından çıkarılan uyuşumsuz ölçüler gösterilmektedir.

Çizelge 8.1 ANKR istasyonu uyuşumsuz ölçüler

| EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du | EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du | EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du | EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995.623 | 1995 228 | -0.0851 | -0.0041 | 0.0643 | 1999.637 | 1999 233 | -0.0446 | 0.0155 | 0.0143 | 2004.340 | 2004 125 | 0.0125 | 0.0015 | -0.0256 | 2004.545 | 2004 200 | -0.0017 | -0.0230 | 0.0195 |
| 1995.664 | 1995 243 | -0.0646 | 0.0182 | 0.0408 | 2000.105 | 2000 039 | -0.0334 | 0.0125 | -0.0115 | 2004.343 | 2004 126 | 0.0326 | 0.0118 | -0.0561 | 2004.548 | 2004 201 | 0.0108 | -0.0159 | 0.0149 |
| 1995.900 | 1995 329 | -0.0684 | 0.0020 | -0.0806 | 2000.398 | 2000 146 | -0.0295 | -0.0254 | 0.0063 | 2004.346 | 2004 127 | 0.0140 | 0.0005 | -0.0362 | 2004.824 | 2004 302 | 0.0110 | -0.0030 | -0.0100 |
| 1996.062 | 1996 023 | -0.0902 | -0.0138 | 0.0020 | 2000.985 | 2000 361 | -0.0109 | -0.0085 | 0.0015 | 2004.362 | 2004 133 | 0.0429 | 0.0404 | -0.0310 | 2004.892 | 2004 327 | 0.0297 | 0.0078 | -0.0033 |
| 1996.086 | 1996 032 | -0.0956 | -0.0109 | -0.0120 | 2000.988 | 2000 362 | -0.0078 | -0.0142 | 0.0084 | 2004.365 | 2004 134 | 0.0280 | -0.0064 | -0.0202 | 2004.895 | 2004 328 | 0.0272 | 0.0073 | -0.0106 |
| 1996.089 | 1996 033 | -0.0905 | -0.0174 | -0.0340 | 2001.152 | 2001 056 | -0.0276 | -0.0054 | 0.0138 | 2004.373 | 2004 137 | 0.0368 | -0.0314 | -0.0583 | 2004.898 | 2004 329 | 0.0265 | 0.0093 | -0.0137 |
| 1996.105 | 1996 039 | -0.0990 | 0.0049 | -0.0141 | 2001.453 | 2001 166 | -0.0152 | 0.0057 | 0.0135 | 2004.384 | 2004 141 | 0.0286 | 0.0011 | 0.0267 | 2004.900 | 2004 330 | 0.0255 | 0.0076 | -0.0148 |
| 1996.709 | 1996 260 | -0.0818 | 0.0149 | 0.0111 | 2001.571 | 2001 209 | -0.0186 | 0.0075 | 0.0100 | 2004.392 | 2004 144 | 0.0088 | -0.0116 | 0.0369 | 2005.053 | 2005 020 | 0.0361 | -0.0010 | -0.0218 |
| 1997.141 | 1997 052 | -0.0649 | 0.0170 | -0.0103 | 2001.618 | 2001 226 | -0.0068 | -0.0251 | -0.0660 | 2004.395 | 2004 145 | 0.0000 | -0.0164 | 0.0605 | 2005.064 | 2005 024 | 0.0443 | -0.0063 | 0.0082 |
| 1997.221 | 1997 081 | -0.0801 | 0.0155 | -0.0297 | 2001.670 | 2001 245 | -0.0142 | -0.0075 | 0.0410 | 2004.419 | 2004 154 | 0.0382 | -0.0862 | -0.0195 | 2005.081 | 2005 030 | 0.0172 | -0.0212 | -0.0255 |
| 1997.629 | 1997 230 | -0.0733 | 0.0010 | 0.0211 | 2003.185 | 2003 068 | 0.0076 | -0.0170 | -0.0091 | 2004.439 | 2004 161 | -0.0203 | -0.0134 | 0.0315 | 2005.163 | 2005 060 | 0.0368 | 0.0034 | -0.0105 |
| 1997.697 | 1997 255 | -0.0725 | 0.0164 | 0.0118 | 2003.259 | 2003 095 | 0.0107 | 0.0103 | -0.0106 | 2004.450 | 2004 165 | 0.0152 | -0.0422 | -0.0571 | 2005.248 | 2005 091 | 0.0264 | -0.0128 | -0.0015 |
| 1997.780 | 1997 285 | -0.0769 | 0.0175 | 0.0128 | 2003.810 | 2003 296 | 0.0133 | -0.0040 | 0.0431 | 2004.452 | 2004 166 | 0.0230 | 0.0207 | 0.0205 | 2005.632 | 2005 231 | 0.0401 | 0.0053 | -0.0650 |
| 1997.793 | 1997 290 | -0.0802 | 0.0144 | 0.0169 | 2004.078 | 2004 029 | 0.0092 | 0.0082 | 0.0110 | 2004.463 | 2004 170 | 0.0145 | 0.0006 | 0.0446 | 2005.936 | 2005 342 | 0.0313 | -0.0063 | -0.0132 |
| 1998.078 | 1998 029 | -0.0618 | 0.0069 | 0.0030 | 2004.220 | 2004 081 | -0.0015 | -0.0401 | 0.0119 | 2004.471 | 2004 173 | 0.0077 | -0.0177 | 0.0133 | 2006.122 | 2006 045 | 0.0549 | -0.0073 | -0.0194 |
| 1998.648 | 1998 237 | -0.0681 | 0.0274 | 0.0022 | 2004.223 | 2004 082 | 0.0113 | 0.0117 | -0.0198 | 2004.474 | 2004 174 | 0.0165 | 0.0088 | 0.0131 | 2006.125 | 2006 046 | 0.0452 | -0.0069 | -0.0146 |
| 1999.138 | 1999 051 | -0.0435 | 0.0091 | -0.0197 | 2004.228 | 2004 084 | 0.0028 | 0.0282 | -0.0092 | 2004.477 | 2004 175 | -0.0435 | -0.2946 | 0.2354 | 2006.210 | 2006 077 | 0.0780 | 0.0120 | -0.0477 |
| 1999.459 | 1999 168 | -0.0496 | 0.0247 | -0.0083 | 2004.234 | 2004 086 | 0.0085 | 0.0054 | 0.0054 | 2004.480 | 2004 176 | 0.0171 | 0.0097 | -0.0063 | 2006.292 | 2006 107 | 0.0141 | -0.0487 | -0.0615 |
| 1999.462 | 1999 169 | -0.0513 | 0.0170 | 0.0394 | 2004.253 | 2004 093 | 0.0071 | -0.0244 | 0.0053 | 2004.482 | 2004 177 | 0.0109 | -0.0320 | -0.0418 | 2006.519 | 2006 190 | 0.0451 | -0.0144 | -0.0097 |
| 1999.467 | 1999 171 | -0.0585 | 0.0102 | 0.0185 | 2004.261 | 2004 096 | 0.0160 | 0.0067 | -0.0165 | 2004.501 | 2004 184 | 0.0221 | -0.0008 | -0.0219 | 2006.560 | 2006 205 | 0.0599 | -0.0085 | 0.0174 |
| 1999.470 | 1999 172 | -0.0556 | 0.0116 | 0.0381 | 2004.264 | 2004 097 | 0.0201 | -0.0165 | -0.0400 | 2004.510 | 2004 187 | 0.0302 | 0.0158 | -0.0226 | 2006.895 | 2006 327 | 0.0550 | -0.0004 | -0.0148 |
| 1999.475 | 1999 174 | -0.0496 | -0.0050 | -0.0207 | 2004.286 | 2004 105 | 0.0159 | -0.0334 | 0.0236 | 2004.512 | 2004 188 | 0.0113 | -0.0080 | 0.0518 | 2007.152 | 2007 056 | 0.0588 | 0.0015 | -0.0085 |
| 1999.478 | 1999 175 | -0.0268 | 0.0168 | -0.0274 | 2004.318 | 2004 117 | 0.0250 | -0.0132 | -0.0422 | 2004.515 | 2004 189 | 0.0185 | 0.0183 | 0.0104 | 2007.182 | 2007 067 | 0.0766 | 0.0002 | -0.0362 |
| 1999.481 | 1999 176 | -0.0574 | 0.0118 | 0.0005 | 2004.321 | 2004 118 | 0.0222 | -0.0133 | -0.0221 | 2004.534 | 2004 196 | 0.0146 | 0.0093 | -0.0058 | 2007.599 | 2007 219 | 0.0549 | 0.0113 | 0.0081 |
| 1999.500 | 1999 183 | -0.0448 | 0.0177 | 0.0140 | 2004.335 | 2004 123 | -0.0313 | 0.0803 | -0.0456 | 2004.537 | 2004 197 | 0.0178 | 0.0093 | 0.0300 | 2007.618 | 2007 226 | 0.0495 | 0.004 | 0.0057 |
| 1999.626 | 1999 229 | -0.0530 | 0.0130 | 0.0031 | 2004.337 | 2004 124 | 0.0257 | -0.0225 | 0.0214 | 2004.540 | 2004 198 | 0.0128 | 0.0473 | 0.0537 | | | | | |

Çizelge 8.2 TUBI istasyonu, uyuşumsuz ölçüler

| EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du |
|---|---|---|---|---|
| 1999.580 | 1999 212 | 0.2849 | -0.6543 | 0.1300 |
| 1999.626 | 1999 229 | 0.2875 | -0.6578 | 0.1139 |
| 2008.895 | 2008 328 | 0.0308 | 0.1287 | 0.0138 |

Çizelge 8.3 ISTA istasyonu, uyuşumsuz ölçüler

| EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du |
|---|---|---|---|---|
| 2001.223 | 2001 082 | -0.0284 | -0.0817 | 0.0198 |
| 2001.330 | 2001 121 | -0.0211 | -0.0851 | 0.0110 |
| 2002.484 | 2002 177 | -0.0109 | -0.0444 | 0.0054 |
| 2002.580 | 2002 212 | -0.0218 | -0.0266 | 0.0115 |
| 2002.596 | 2002 218 | -0.0213 | -0.0349 | 0.0393 |
| 2003.604 | 2003 221 | -0.0168 | -0.0185 | 0.0394 |
| 2004.062 | 2004 023 | -0.0041 | -0.0026 | 0.0169 |
| 2004.684 | 2004 251 | 0.0082 | 0.0086 | 0.0041 |
| 2005.722 | 2005 264 | 0.0051 | 0.0384 | 0.0231 |
| 2008.575 | 2008 211 | 0.0453 | 0.1026 | 0.0111 |
| 2008.578 | 2008 212 | 0.0509 | 0.1039 | 0.0107 |
| 2008.742 | 2008 272 | 0.0496 | 0.1128 | -0.0089 |

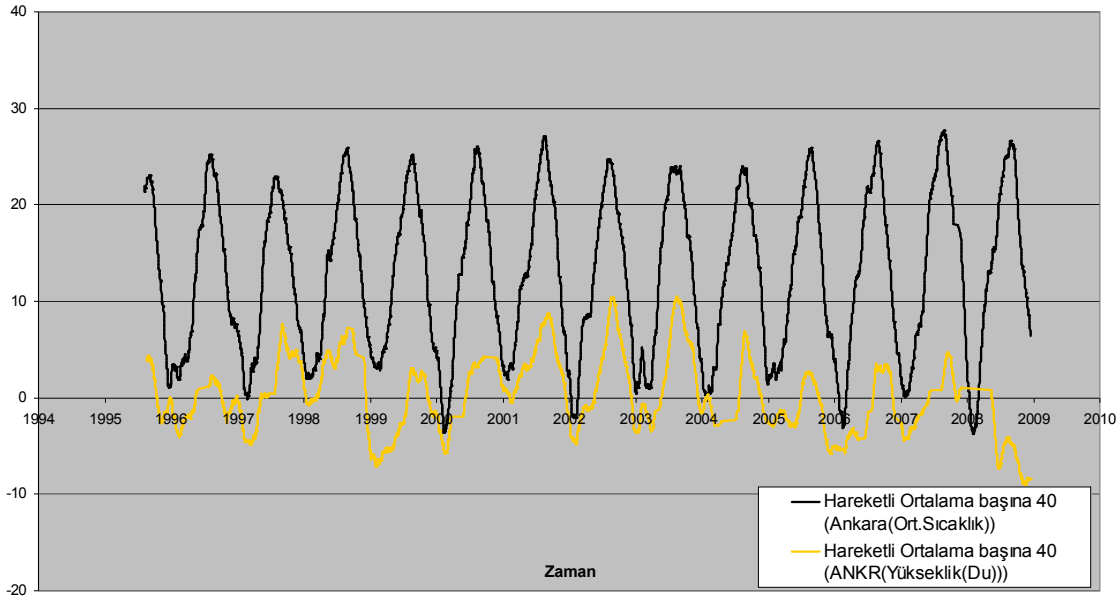
Çizelge 8.4 TRAB istasyonu, uyuşumsuz ölçüler

| EPOK | YIL-GÜN | Dn | De | Du |
|---|---|---|---|---|
| 2000.395 | 2000 145 | -0.0390 | -0.0995 | -0.0013 |
| 2000.592 | 2000 217 | -0.0525 | -0.0851 | 0.0244 |
| 2000.652 | 2000 239 | -0.0353 | -0.0891 | 0.0209 |
| 2001.330 | 2001 121 | -0.0291 | -0.0787 | 0.0031 |
| 2001.333 | 2001 122 | -0.0288 | -0.0670 | -0.0104 |
| 2001.538 | 2001 197 | -0.0259 | -0.0565 | 0.0052 |
| 2001.560 | 2001 205 | -0.0336 | -0.0457 | 0.0099 |
| 2001.577 | 2001 211 | -0.0315 | -0.0441 | 0.0160 |
| 2001.585 | 2001 214 | -0.0255 | -0.0559 | 0.0094 |
| 2002.601 | 2002 220 | -0.0200 | -0.0336 | 0.0383 |
| 2002.653 | 2002 239 | 0.0037 | -0.0121 | -0.0111 |
| 2002.714 | 2002 261 | -0.0057 | -0.0339 | 0.0201 |
| 2003.240 | 2003 088 | -0.0087 | -0.0082 | -0.0189 |
| 2004.064 | 2004 024 | 0.0016 | 0.0031 | 0.0255 |
| 2004.406 | 2004 149 | 0.0059 | 0.0238 | -0.0068 |
| 2004.581 | 2004 213 | 0.0153 | 0.0166 | -0.0041 |
| 2005.377 | 2005 138 | 0.0277 | 0.0387 | -0.0101 |
| 2005.503 | 2005 184 | 0.0292 | 0.0416 | -0.0029 |
| 2005.555 | 2005 203 | 0.0314 | 0.0418 | 0.0127 |
| 2005.645 | 2005 236 | 0.0295 | 0.0438 | 0.0101 |
| 2005.856 | 2005 313 | 0.0248 | 0.0607 | -0.0018 |
| 2006.388 | 2006 142 | 0.0320 | 0.0710 | 0.0023 |
| 2006.470 | 2006 172 | 0.0404 | 0.0655 | -0.0091 |
| 2006.845 | 2006 309 | 0.0431 | 0.0802 | 0.0013 |
| 2007.327 | 2007 120 | 0.0481 | 0.0945 | -0.0064 |
| 2007.462 | 2007 169 | 0.0509 | 0.0814 | 0.0009 |
| 2007.588 | 2007 215 | 0.0513 | 0.0866 | 0.0146 |

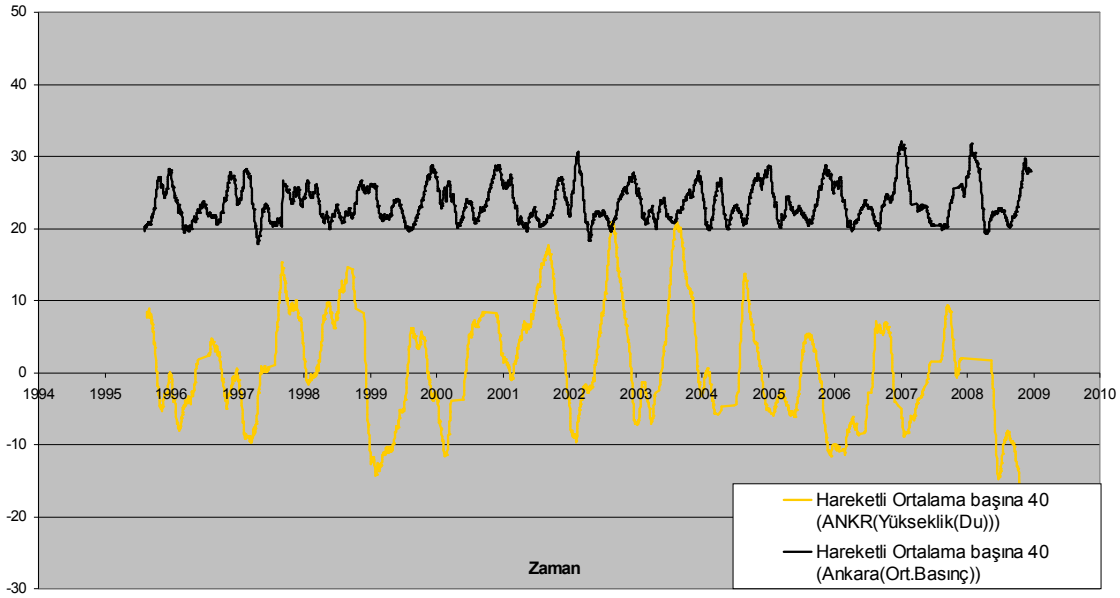
## 8.3 ANKR, TUBI, ISTA ve TRAB Sabit GPS İstasyonlarının Yükseklik Bileşenlerinin Ortalama Sıcaklık ve Basınç ile Regresyon Analizleri

Dört istasyonun koordinat bileşenlerinden biri olan yükseklik bileşeninin zaman serileri grafiğine bakıldığında, dönemsel benzer şekilde hareket ettiği görülmüş ve bunun mevsimsel etkilerden dolayı olabileceği düşünülmüştü. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin ettiğimiz sıcaklık ve ortalama basınç değerleri ile istasyonların yükseklik koordinat bileşenlerinin hem ortalama sıcaklıklara göre hem de ortalama basınca göre regresyon analizi yapıldı.

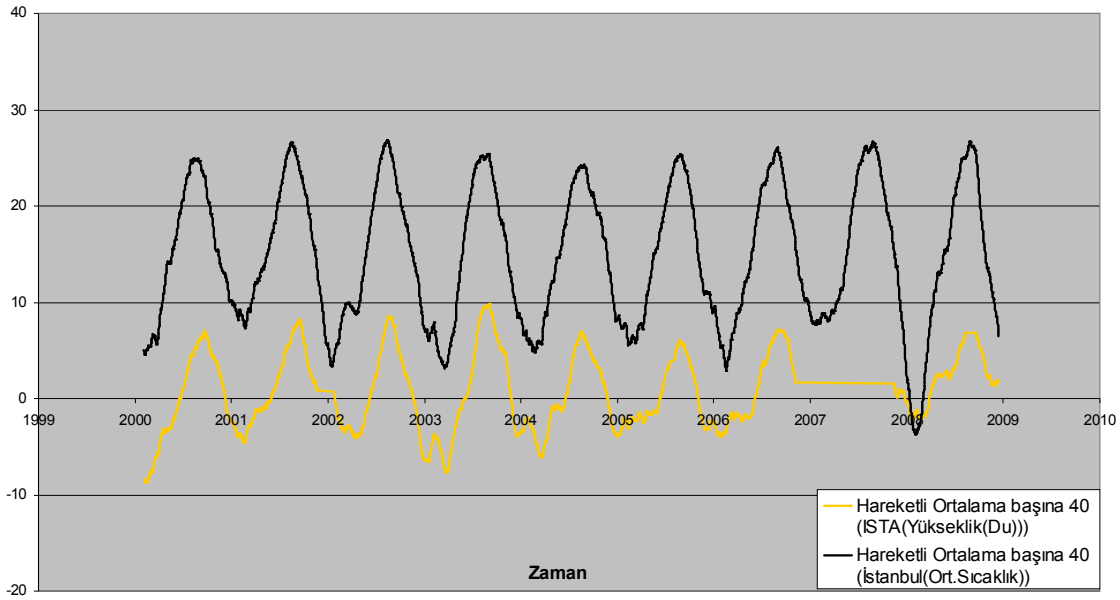
İstasyon koordinat bileşenleri verilerinin ortalama sıcaklık ve basınçla olan ilişkilerini, zaman içerisinde yapmış oldukları hareketlerin grafiklerine bakarak yorumlayacak olursak; (grafiklerde Y sütununun herhangi bir birimi yoktur, iki değişkenin görsel olarak daha iyi anlaşılabilmesi için belirli katsayılarla çarpılmış durumlarıdır (Şekil 8.5 - Şekil 8.12)).



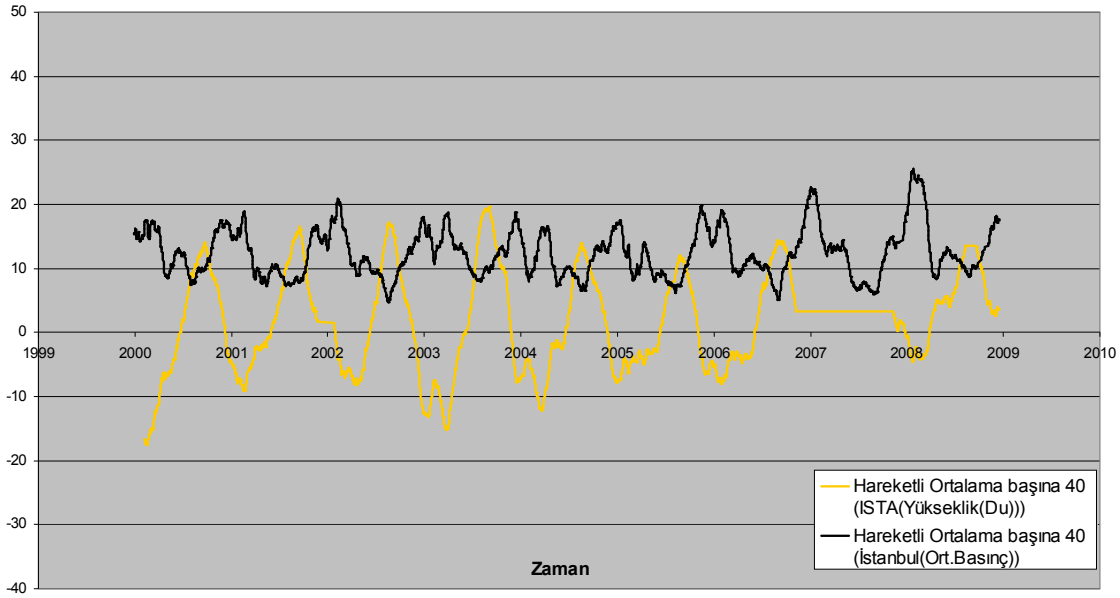

Şekil 8.5 ANKR yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği



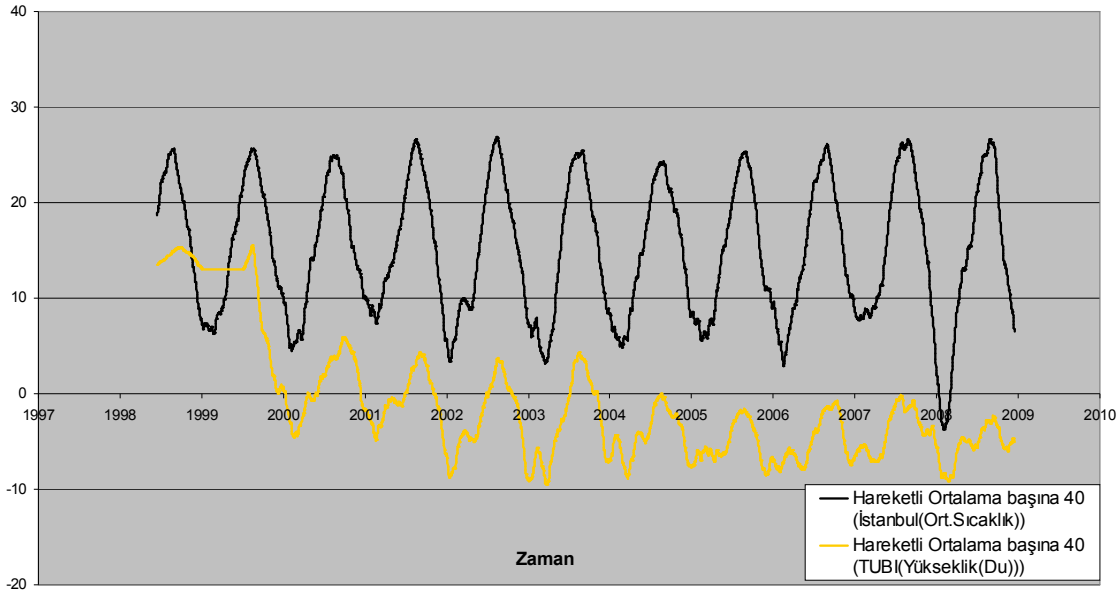

Şekil 8.6 ANKR yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği



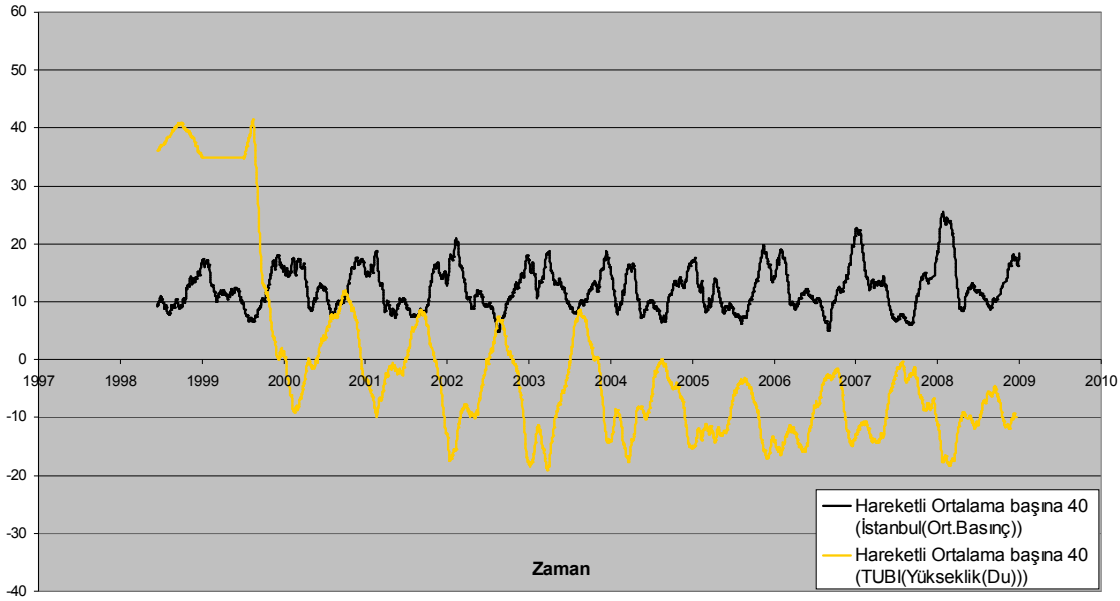

Şekil 8.7 ISTA yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği



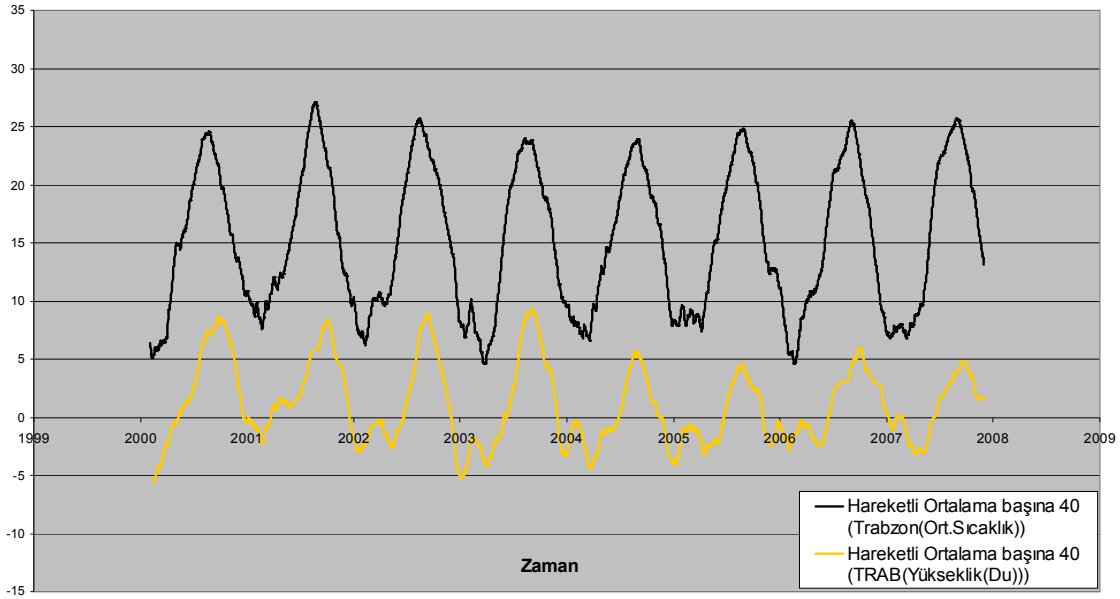

Şekil 8.8 ISTA yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği



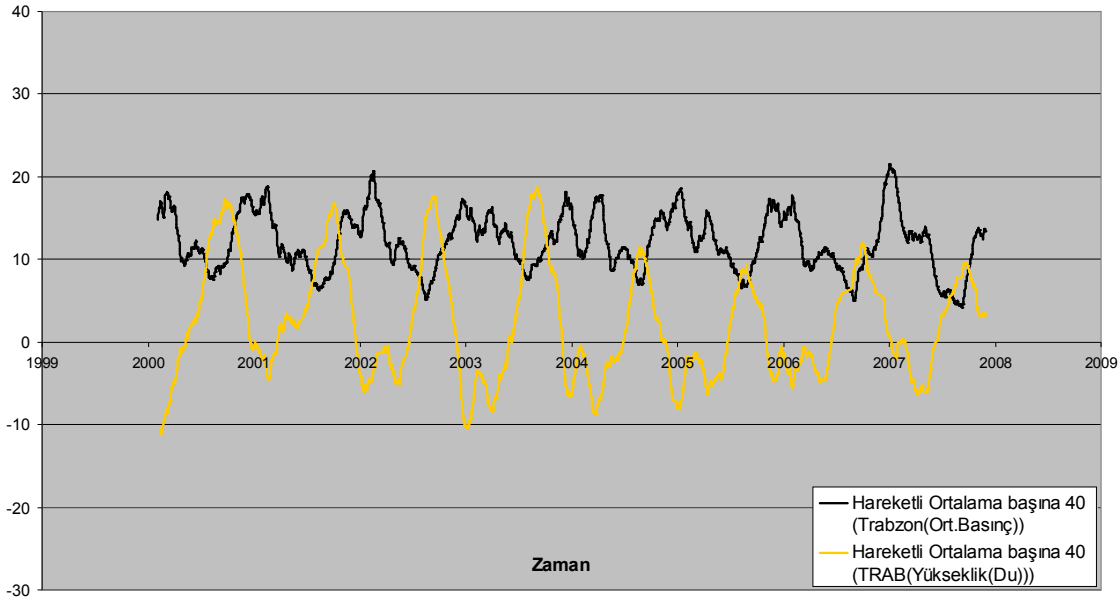

Şekil 8.9 TUBI yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği




Şekil 8.10 TUBI yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği




Şekil 8.11 TRAB yükseklik bileşeni ile ortalama sıcaklık grafiği




Şekil 8.12 TRAB yükseklik bileşeni ile ortalama basınç grafiği

### 8.3.1 Regresyon

Günlük yaşantıda karşılaşılan her çeşit olay kendi başına bağımsız düşünülemez. Bu olayın bazı değişkenlerle ilişkisi vardır. Örneğin bir noktanın hassasiyeti o noktayı saptamak için uygulanan ölçü yöntemine, kullanılan ölçü aletine bağlıdır (Yerci 2002).

Regresyon, bilinenler yardımı ile bir eşitlik kurup daha sonraki durumlar için tahminde bulunmak şeklinde düşünülür. Bir başka ifade ile regresyon, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri ölçmek için kullanılır. Regresyon hem tanımlayıcı hem de çıkarımsal istatistik sağlar.

Olayı bağımlı değişken Y, olayla ilgili tek değişken varsa X olarak gösterirsek bu iki değişken arasında Y=f(X) eşitliğindeki bir bağlantı düşünülebilir.

Ölçülebilen olaylarda, bir dizi ölçü sonucu düzlem üzerinde $(X_1, Y_1),(X_2, Y_2),\ldots,(X_n, Y_n)$ gibi değerlerle belirtilen noktalar elde edilmiş olsun. Bu noktaların frekans dağılımı incelenirse, sınıfların maksimum frekansları X ve Y eksenlerinden farklı bir doğru boyunca olduğu ve değerlerinin ise bu doğru etrafında dağıldıkları görülür.

Bu ölçüler dizisinin dağılımının lineer olmama durumu olabilir. Dağılımın lineer

olmayan bir dağılım olduğu izlenimi varsa uygun eğri, lineer ise dengeleyici doğru veya regresyon doğrusundan söz edilir.

*Uygun Eğri, Uygun Doğru*

$A_i(X_i, Y_i)$ (i=0, 1, 2,…,n) noktası ve bununla aynı (X) değerli $B_i(X_i, \beta_i)$ noktasını göz önüne alalım.

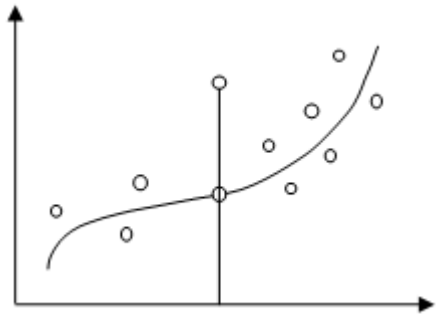
$A_i$ ve $B_i$ noktasının Y değerleri farklı $V_i(Y_i, \beta_i)$ (i=0, 1, 2,…,n) ile gösterelim. $V_i$ pozitif veya negatif olabilir.

$\sum_{i=1}^{n} V_i^2$ = minimum yapan $B_i$ noktalarından geçen Y=f(X) eğrisi için uygun eğri (regresyon eğrisi) adını alır.

Dağılımın doğrusal olduğu izlenimi uyanmış ise, $\sum_{i=1}^{n} V_i^2$ değerini minimum yapan,

$$Y=aX+b \qquad (8.1)$$

Doğrusunun denklemi aranır. Bu doğruyu dengeleyici doğru (regresyon doğrusu) denir (şekil 8.13).



Şekil 8.13 Regresyon doğrusu

Regresyon doğrusunun denklemi herhangi bir doğru denklemi değil, $V_i$ farklarının kareler toplamını minimum yapan bir denklemdir. Eğer hatalar bu doğru çevresinde normal dağılmışlarsa bu doğrunun gerçeğe yakın olma ihtimali diğer herhangi bir doğruya göre daha yüksektir.

Regresyon doğrusunun denklemini bulmak için a ve b katsayılarını hesaplamak

gerekir.

Bir örneklemde,

$X=X_0,\ X_1,\ X_2,\ldots,X_i,\ldots,X_n$ ve $Y=Y_0,\ Y_1,\ Y_2,\ldots,Y_i,\ldots,Y_n$ verileri için hata denklemleri,

$$V_i=-Y_i + aX +b \tag{8.2}$$

$$T = \sum_{i=1}^{n} V_i^2 = \sum_{i=0}^{n} (aX_i + b - Y_i)^2 \tag{8.3}$$

Minimum olması için,

$\frac{\partial T}{\partial a} = 0, \frac{\partial T}{\partial b} = 0$ olması gerekir.

$$\frac{\partial T}{\partial a} = 2\sum X(aX + b - Y) = 0 \quad , \quad \frac{\partial T}{\partial b} = 2\sum (aX + b - Y) = 0$$

Buradan,

$$\begin{aligned} &\sum (aX^2 + bX - XY) = 0 \\ &\sum (ax + b - Y) = 0 \end{aligned} \tag{8.4}$$

$$\begin{aligned} &a\sum X^2 + b\sum X - \sum XY = 0 \\ &a\sum X + nb - \sum Y = 0 \end{aligned}$$

normal denklemleri elde edilir. Sistemin çözülmesi ile a ve b katsayıları elde edilir.

$$a = \frac{n\sum XY - \left(\sum X\right)\left(\sum Y\right)}{n\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2} \ , \quad b = \frac{\left(\sum Y\right)\left(\sum X^2\right) - \left(\sum X\right)\left(\sum XY\right)}{n\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2} \tag{8.5}$$

Hesaplanan a ve b değerleri şekil(8.13) de yerine konarak regresyon doğrusunun denklemi elde edilmiş olur.

#### 8.3.1.1 Regresyon değerlerinin standart sapma, standart hata ve güven sınırları

Doğrusal regresyon denkleminden her X değeri için tahmini regresyon değeri (bağımlı değişken) hesaplanır. Gözlem hatalarından dolayı regresyon değerleri ($\hat{Y}$) ile gerçek bağımlı değişken değerleri (Y) ler arasındaki farklılıklar görülür. Gözlem hatalarının etkisini minimum yapmak için regresyon değerlerinin standart hatası hesaplanır.

*Belli bir $X_j$ değerine sahip Y değerlerinin ortalaması için regresyon değeri hesaplanıyorsa regresyon değerinin standart hatası;*

$$S_{\hat{y}} = Syx\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\left(X_j - \overline{X}\right)^2}{\sum_{j=1}^{n}\left(X_j - \overline{X}\right)^2}} \tag{8.6}$$

formülü ile hesaplanır. Y' lerin hatalı olması durumunda standart sapma,

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(Y_j - \hat{y}_j)^2}{n-2}} \tag{8.7}$$

Kitlede belli bir $X_j$ değerine sahip Y değerlerinin ortalaması için regresyon değerinin belli ihtimalle güven sınırları,

$$b + aX_j - tS\hat{y} \le \hat{y} \le b + aX_j + tS\hat{y} \tag{8.8}$$

şeklindedir. Eşitsizlikte t değeri seçilen yanılma ihtimalinde ve n-2 serbestlik derecesindeki tablo değeridir.

*Doğrusallıktan ayrılışın önem kontrolü;*

X bağımsız değişkeni ile Y bağımlı değişkeni arasında doğrusal bir ilgi olduğunda $\hat{y}$=aX+b doğrusal regresyon denklemi yazılır. X bağımsız değişkeni ile Y bağımlı değişkeni arasındaki doğrusal ilginin varlığı her bir deneğin X ve Y değerlerinin koordinat düzlemi üzerinde oluşturdukları noktaların dağılışına bakılarak tahmin

edilir. Ancak bu tahminin tutarlı olup olmadığını araştırmak gerekir. Bu nedenle doğrusallıktan ayrılışın önem kontrolü yapılır (Yerci 2002).

Önem kontrolü F testi uygulanarak yapılır. Bir örneklemin F değeri, örneklemdeki varyansların oranına eşittir. Örneklemdeki varyanslar ise, her kareler toplamı değerini kendi serbestlik derecesine bölerek elde edilen kareler ortalaması değerleridir.

$$F = \frac{\dfrac{\left[\sum_{j=1}^{n}\left(X_j - \overline{X}\right)\left(Y_j - \overline{Y}\right)\right]^2}{\sum_{j=1}^{n}\left(X_j - \overline{X}\right)^2}}{\dfrac{\sum_{j=1}^{n}\left(Y_j - \hat{Y}\right)^2}{n-2}} \tag{8.9}$$

Hesaplanan F değeri seçilen yanılma ihtimalinde F tablo değeri ile karşılaştırılır, $F<F_t$ ise $H_0$ hipotezi kabul edilir.

### 8.3.2 ANKR sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi

İstasyonların koordinat bileşenleri, uygulamanın başında da belirtildiği üzere zaman serileri grafiklerine göre irdelendiğinde, uzun süreli data eksikliklerinin olması ve noktaların depremden etkilenmesinden dolayı, ANKR istasyonu verileri üç bölüme ayrılarak incelendi ve regresyon analizi bu üç bölümde ayrı ayrı yapıldı.

ANKR istasyonunun birinci bölümü, 26.06.1995 ile 13.08.1999 tarihleri arasını kapsamaktadır. İkinci bölüm, 25.11.2000 ile 17.03.2004 tarihleri arasını kapsamakta ve üçüncü bölümü 20.07.2004 ile 30.11.2007 tarihleri arasını kapsamaktadır. İstasyonun yükseklik bileşeni koordinat farklarının, trend'den arındırılmış verilerinin ortalama sıcaklık ve basınç ile korelasyonun olup olmadığı araştırıldı. Daha sonra regresyon analizi yapıldı.

Korelasyon ve regresyon analizleri Microsoft Excel de yapıldı.

***Birinci bölüm 26.06.1995 – 13.08.1999 tarihleri arası***

ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni ile Ankara'nın ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.4874 ve ortalama basınç değerleri arasındaki korelasyon katsayısı -0.2761 olarak bulundu.

Buradan genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin sıcaklıkla pozitif korelasyonlu ve basınçla negatif korelasyonlu olduğunu söyleyebiliriz.

Ortalama sıcaklık değerleri ile ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.5 ve çizelge 8.6);

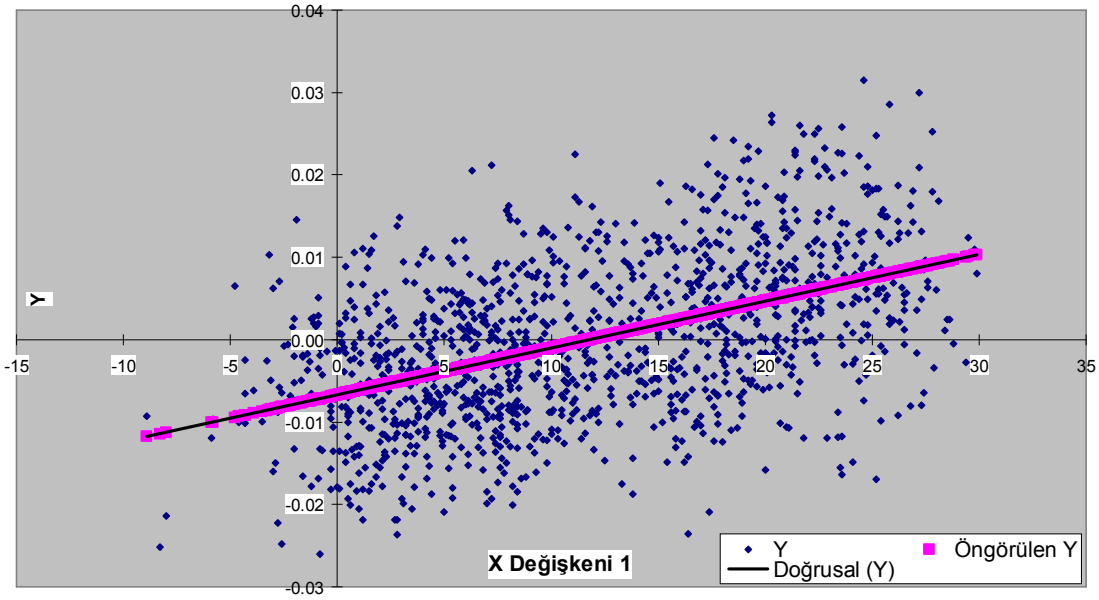
Çizelge 8.5 ANKR birinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.4873634 |
| R Kare | 0.2375231 |
| Ayarlı R Kare | 0.2369237 |
| Standart Hata | 0.0085669 |
| Gözlem | 1274 |

Çizelge 8.6 ANKR birinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.0290812 | 0.02908123 | 396.24722 | 5.7128E-77 |
| Fark | 1272 | 0.0933541 | 7.3392E-05 | | |
| Toplam | 1273 | 0.1224354 | | | |

Şekil(8.14) da görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=0.0006x - 0.0067 dir.




Şekil 8.14 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin birinci bölümünün ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu

Ortalama basınç değerleri ile ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.7 ve çizelge 8.8);

Çizelge 8.7 ANKR birinci bölüm ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri

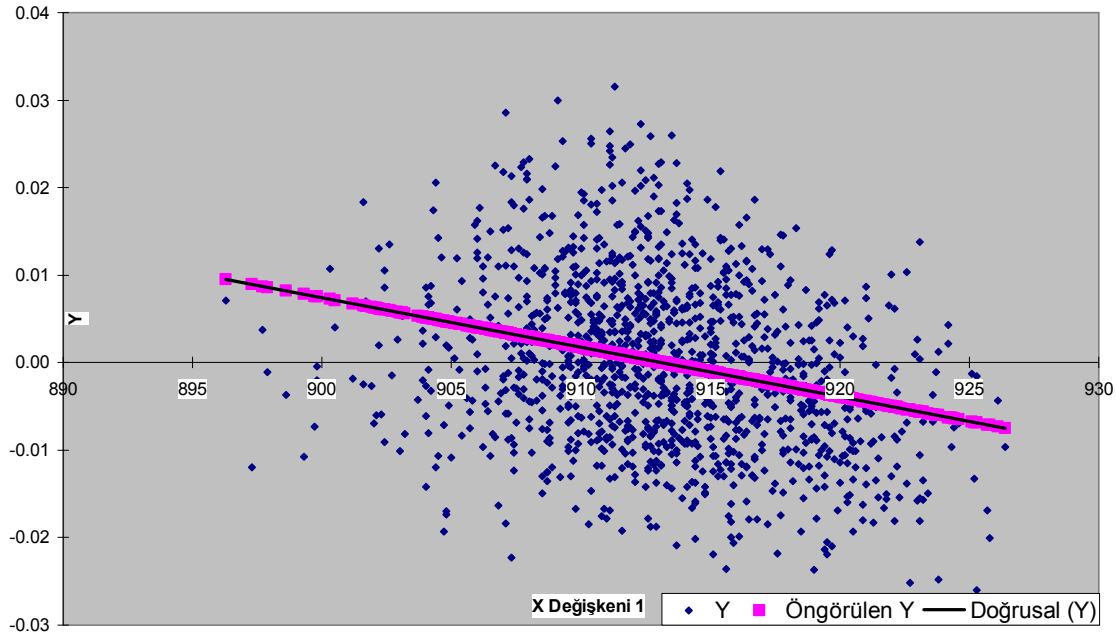
| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.276148 |
| R Kare | 0.0762577 |
| Ayarlı R Kare | 0.0755315 |
| Standart Hata | 0.0094294 |
| Gözlem | 1274 |

Çizelge 8.8 ANKR birinci bölüm ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.0093366 | 0.00933664 | 105.00743 | 9.8801E-24 |
| Fark | 1272 | 0.1130987 | 8.8914E-05 | | |
| Toplam | 1273 | 0.1224354 | | | |

Şekil(8.15) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon

denklemi y=-0.0006x + 0.5155 dir.




Şekil 8.15 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin birinci bölümünün ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu

Regresyon grafiklerinden regresyon doğrusuna baktığımızda, genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin, sıcaklıkla ve basınçla ilişkili ve bağımlı olduğunu söyleyebiliriz.

***İkinci bölüm 25.11.2000 - 17.03.2004 tarihleri arası***

ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni ile Ankara'nın ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.7575 ve ortalama basınç değerleri arasındaki korelasyon katsayısı -0.3029 olarak bulundu.

Buradan genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin sıcaklıkla pozitif korelasyonlu ve basınçla negatif korelasyonlu olduğunu söyleyebiliriz.

Ortalama sıcaklık değerleri ile ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.9 ve çizelge 8.10);

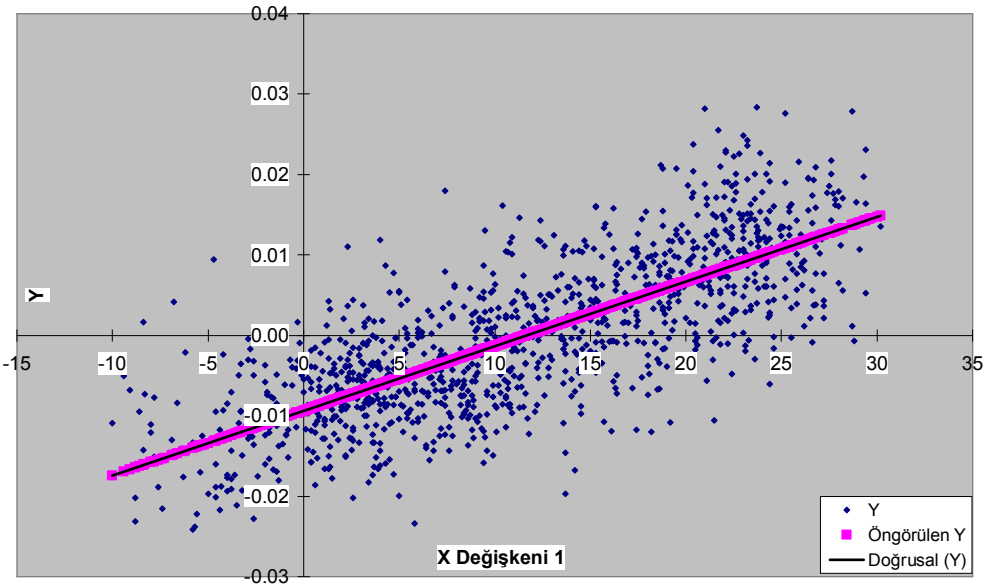
Çizelge 8.9 ANKR ikinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.757490223 |
| R Kare | 0.573791438 |
| Ayarlı R Kare | 0.573414596 |
| Standart Hata | 0.006431076 |
| Gözlem | 1133 |

Çizelge 8.10 ANKR ikinci bölüm ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.0629741 | 0.06297407 | 1522.6304 | 1.114E-211 |
| Fark | 1131 | 0.0467767 | 4.1359E-05 | | |
| Toplam | 1132 | 0.1097508 | | | |

Şekil(8.16) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=0.0008x - 0.0094 dir.




Şekil 8.16 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin ikinci bölümünün ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu

Ortalama basınç değerleri ile ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.11 ve çizelge 8.12);

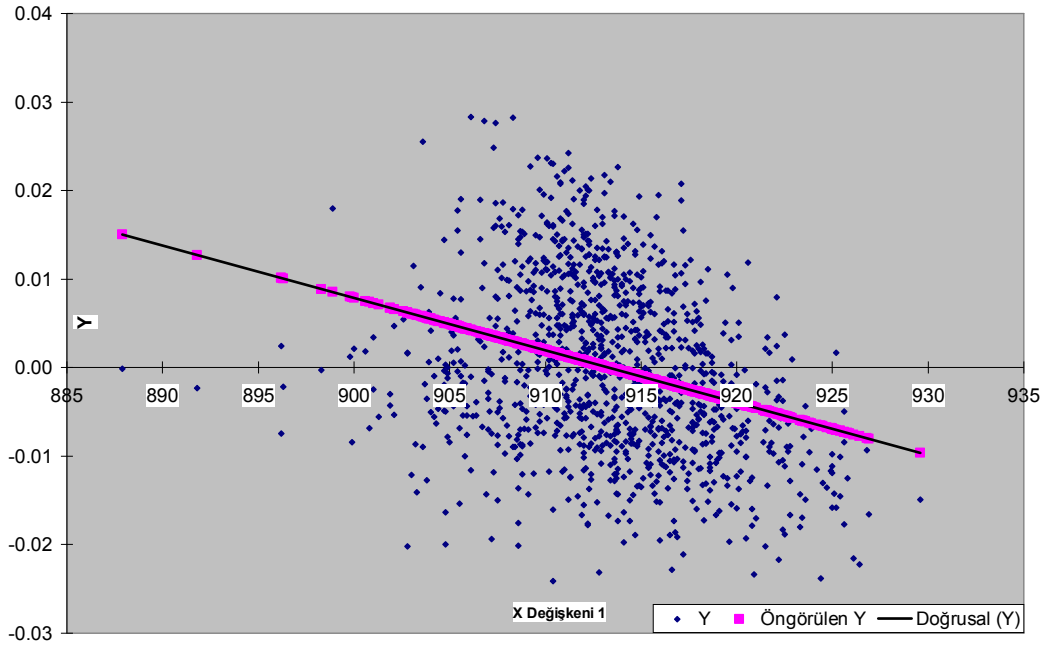
Çizelge 8.11 ANKR ikinci bölüm ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.3028698 |
| R Kare | 0.0917301 |
| Ayarlı R Kare | 0.090927 |
| Standart Hata | 0.0093881 |
| Gözlem | 1133 |

Çizelge 8.12 ANKR ikinci bölüm ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.0100675 | 0.01006745 | 114.22459 | 1.8225E-25 |
| Fark | 1131 | 0.0996833 | 8.8137E-05 | | |
| Toplam | 1132 | 0.1097508 | | | |

Şekil(8.17) da görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=-0.0006x + 0.5404 dir.




Şekil 8.17 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin ikinci bölümünün ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu

Regresyon grafiklerinden regresyon doğrusuna baktığımızda, genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin, sıcaklıkla ve basınçla ilişkili ve bağımlı

olduğunu söyleyebiliriz.

***Üçüncü bölüm 20.07.2004 - 30.11.2007 tarihleri arası***

ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni ile Ankara'nın ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.6451 ve ortalama basınç değerleri arasındaki korelasyon katsayısı -0.3772 olarak bulundu.

Buradan genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin sıcaklıkla pozitif korelasyonlu ve basınçla negatif korelasyonlu olduğunu söyleyebiliriz.

Ortalama sıcaklık değerleri ile ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.13 ve çizelge 8.14);

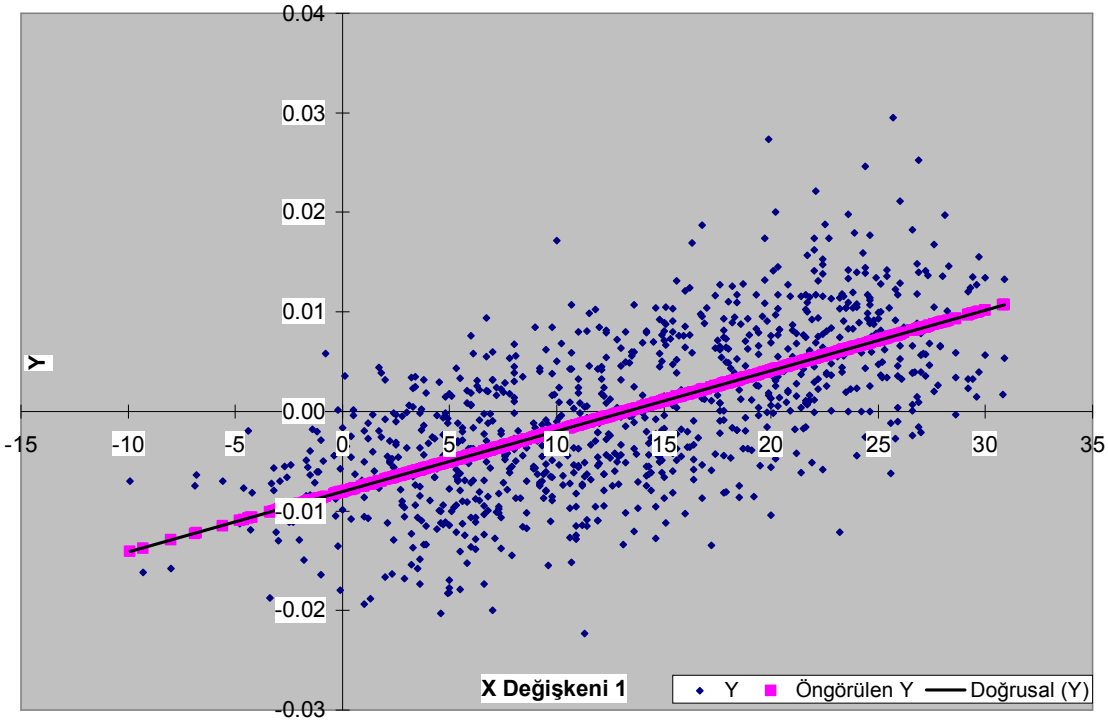
Çizelge 8.13 ANKR üçüncü bölüm ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.6451025 |
| R Kare | 0.4161572 |
| Ayarlı R Kare | 0.4155212 |
| Standart Hata | 0.0062122 |
| Gözlem | 920 |

Çizelge 8.14 ANKR üçüncü bölüm ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.0252518 | 0.02525183 | 654.34098 | 2.188E-109 |
| Fark | 918 | 0.0354268 | 3.8591E-05 | | |
| Toplam | 919 | 0.0606786 | | | |

Şekil(8.18) da görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=0.0006x - 0.0081 dir.




Şekil 8.18 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin üçüncü bölümünün ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu

Ortalama basınç değerleri ile ANKR istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.15 ve çizelge 8.16);

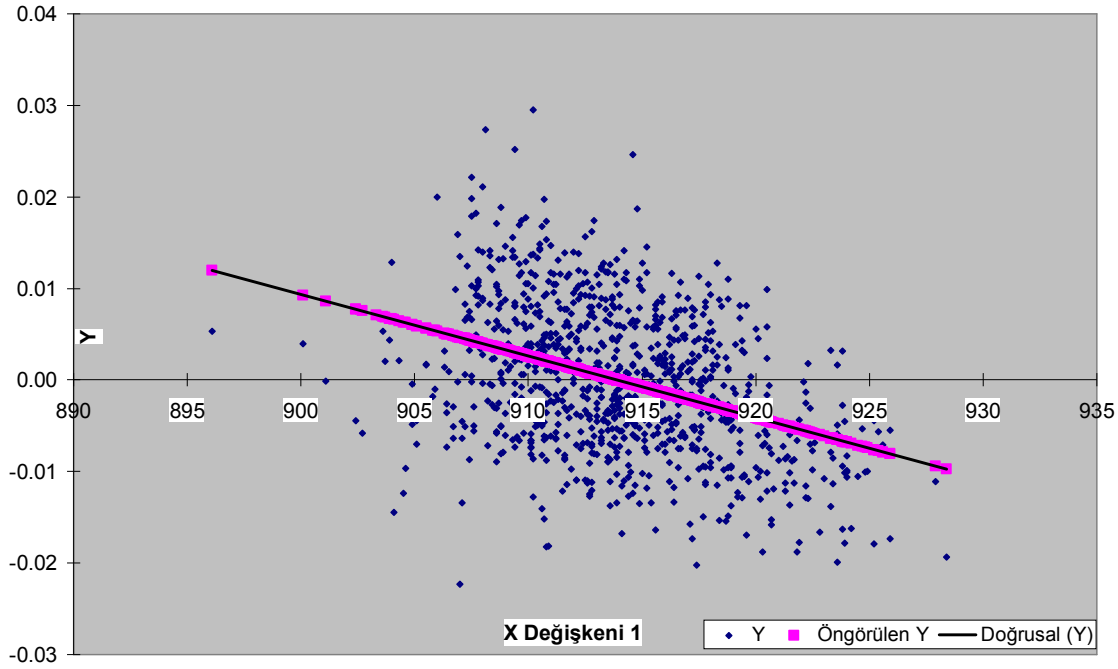
Çizelge 8.15 ANKR üçüncü bölüm ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.3771931 |
| R Kare | 0.1422746 |
| Ayarlı R Kare | 0.1413403 |
| Standart Hata | 0.0075296 |
| Gözlem | 920 |

Çizelge 8.16 ANKR üçüncü bölüm ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.008633 | 0.00863302 | 152.27262 | 1.7697E-32 |
| Fark | 918 | 0.0520456 | 5.6695E-05 | | |
| Toplam | 919 | 0.0606786 | | | |

Şekil(8.19) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=-0.0007x + 0.615 dir.




Şekil 8.19 ANKR Yükseklik (Du) bileşeninin üçüncü bölümünün ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu

Regresyon grafiklerinden regresyon doğrusuna baktığımızda, genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin, sıcaklıkla ve basınçla ilişkili ve bağımlı olduğunu söyleyebiliriz.

### 8.3.3 TUBI sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi

TUBI sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni koordinat farklarının, trend'den arındırılmış verilerinin ortalama sıcaklık ve basınç ile korelasyonun olup olmadığı araştırıldı. Daha sonra regresyon analizi yapıldı.

TUBI istasyonunun yükseklik bileşeni ile İstanbul'un ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.6370 ve ortalama basınç değerleri arasındaki korelasyon katsayısı -0.4605 olarak bulundu.

Ortalama sıcaklık değerleri ile TUBI istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.17 ve çizelge 8.18);

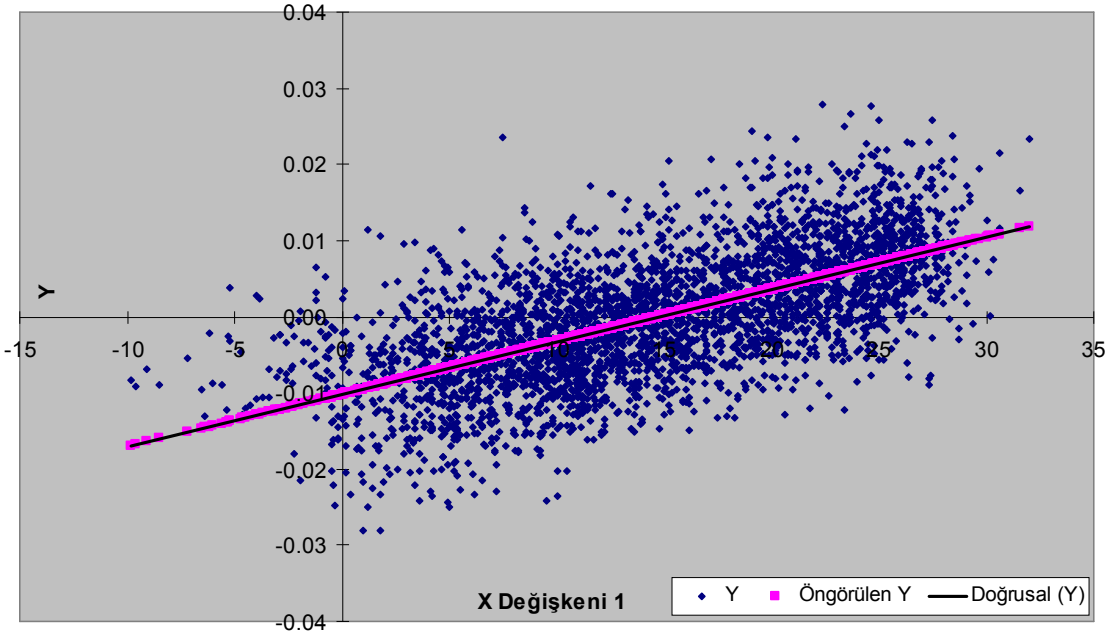
Çizelge 8.17 TUBI ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.636987439 |
| R Kare | 0.405752997 |
| Ayarlı R Kare | 0.405575769 |
| Standart Hata | 0.006505241 |
| Gözlem | 3355 |

Çizelge 8.18 TUBI ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.096884661 | 0.096884661 | 2289.434852 | 0 |
| Fark | 3353 | 0.141892776 | 4.23182E-05 | | |
| Toplam | 3354 | 0.238777437 | | | |

Şekil(8.20) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=0.0007x - 0.0101 dir.




Şekil 8.20 TUBI Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu

Ortalama basınç değerleri ile TUBI istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.19 ve çizelge 8.20);

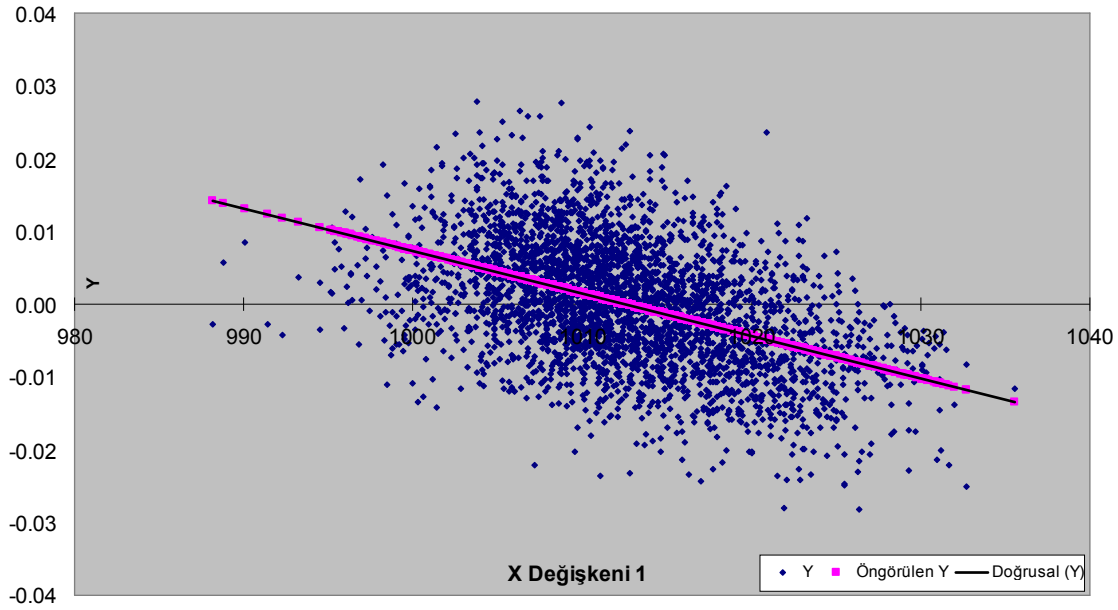
Çizelge 8.19 TUBI ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.460508899 |
| R Kare | 0.212068446 |
| Ayarlı R Kare | 0.211833453 |
| Standart Hata | 0.007490729 |
| Gözlem | 3355 |

Çizelge 8.20 TUBI ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.05063716 | 0.05063716 | 902.4457746 | 8.68E-176 |
| Fark | 3353 | 0.188140277 | 5.6111E-05 | | |
| Toplam | 3354 | 0.238777437 | | | |

Şekil(8.21) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=-0.0006x + 0.5924 dir.




Şekil 8.21 TUBI Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu

Regresyon grafiklerinden regresyon doğrusuna baktığımızda, genel olarak ANKR

istasyonunun yükseklik bileşeninin, sıcaklıkla ve basınçla ilişkili ve bağımlı olduğunu söyleyebiliriz.

### 8.3.4 ISTA sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi

ISTA sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni koordinat farklarının, trend'den arındırılmış verilerinin ortalama sıcaklık ve basınç ile korelasyonun olup olmadığı araştırıldı. Daha sonra regresyon analizi yapıldı.

ISTA istasyonunun yükseklik bileşeni ile İstanbul'un ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.7876 ve ortalama basınç değerleri arasındaki korelasyon katsayısı -0.3124 olarak bulundu.

Ortalama sıcaklık değerleri ile ISTA istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.21 ve çizelge 8.22);

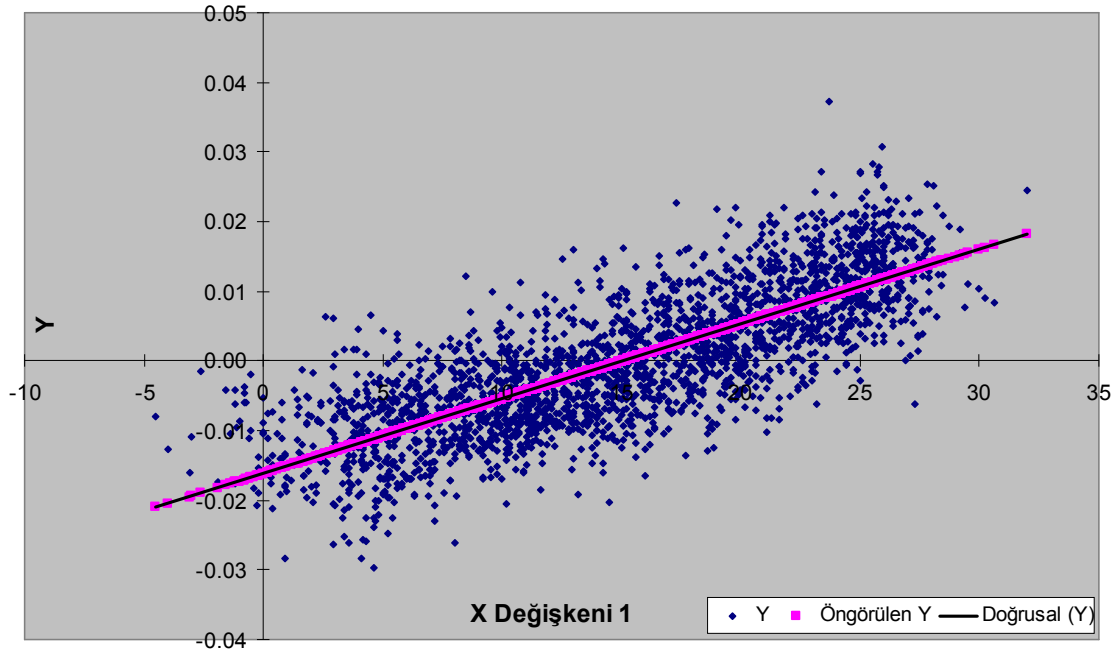
Çizelge 8.21 ISTA ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.787636303 |
| R Kare | 0.620370946 |
| Ayarlı R Kare | 0.620211772 |
| Standart Hata | 0.006229989 |
| Gözlem | 2387 |

Çizelge 8.22 ISTA ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.151270754 | 0.151270754 | 3897.448548 | 0 |
| Fark | 2385 | 0.092568444 | 3.88128E-05 | | |
| Toplam | 2386 | 0.243839198 | | | |

Şekil(8.22) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=0.0011x - 0.0162 dir.




Şekil 8.22 ISTA Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu

Ortalama basınç değerleri ile ISTA istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.23 ve çizelge 8.24);

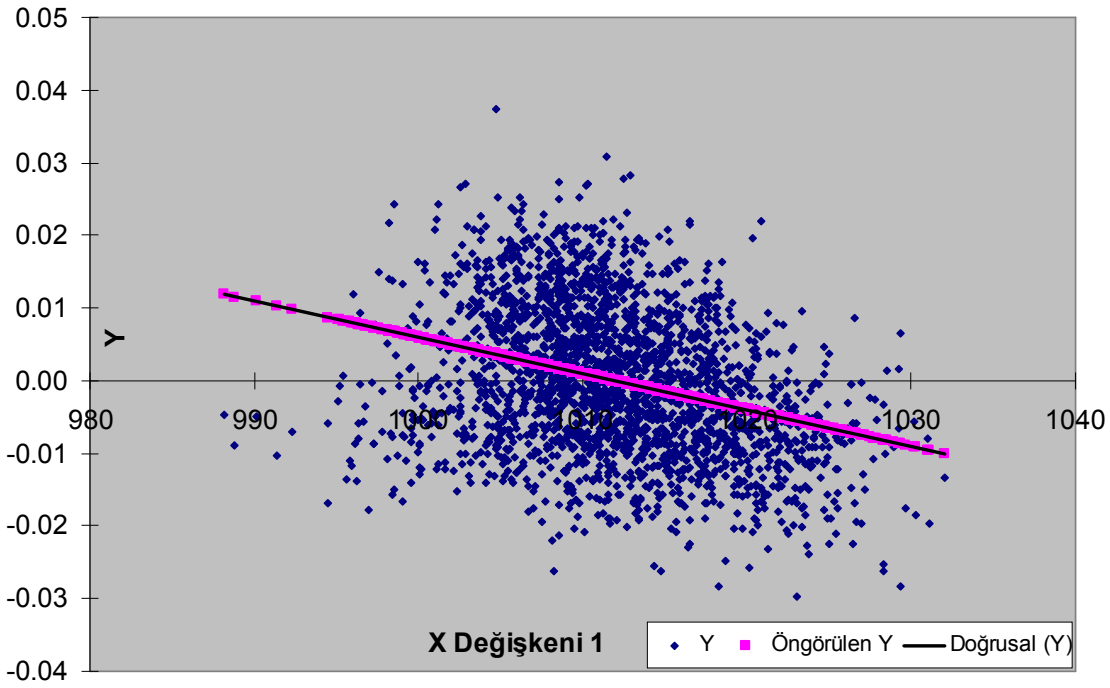
Çizelge 8.23 ISTA ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.312442098 |
| R Kare | 0.097620065 |
| Ayarlı R Kare | 0.097241708 |
| Standart Hata | 0.009605109 |
| Gözlem | 2387 |

Çizelge 8.24 ISTA ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.023803598 | 0.023803598 | 258.0108942 | 3.301E-55 |
| Fark | 2385 | 0.2200356 | 9.22581E-05 | | |
| Toplam | 2386 | 0.243839198 | | | |

Şekil(8.23) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=-0.0005x + 0.5047 dir.




Şekil 8.23 ISTA Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu

Regresyon grafiklerinden regresyon doğrusuna baktığımızda, genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin, sıcaklıkla ve basınçla ilişkili ve bağımlı olduğunu söyleyebiliriz.

### 8.3.5 TRAB sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni (Up)'nin ortalama sıcaklık ve basınç değerlerine göre regresyon analizi

TRAB sabit GPS istasyonunun yükseklik bileşeni koordinat farklarının, trend'den arındırılmış verilerinin ortalama sıcaklık ve basınç ile korelasyonun olup olmadığı araştırıldı. Daha sonra regresyon analizi yapıldı.

TRAB istasyonunun yükseklik bileşeni ile Trabzon'un ortalama sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.6897 ve ortalama basınç değerleri arasındaki korelasyon katsayısı -0.4691 olarak bulundu.

Ortalama sıcaklık değerleri ile TRAB istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.25 ve çizelge 8.26);

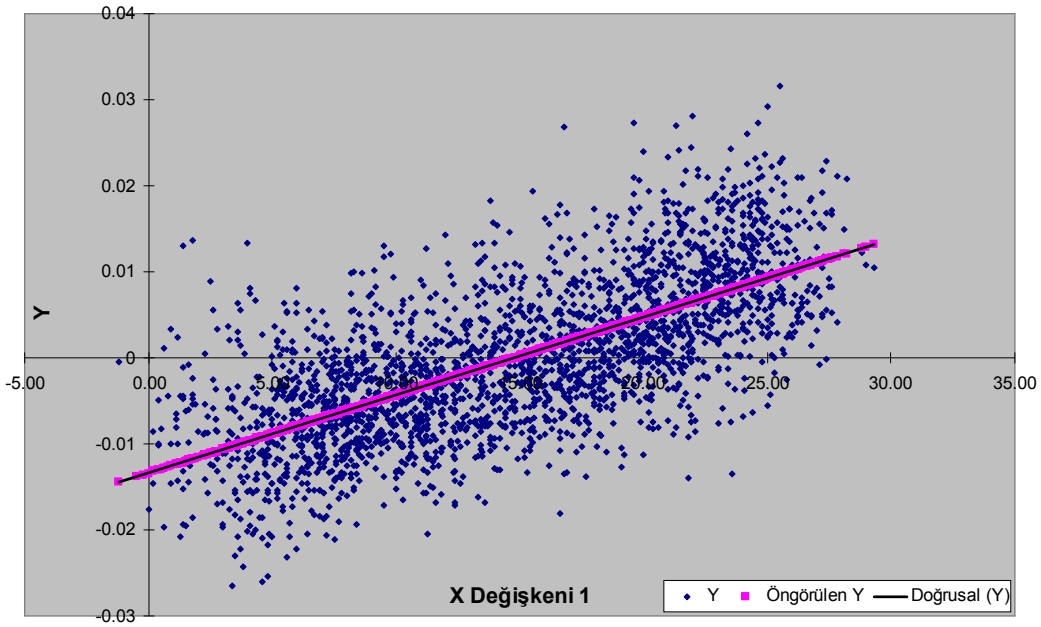
Çizelge 8.25 TRAB ortalama sıcaklığa göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.689670192 |
| R Kare | 0.475644973 |
| Ayarlı R Kare | 0.475440067 |
| Standart Hata | 0.006530734 |
| Gözlem | 2561 |

Çizelge 8.26 TRAB ortalama sıcaklığa göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.099003765 | 0.099003765 | 2321.281239 | 0 |
| Fark | 2559 | 0.109142585 | 4.26505E-05 | | |
| Toplam | 2560 | 0.20814635 | | | |

Şekil(8.24) da görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=0.0009x - 0.0134 dür.




Şekil 8.24 TRAB Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama sıcaklığa göre, Regresyon doğrusu

Ortalama basınç değerleri ile TRAB istasyonunun yükseklik bileşeni arasındaki

regresyon analizi sonuçları (çizelge 8.27 ve çizelge 8.28);

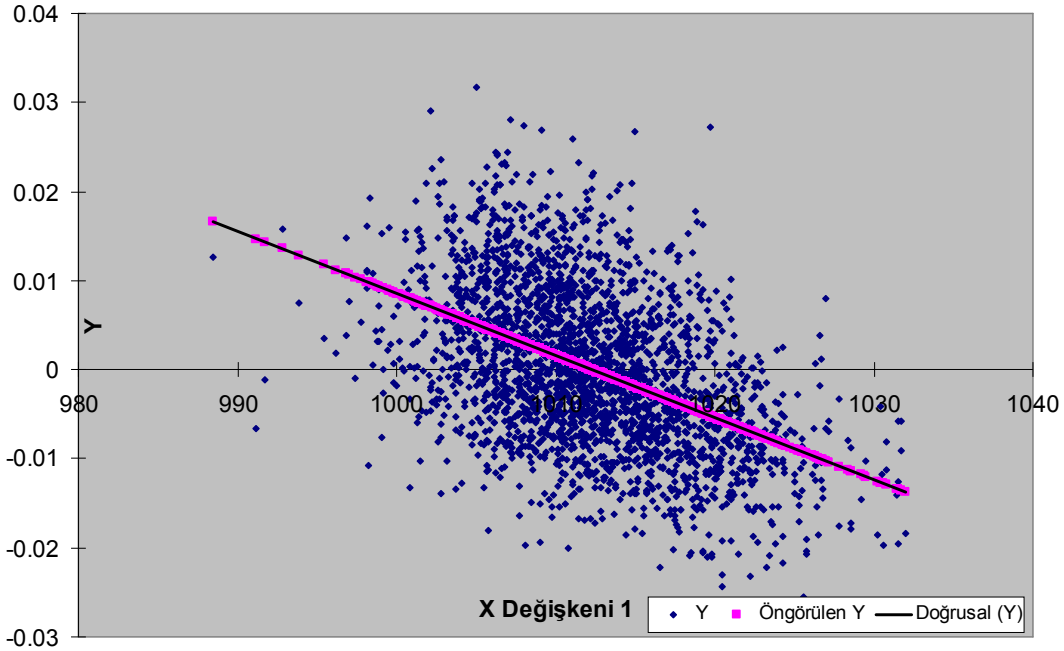
Çizelge 8.27 TRAB ortalama basınca göre, Regresyon istatistikleri

| | |
|---|---|
| Çoklu R | 0.469086733 |
| R Kare | 0.220042363 |
| Ayarlı R Kare | 0.219737573 |
| Standart Hata | 0.007964981 |
| Gözlem | 2561 |

Çizelge 8.28 TRAB ortalama basınca göre, varyans analizi

| | df | SS | MS | F | Anlamlılık F |
|---|---|---|---|---|---|
| Regresyon | 1 | 0.045801015 | 0.045801015 | 721.9474261 | 2.7E-140 |
| Fark | 2559 | 0.162345335 | 6.34409E-05 | | |
| Toplam | 2560 | 0.20814635 | | | |

Şekil(8.25) de görüldüğü üzere regresyon doğrumuz doğrusal ve Regresyon denklemi y=-0.0007x + 0.7063 dür.




Şekil 8.25 TRAB Yükseklik (Du) bileşeninin ortalama basınca göre, Regresyon doğrusu

Regresyon grafiklerinden regresyon doğrusuna baktığımızda, genel olarak ANKR istasyonunun yükseklik bileşeninin, sıcaklıkla ve basınçla ilişkili ve bağımlı

olduğunu söyleyebiliriz.

## 8.4 Depremlerin ANKR, TUBI ve ISTA Sabit GPS İstasyonlarına Etkilerinin Araştırılması

ANKR, TUBI ve ISTA sabit GPS istasyonlarının bulunduğu şehirlerin merkezlerine tekabül eden boylamlarından bir eksiği ve bir fazlası alınarak ve yine merkezlerine tekabül eden enlemlerinden bir eksiği ve bir fazlası alınarak bu enlemler ve boylamlar arasına giren alanda gerçekleşen depremlerin istasyonlara yaptığı etkiler araştırılmıştır.

### 8.4.1 Deprem

Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir.

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir (http://www.deprem.gov.tr/deprem.htm).

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

*Odak Derinliği*

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre

sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km. derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km. derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km. den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km. arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

*Magnitüd*

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletleri'nden Prof.C.Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Magnitüd" tanımlanmıştır. Prof .Richter, episantrdan 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon Sismografı ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlanmıştır.

### 8.4.2 Depremlerin ANKR sabit GPS istasyonuna etkileri

Ankara'da ve Ankara çevresinde meydana gelmiş depremler, ANKR istasyonunun ham verilerinin zaman serileri grafiğine bakıldığında çoğunlukla sıçrama yapmış olan verilere rastladığını görüyoruz. Şiddeti büyük olan 17 Ağustos 1999 depreminin, istasyonun o zamana kadar gerçekleştirdiği trendini depreme bağlı olarak o günden sonra değiştirdiği görülmektedir. Yine 17.03.2004 ile 20.07.2004 tarihleri arasında yoğun yer sarsıntılarının olduğu ve bu durumunda istasyonun trendini daha sonraki verilerinde değiştirdiğinden söz edebiliriz. Ayrıca V-testi uygulanarak uyuşumsuz kabul edilen verilerin çoğunun depreme rastladığı görülmüştür.

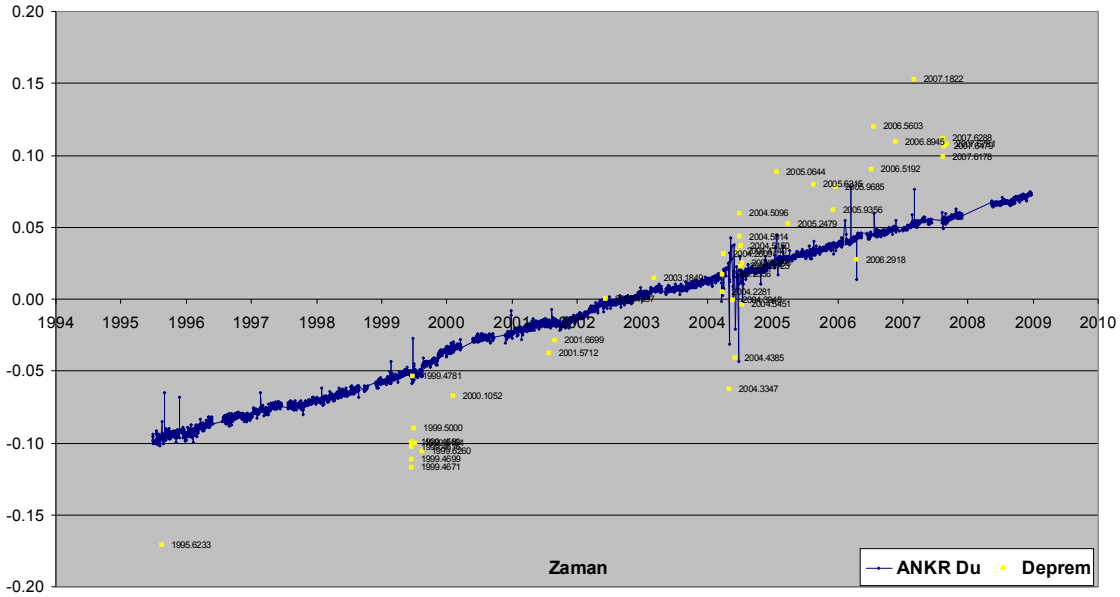
Alttaki çizelge(8.29) ve (8.30) de görüldüğü üzere Ankara ve civarında meydana gelen depremlerin, ANKR istasyonunun sıçrama yapan verilerinin tarihleri ile aynı olduğudur. Bu deprem verileri yine altta şekil(8.26) - şekil(8.28) de ANKR istasyon ham verileri ile grafiksel olarak gösterilmiştir. Ve yine örnek olması anlamında Çankırı da meydana gelen bir depremin Ankara'yı nasıl etkilediğini gösteren deprem haritasına bakacak olursak (şekil 8.29 ve şekil 8.30);

Çizelge 8.29 ANKR'yi etkileyen depremler

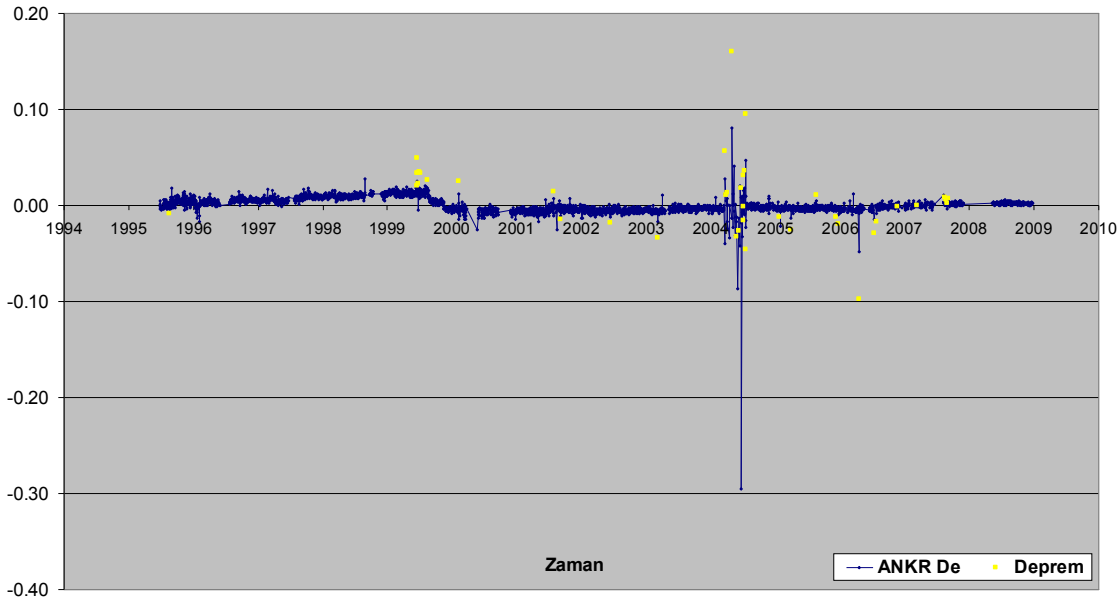
| TARİH | YILIN GÜNÜ | ENLEM | BOYLAM | DEPREM ŞİDDETİ | MEYDANA GELDİĞİ YER |
|---|---|---|---|---|---|
| 15.08.1995 | 227.gününde | 40.91 | 30.08 | 3.1 | |
| 16.06.1999 | 167.gününde | 40.91 | 33.91 | 4.0 | Tosya-Kastamonu |
| 18.06.1999 | 169.gününde | 40.92 | 33.91 | 3.5 | Tosya-Kastamonu |
| 19.06.1999 | 170.gününde | 40.90 | 33.93 | 3.1 | Tosya-Kastamonu |
| 21.06.1999 | 172.gününde | 39.83 | 30.50 | 3.2 | Eskişehir |
| 25.06.1999 | 176.gününde | 40.67 | 33.08 | 3.0 | Orta-Çankırı |
| 08.07.1999 | 189.gününde | 40.59 | 33.04 | 3.1 | Orta-Çankırı |
| 03.07.1999 | 184.gününde | 40.67 | 33.07 | 3.9 | Orta-Çankırı |
| 17.08.1999 | 229.gününde | 40.62 | 30.66 | 3.0 ile 4.9 arası | Adapazarı, bolu, düzce |
| 07.02.2000 | 38.gününde | 39.99 | 34.08 | 3.9 | Delice-Kırıkkale |
| 27.07.2001 | 208.gününde | 40.91 | 34.31 | 3.4 | Tosya-Kastamonu |
| 02.09.2001 | 245.gününde | 39.06 | 31.36 | 3.7 | Emirdağ-Afyon |
| 09.06.2002 | 160.gününde | 40.57 | 32.98 | 3.7 | Orta-Çankırı |
| 09.03.2003 | 68.gününde | 40.70 | 30.64 | 3.7 | Akyazı-Sakarya |
| 24.03.2004 | 84.gününde | 40.61 | 32.87 | 3.0 ve 3.1 | Orta-Çankırı |
| 26.03.2004 | 86.gününde | 40.85 | 31.10 | 4.2 | Düzce |
| 05.04.2004 | 96.gününde | 39.56 | 34.01 | 3.0 | Akçakent-Kırşehir |
| 01.05.2004 | 122.gününde | 39.20 | 32.00 | 3.0 | Polatlı-Ankara |
| 24.05.2004 | 145.gününde | 40.62 | 33.09 | 3.5 ve 3.3 | Çankırı ve Ankara,Şereflikoçhisar |
| 09.06.2004 | 122.gününde | 40.80 | 30.57 | 3.0 | Akyazı-Adapazarı |

Çizelge 8.30 ANKR' yi etkilyen depremler

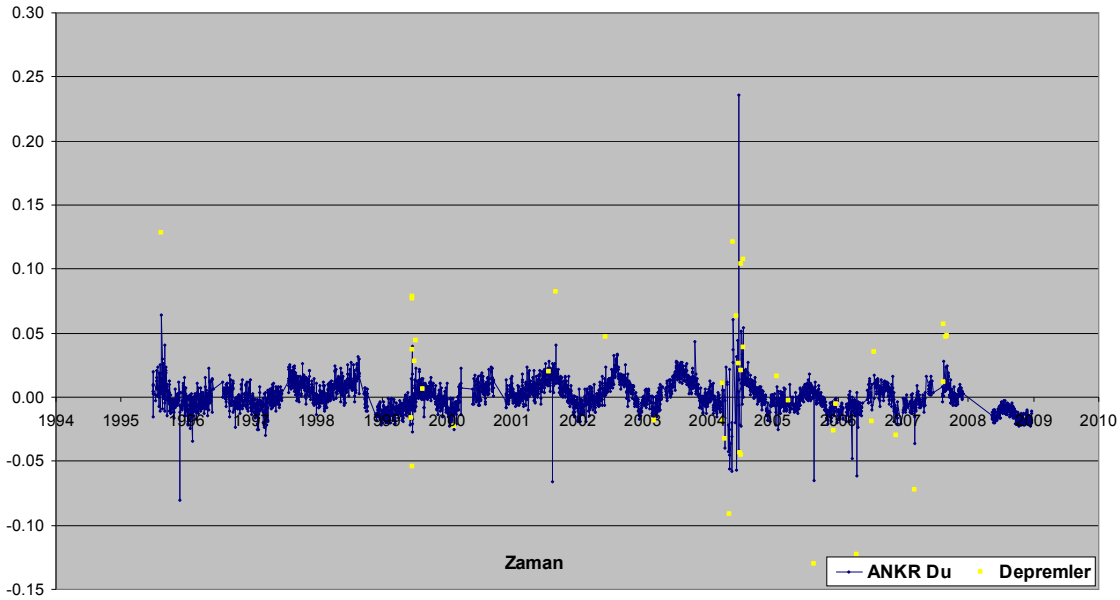
| TARİH | YILIN GÜNÜ | ENLEM | BOYLAM | DEPREM ŞİDDETİ | MEYDANA GELDİĞİ YER |
|---|---|---|---|---|---|
| 22.06.2004 | 174.gününde | 40.41 | 33.21 | 3.0 | Şabanözü-Çankırı |
| 02.07.2004 | 184.gününde | 40.04 | 31.60 | 3.0 | Ankara Nallıhan ve Eskişehir Sivrihisar |
| 05.07.2004 | 187.gününde | 38.99 | 32.25 | 3.2 | Yunak-Konya |
| 06.07.2004 | 188.gününde | 38.69 | 31.33 | 3.4, 3.3 ve 3.0 | Bolvadin,Sultandağı ve Emirdağı-Afyon |
| 07.07.2004 | 189.gününde | 39.97 | 33.53 | 3.0 | Yahşiyan-Kırıkkale |
| 16.07.2004 | 198.gününde | 40.07 | 32.82 | 3.5 ve 3.1 | Keçiören-Ankara |
| 18.07.2004 | 200.gününde | 39.19 | 31.12 | 3.0 ve 3.4 | Emirdağ-Afyon |
| 24.05.2005 | 24.gününde | 40.71 | 30.65 | 3.1 | Akyazı-Sakarya |
| 01.04.2005 | 91.gününde | 39.51 | 33.22 | 3.0 ve 3.4 | Merkez-Bolu ve Bala-Ankara |
| 19.08.2005 | 231.gününde | 39.41 | 32.99 | 3.0, 3.3, 3.0, 3.1 ve 3.0 | Bala-Ankara |
| 08.12.2005 | 3342.gününde | 39.79 | 30.51 | B 3.1 | Merkez-Eskişehir |
| 20.12.2005 | 354.gününde | 39.52 | 33.21 | 3.2 | Bala-Ankara |
| 17.04.2006 | 107.gününde | 40.07 | 33.04 | 3.0, 3.3 ve 3.2 | Akyurt,Bala-Ankara ve Delice-Kırıkkale |
| 08.07.2006 | 189.gününde | 39.35 | 33.11 | 3.3 | Bala-Ankara |
| 23.07.2006 | 204.gününde | 39.93 | 33.24 | 3.1 | Elmadağ-Ankara |
| 24.11.2006 | 328.gününde | 39.89 | 33.05 | 3.0 | Mamak-Ankara |
| 09.03.2007 | 68.gününde | 39.32 | 33.16 | 3.0, 3.3 ve 3.7 | Bala-Ankara, Çankırı ve Bayat-Çorum |
| 15.08.2007 | 227.gününde | 39.27 | 34.26 | 3.1 ve 3.1 | Bolvadin-Afyon ve Boztepe-Kırşehir |
| 17.08.2007 | 229.gününde | 39.93 | 33.11 | 3.2 | Elmadağ-Ankara |
| 25.08.2007 | 237.gününde | 39.71 | 32.03 | 3.1 | Polatlı-Ankara |
| 05.09.2007 | 248.gününde | 40.06 | 33.33 | 3.0 | Kalecik-Ankara |



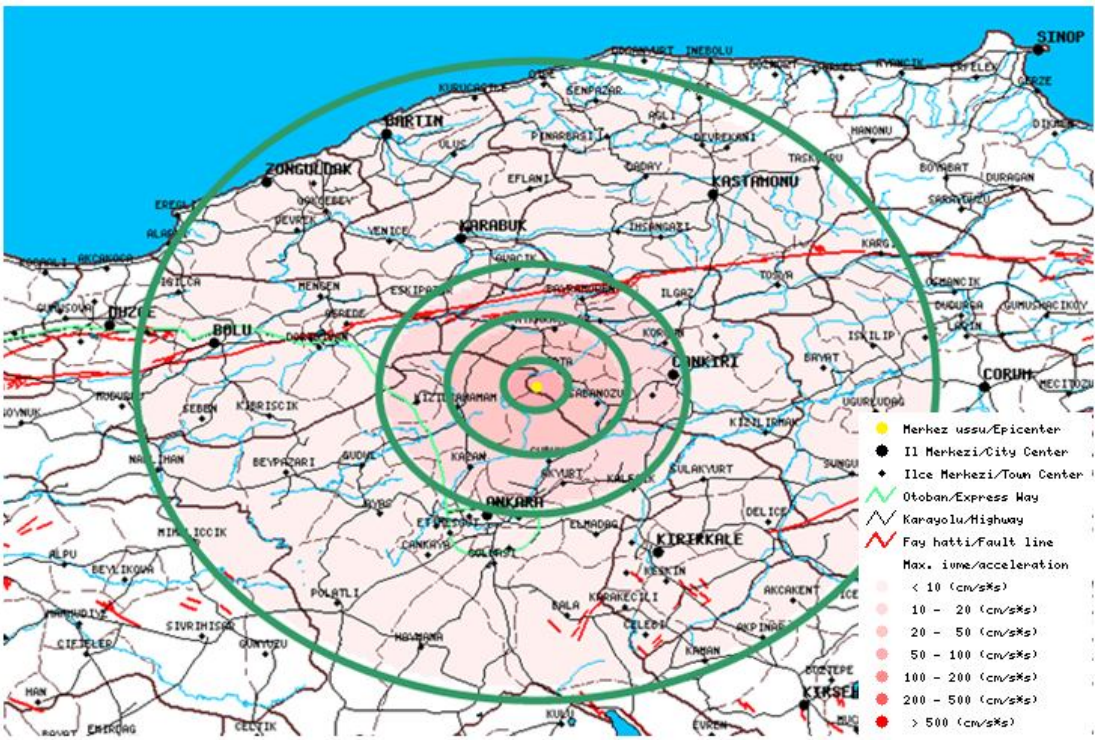

Şekil 8.26 ANKR kuzey bileşeni (Kuzey (Dn))'ni etkileyen depremler



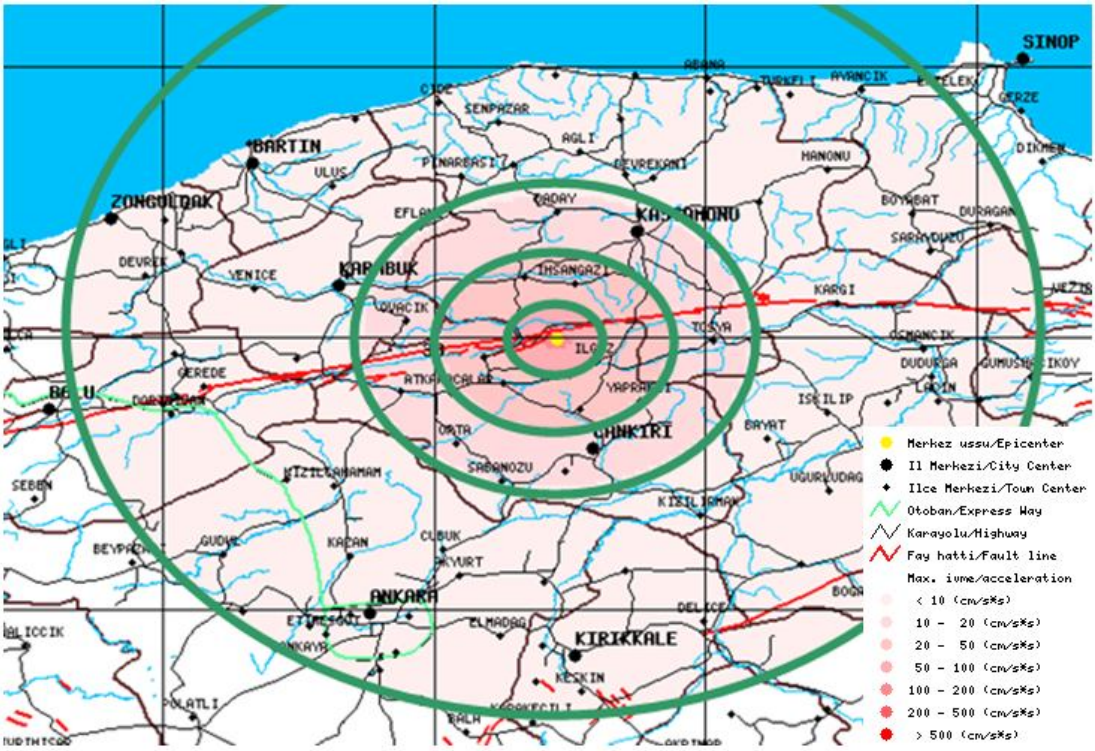

Şekil 8.27 ANKR doğu bileşeni (Doğu (De))'ni etkileyen depremler




Şekil 8.28 ANKR yükseklik bileşeni (Yükseklik (Du))'ni etkileyen depremler




Şekil 8.29 Orta-Çankırı depremi 09.06.2002 Magnitüd 4.1




Şekil 8.30 Ilgaz-Çankırı depremi 18.07.2004 Magnitüd 4.2

### 8.4.3 Depremlerin TUBI sabit GPS istasyonuna etkileri

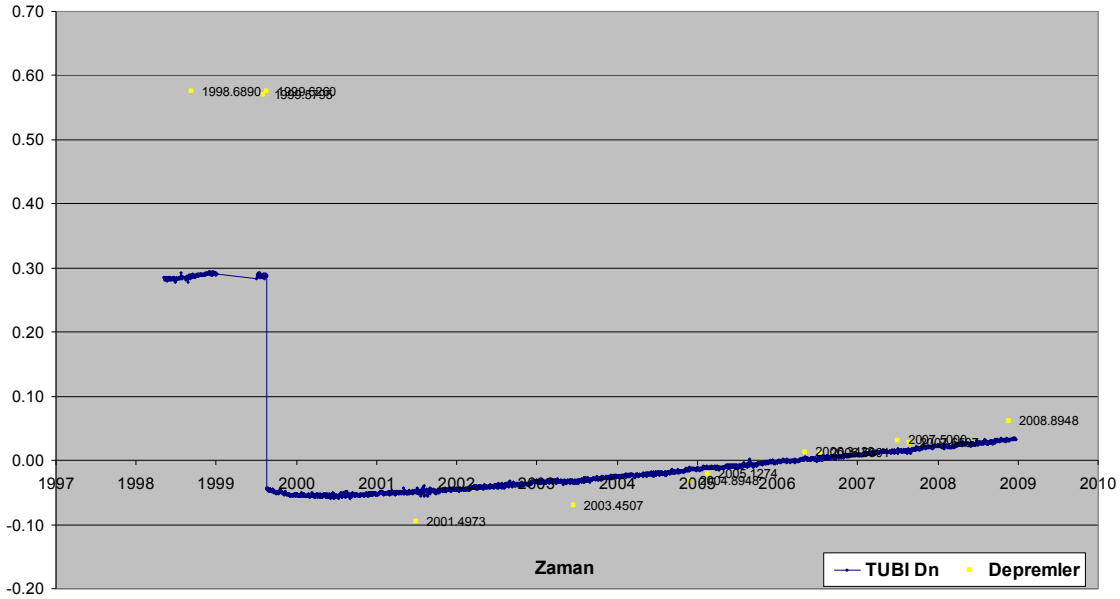
İstanbul'da ve İstanbul çevresinde meydana gelmiş depremler, TUBI istasyonunun ham verilerinin zaman serileri grafiğine bakıldığında, sıçrama yapmış olan verilere rastladığını görüyoruz. Şiddeti büyük olan 17 Ağustos 1999 depreminin, istasyonun o zamana kadar gerçekleştirdiği trendini depreme bağlı olarak o günden sonra değiştirdiği görülmektedir. 17 Ağustos depremi en çok TUBI istasyonunu etkilediği görülmektedir. Kuzey (Dn) yönünde ortalama 30 cm, Doğu (De) yönünde ortalama 50 cm ve yükseklik (Up) yönünde yaklaşık 10 cm'lik bir kayma olduğu görülmektedir. Ayrıca V-testi uygulanarak uyuşumsuz kabul edilen verilerin çoğunun depreme rastladığı görülmüştür.

Alttaki çizelge(8.31) da görüldüğü üzere İstanbul ve civarında meydana gelen depremlerin, TUBI istasyonunun sıçrama yapan verilerinin tarihleri ile aynı olduğu görülmektedir. Bu deprem verileri yine altta şekil(8.31), şekil(8.32) ve şekil(8.33) de

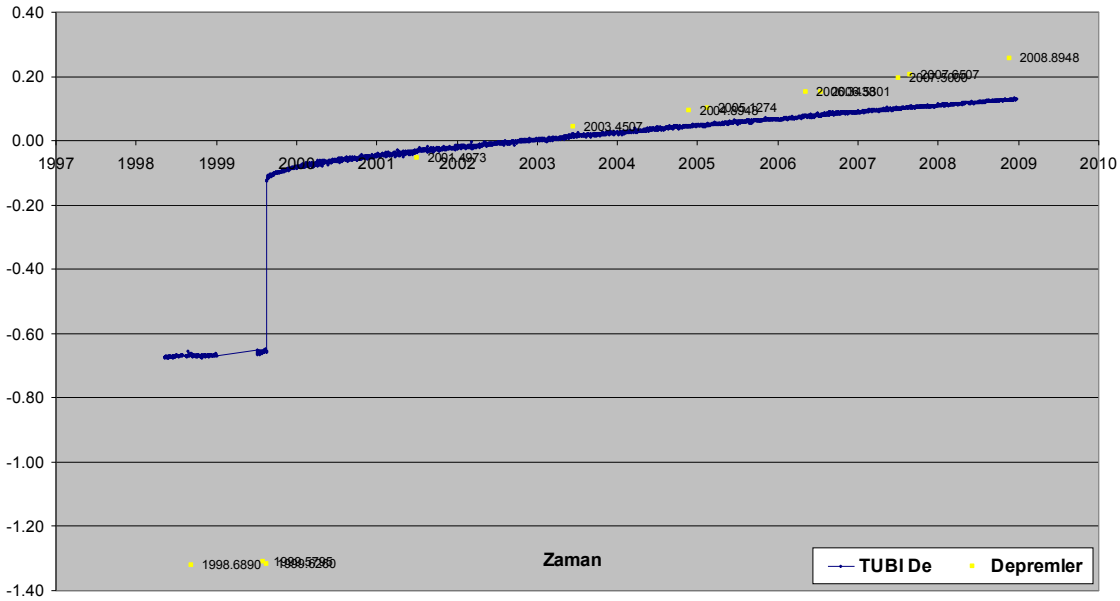
TUBI istasyon ham verileri ile grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 8.31 TUBİ'yi etkiyen depremler

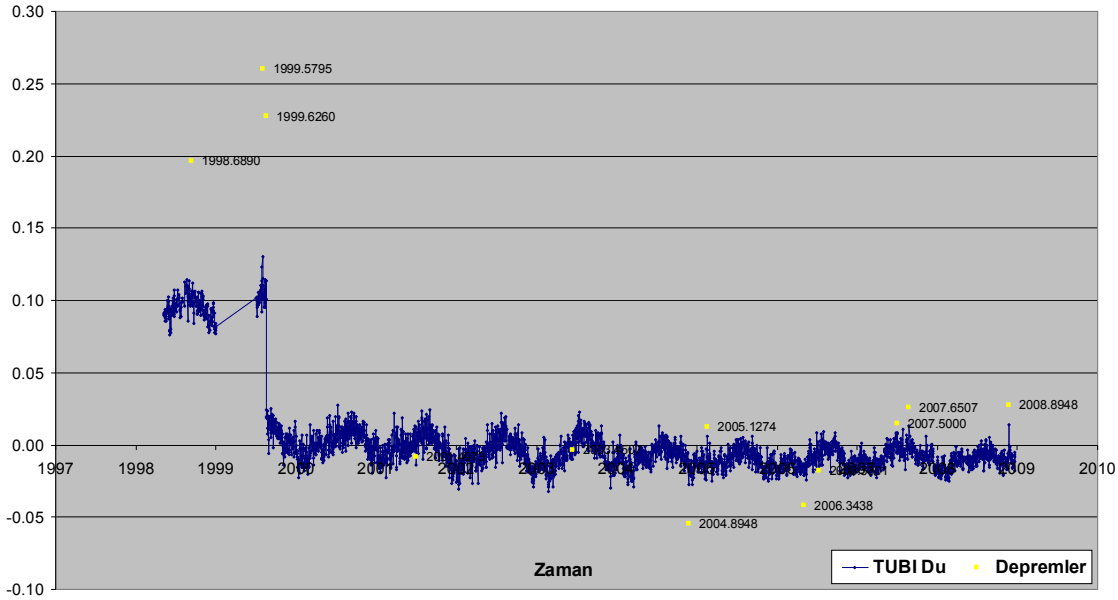
| TARİH | YILIN GÜNÜ | ENLEM | BOYLAM | DEPREM ŞİDDETİ | MEYDANA GELDİĞİ YER |
|---|---|---|---|---|---|
| 09.09.1998 | 252.gününde | 40.28 | 27.25 | 4.2 | Biga-Çanakkale |
| 31.07.1999 | 212.gününde | 39.26 | 27.86 | 3.0 | Savaştepe-Balıkesir |
| 17.08.1999 | 229.gününde | 40.70 | 27.91 | 3.0 ile 7.4 arası | Balıkesir,Bursa,İzmit,Kocaeli,Sakarya,Bilecik,Adapazarı,Sakarya |
| 01.07.2001 | 182.gününde | 39.22 | 27.87 | 3.0 | Savaştepe-Balıkesir |
| 14.06.2003 | 165.gününde | 39.29 | 28.25 | 3.1 ve3.8 | Balıkesir Bandırma ve Sındırgı |
| 23.11.2004 | 328.gününde | 39.32 | 28.23 | 3.0 | Sındırgı-Balıkesir |
| 16.02.2005 | 47.gününde | 39.77 | 29.30 | 3.0 | Keles-Bursa |
| 06.05.2006 | 126.gününde | 40.10 | 27.52 | 3.1 ve 3.0 | Balıkesir-Gönen ve Düzce-Yığılca |
| 13.07.2006 | 194.gününde | 39.96 | 28.82 | 3.0 | Orhaneli-Bursa |
| 02.07.2007 | 183.gününde | 40.74 | 30.58 | 3.0 ve 3.0 | Akyazı-Sakarya ve Kocaeli-Sakarya |
| 26.08.2007 | 238.gününde | 39.54 | 29.10 | 3.1 ve 3.0 | Tavşanlı-Kütahya |
| 23.11.2008 | 328.gününde | 40.60 | 29.07 | 3.1 ve 3.1 | Çınarcık-Yalova ve Pamukova-Sakarya |
| 26.08.2007 | 238.gününde | 39.54 | 29.10 | 3.1 ve 3.0 | Tavşanlı-Kütahya |
| 23.11.2008 | 328.gününde | 40.60 | 29.07 | 3.1 ve 3.1 | Çınarcık-Yalova ve Pamukova-Sakarya |




Şekil 8.31 TUBI kuzey bileşeni (Kuzey (Dn))'ni etkileyen depremler

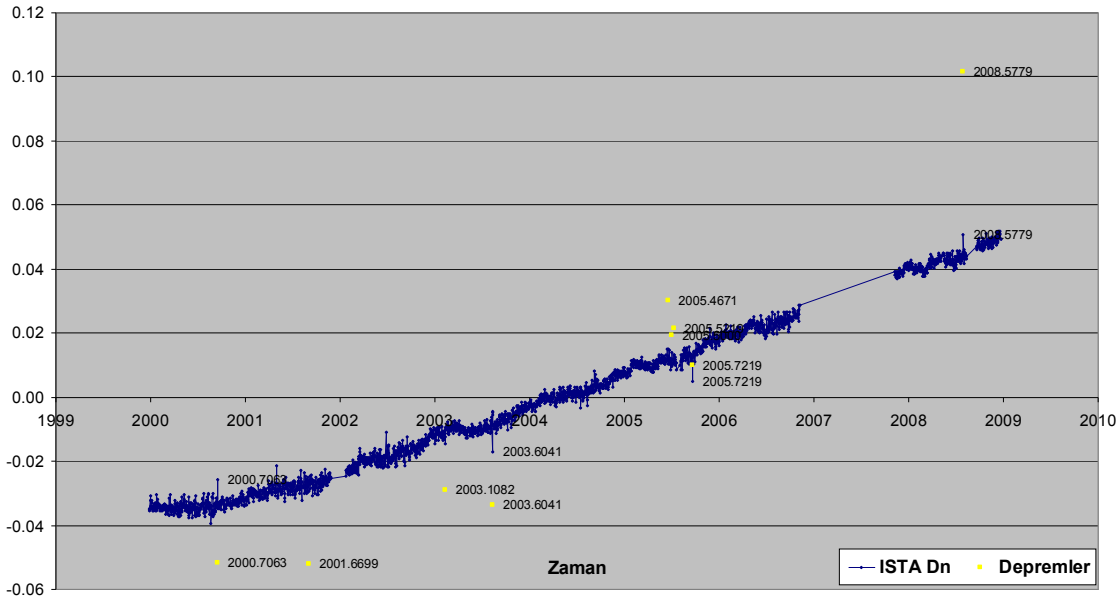



Şekil 8.32 TUBI doğu bileşeni (Doğu (De))'ni etkileyen depremler

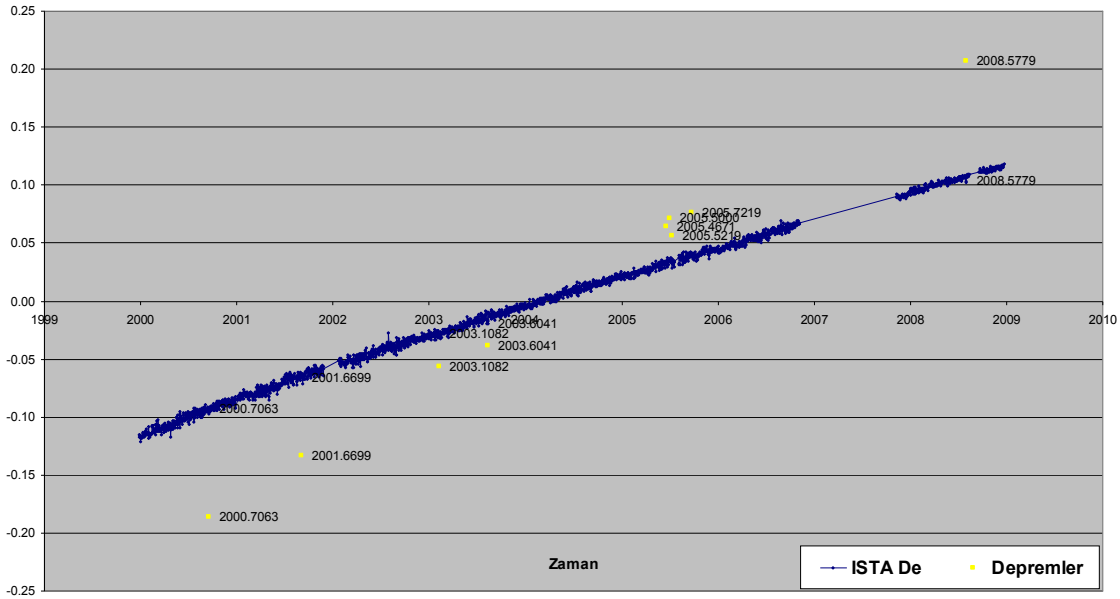



Şekil 8.33 TUBI yükseklik bileşeni (Yükseklik (Du))'ni etkileyen depremler

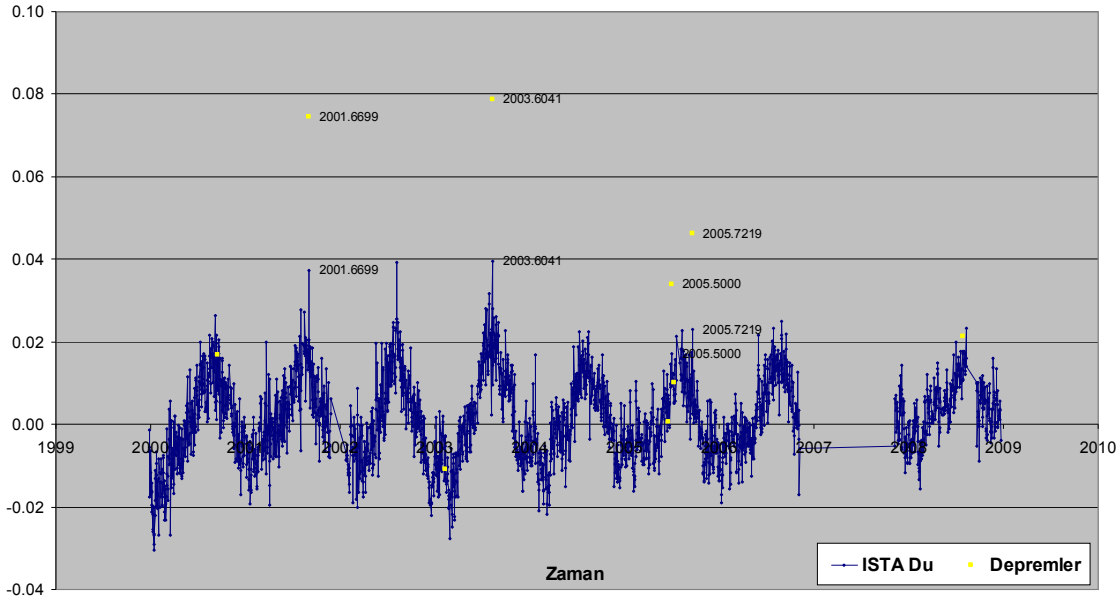
### 8.4.4 Depremlerin ISTA sabit GPS istasyonuna etkileri




Şekil 8.34 ISTA kuzey bileşeni (Kuzey (Dn))'ni etkileyen depremler




Şekil 8.35 ISTA doğu bileşeni (Doğu (De))'ni etkileyen depremler




Şekil 8.36 ISTA yükseklik bileşeni (Yükseklik (Du))'ni etkileyen depremler

Çizelge 8.32 ISTA' yı etkilyen depremler

| TARİH | YILIN GÜNÜ | ENLEM | BOYLAM | DEPREM ŞİDDETİ | MEYDANA GELDİĞİ YER |
|---|---|---|---|---|---|
| 15.09.2000 | 259.gününde | 41.01 | 33.03 | 3 | Akçakoca-Düzce |
| 02.09.2001 | 245.gününde | 39.06 | 31.36 | 3.7 | Emirdağ-Afyon |
| 09.02.2003 | 40.gününde | 40.84 | 27.79 | 3.1 | Marmaraereğlisi-Tekirdağ |
| 09.08.2003 | 221.gününde | 39.30 | 28.18 | 3.1 ile 3.8 | Balıkesir Bigadiç ve Sındırgı |
| 20.06.2005 | 171.gününde | 39.65 | 29.09 | 3.1 ile 3.7 | Bursa Harmancık, Orhaneli,Büyükorhan ve inegöl |
| 02.07.2005 | 183.gününde | 40.63 | 27.44 | 3.2 | Marmara denizi |
| 10.07.2005 | 191.gününde | 39.03 | 31.16 | 3.0, 3.1 ve 3.3 | Tavşanlı-Kütahya ve Emirdağ-Afyon |
| 21.09.2005 | 264.gününde | 39.20 | 27.75 | 3.0, 3.0 ve 3.5 | Domaniç-Kütahya, Karacabey-Bursa ve Kırkağaç-Manisa |
| 30.07.2008 | 212.gününde | 40.31 | 27.51 | 3.1 | Marmara denizi |

## 8.5 MATLAB' la Sabit GPS İstasyonlarının Zaman Serileri Analizi

Öncelikli olarak sabit GPS istasyonları verilerinden uyuşumsuz sıçramalı ölçüleri çıkartılmış ve tekrardan zaman serileri grafikleri oluşturulmuştur. Seriler gürültülü olduğu için periyodikliklerinin daha rahat görülebilmesi için hareketli ortalamalar tekniği ile istasyon verileri belirginleştirilmiştir. Verilerdeki düzensiz değişimler grafikler üzerine de işaretlenmiştir. Grafikler ekler kısmında mevcuttur.

MATLAB'ta zaman serileri modellemesi TRAB sabit GPS istasyonu referans alınarak anlatılacaktır. Diğer istasyonlar aynı mantıkla yapıldığı için bu istasyonların sadece modelleme değerleri verilecektir.

### 8.5.1 TRAB sabit GPS istasyonu verilerinin MATLAB' a aktarılması

Çizelge 8.33 TRAB istasyonunun kuzey North (Dn) ham koordinat farkları dosyası

```
# Site : trab Created : Fri Dec 26 23:34:17 2008
# Summary file : cats081226.sum
# Type of file : raw
# Latitude : 40.994708
# Longitude : 39.775561
# Reference_X : 3705250.396629
# Reference_Y : 3084421.682137
# Reference_Z : 4162044.764537
# Time Format  : 1
# Yearly Signal : 0
# Offsets read in by program
# Note these may not necessarily be used in the processing
1999.9849 1999 360 -0.0566 -0.0988 -0.0061  0.0031  0.0030  0.0031
1999.9959 1999 364 -0.0554 -0.1005 -0.0030  0.0037  0.0034  0.0037
2000.0041 2000 002 -0.0553 -0.1001  0.0015  0.0029  0.0028  0.0029
2000.0068 2000 003 -0.0515 -0.0981 -0.0153  0.0033  0.0031  0.0033
2000.0096 2000 004 -0.0519 -0.0987 -0.0135  0.0032  0.0031  0.0032
2000.0123 2000 005 -0.0539 -0.0995 -0.0134  0.0030  0.0029  0.0030
2000.0150 2000 006 -0.0530 -0.0988 -0.0107  0.0032  0.0030  0.0032
2000.0178 2000 007 -0.0541 -0.0993 -0.0131  0.0033  0.0031  0.0032
2000.0205 2000 008 -0.0540 -0.0943 -0.0189  0.0033  0.0031  0.0032
     .         .       .       .       .       .       .       .
     .         .       .       .       .       .       .       .
     .         .       .       .       .       .       .       .
2007.9027 2007 330  0.0516  0.0992  0.0001  0.0027  0.0025  0.0027
2007.9055 2007 331  0.0519  0.0993  0.0091  0.0029  0.0027  0.0029
2007.9082 2007 332  0.0528  0.0997  0.0060  0.0037  0.0034  0.0036
```

Çizelge 8.34 TRAB istasyonunun temizlenmiş Dn koordinat farkları dosyası

```
#                n component
#    slope 1:  0.0136 +/- 0.0001 m/yr (1999.9849 - 2007.9082)
#     annual:  0.0009 +/- 0.0002 m; phase: 2.15
# semi-annual:  0.0003 +/- 0.0002 m; phase: 1.33
#
#                e component
#    slope 1:  0.0252 +/- 0.0002 m/yr (1999.9849 - 2007.9082)
#     annual:  0.0009 +/- 0.0003 m; phase: 4.39
# semi-annual:  0.0004 +/- 0.0002 m; phase: 0.33
#
#                u component
#    slope 1:  0.0002 +/- 0.0007 m/yr (1999.9849 - 2007.9082)
#     annual:  0.0087 +/- 0.0011 m; phase: 3.90
# semi-annual:  0.0031 +/- 0.0008 m; phase: 1.72
#
##############################################################
1999.9849 1999 360 -0.0566 -0.0988 -0.0061  0.0031  0.0030  0.0031
1999.9959 1999 364 -0.0554 -0.1005 -0.0030  0.0037  0.0034  0.0037
2000.0041 2000 002 -0.0553 -0.1001  0.0015  0.0029  0.0028  0.0029
2000.0068 2000 003 -0.0515 -0.0981 -0.0153  0.0033  0.0031  0.0033
     .         .       .      .       .       .       .       .
     .         .       .      .       .       .       .       .
     .         .       .      .       .       .       .       .
2007.9055 2007 331  0.0519  0.0993  0.0091  0.0029  0.0027  0.0029
2007.9082 2007 332  0.0528  0.0997  0.0060  0.0037  0.0034  0.0036
```

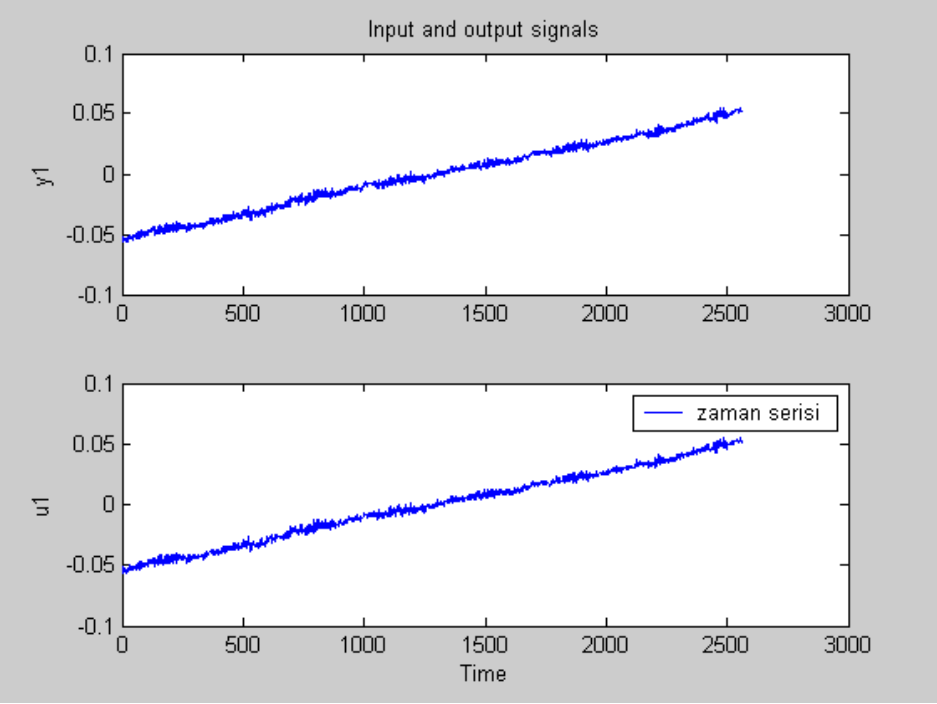
Çizelge (8.33) de TRAB istasyonunun ham verileri ve referans epok koordinatları görülmektedir. Ham verilerden uyuşumsuz ölçülerin çıkarılması ile çizelge (8.34) deki temizlenmiş veriler elde edilmiştir.

Öncelikle modellenmesini istediğimiz 26.12.1999 ile 28.11.2007 tarihleri arasını kapsayan TRAB istasyon verilerinin kuzey North(Dn) koordinat bileşenlerini Excel'den MATLAB'ın hafızasına kopyalandı. Bu kopyalanan değer MATLAB' da TRAB_Dn isimli değişkene atandı ve yapıştırıldı. Matris sonu kapatılarak TRAB_Dn değişkeni tanımlanmış oldu.

Bu işlem sonunda 2563x1 'lik TRAB_Dn matrisi oluşmuştur. Kullanacağımız modülün çıkış için bir matrise ihtiyacı olacağı için 2563x1 'lik boş bir matris tanımlandı. Yeni oluşacak matrise TRAB ismi verildi. Boş matris *TRAB=zeros(2563,1)* komutu ile tanımlanır.

Zaman serileri modellemesinde MATLAB'ın System Identification Toolbox modülü kullanılmıştır. Bu modüle MATLAB'daki *Start> Toolboxes> System Identification >Ident GIU* alt menülerinden ulaşılabilir.

Öncelikle modüle analiz edilecek veriler tanımlandı. Bunun için ana ekrandaki *Data* kutucuğundan *Import ...* seçilir. Verilerin aktarıldığı pencere açılır. Input kısmına analiz edilecek verileri bulunduran değişken yazılır. Output kısmına da aynı değişken yazılır. *Import* penceresi açıkken *Import* butonuna basılır. Böylece veriler modüle aktarılır. Veriler modüle aktarılınca modülün sol taraftaki kısmına verilerin adı ile birlikte yerleştiği görülür. Verilerin üstü bir kez tıklanması ile seçilir. Veri seçili iken ana ekranda *Time Plot* kutucuğuna tıklanırsa verinin zaman serisi grafiği otomatik olarak çizilir (şekil 8.37).

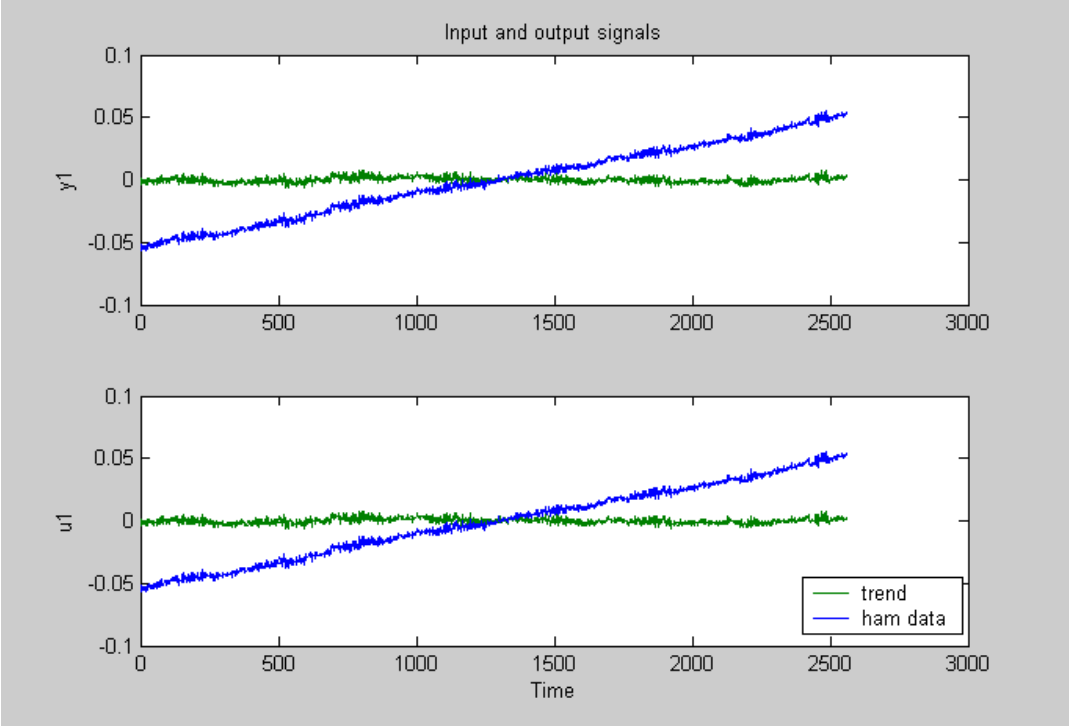



Şekil 8.37 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni Zaman serileri grafiği

### 8.5.2 Trendin Giderilmesi

İlk olarak trendin giderilmesi gerekmektedir. Zaman serisi grafiğine bakılacak olursa seride trend olduğu görülmektedir. MATLAB programında trend belirlemesi sadece doğrusal olarak yapılmaktadır (şekil 8.38). Ayrıca trend denklemini de

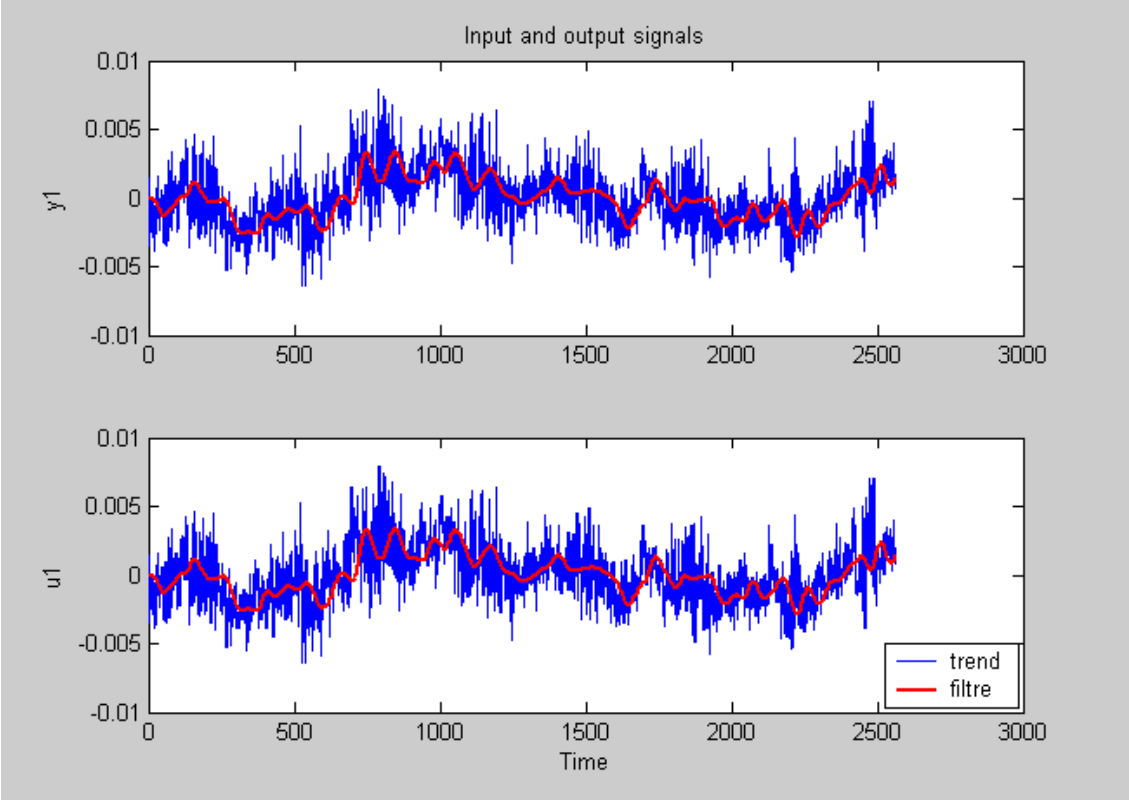
vermemektedir. Daha önce verileri aktardığımız Excel ‘de seri grafiği çizildikten sonra grafiğe eğim eklenerek doğrusal trend denklemi elde edilmiştir. Bu işlem sonucu serinin doğrusal trend denklemi y= 0.000041x - 0.053130 olarak bulunmuştur.




Şekil 8.38 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni Zaman serileri ve trendi giderilmiş grafiği

### 8.5.3 Verilerin filtrelenmesi

Trendi giderilmiş verilere dikkat edilirse gürültü olduğu görülmektedir. Bu gürültülerin meteorolojik etkenlerden olabileceği söylenebilir. Filtreleme MATLAB’ da *Periodgram* grafiğinde, serinin gürültüden arındırılması için diğer değerlere göre aşırı sapma gösteren değerlerin olduğu kısım işaretlenmesi ile yapıldı (şekil 8.39).

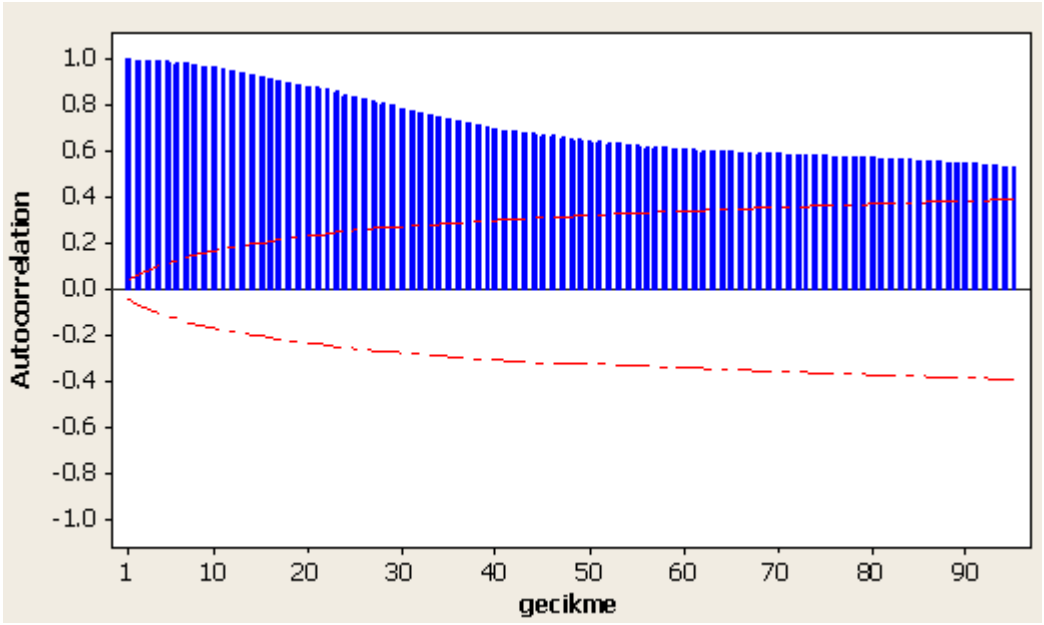



Şekil 8.39 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni trend ve filtrelenmiş grafiği

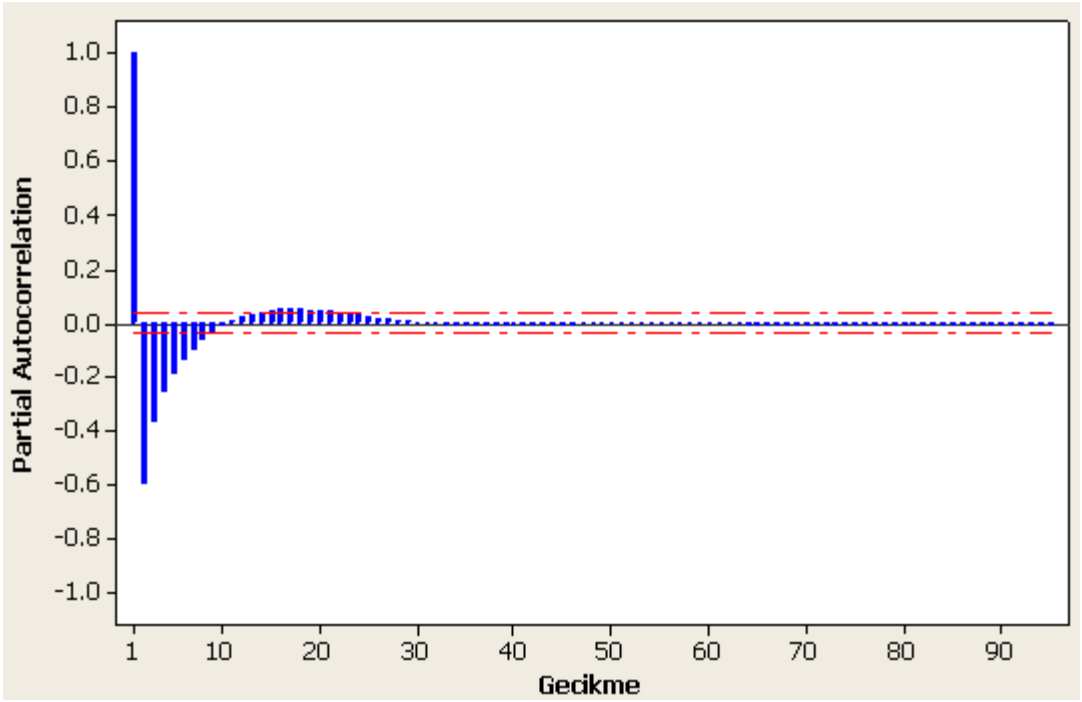
### 8.5.4 MATLAB ile modelin kurulması

Veriler trendden ve gürültüden arındırıldıktan sonra model türünün ve parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Otokolerasyon ve kısmi otokolerasyon değerleri hesaplandı (şekil 8.40 ve şekil 8.41). Bu değerler MATLAB ile direkt olarak hesaplanamamaktadır. Bu sebepten dolayı serinin otokolerasyonları ve kısmi otokolerasyonları hesabında MINITAB programı kullanılmıştır. MATLAB ile trend ve gürültüden elemine edilmiş olan verilerle otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon hesaplaması MINITAB programı ile yapıldı.

Kırmızı kesikli çizgiler %95 güven aralığını belirtmektedir.




Şekil 8.40 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni otokorelasyon grafiği



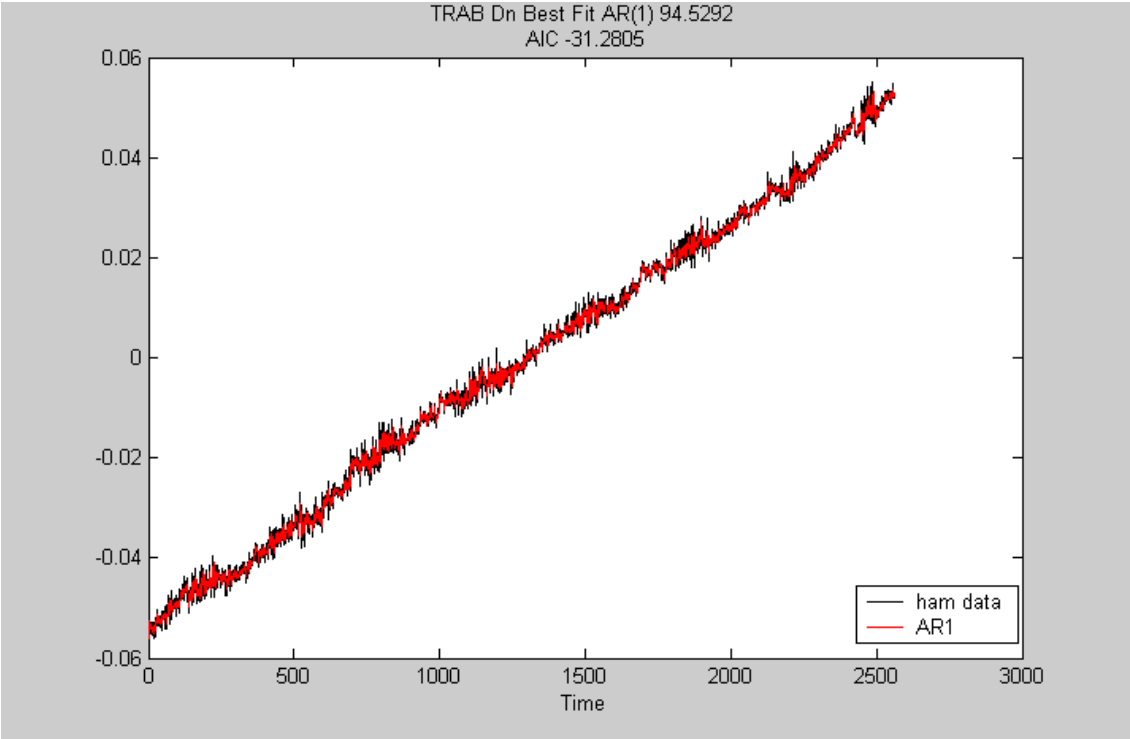

Şekil 8.41 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni kısmi otokorelasyon grafiği

Grafiklere baktığımızda serinin otokolerasyonu üstel azalmaktadır. Aynı zamanda kısmi otokolerasyonu mutlak değerce azalmaktadır. Bu sebepten dolayı modelin

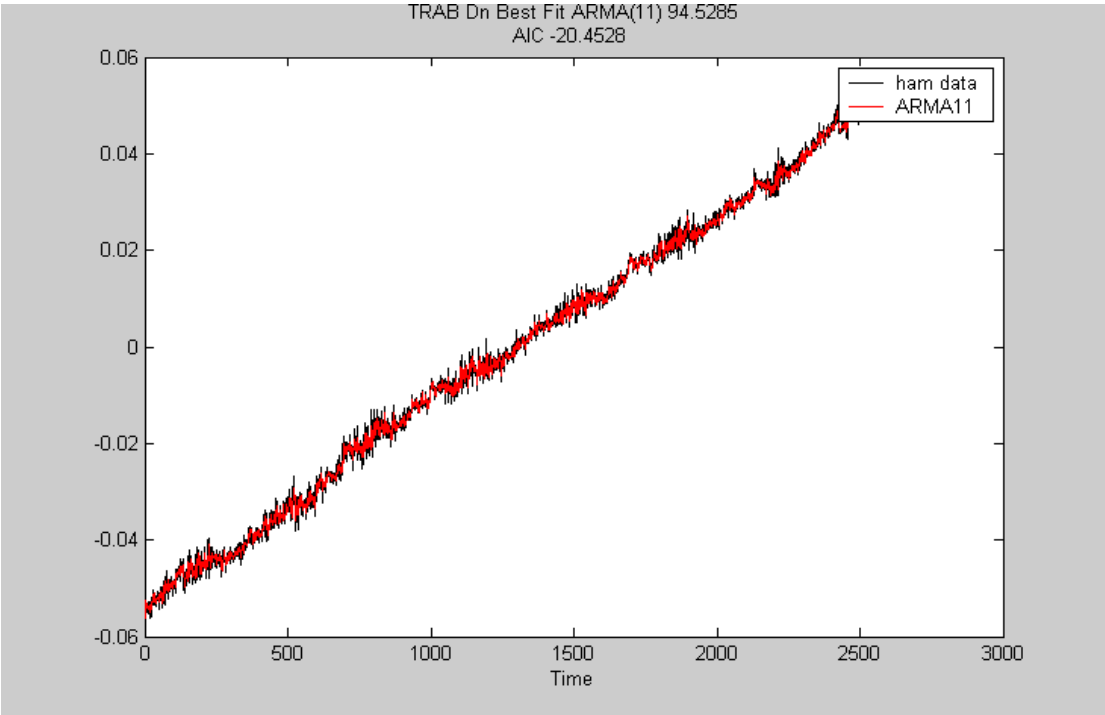
AR(p) modeli olduğunu söyleyebiliriz. Kısmi otokolerasyon değeri birinci dereceden sonra azaldığı için model derecesinin bir olduğunu söyleyebiliriz. Bu durumun yeterli olduğu anlamına gelmez, bu sebeple model seçiminde kullanılan Akaike Bilgi Kriteri de kullanılmıştır.

Gerekli değerlendirmeler yapıldıktan sonra modellemeye geçildi. TRAB istasyonu North (Dn) bileşeni değerlendirmelerden de görüldüğü gibi bir AR(p) modelidir. Fakat bazı ARMA(p,q) serilerinin modele uyup uymadığı da test edilmiştir.

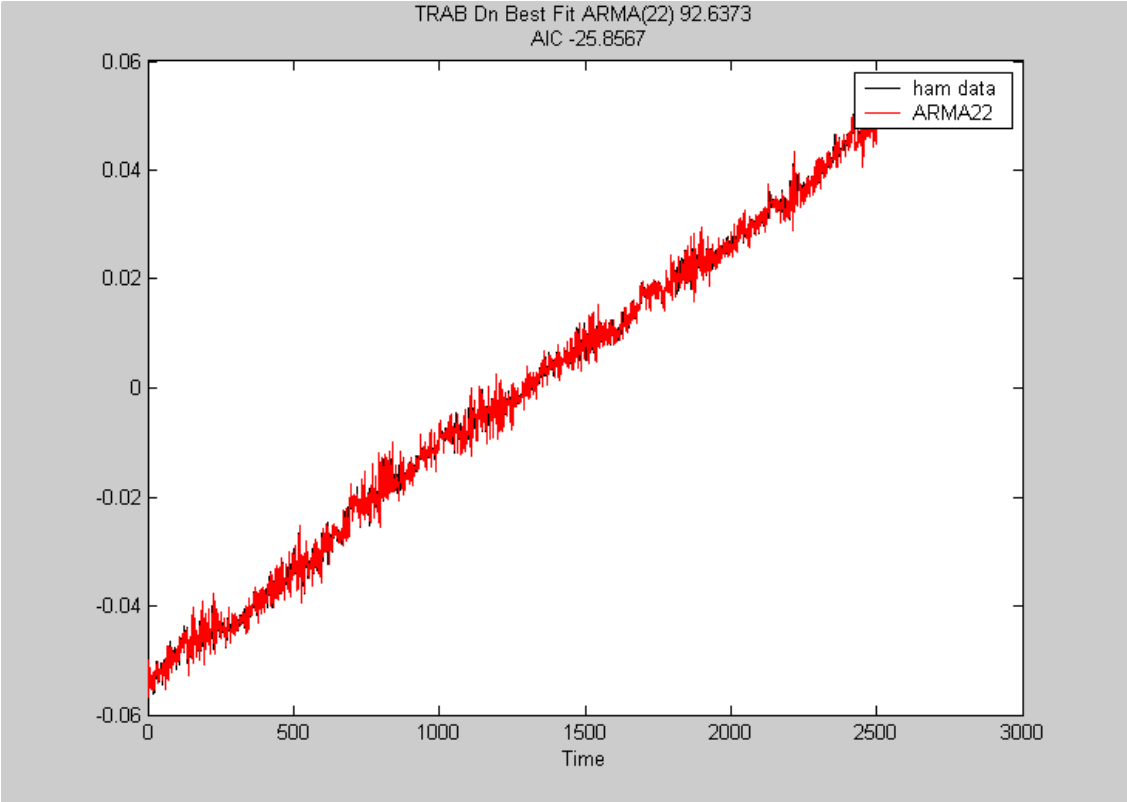
Seçilen modellerin grafiklerinde modellerin uyumu yüzde cinsinden ve Akaike Bilgi Kriteri üst tarafta verilmektedir. Aşağıdaki şekil 8.42 – şekil 8.44 de TRAB istasyonu kuzey bileşeninin AR ve ARMA modellerine göre sonuçları verilmiştir.




Şekil 8.42 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni AR(1) grafiği




Şekil 8.43 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni ARMA(1 1) grafiği




Şekil 8.44 TRAB istasyonunun Kuzey bileşeni ARMA(2 2) grafiği

Model grafiklerinden de görüldüğü gibi en büyük yüzde AR(1) modelidir. Ayrıca yapılan Akaike Bilgi Kriterinde de en uygun modelin AR(1) olduğu görülmektedir.

*TRAB Doğu bileşenleri East (De) Modellemesi:*

TRAB doğu bileşenleri east (De) 26.12.1999 ile 28.11.2007 tarihleri arasını kapsayan temizlenmiş verileri MATLAB'a aktarıldıktan sonra öncelikle zaman serisi grafiği elde edildi. Daha sonra temizlenmiş verilerin belli bir trendi olduğu görüldü ve trendden arındırma işlemi yapıldı ve trend grafiği elde edildi. MATLAB trend denklemini vermediği için trendden arındırılmış veriye Excel de doğrusal eğri geçirilerek denklemi y = 0.00003x – 0.0668 olarak bulundu. Trendden arındırılmış veriye gürültülü olduğu için filtreleme işlemi uygulandı ve filtrelenmiş veriye MINITAB programında otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon hesapları yapılarak grafikleri oluşturuldu. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon derecelerinin bir olduğu görüldü.

Daha sonra filtrelenmiş veriyle modellemeye geçildi. İlk olarak AR(1) modeli uygulandı ve MATLAB' ın verdiği en iyi yüzdelik derecesine göre %94,8976 olduğu görüldü. ARMA(1 1) modeli %94,8914 ve ARMA(2 2) modeli %93,2043 olduğu ve AR(1) modelinin Akaike Bilgi Kriteri testi -32,2740, ARMA(1 1) modelinin Akaike Bilgi Kriteri testi -20,2712 ve ARMA(2 2) modelinin Akaike Bilgi Kriteri -26,2516 olarak bulundu. Bu değerlere bakılınca en iyi modelin Akaike Bilgi Kriterine göre de AR(1) oluğu tespit edildi.

*TRAB Yükseklik bileşenleri Up (Du) Modellemesi:*

TRAB yükseklik bileşenleri Up (Du) 26.12.1999 ile 28.11.2007 tarihleri arasını kapsayan temizlenmiş verileri MATLAB'a aktarıldıktan sonra öncelikle zaman serisi grafiği elde edildi. Temizlenmiş verinin zaman serisi grafiğine bakıldığında fazla bir trendin olmadığını söylemek mümkün ama serinin modellemede daha iyi sonuç vermesi için trendden arındırma işlemi yine de yapıldı. MATLAB trend denklemini vermediği için trendden arındırılmış veriye Excel de doğrusal eğri geçirilerek denklemi y = 0.000002x – 0.0038 olarak bulundu. Trendden arındırılmış veriye gürültülü olduğu için filtreleme işlemi uygulandı ve filtrelenmiş veriye MINITAB programında otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon hesapları yapılarak grafikleri

oluşturuldu. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon derecelerinin bir olduğu görüldü.

Daha sonra filtrelenmiş veriyle modellemeye geçildi. İlk olarak AR(1) modeli uygulandı ve MATLAB' ın verdiği en iyi yüzdelik derecesine göre %38,1557 olduğu görüldü. ARMA(1 1) modeli %38,1396 ve ARMA(2 2) modeli %17,2330 olduğu ve AR(1) modelinin Akaike Bilgi Kriteri testi -32,6195, ARMA(1 1) modelinin Akaike Bilgi Kriteri testi -17,7205 ve ARMA(2 2) modelinin Akaike Bilgi Kriteri -25,9330 olarak bulundu. Bu değerlere bakılınca en iyi modelin Akaike Bilgi Kriterine göre de AR(1) oluğu tespit edildi.

### 8.5.5 ANKR, TUBI ve ISTA sabit GPS istasyonları modelleme sonuçları

ANKR, TUBI ve ISTA sabit GPS istasyonlarının kuzey bileşenleri North (Dn), doğu bileşenleri East (De) ve yükseklik bileşenleri Up (Du)'ların modellemeleri TRAB istasyonunda olduğu gibi aynı adımlar izlenerek yapılmıştır.

*ANKR sabit GPS istasyonunun modelleme sonuçları;*

Çizelge 8.35 ANKR istasyonu Dn zaman serileri modellemeleri

| 26.06.1995 - 13.08.1999 tarihleri arası | | |
|---|---|---|
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 87.0597 | 86.955 | 82.4975 |
| AIC | AIC | AIC |
| -26.31 | -18.5321 | -22.2725 |
| 25.11.2000 - 17.03.2004 tarihleri arası | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 87.463 | 87.4666 | 83.3067 |
| AIC | AIC | AIC |
| -27.7669 | -19.6468 | -23.7396 |
| 20.07.2004 - 30.11.2007 tarihleri arası | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 88.4305 | 88.5839 | 84.5457 |
| AIC | AIC | AIC |
| -26.6997 | -18.9479 | -22.7592 |

Çizelge 8.35 – çizelge 8.37 de görüldüğü gibi ANKR istasyonu üç bölümden oluşmakta ve her bölümün Dn, De ve Du verilerinin analizlerinden uygun modelin

Akaike Bilgi Kriterine göre de AR(1) olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.36 ANKR istasyonu De zaman serileri modellemeleri

| 26.06.1995 - 13.08.1999 tarihleri arası | | |
|---|---|---|
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 40.6973 | 40.7083 | 21.5074 |
| AIC | AIC | AIC |
| -27.0197 | -18.1905 | -22.5565 |
| 25.11.2000 - 17.03.2004 tarihleri arası | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 3.9882 | 4.0272 | |
| AIC | AIC | AIC |
| -28.6403 | -19.5317 | |
| 20.07.2004 - 30.11.2007 tarihleri arası | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 19.0546 | 19.1023 | |
| AIC | AIC | AIC |
| -26.6496 | -18.9048 | |

Çizelge 8.37 ANKR istasyonu Du zaman serileri modellemeleri

| 26.06.1995 - 13.08.1999 tarihleri arası | | |
|---|---|---|
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 31.7211 | 31.7116 | 10.4934 |
| AIC | AIC | AIC |
| -22.6288 | -15.5597 | -19.1472 |
| 25.11.2000 - 17.03.2004 tarihleri arası | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 45.3794 | 45.3744 | 45.3794 |
| AIC | AIC | AIC |
| -26.5576 | -16.5874 | -21.8601 |
| 20.07.2004 - 30.11.2007 tarihleri arası | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 40.2548 | 40.2818 | 21.2152 |
| AIC | AIC | AIC |
| -25.4753 | -16.2965 | -21.0813 |

*TUBI sabit GPS istasyonunun modelleme sonuçları;*

Çizelge 8.38 de görüldüğü gibi TUBI istasyonu Dn, De ve Du verilerinin analizlerinden uygun modelin Akaike Bilgi Kriterine göre de AR(1) olduğu

görülmektedir.

Çizelge 8.38 TUBI istasyonu Dn, De ve Du zaman serileri modellemeleri

| 21.08.1999 - 13.12.2008 tarihleri arası Dn | | |
|---|---|---|
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 94.2231 | 94.2165 | 92.2221 |
| AIC | AIC | AIC |
| -28.8191 | -18.8281 | -23.8019 |
| 21.08.1999 - 13.12.2008 tarihleri arası De | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 95.7083 | 95.6755 | 94.3099 |
| AIC | AIC | AIC |
| -27.7043 | -17.9143 | -22.7883 |
| 21.08.1999 - 13.12.2008 tarihleri arası Du | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 38.8958 | 38.9003 | 17.889 |
| AIC | AIC | AIC |
| -30.5854 | -17.7834 | -24.674 |

*ISTA sabit GPS istasyonunun modelleme sonuçları;*

Çizelge 8.39 ISTA istasyonu Dn, De ve Du zaman serileri modellemeleri

| 26.12.1999 - 06.11.2006 tarihleri arası Dn | | |
|---|---|---|
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 92.4869 | 92.4791 | 89.9978 |
| AIC | AIC | AIC |
| -30.4257 | -20.0129 | -25.3495 |
| 26.12.1999 - 06.11.2006 tarihleri arası De | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 95.0616 | 95.0644 | 93.4528 |
| AIC | AIC | AIC |
| -28.2692 | -19.0887 | -23.5571 |
| 26.12.1999 - 06.11.2006 tarihleri arası Du | | |
| AR(1) | ARMA(1 1) | ARMA(2 2) |
| 48.2008 | 48.19 | 31.3275 |
| AIC | AIC | AIC |
| -29.6703 | -17.1804 | -24.0413 |

Çizelge 8.39 da görüldüğü gibi ISTA istasyonu Dn, De ve Du verilerinin analizlerinden uygun modelin Akaike Bilgi Kriterine göre de AR(1) olduğu görülmektedir.

# 9 SONUÇ VE ÖNERİLER

## 9.1 Sonuç

Bu çalışmada zaman serilerinin analizinde trend, periyodiklik ve mevsimsel bileşenler gibi konu başlıklarının yanında, zaman serilerini kapsayan matematiksel modeller ve zaman serileri analizinde uygun modelin seçilmesi konuları açıklanmıştır. Zaman serileri analizinde modelleme yapabilmek için çeşitli yazılımlar kullanılabilmektedir. Modelleme için günümüzde, bilimsel ve birçok meslek gurubunun benimsediği ve özellikle mühendislik alanında daha çok tercih edilen MATLAB yazılımı tercih edilmiştir.

Zaman serileri analizi işlemlerinde Türkiye de bulunan sabit GPS istasyonları kullanılmıştır. Bunlar Ankara da ANKR, İstanbul da TUBI ve ISTA, Trabzon da TRAB isimli istasyonlardır. Sabit GPS istasyonlarının koordinat bileşenlerinin zaman serileri analizleri için gerekli işlem adımlarını incelediğimizde AR ve ARMA modellerinin uygun olduğu görülmüş ve zaman serileri analizlerinde AR ve ARMA modelleri kullanılmıştır.

Sabit GPS istasyonları verilerinin analizi, diğer zaman serileri analizlerinde olduğu gibi trend, ani değişimler, periyodiklik ve mevsimsel etkiler gibi bileşenleri barındırmaktadır. Türkiye'nin deprem kuşağında bir ülke olmasından dolayı meydana gelen depremlerin büyüklüğüne ve etki alanlarına göre, sabit GPS istasyonlarının verilerinin zaman serileri grafiklerine bakıldığında, seriden bağımsız olarak hareket eden yerlerin olduğu görülmüştür. Grafikteki bu yerlerin tarihleri incelendiğinde çoğunlukla o tarih de meydana gelmiş bir depreme rastlanılmış ve sabit GPS istasyonlarına, depremlerin etkilerinin olduğu görülmüştür. Bunların yanında, GPS sisteminden kaynaklanan çeşitli hatalarda sabit GPS istasyon verilerine gürültü olarak yansıdığı görülmüştür.

Özellikle depremlerin etkileri ANKR, TUBI ve ISTA istasyonlarında görülmüştür. Örneğin; 1999 yılında meydana gelen 17 Ağustos depremi ANKR, TUBI ve ISTA istasyonlarının trendlerini değiştirmiştir. Bu durumların, istasyon serilerinin yanlış

modelleme ve sonuçlara götüreceği düşünülerekten, seriler deprem öncesi ve sonrası dikkate alınarak bölümlere ayrılmıştır. Ayrıca istasyon verilerinde uzun süreli veri kesikliklerinin olduğu görülmüş ve bu durumunda serilerin analizinde yanlış modelleme ve sonuçlara götüreceği düşünülmüştür. Bu sebeplerden dolayı zaman serileri analizi her bölüm için ayrı ayrı yapılmıştır.

Sabit GPS istasyonları yükseklik bileşenlerinin zaman serileri grafiklerine bakıldığında mevsimsel etkilerin olduğu görülmüştür. Bunun için Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden sabit GPS istasyonların bulunduğu Ankara, İstanbul ve Trabzon İllerine ait, istasyonların verilerini kapsayan yıllara göre, günlük ortalama sıcaklık ve ortalama basınç değerleri temin edilmiştir. Ortalama sıcaklık ve basınç değerleri ile istasyon yükseklik bileşenlerinin trendden arındırılmış verilerine regresyon analizi yapılmış ve sabit GPS istasyonlarının yükseklik bileşenlerinin sıcaklık ve basınca bağımlı olduğu görülmüştür.

## 9.2 Öneriler

Zaman serileri grafiklerinden de görüldüğü gibi donanımsal sebeplerden dolayı veri kesikliklerinin olduğu ve bu kesikliklerin zaman serileri analiz sonuçlarını olumsuz etkileyeceği için yanlış sonuç bildirimine neden olacağını söyleyebiliriz. Bu sebeple zaman serilerinin modellenmesinde mevcut verilerin mümkün olduğunca birbirleriyle uyumlu, seriler arasında uzun ve kısa süreli veri kaybının olmaması ve verilerin uzun süreli serilerden oluşması, modellemede daha iyi sonuç çıkarımı sağlayacaktır.

İstasyonların zaman serileri analizlerinde AR ve ARMA modelleri kullanılmış ve otokorelasyon ile kısmi otokorelasyon katsayılarından AR(1) ve ARMA(1 1) modellerinin değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Model sonuçlarına Akaika Bilgi Kriteri (AIC) testi yapılmış ve bunun sonucunda istasyon verilerinin geçmiş dönemdeki yapmış oldukları hareketleri gelecekte en iyi yorumlamaya olanak sağlayacak modelin AR(1) olduğunu görülmüştür.

Sabit GPS istasyonlarının yükseklik yönündeki hareketlerinin, sıcaklık ve basınçtan etkilendiği görülmüştür. Türkiye' nin Dünya üzerindeki konumu dikkate alındığında,

dört mevsimin bir yıllık süre içerisinde yaşanması ve buna paralel olarak yaz aylarında sıcaklığın artması ile genleşen havanın yeryüzünde esneme yapabileceği, ayrıca kış aylarında havanın soğuması ile genleşen havanın yeryüzünde büzüşme yapabileceğinden söz edilebilir. Bu etkide cisimlerin sıcaklığa ve basınca bağlı olarak genleşme yapabilecekleri durumunu ortaya çıkarmaktadır.

Sabit GPS istasyonlarında deprem etkilerini dikkate alacak olursak; istasyonların mümkün olduğunca sert zeminlere tesis edilmesi uzun vade de yaşayabilirliğini arttıracaktır. Ayrıca deprem araştırma ve tahminlerinde de daha iyi sonuçlar vermesini sağlayacaktır.

Zaman serileri analizlerinin daha iyi sonuçlar vermesi için istasyon verilerini etkileyebilen okyanus, atmosferik etkenler ve buna benzer durumlarında ele alınarak analiz sonuçlarının daha da iyi olması sağlanabilir.

# 10 KAYNAKLAR


Abbak, A., 2005, Deniz Yüzeyi Gözlemlerinin En Küçük Kareler Yöntemiyle Spektral Analizi, S.Ü.F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, Konya

Akalın, Sedat., 1990, İşletme İstatistiği, Bayraklı Matbaacılık, İzmir

Akdeniz, H.Ahmet., 1998, Uygulamalı İstatistik II, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İzmir

Akdi, Y., 2003, Zaman Serileri Analizi(Birim Kökler ve Kointegrasyon), Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara

Akgül, I., 2003, Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri, Der Yayınları, İstanbul

Allen, R.G.D., 1964, Statics for Economists, MC - Millan, UK

Altıntaş, A., 2006. MATLAB ve Genel Uygulamaları, İstanbul

Brillinger, D. ,2002, . John W. Tukey's work on time series and spectrum analysis. *The Annuals of Statistics*, Volume: 30:1595{1618.

Box G.E.P. ve G.M.Jenkins., 1976, Time Series Analysis: Forecasting and Control (Revised Edition). Holden-Day. USA.

Box G.E.P. ve D.A. Pierce., 1970, Distribution of residual Autocorrelations in Autoregressive-Integrated Moving Average Time Series Models. Journal of American Statistical Association. Vol:65 (Dec.)No:332, ss.1509-1526

Bozkurt, H., 2007, Zaman Serileri Analizi, Kocaeli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kocaeli

Buttkus, B., 2000, Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics. Springer, 2 edition

Chatfield, C. ,1989, . Analysis of Time Series. Chapman-Hall Book Company, 4th edition.

Chatfield, C., 1980, The Analysis of Time Series: An Introduction, Second Edit., New York: Chapman and Hall

Çetin, A. E., 2006. Herkes için MATLAB 7, İstanbul

Dai, W.J., Ding, X.L., Li, Z.W., Kwok, K.C.S., Campbell, S., 2006, Tropospheric Effects on GPS Measurements, Hong Kong

Gökmençelebi, K., 1976, İstatistik Metodları, Ongun Matbaacılık, Ankara

Hugentobler U, van der Marel H, Springer T (2006) Identification and Mitigation of GNSS Errors, *IGS Workshop*, Darmstadt.

Kahveci, M. ,2009,. Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Ankara

Koçak M., Ayan T., 2006, Sabit GPS İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi, İTÜ Dergisi, Cilt 5, Sayı.3, Kısım 1, sayfa 126-134, İstanbul

Köksal, A. Bilge., 1985, İstatistik Analiz Metodları, Çağlayan Kitabevi, İstanbul

Mann, S.Prem., 1995, Statistics For Business and Economics**,** Wiley, USA

Matthias C. Schabel, Carl A. Mears, and Frank J. Wentz, 2002, Stable Long-Term Retrieval of Tropospheric Temperature Time Series from the Microwave Sounding Unit 438 First St. Suite 200 Santa Rosa, CA

Pinkyck R.S. ve D.L. Rubinfeld., 1976, Econometric Models and Economic Forecasts. Mcgraw Hill İnc. Tokyo.

Schmid R vd ,2006, Generation of igs05.atx –status quo, *IGS Wokrshop*, Darmstadt

Sevüktekin, M, Nargeleçekenler, M., 2007, Ekonometrik Zaman Serileri Analizi, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Bursa

Sincich, Terry., 1996, Business Statistics By Example, Prentice- Hall International Editions, fifth edition, USA

Şanlıoğlu, İ., 2004, Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) Yazılımlarının Veri İşleme Modüllerinin Uluslar arası GPS Servisi (IGS) Ürünleri Kullanılarak Test Edilmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.

Urschl C, Gurtner W, Hugentobler U, Schaer S and Beutler G (2005) Validation of GNSS orbits using SLR observations, *Advances in Space Research*, 2005, 412-417.

Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ö., 2003. Her Yönü ile MATLAB, İstanbul

Yerci, M., 2002, Hatalar Bilgisi ve İstatistik. T.C. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlik Fakültesi (Ders Notları Yayın No:6)

Wübbena G, Schmitz M, Boettcher G ,2006, Absolute GNSS antenna calibration with a robot: repeatabiltiy of phase variations, calibration of GLONASS and determination of carrier-to-noise pattern, *IGS Workshop*, Darmstadt.

http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/MATLAB(23.05.2009)

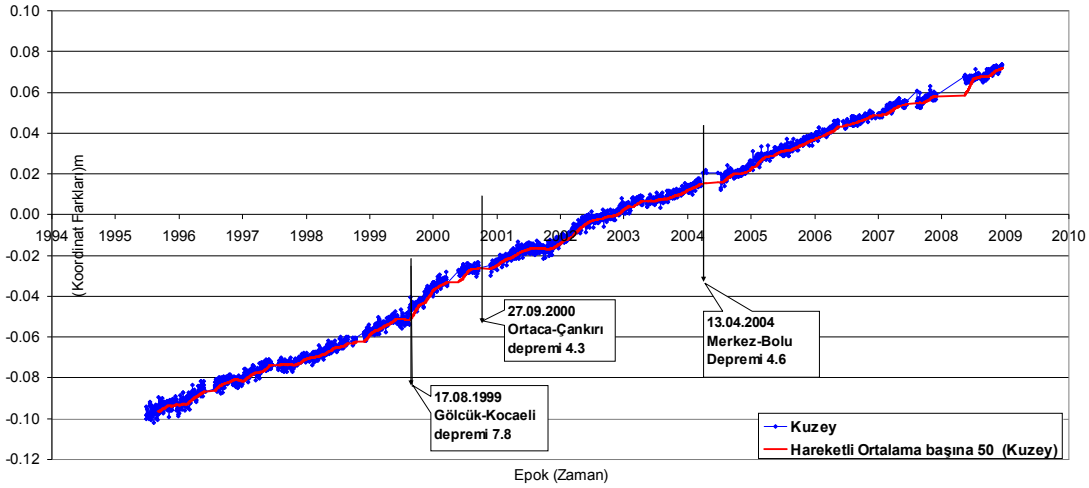
http://igscb.jpl.nasa.gov/network/netindex.html(28.06.2009)

ftp://garner.ucsd.edu/pub/timeseries/(12.27.2008)

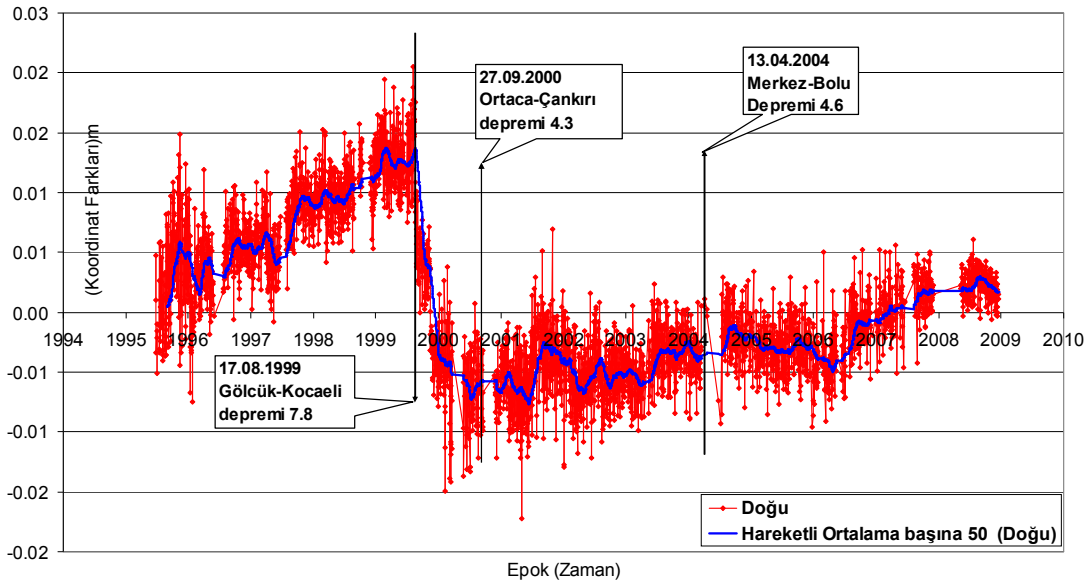
http://sismo.deprem.gov.tr(15.02.2009)

http://www.deprem.gov.tr/deprem.htm(10.06.2009)

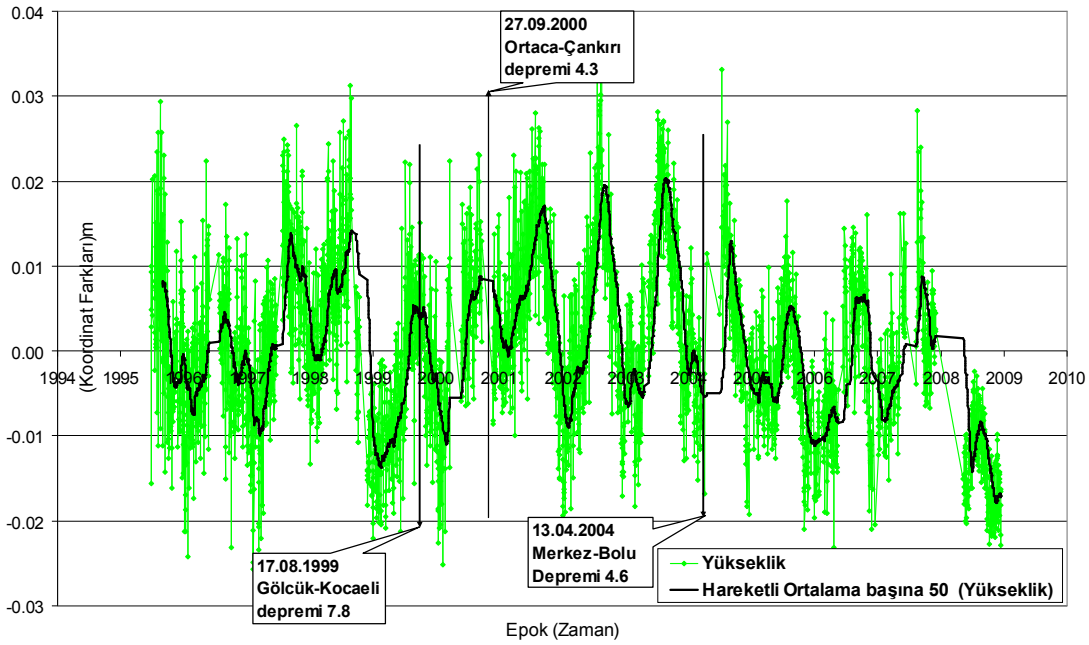
# 11 EKLER



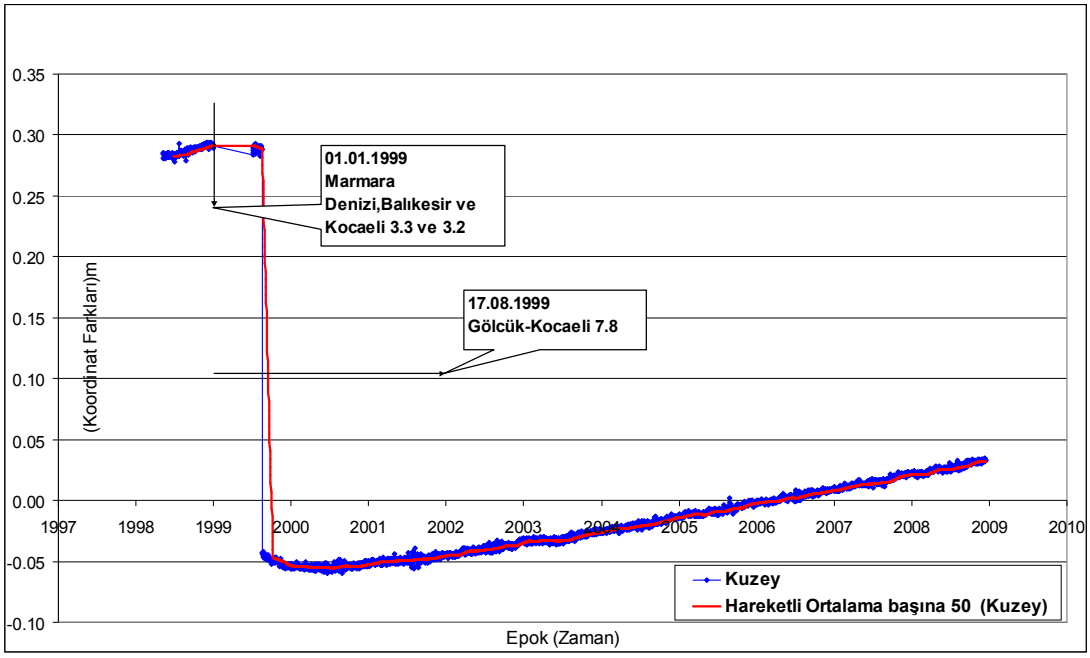

Ek Şekil 1: ANKR Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



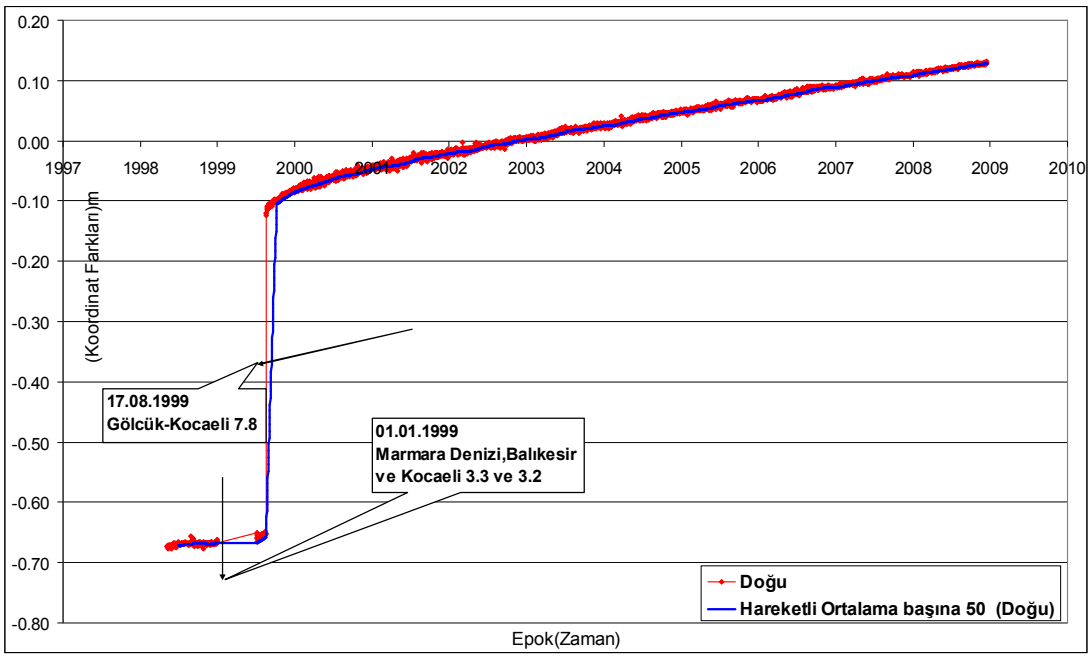

Ek Şekil 2: ANKR Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



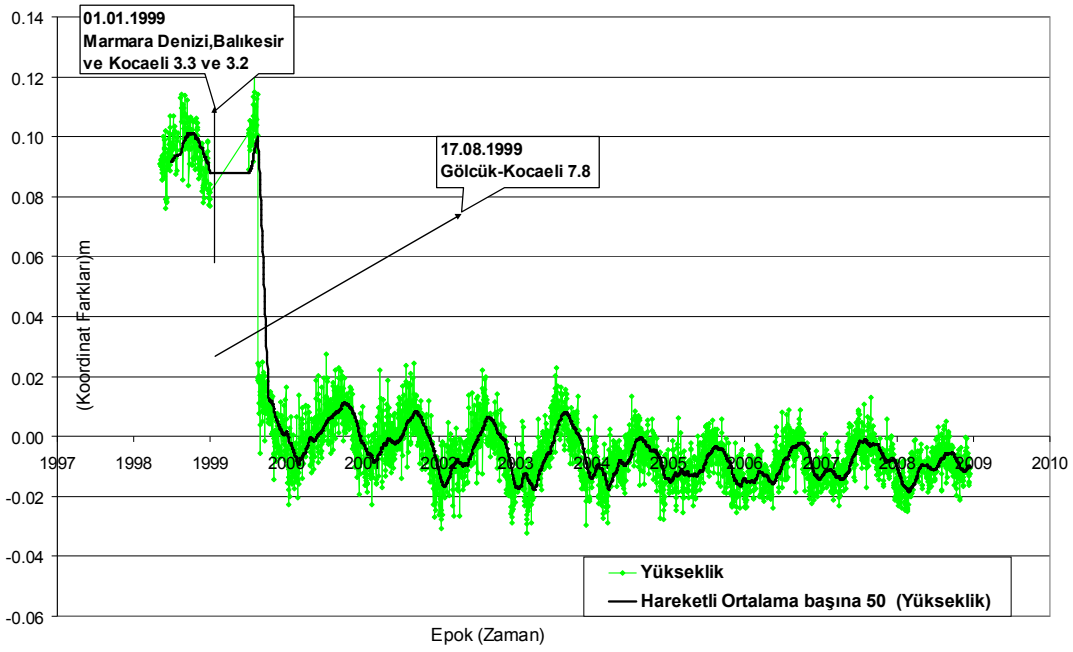

Ek Şekil 3: ANKR Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



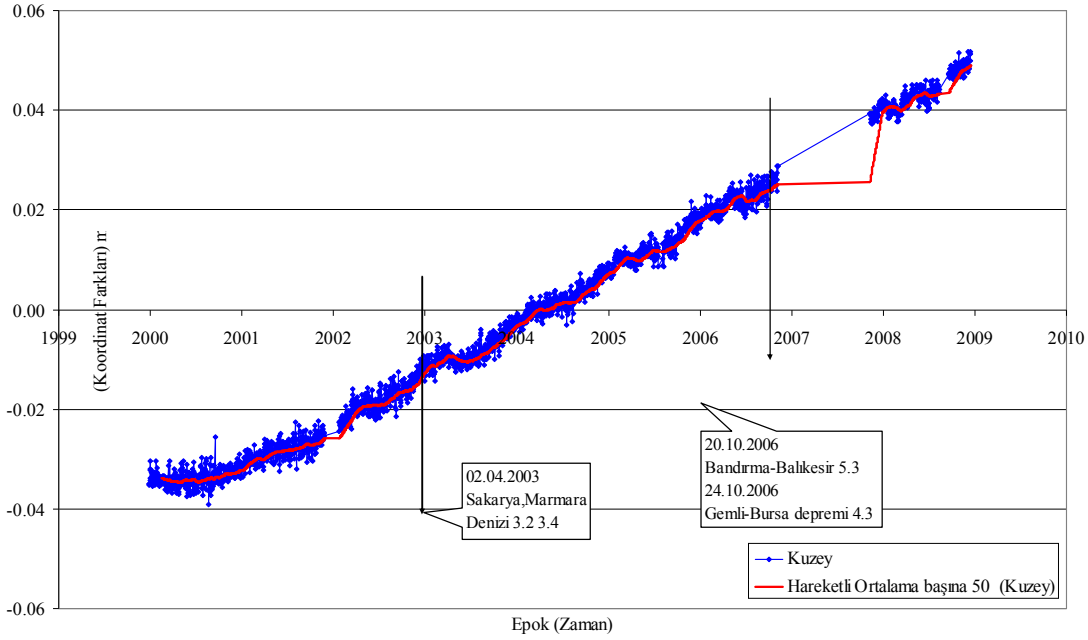

Ek Şekil 4: TUBI Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



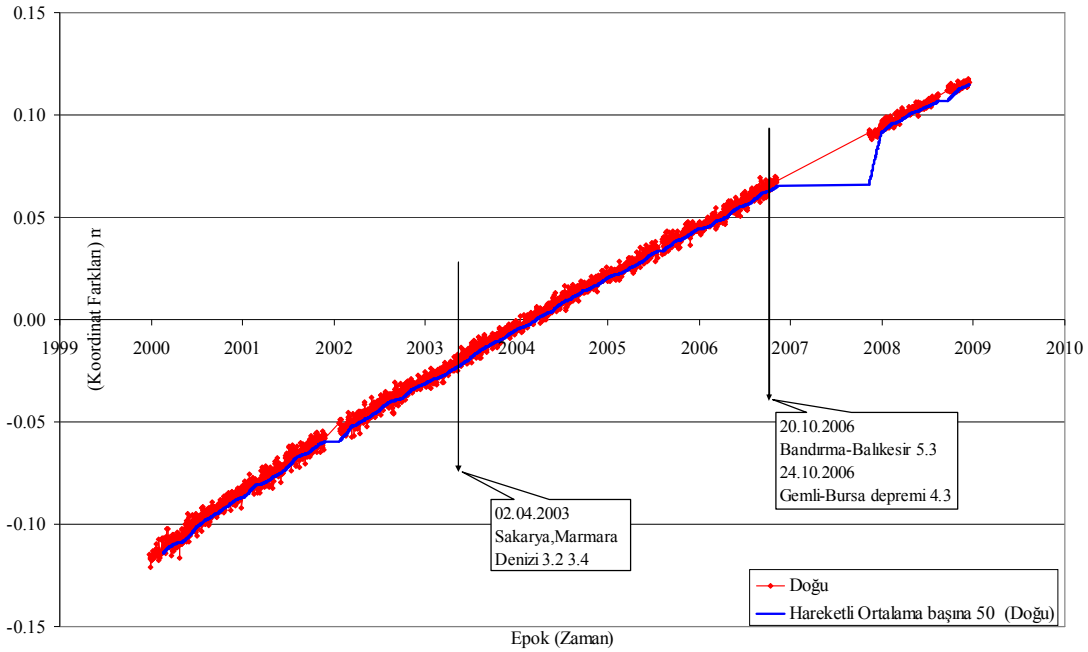

Ek Şekil 5: TUBI Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



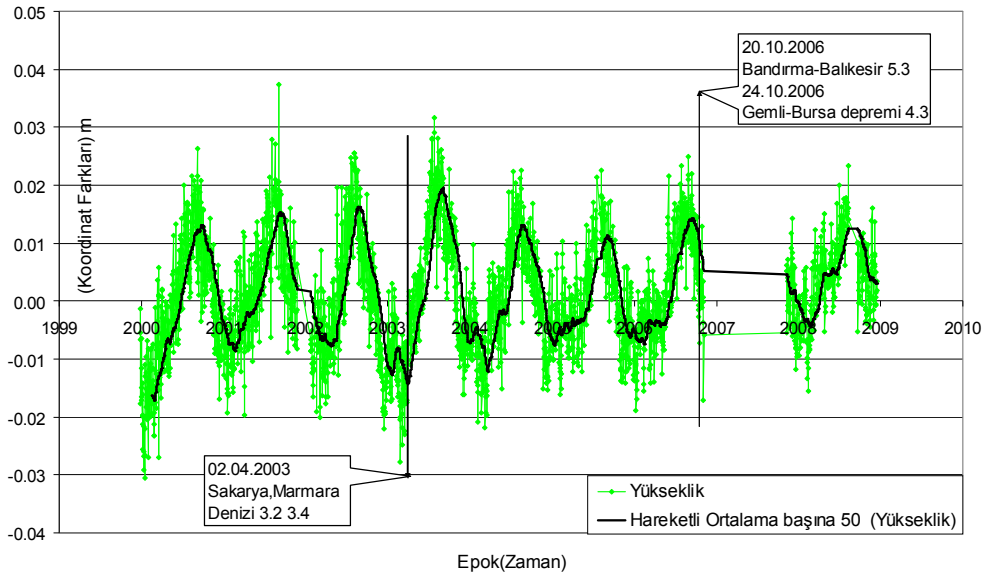

Ek Şekil 6: TUBI Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



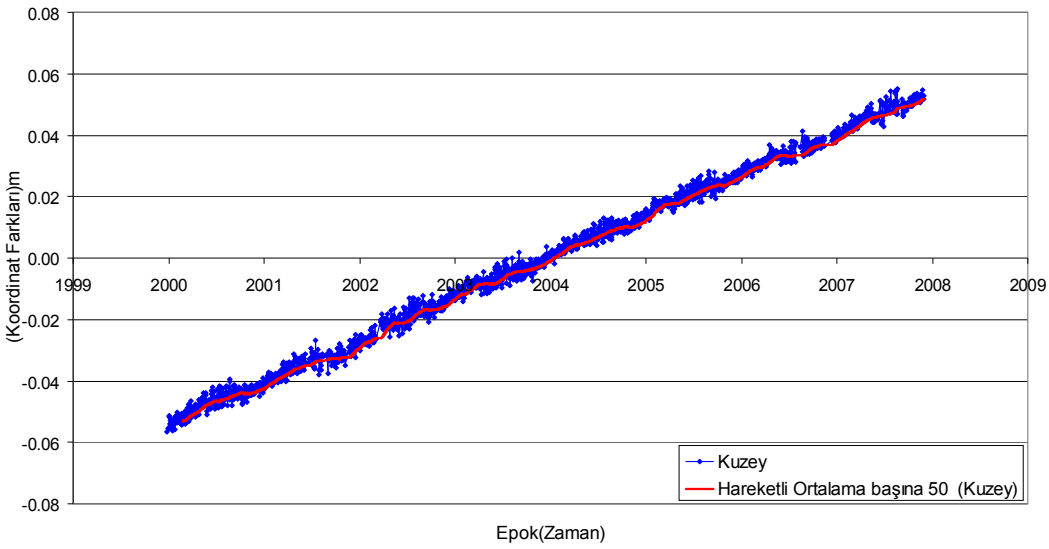

Ek Şekil 7: ISTA Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



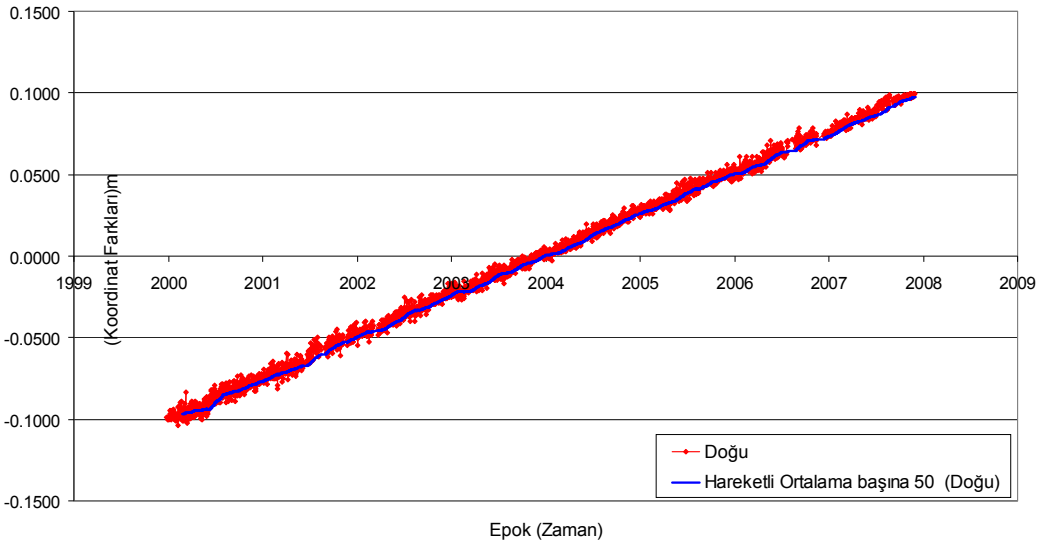

Ek Şekil 8: ISTA Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması



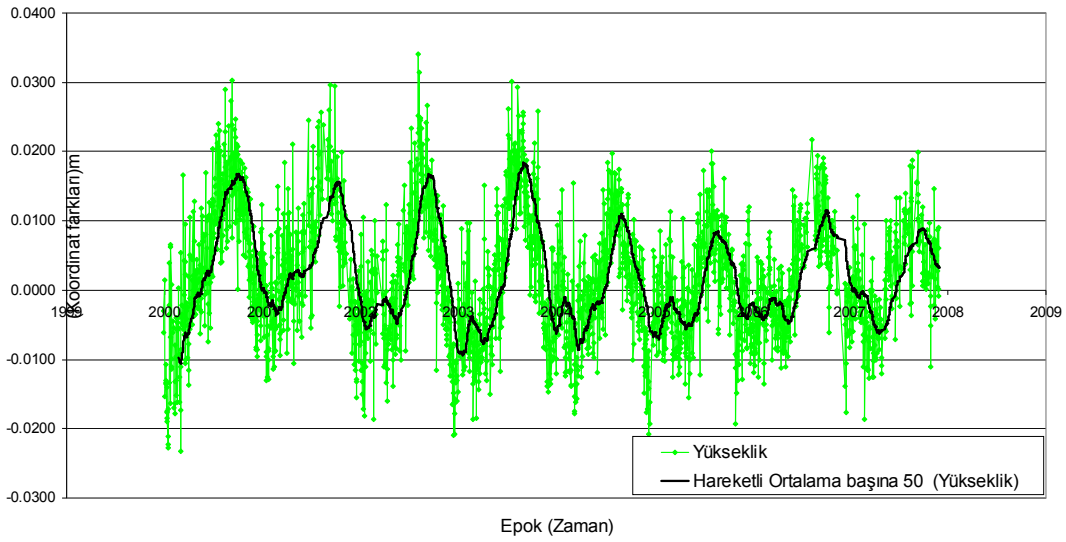

Ek Şekil 9: ISTA Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması




Ek Şekil 10: TRAB Kuzey bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması




Ek Şekil 11: TRAB Doğu bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması




Ek Şekil 12: TRAB Yükseklik bileşeni zaman serisi ve hareketli ortalaması