MARMARA BÖLGESİNDE MEYDANA GELEN DEPREMLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

ÜLKÜ GÜRLEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(İSTATİSTİK)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2001
ANKARA

114782

Ülkü GÜRLEN tarafından hazırlanan MARMARA BÖLGESİNDE MEYDANA GELEN DEPREMLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....

Tez Yöneticisi
Doç. Dr. Reşat KASAP

Bu çalışma, jürimiz tarafından İSTATİSTİK Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Hülya BAYRAK

Üye (Danışman) : Doç.Dr. Reşat KASAP

Üye : Y.Doç.Dr Nezir KÖSE

Üye : ----------

Üye : ----------

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

MARMARA BÖLGESİNDE MEYDANA GELEN DEPREMLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ülkü GÜRLEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2001

ÖZET

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde (39.50-41.50) kuzey – (26.00-32.50) doğu koordinatları arasında, 1900-2000 yılları arasında meydana gelen 447 deprem verisi için istatistiksel analizler yapılmıştır. Öncelikle, bu veri, magnitüdlerine ve derinlik, gece-gündüz, mevsim, onar yıllık dönemler, aylar gibi oluş zamanlarına göre sınıflandırılmış, zamanın depremlerin magnitüdleri ile oluş sayıları üzerinde etkili olup olmadığı araştırılmıştır. Daha sonra depremlerin oluş sıklıkları ile magnitüdleri arasında eğri tahmin modelleri kurulmuştur. Bundan başka, yıllara göre ortalama deprem büyüklükleri ve toplam deprem sayıları zaman dizileri açısından modellenmiştir. Ayrıca magnitüd rastgele değişkeninin olasılık yoğunluk ve dağılım fonksiyonları bulunarak, çeşitli magnütüdler için depremlerin tekrarlanma yılları elde edilmiştir.

Bilim Kodu : **406.02.01**

Anahtar Kelimeler : **İstatistiksel Analiz, deprem magnitüdü, zaman dizileri, eğri tahmin modelleri, olasılık yoğunluk ve dağılım fonksiyonları**

Sayfa Adedi : **110**

Tez Yöneticisi : **Doç. Dr. Reşat KASAP**

STATISTICAL ANALYSIS OF EARTHQUAKE OCCURRENCES IN MARMARA REGION

(MSc. Thesis)

Ülkü GÜRLEN

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECNOLOGY
December 2001

ABSTRACT

In this study, statistical analyses have been done for 447 earthquake occurrences data, between North (39.50-41.50) and East (26.00-32.50) coordinates in Marmara Region from 1900 to 2000. Firstly, this data have been classified according to their magnitudes, depth, night-day time, season, periods of ten years, months and it has been investigated whether the time has influence on magnitudes of earthquakes and their total numbers. Then, the curve estimation models have been fitted between occurrence frequencies and the magnitudes of earthquakes. Moreover, annually, average magnitude values and total earthquake numbers have been modeled as time series analysis. In addition, it has been found that the probability density and distribution functions of magnitude random variable and then the repeating years of earthquakes at various magnitudes have been obtained.

Science Code : **406.02.01**

Key Words : **Statistical Analysis, earthquake magnitude, time series, curve estimation models, probability density and distribution functions**

Page Number : **110**

Adviser : **Assoc. Prof. Dr. Reşat KASAP**

TEŞEKKÜR

Bu tezde, çalışmalarım boyunca bilimsel yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve ayrıca bilgisayar kullanımı konusundaki desteklerini hiç esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Reşat KASAP'a ve çalışmalarım sırasında gösterdikleri anlayıştan dolayı ailesine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, İngilizce çevirilerim ve bilgisayar konusunda yardımlarını esirgemeyen sayın Denizhan Erol'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT iii

TEŞEKKÜR v

ÇİZELGELERİN LİSTESİ vi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ vii

1. GİRİŞ 1

2. DEPREMLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER 6

2.1. Deprem ve Depremlerin Meydana Gelişi 6

2.2. Oluşumlarına Göre Deprem Çeşitleri 7

2.2.1. Derinlikleri bakımından depremler 7

2.2.2. Uzaklıkları bakımından depremler 7

2.2.3. Büyüklükleri bakımından depremler 8

2.2.4. Oluşum mekanizmaları bakımından depremler 8

2.3. Depremi Tanımlayan Özellikler 8

2.3.1. Odak noktası 8

2.3.2. Dış merkez 9

2.3.3. Odak derinliği 9

2.3.4. Eş şiddet eğrileri 9

2.3.5. Şiddet 9

2.3.6. Magnitüd 10

2.4. Deprem kayıt aletleri 12

3. METODOLOJİ 13

3.1. Tek Değişkenli Zaman Dizileri Modelleri Ve Modelleme Süreci 13

3.1.1. Otoregressif (AR) modeller 13

3.1.2. Hareketli ortalamalar (MA) modeli 14

3.1.3. Otoregressif hareketli ortalamalar (ARMA) modeli 15

3.1.4. Tek değişkenli durağan olmayan doğrusal modeller 16

3.1.5. Modelleme süreci 17
3.1.6. Kestirim 21
3.2. Magnitüd Rastgele Değişkeninin Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi Ve Tekrarlanma Sürelerinin Tahmini 23
3.2.1. Magnitüd rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonunun belirlenmesi 23
3.2.2. Depremlerin tekrarlanma sürelerinin tahmini 24
3.3. Modelleme Ve Analiz İçin Kullanılan Diğer Yöntemler 24
3.3.1. Eğri tahmin modelleri 24
3.3.2. Ki-kare testleri 25

4. DEPREM VERİLERİNİN ANALİZİ 27
4.1. Veriler Ve Ön İnceleme 27
4.2. Deprem Magnitüdlerinin Meydana Gelişleri Bakımından Analizleri 30
4.2.1. Deprem sayılarının derinliklere göre incelenmesi 30
4.2.2. Deprem sayılarının gece-gündüze göre incelenmes 31
4.2.3. Deprem sayılarının mevsimlere göre incelenmesi 32
4.2.4. Deprem sayılarının onar yıllık dönemlere göre incelenmesi 32
4.2.5. Deprem Sayılarının aylara göre incelenmesi 33
4.3. Deprem Sayılarının Zaman Dizileri Açısından Modellenmesi Ve Kestirimi 34
4.3.1. Deprem sayılarının yıllık ortalamalara göre modellenmesi ve kestirimi 34
4.3.2. Deprem sayılarının yıllık toplamları bakımından modellenmesi ve kestirimi 38
4.4. Deprem Sayılarının Eğri Tahmin Modelleri 45
4.4.1. Derinliklere göre eğri tahmin modelleri 45
4.4.2. Gece-gündüze göre eğri tahmin modelleri 52
4.4.3. Mevsimlere göre eğri tahmin modelleri 54
4.4.4. Onar yıllık dönemlere göre eğri tahmin modelleri 59
4.4.5 Aylara göre eğri tahmin modelleri 72
4.4.6. Toplam sayıya göre eğri tahmin modelleri 86

4.5. Magnitüd Rastgele Değişkeninin Dağılım Fonksiyonunun Elde Edilmesi, Yorumu Ve Bazı Magnitüdlere Göre Depremlerin Tekrarlanma Sürelerinin Tahmin Edilmesi 88
4.5.1 Magnitüd rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonunun elde edilmesi ve deprem sayıları açısından yorumu 88
4.5.2. Bazı magnitüdler için depremlerin tekrarlanma sürelerinin tahmini 90

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 93

KAYNAKLAR 97
EKLER 99
ÖZGEÇMİŞ 110

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Magnitüdler ile saat, enlem, boylam ve derinlikler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları 28
Çizelge 4.2. Magnitüdlere göre meydana gelen toplam deprem sayıları....29
Çizelge 4.3. Magnitüdlere ve derinliklere göre oluşturulan deprem sayıları....30
Çizelge 4.4. Magnitüdlere ve gece-gündüze göre oluşturulan deprem sayıları....31
Çizelge 4.5. Magnitüdlere ve mevsimlere göre oluşturulan deprem sayıları....32
Çizelge 4.6. Magnitüdlere ve onar yıllık dönemlere göre oluşturulan deprem sayıları 32
Çizelge 4.7. Magnitüdlere ve aylara göre oluşturulan deprem sayıları....33
Çizelge 4.8. Birinci dereceden farkı alınmış yıllık ortalama deprem verisinin zaman dizisi modeli 36
Çizelge 4.9. Birinci dereceden farkı alınmış yıllık toplam deprem verisinin zaman dizisi modeli 39
Çizelge 4.10.Toplam yıl verisinde aykırı değer alınmışken oluşan zaman dizisi modeli....43
Çizelge 4.11. Derinlik verileri için uygun eğri tahmin modelleri....45
Çizelge 4.12. Gece-gündüz verileri için uygun eğri tahmin modelleri....52
Çizelge 4.13. Mevsim verileri için uygun eğri tahmin modelleri....54
Çizelge 4.14. Onar yıllık veriler için uygun eğri tahmin modelleri....59
Çizelge 4.15. Aylar verisi için uygun eğri tahmin modelleri....72
Çizelge 4.16. Toplam sayı verisi için uygun eğri tahmin modelleri....86
Çizelge 4.17. 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre sıklık dağılımı 89
Çizelge 4.18. Deneysel ve kuramsal dağılıma ilişkin değerler 89
Çizelge 4.19. Çeşitli magnitüdlerdeki depremlere ilişkin bilgiler....91
Çizelge 4.20. Çeşitli magnitüdler için Poisson modeli kullanılarak elde edilen tekrarlanma yılları....92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1.Türkiye deprem bölgeleri haritası 2
Şekil 1.2. Marmara Bölgesi deprem etkinliği harirası 3
Şekil 4.1. Magnitüdler ile saat, enlem, boylam ve derinlikler arasındaki serpme diyagramlar 27
Şekil 4.2. Mmagnitüdlerin meydana geldiği enlem ve boylamlar için üç boyutlu serpme diyagramı.....29
Şekil 4.3a. 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık ortalama magnitüdleri 35
Şekil 4.3b. Yıllık ortalama verisinin modeline ilişkin artıkların ACF grafiği 36
Şekil 4.3c. Yıllık ortalama verisinin modeline ilişkin artıkların PACF grafiği.....37
Şekil 4.3d. Yıllık ortalama verileri ve modelden tahmini 38
Şekil 4.4a. 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık toplam sayıları.....39
Şekil 4.4b. Yıllık toplam sayıların modeline ilişkin artıkların ACF grafiği 40
Şekil 4.4c. Yıllık toplam sayıların modeline ilişkin artıkların PACF grafiği.....41
Şekil 4.4d. Yıllık toplam deprem sayıları ve modelden tahmini 41
Şekil 4.4e. 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin aykırı değeri çıkarıldıktan sonra oluşturulan yıllık toplam sayıları grafiği 42
Şekil 4.4f. Aykırı değeri alınan yıllık toplam deprem sayılarının model artıklarına ilişkin ACF grafiği.....43
Şekil 4.4g. Aykırı değeri alınan yıllık toplam deprem sayılarının model artıklarına ilişkin PACF grafiği.....44
Şekil 4.4h. Aykırı değeri çıkartılmış yıllık toplam deprem sayıları ve modelden tahmini 44
Şekil 4.5a. 0-10 km derinliği bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik.....47

Şekil 4.5b. 11-20 km derinliği bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 48
Şekil 4.5c. 21-30 km derinliği bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 49
Şekil 4.5d. 31-40 km derinliği bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 50
Şekil 4.5e. 41-50 km derinliği bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 51
Şekil 4.5f. 51-km derinliği bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 52
Şekil 4.6a. Gece bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 53
Şekil 4.6b. Gündüz bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 54
Şekil 4.7a. Kış mevsimi bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 56
Şekil 4.7b.Sonbahar mevsimi bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 57
Şekil 4.7c. Yaz mevsimi bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 58

Şekil 4.7 d. İlkbahar mevsimi bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 59
Şekil 4.8a. 1.on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 62
Şekil 4.8b. 2. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 63
Şekil 4.8c. 3. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 64
Şekil 4.8d. 4. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 65
Şekil 4.8e. 5. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 66
Şekil 4.8f. 6. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösterengrafik 67
Şekil 4.8g. 7. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 68
Şekil 4.8h. 8. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 69
Şekil 4.8ı. 9. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 70

Şekil 4.8i. 10. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 71
Şekil 4.8j. 11. on yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 72
Şekil 4.9a. Ocak ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 75
Şekil 4.9b. Şubat ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 76
Şekil 4.9c. Mart ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 77
Şekil 4.9d. Nisan ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 78
Şekil 4.9e. Mayıs ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 79
Şekil 4.9f. Haziran ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 80
Şekil 4.9g.Temmuz ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 81
Şekil 4.9h. Ağustos ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 82

Şekil 4.9ı. Eylül ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 83
Şekil 4.9i.Ekim ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 84
Şekil 4.9j. Kasım ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 85
Şekil 4.9k. Aralık ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik 86
Şekil 4.10. Toplam sayı verisi bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik.....87
Şekil 4.11. 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre sıklık dağılım grafiği 90
Şekil 4.12. 1900-2000 yılları arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerine Göre birikimli dağılım yüzdeler grafiği.....90

1.GİRİŞ

Bilindiği üzere deprem, ülkemizde meydana gelen en önemli doğal afetlerden biridir. Bu çerçevede, konuyla ilgili bilim dalları devamlı olarak araştırmalar içerisinde bulunmak zorundadırlar. Bu bilim dallarından biride istatistiktir. Bilindiği gibi, istatistik tahmin metodolojisini kapsamaktadır. Her ne kadar deprem incelemelerinde, depremin tam olarak ne zaman ve nerede meydana geleceğini kestirmenin mümkün olmadığı ifade edilmekle birlikte, istatistik biliminin yapısı gereği, veriler üzerinde yapılabilecek uygun analizler ile bu probleme az ya da çok bazı ışıklar tutabileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasının konusu, bu noktadan hareket edilerek belirlenmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada, Bölüm 3'de detaylı olarak verilecek uygun metodoloji kullanılarak, deprem verileri analiz edilerek geçmiş depremlerin oluşum yapıları incelenerek, geleceğe yönelik bazı sonuçlar çıkartılmaya çalışılacaktır.

Yukarıda belirtilen problemin amaç ve hedeflerine ışık tutabilecek bakış açısı Yüceman (1982) tarafından belirtilmiştir. Yüceman (1982)'e göre, sismik bakımdan hareketli bir bölgede gelecekte olabilecek depremlerin zamanı, yeri, büyüklüğü ve diğer özellikleri önceden kestirilemez. Deprem mühendisliğinde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi, belirli bir zaman aralığında olabilecek depremlerin inşaat sahasında yaratabilecekleri etkilerin, özellikle zemin hareketi ile ilgili parametreler için beklenebilecek en büyük değerlerin saptanmasıdır. Depremlerin zaman, yer ve şiddet bakımından gösterdikleri rastgelelik ve çeşitli belirsizlikler nedeniyle depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesinde kullanılacak parametrelerin değerlerinin saptanmasında olasılık ve istatistik yöntemlerine dayanan bir yaklaşım gereklidir. Deterministik yaklaşımlara karşın olasılık ve istatistik çerçevesinde geliştirilecek bir yöntemin katkısı, zemin hareketi değişkenleri için tek bir değer yerine bir değerler kümesi ile bu küme üzerinde tanımlanmış bir olasılık dağılımının belirlenmesi şeklinde olacaktır. Depremlerin ölçümünde ve değerlendirilmesinde bir çok parametre kullanılmaktadır. Bunlardan biri şiddettir. Herhangi bir derinlikte olan depremin yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, bir depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve

1.GİRİŞ

Bilindiği üzere deprem, ülkemizde meydana gelen en önemli doğal afetlerden biridir. Bu çerçevede, konuyla ilgili bilim dalları devamlı olarak araştırmalar içerisinde bulunmak zorundadırlar. Bu bilim dallarından biride istatistiktir. Bilindiği gibi, istatistik tahmin metodolojisini kapsamaktadır. Her ne kadar deprem incelemelerinde, depremin tam olarak ne zaman ve nerede meydana geleceğini kestirmenin mümkün olmadığı ifade edilmekle birlikte, istatistik biliminin yapısı gereği, veriler üzerinde yapılabilecek uygun analizler ile bu probleme az ya da çok bazı ışıklar tutabileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasının konusu, bu noktadan hareket edilerek belirlenmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada, Bölüm 3'de detaylı olarak verilecek uygun metodoloji kullanılarak, deprem verileri analiz edilerek geçmiş depremlerin oluşum yapıları incelenerek, geleceğe yönelik bazı sonuçlar çıkartılmaya çalışılacaktır.

Yukarıda belirtilen problemin amaç ve hedeflerine ışık tutabilecek bakış açısı Yüceman (1982) tarafından belirtilmiştir. Yüceman (1982)'e göre, sismik bakımdan hareketli bir bölgede gelecekte olabilecek depremlerin zamanı, yeri, büyüklüğü ve diğer özellikleri önceden kestirilemez. Deprem mühendisliğinde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi, belirli bir zaman aralığında olabilecek depremlerin inşaat sahasında yaratabilecekleri etkilerin, özellikle zemin hareketi ile ilgili parametreler için beklenebilecek en büyük değerlerin saptanmasıdır. Depremlerin zaman, yer ve şiddet bakımından gösterdikleri rastgelelik ve çeşitli belirsizlikler nedeniyle depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesinde kullanılacak parametrelerin değerlerinin saptanmasında olasılık ve istatistik yöntemlerine dayanan bir yaklaşım gereklidir. Deterministik yaklaşımlara karşın olasılık ve istatistik çerçevesinde geliştirilecek bir yöntemin katkısı, zemin hareketi değişkenleri için tek bir değer yerine bir değerler kümesi ile bu küme üzerinde tanımlanmış bir olasılık dağılımının belirlenmesi şeklinde olacaktır. Depremlerin ölçümünde ve değerlendirilmesinde bir çok parametre kullanılmaktadır. Bunlardan biri şiddettir. Herhangi bir derinlikte olan depremin yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, bir depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve

1.GİRİŞ

Bilindiği üzere deprem, ülkemizde meydana gelen en önemli doğal afetlerden biridir. Bu çerçevede, konuyla ilgili bilim dalları devamlı olarak araştırmalar içerisinde bulunmak zorundadırlar. Bu bilim dallarından biride istatistiktir. Bilindiği gibi, istatistik tahmin metodolojisini kapsamaktadır. Her ne kadar deprem incelemelerinde, depremin tam olarak ne zaman ve nerede meydana geleceğini kestirmenin mümkün olmadığı ifade edilmekle birlikte, istatistik biliminin yapısı gereği, veriler üzerinde yapılabilecek uygun analizler ile bu probleme az ya da çok bazı ışıklar tutabileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasının konusu, bu noktadan hareket edilerek belirlenmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada, Bölüm 3'de detaylı olarak verilecek uygun metodoloji kullanılarak, deprem verileri analiz edilerek geçmiş depremlerin oluşum yapıları incelenerek, geleceğe yönelik bazı sonuçlar çıkartılmaya çalışılacaktır.

Yukarıda belirtilen problemin amaç ve hedeflerine ışık tutabilecek bakış açısı Yüceman (1982) tarafından belirtilmiştir. Yüceman (1982)'e göre, sismik bakımdan hareketli bir bölgede gelecekte olabilecek depremlerin zamanı, yeri, büyüklüğü ve diğer özellikleri önceden kestirilemez. Deprem mühendisliğinde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi, belirli bir zaman aralığında olabilecek depremlerin inşaat sahasında yaratabilecekleri etkilerin, özellikle zemin hareketi ile ilgili parametreler için beklenebilecek en büyük değerlerin saptanmasıdır. Depremlerin zaman, yer ve şiddet bakımından gösterdikleri rastgelelik ve çeşitli belirsizlikler nedeniyle depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesinde kullanılacak parametrelerin değerlerinin saptanmasında olasılık ve istatistik yöntemlerine dayanan bir yaklaşım gereklidir. Deterministik yaklaşımlara karşın olasılık ve istatistik çerçevesinde geliştirilecek bir yöntemin katkısı, zemin hareketi değişkenleri için tek bir değer yerine bir değerler kümesi ile bu küme üzerinde tanımlanmış bir olasılık dağılımının belirlenmesi şeklinde olacaktır. Depremlerin ölçümünde ve değerlendirilmesinde bir çok parametre kullanılmaktadır. Bunlardan biri şiddettir. Herhangi bir derinlikte olan depremin yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, bir depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve

konulu çalışması; Alsan (1978), İstanbul-Kandilli Deprem İstasyonu için süreye bağlı magnitüd denklemi; Alsan vd. (1977), Batı Türkiye'de deprem etkinliği; Ayhan vd. (1977), Türkiye'nin deprem bölgelerinin belirlenmesinde bazı istatistik yaklaşımlar; Erguvanlı (1978), Batı Anadolu'nun deprem risk analizi; Ergünay (1976), depremlerin önceden bilinmesi konusunda çalışmışlardır. Ayrıca genel anlamda deprem nedir? Ve bu konudaki bazı tanımlar Erkoç vd. (2000) tarafından verilmiştir. Işıkara (1984), depremleri önceden bilinmesinin state of art'ı ve Türkiye'de yapılan çalışmalar; Numanoğlu (1978)'nun Batı Anadolu'nun deprem risk analizi çalışmasının yanında daha çok deprem ve inşaat mühendisliği bakış açısıyla Pampal (2000) Depremler adlı çalışması; Tatlıdil ve Çıngı (1986) ise 1975-1982 yıllarına ilişkin Batı Anadolu deprem verilerinin istatistiksel çözümlemesi; Ayhan (1983) 1971-1975 yıllarında Batı Türkiye deprem etkinliği konularında yapılan çalışmalar ile sismik risk analizi ile ilgili detaylı bilgileri bir araya getirerek incelenmesi verilmiştir (Yüceman, 1982).

Yukarıda verilen yerli kaynakların yanında yabancı bazı çalışmalar ise şunlardır: Ogata (1988) tarafından yapılan deprem oluşumlarının istatistiksel modelleri ve nokta süreçleri için artıkların analizi; Epstein and Lomnitz (1966), büyük depremlerin oluşum modeli; Utsu (1975) ise Merkez Japonya'da Kwanto bölgesinde meydana gelen iki deprem arasındaki korelasyonun incelenmesi; Ramachandran (1980) uç değer kuramı ve deprem sigortası konulu çalışmalar sıralanabilir.

Yararlanılan kaynaklar göz önüne alınarak bu çalışmada, Türkiye'de Marmara Bölgesinde son yüzyılda kaydedilmiş olan depremlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu amaçla ilk olarak sırasıyla depremlerin oluş sayısı ve magnitüdlerinin derinliklere göre, gece ve gündüze göre, mevsimlere göre, onar yıllık dönemlere göre, aylara göre, farklılık gösterip göstermediği araştırılacaktır. Ayrıca, depremlerin oluş sayıları ve magnitüdleri kullanılarak, magnitüde bağlı deprem sayılarının belirlenmesinde kullanılan bir model kurulacaktır. Bununla beraber, yıllar itibariyle ortalama deprem büyüklükleri ve toplam deprem sayıları zaman dizileri açısından modellenecektir. Son olarak, meydana gelen depremlerin olasılık dağılımlarıyla

bunlardan yararlanılarak, daha önce olan depremlerin tekrarlanma süreleri araştırılacaktır.

Giriş bölümünde araştırma problemi tanıtıldıktan sonra, bu çalışmanın kapsamı şöyle özetlenebilir; Bölüm 2'de araştırma konusunun belirlendiği depremin tanımı ve özellikleri ile diğer genel bilgiler özet olarak verilmiştir. Çalışmanın analizlerinin yapılmasında kullanılan metodoloji Bölüm 3'de bulunmaktadır. Buna göre bu bölümde, tek değişkenli zaman dizileri modelleri ve modelleme süreci, magnitüd rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonunun belirlenmesi ve tekrarlanma sürelerinin tahmininde kullanılan kuramsal yapı ile modelleme ve analiz için kullanılan diğer yöntemler verilmiştir. Bölüm 4'de, tez konusunu kapsayan bölgeye ilişkin problemin açıklanması için yapılan analizler detaylı bir şekilde grafikleriyle birlikte sunulmuştur. Son olarak, sonuç ve öneriler ise Bölüm 5'de verilmiştir.

2. DEPREMLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, çalışma ile bütünlük sağlaması açısından genel anlamda deprem konusuyla ilgili bilgiler verilecektir. Bunun için öncelikle depremin tanımı, depremlerin meydana gelişi, oluşumlarına göre deprem çeşitleri, depremleri tanımlayan özellikler ve deprem kayıt aletleri hakkında bilgi verilecektir (Erkoç vd., 2000) .

2.1. Deprem ve Depremlerin Meydana Gelişi

Bilinen en genel tanımıyla deprem, yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayıdır. Ana depremler olduktan sonra, bir süre devam eden küçük depremlere artçı depremler denir. Ayrıca zaman zaman büyük depremler olmadan önce meydana gelen küçük sarsıntılara ise öncü depremler adı verilir.

Depremin meydana geliş şeklini, deprem dalgalarının yer kabuğu içinde nasıl yayıldıklarını, ölçü cihazlarını ve yöntemlerini, kayıtların incelenerek değerlendirilmesini ve deprem hakkında diğer benzer konuları kapsayan bilim dalı sismoloji olarak ifade edilir.

Bilindiği gibi dünyanın iç yapısı konusunda, Jeolojik ve Jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen verilerin desteklediği bir yeryüzü modeli bulunmaktadır. Söz konusu modele göre, yer kürenin dış kısmında yaklaşık 70-100 km. kalınlığında oluşmuş bir taş küre (Litosfer) bulunmakta, kıtalar ve okyanuslar bunun üzerinde yer almaktadır. Kalınlığı 2900 km. olan ve Litosfer ile çekirdek arasında bulunan kuşağa Manto denir. Mantonun alt kısmındaki çekirdeğin Nikel-Demir karışımından oluştuğu varsayılmaktadır. Yer yüzeyinden derine inildikçe ısının arttığı bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılamadığı düşüncesinden hareketle, çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Taşkürenin altında Astenosfer adı verilen yumuşak üst Manto bulunmaktadır. Burada meydana gelen kuvvetlerle, özellikle konveksiyon akımlarından dolayı, taş kabuk parçalanarak bir çok levhalara bölünmektedir. Bu levhalar üzerinde bulunan kıtalarla birlikte, Astenosfer üstünde sal gibi yüzmekte olup, insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedirler.

Bu şekilde, yer kabuğunu meydana getiren levhaların birbirlerine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri bu levhaların sınırları dünyada depremlerin meydana geldiği yerlerdir. Çoğu depremler yeryüzünden yaklaşık 12 km civarında derinliğe uzanan elastik kısımda üst kabuk içinde meydana gelmektedir. Depremin bir diğer tanımı da, yer içinde fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalmasıyla meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu karmaşık elastik dalga hareketleri olarak bilinir. Adı geçen yer değiştirme miktarı depremin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Özellikle fazla derin olmayan depremlerde belli bir büyüklükten sonra faylanma ile ilgili kırıklar yeryüzünde dahi görülebilir.

2.2. Oluşumlarına Göre Deprem Çeşitleri

2.2.1. Derinlikleri bakımından depremler

Enerjinin boşaldığı yer içindeki noktanın yeryüzüne olan en kısa uzaklığına depremin odak derinliği denir. Depremler odak derinlikleri bakımından farklılık gösterir. Sığ depremler; odak derinliği 0-70 km.ye kadar uzanır. Orta derinlikteki depremler; derinliği 71-300 km. arasındadır. Derin depremler;derinliği 301-700 km. arasında olan depremlerdir. Türkiye'de meydana gelen depremler genellikle sığ odaklı depremlerdir. Bundan dolayı derinlikleri genellikle 0-30 km. arasındadır.

2.2.2. Uzaklıkları bakımından depremler

Deprem merkezlerinden istasyonlara uzaklıkları bakımından depremler, 4 gruba ayrılabilirler. Yerel deprem; 100 km.den daha az olurlar. Yakın deprem; 100 km. ile

1000 km. arasında meydana gelirler. Bölgesel deprem; 1000 km. ile 5000 km. arasındadırlar. Uzak deprem; 5000 km.'den daha uzakta meydana gelen depremler.

2.2.3. Büyüklükleri bakımından depremler

Büyüklüklerine (M-magnitüd) göre depremler, 6 gruba ayrılabilirler. Çok büyük depremler: $M \geq 8.0$; büyük depremler: $7.0 \leq M < 8.0$; orta büyüklükteki depremler: $5.0 \leq M < 7.0$; küçük depremler: $3.0 \leq M < 5.0$; mikro depremler: $1.0 \leq M < 3.0$; ultra-mikro depremler: $M < 1.0$.

2.2.4. Oluşum mekanizmaları bakımından depremler

Oluşum mekanizmalarına göre depremler, 5 gruba ayrılabilirler. Tektonik kökenli depremler, volkanik kökenli depremler, çöküntü depremleri, insanların neden oldukları depremler, doğal olmayan (nükleer patlatmalar) depremler.

2.3. Depremi Tanımlayan Özellikler

Bir deprem meydana geldiğinde, bu depremin tanımlanması ve anlaşılabilmesi için depremin özelliklerini ortaya koyan bazı kavramlardan söz edilmektedir. Bunlar kısaca aşağıda özetlenmektedir.

2.3.1. Odak noktası (Hiposantr)

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı kısımdır. Bu noktaya ayrıca odak noktası veya iç merkez adı da verilmektedir. Söz konusu yer, aslında enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, ancak uygulamalarda nokta olarak adlandırılmaktadır.

2.3.2. Dış Merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın bulunan yer üzerindeki noktadır. Bu yer aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli hissedildiği kısımdır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de tespit edilebilir.

2.3.3. Odak derinliği

Enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak ifade edilir. Ayrıca depremler odak derinliklerine göre de ayrıştırılabilirler. Bu ayrıştırma tektonik depremler için geçerlidir. Orta ve derin depremler çoğunlukla bir levhanın başka bir levhanın altına girdiği bölgelerde meydana gelir. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar daha az olur. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilmekle birlikte çok büyük hasarlara neden olabilirler.

2.3.4. Eş şiddet (İzoseist) eğrileri

Eşit şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara eş şiddet ya da izoseist eğrileri adı verilir. Bu bağlantıların tamamlanmasıyla eş şiddet haritası ortaya çıkar. Çoğunlukla kabul gören duruma göre eğrilerin meydana getirdiği alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bundan dolayı depremin şiddeti ,eş şiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine belirtilir.

2.3.5. Şiddet

Şiddet belli bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği noktadaki etkisinin bir ölçüsüdür. Başka bir ifadeyle, depremin şiddeti; onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı, yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık bakımından farklılık

gösterebilir. Şiddet, depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle birlikte, deprem dolayısıyla meydana gelen hasarı bu etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin etkileri gözlenerek, uzun yılların vermiş olduğu deneyimler göz önüne alınarak hazırlanan "Şiddet Cetvelleri" ile değerlendirilmektedir. Öncede hazırlanmış olan bu cetveller, her siddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve yer üzerinde meydana getirecegi etkileri belirlemektedir. Herhangi bir deprem meydana geldiğinde, bu depremin herhangi bir noktadaki siddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu bilgiler Şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesine karşılık geliyorsa, depremin siddeti, o şiddet derecesi olarak belirlenir.

Kullanımda olan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelleridir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecisini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, siddet V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılara hasar vermezler. VI-XII arasındaki şiddetler ise depremlerin yapılara verdiği hasar ve yeryüzünde oluşturduğu kırılma ve yarılma gibi oluşumlara dayanılarak değerlendirilmektedir.

2.3.6. Magnitüd (Büyüklük)

Magnitüd ya da depremin büyüklüğü, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan ölçülmesi mümkün 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 sismografi ile) kaydedilen zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlamıştır. Şimdiye kadar meydana gelen deprem verileri incelendiğinde kaydedilen en büyük

magnitüd değerinin 8.9 olduğu bilinmektedir (31 Ocak 1906 Colombiya-Ekvator ve 2 Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri).

Magnitüd, aletsel ve gözlemsel magnitüd değerleri olmak üzere iki ayrı gruba ayrılır. Aletsel magnitüd, yukarıda belirtildiği gibi standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyot değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel magnitüd değeri, hacim dalgaları ve yüzey dalgalarından hesaplanabilmektedir. Hacim dalgalarından hesaplanan magnitüdler (m), ile yüzey dalgalarından hesaplanan magnitüdlerde (M) ile gösterilmektedir. Her iki magnitüd değerini birbirine dönüştürecek bazı bağıntılar mevcuttur.

Gözlemsel magnitüd değeri ise, gözleme dayanarak elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda magnitüd-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeye göre değiştiği de göz önünde tutulmalıdır. Gözlem evleri tarafından bildirilen bu depremin magnitüdü depremin enerjisi hakkında fikir vermekten yoksundur. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Magnitüdü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği (magnitüd) depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır.

Depremlerin şiddet ve magnitüdleri arasında bir takım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılardan hareketle şiddet ve magnitüd değerleri arasında tespit edilen dönüşümler aşağıdaki gibi olabilmektedir.

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Magnitüdü	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

2.4. Deprem Kayıt Aletleri

Yerkabuğunun hareketi ile meydana gelen depremlerin kaydedilmeleri, büyüklüklerinin saptanması, onlarla ilgili analizlerin yapılabilmesi için bazı aletlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür ihtiyaçlardan dolayı geliştirilen aletlerden biri Sismografdır. Sismograflar genellikle iki ayrı üniteden meydana gelirler. Birincisi, deprem dalgalarından etkilenen yani onları alan sismometre, ikincisi de deprem dalgalarını kaydeden kayıtçı ünitedir. Sismografin harekete geçmesi ile, dönen bir tamburun üzerindeki kağıda kayıt alınır. Bu kayıta sismogram adı verilmiş olup, depremlerin büyüklükleri ve dış noktaların belirlenmesi için kullanılır. Ayrıca Episantr için depremin kayda geliş zamanının bilinmesi gerekmektedir.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde analiz çalışmalarında kullanılan istatistiksel yöntemler kısaca özetlenecektir. Buna göre öncelikle tek değişkenli genel otoregressif tamamlanmış (integrated) hareketli ortalamalar modelleri ve modelleme süreci verilecektir. Daha sonra eğrisel modeller ve çapraz tabloların incelenmesi konusu özetlenecektir.

3.1. Tek Değişkenli Zaman Dizileri Modelleri ve Modelleme Süreci

Tek değişkenli doğrusal durağan ve durağan olmayan zaman dizilerinde, modeller, Otoregressif (AR), Hareketli Ortalama (MA) ve Otoregressif tamamlanmış Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri olarak adlandırılır (Box-Jenkins, 1976; Wei, 1990). Adı geçen modeller ve modelleme aşamaları aşağıda özetlenmiştir.

3.1.1. Otoregressif (AR) modeller

Herhangi bir zaman dizisi, gecikmeleri cinsinden ifade edilen modele otoregressif (AR) model adı verilir. Eğer bir AR modeli, p tane geçmiş dönem içeriyorsa p'inci dereceden AR modeli olarak adlandırılır. AR(p) modelinin genel ifadesi şöyledir;

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \ldots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \qquad (3.1)$$

Burada Z_t, Z_{t-1},..., Z_{t-p} değerleri, her gözlem değerinin μ'den farkı alınarak (Burada Y_t orijinal diziyi temsil etmek üzere $Z_t = Y_t - \mu$) elde edilir. ϕ_1, ϕ_2 ,..., ϕ_p modelin bilinmeyen fakat tahmin edilecek parametreleridir. p, modelin derecesi ve a_t ise ortalaması sıfır ve varyansı σ^2 olan beyaz gürültü süreci olarak bilinir. Model, geriye doğru öteleme operatörü B kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$BZ_t = Z_{t-1},\ B^2 Z_t = Z_{t-2},\ \ldots,\ B^p Z_t = Z_{t-p}$$

olmak üzere,

$$Z_t=(\phi_1 B+\phi_2 B^2+...+\phi_p B^p)Z_t+a_t \qquad (3.2)$$

dır. Bu yazılış şekli modellerin durağanlık koşulunu sağlayıp sağlamadığını belirlemede katkıda bulunur. Buna göre, sürecin durağan olabilmesi için polinomun sıfira eşitlenmesiyle bulunacak köklerin birim çemberin dışında olması gerekir. AR modeli her zaman tersi alınabilirlik koşulunu sağlar. Tersi alınabilirlik koşulu ise MA modelinin AR modeli için aranan durağanlığa benzer bir özelliğidir.

3.1.2. Hareketli ortalamalar (MA) modeli

Herhangi bir zaman dizisinin, aynı dönemin artık terimi ile belirli sayıda geçmiş dönemin artık terimlerinin doğrusal bir bileşimi olan modeller, hareketli ortalama modelleridir. Hareketli ortalama modelleri de içerdikleri gecikme sayısına göre, örneğin q uncu dereceden MA modeli, MA (q) gibi ifade edilerek, modelin genel şekli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Z_t=a_t-\theta_1 a_{t-1}-\theta_2 a_{t-2}-...-\theta_q a_{t-q} \qquad (3.3)$$

Burada $Z_t=Y_t-\mu$ olarak alınmıştır. θ_1, θ_2 ,..., θ_q modelin tahmin edilecek parametreleridir. q ise MA modelinin derecesini göstermektedir. MA modelleri her zaman durağanlık koşulunu sağlarlar. Fakat tersi alınabilirlik özelliğini sağlayıp sağlamadığını anlamak için en kolay yol modelin geriye doğru öteleme ($BZ_t=Z_{t-1}$) operatörü B ile ifade edilmesidir. Tersi alınabilirliğin sağlanması için bu polinomun köklerinin birim çemberin dışında olması gerekir. MA (q) modeli, geriye doğru öteleme operatörü B ile şöyle yazılabilir :

$$Z_t=(1-\theta_1 B-\theta_2 B^2-...-\theta_q B^q)a_t \qquad (3.4)$$

3.1.3. Otoregressif hareketli ortalamalar (ARMA) modeli

Durağan zaman dizilerinin AR ve MA modellerinden oluşan genel model, ARMA model olarak ifade edilir. Bu modellerde bir zaman dizisinin herhangi bir dönemine ait gözlem, ondan önceki belirli sayıda gözlemin ve artık terimlerinin doğrusal bir bileşimi şeklinde ifade edilir. ARMA (p,q) modeli genel olarak şöyle yazılabilir ,

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \ldots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \qquad (3.5a)$$

veya

$$Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \ldots - \phi_p Z_{t-p} = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \ldots - \theta_q a_{t-q} \qquad (3.5b)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan notasyonların anlamları, yukarıda belirtildiği gibidir.

ARMA modellerinin de durağanlık ve tersi alınabilirlik koşullarını sağlayıp sağlamadığını belirlemek için bunu geriye doğru öteleme operatörü B'yi kullanarak yeniden yazmakta fayda vardır. Öyleyse ARMA (p,q) modeli B operatörü kullanarak,

$$\phi(B) Z_t = \theta(B) a_t \qquad (3.6)$$

yazılır. Buradaki $\phi(B)$ ile $\theta(B)$ sırasıyla p ve q dereceden polinomlardır. Bunlar;

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots - \phi_p B^p \qquad (3.7)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \ldots - \theta_q B^q \qquad (3.8)$$

şeklinde ifade edilirler. Bu polinomların kökleri sırayla $\phi(B)$ ve $\theta(B)$ için birim çemberin dışında bulunuyorsa ARMA modeli durağanlık ve tersi alınabilirlik koşullarını sağlarlar.

3.1.4. Tek değişkenli durağan olmayan doğrusal modeller

Gerçek hayatta karşılaşılan zaman dizileri çoğunlukla durağan değildir. Bu dizilerin durağanlığı trend, mevsimsel ve konjonktürel dalgalanmalar ve rastgele yapıya sahip olaylar tarafından bozulmaktadır. Durağanlığın sağlanabilmesi için adı geçen etkenlerin önceden belirlenmesi ve yok edilmesi, kısaca durağan olmayan bir zaman dizisinin durağan hale dönüştürülmesi gerekmektedir.

Durağan olmayan doğrusal modeller, gerekli sayıda farkı alınmış olan dizilere uygulanan AR ve MA modellerinden oluşan modellerdir. Otoregressif parametresinin derecesi p, hareketli ortalama parametresinin derecesi q ve d ise alınan fark sayısı olmak üzere, bu modele (p,d,q) dereceden otoregressif tamamlanmış hareketli ortalama modeli adı verilir ve İngilizce kısaltmaları ile kısaca ARIMA (p,d,q) olarak ifade edilir. Genel ARIMA (p,d,q) modeli, fark alma operatörü $\nabla=Z_t - Z_{t-1}$ ve $W_t = \nabla^d Z_t$ olmak üzere

$$\phi(B)\, W_t = \theta(B) a_t \qquad (3.9)$$

şeklinde yazılır. Burada, W_t farkı alınmış diziyi temsil etmektedir. ARIMA modellerinde durağanlık koşulları ARMA modellerinde olduğu gibidir.

Bilindiği gibi ortalamada durağan dışılık, fark alma işlemleriyle durağanlaştırılmaya çalışılırken, varyansda durağan dışılığın ortadan kaldırılabilmesi için ise varyans sabitleştirme dönüşümleri (güç dönüşümleri) yapılır. Söz konusu varyans düzgünleştirmek için güç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (Wei, 1990);

$$T(Z_t) = Z_t^{(\lambda)} = \frac{Z_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda} \qquad (3.10)$$

Bu dönüşüme aynı zamanda Box - Cox dönüşümü denir. Burada λ, dönüşüm parametresi olarak adlandırılır. Z_t ise dönüştürülmüş dizidir. En çok kullanılan dönüşümler ve λ değerleri aşağıda verilmiştir. Gerektiğinde bu ve bunun dışındaki dönüşümler uygulanarak veri, varyansta durağan hale getirilebilir. Varyansta durağanlıktan sonra gerekiyorsa ortalamada durağanlık için fark alma operatörü kullanılabilir (Kasap, 1996).

Varyans sabitleştirme dönüşümleri:

λ Değerleri :	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0
Dönüşümler :	$1/Z_t$	$1/\sqrt{Z_t}$	lnZ_t	$\sqrt{Z_t}$	Z_t

3.1.5. Modelleme süreci

Bir zaman dizisinde modelleme süreci bir birini takip eden bir çok adımdan oluşur. Bunun için genellikle aşağıda açıklandığı gibi yapılır. Analiz edilen her hangi bir zaman dizisi için öncelikle durağanlık yapısı incelenir. Bunu anlamaktaki ilk ve en kolay yol, kabaca bilgi vermekle birlikte dizilere ait grafiklerdir. Eğer grafik sürekli artma ya da azalma eğilimi gösteriyorsa dizinin durağan olmadığı söylenebilir. Fakat bu yol yanılgılara ve sağlıksız kararlar alınmasına neden olabilir. Çünkü ilk bakışta durağan gibi algılanan diziler zaman içinde az da olsa bazı değişiklikler gösterebilirler. Zaman dizilerinde durağanlığı tespit etmenin bir yolu da dizinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleridir. Bu grafiklerden verinin hangi ARIMA modeline uygun olacağı ve derecelerinin (p,d,q), hangi değerleri alacağı saptanır. Durağanlık yapısını ortaya koyan bir başka ölçüt ise birim-kök testleridir (Dikey and Fuller, 1979). Fakat bu konunun detayına burada girilmeyecektir.

Hesaplanan bir otokorelasyon fonksiyonu eğer bir kaç gecikmeden sonra üstel olarak hızlı bir şekilde sıfıra yaklaşıyorsa, incelenen zaman dizisi durağandır denilebilir. Diğer bir ifade ile bulunan otokorelasyon değerleri $S_r = 1/\sqrt{n}$ olmak üzere,

$$\pm Z_T/\sqrt{n} \qquad (3.11)$$

ifadesinin sınırları içinde kalıyorsa, otokorelasyon değerlerinin yaklaşık sıfır olduğu ve dizinin de rastgele dağıldığı söylenebilir (Burada Z_T, normal dağılımdaki tablo değeridir). Bu durumda geçici model olarak; AR (p), MA (q) ve ARMA (p,q) modellerinden uygun olan biri tespit edilebilir.

Durağan modellerde geçici uygun model yapısı AR (p) için, kısmi otokorelasyon katsayılarından yararlanılır. Bunun için kısmi otokorelasyon katsayılarının korelogramı çizilir. Bu grafik üzerinde % 95 güven aralığı dışında kalan kısmi otokorelasyon katsayılarının gecikmesi bize geçici uygun modelin derecesini verir. Örneğin istatistiksel olarak anlamlı olan birinci gecikmeye ait otokorelasyon katsayısı varsa model AR (1), p tane varsa AR (p) olarak gösterilir. Kabaca uygun model MA (q) tipinde ise, bu modelin derecesi otokorelasyon katsayılarından yararlanılarak belirlenir. Bunun için otokorelasyon katsayılarının korelogramı çizilir. Korelogramda standart limitleri dışında kalan otokorelasyon katsayıları MA (q) modelinin derecesi olacaktır. ARMA (p,q) modeli için p ve q derecelerinin belirlenmesinde otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarından yararlanılır. İstatistiksel olarak anlamlı otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları birer tane ise, geçici ARMA modelinin derecesi ARMA (1,1) olacaktır. Bu tür model için model derecesini belirlemek her zaman kolay değildir.

Otokorelasyon katsayıları eğer üstel olarak sıfıra yaklaşma eğiliminde değilse durağan olmayan bir dizimiz var demektir. Yani katsayılar yavaş bir şekilde üstel olarak azalıyorlarsa durağan olmama durumu söz konusudur denir. Bu dizinin analiz edilmesi için durağan hale getirilmesi gerekir. Bunun için dizinin birinci farkı alınarak otokorelasyon katsayılarına bakılır. Eğer katsayılar hızla sıfıra yaklaşıyorsa, yani standart hata sınırları içine düşüyorsa dizi durağandır. Aksi takdirde fark dizisinin tekrar farkının alınması gerekebilir. Fark alma yoluyla durağan hale getirilen dizi için geçici model olarak IAR (p,d), IMA (d,q) ve ARIMA (p,d,q) model gruplarından birisine karar verilir. 2. farkın sonunda da durağanlık sağlanamazsa başa dönülerek ham verinin uygun Box-Cox dönüşümleri alınarak oluşturulan dizi

incelenir. Durağan olmayan doğrusal modellerdeki derecelerin tespiti için yapılacak işlemler, durağan doğrusal modellerdekine benzerdir.

Zaman dizilerinde modelleme aşamasında modelin kabaca derecesinin belirlenmesinden sonra parametrelerinin tahmin edilmesi gerekir. Parametre tahmini genel olarak üç farklı başlık halinde düşünülebilir. Bunlar, momentler yöntemi, en çok olabilirlik yöntemi ve bilinen en küçük kareler yöntemi. Bu çalışmada kullanılan tahmin yöntemi en çok olabilirlik yöntemi olacağından yalnızca bu konuda bilgi verilecektir. Bu başlık altında genellikle koşullu en çok olabilirlik yöntemi ve tam olabilirlik fonksiyonu ile parametre tahmini söz konusudur. Burada kullanılacak olan koşullu en çok olabilirlik yöntemidir. Buna göre koşullu olabilirlik yöntemi kısaca aşağıda ifade edilmektedir (Wei, 1990).

Genel ARMA (p,q) modeli göz önünde bulundurulduğunda $(\phi,\mu,\theta,\sigma^2{}_a)$ parametrelerinin olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\ln L = (\phi,\mu,\theta,\sigma^2{}_a) = -\frac{n}{2}\ln 2\pi\sigma^2{}_a - \frac{S(\phi,\mu,\theta)}{2\sigma^2{}_a} \tag{3.12}$$

Burada S, koşullu kareler toplamı fonksiyonu olarak bilinir ve aşağıdaki gibi tanımlanabilir ;

$$S(\phi,\mu,\theta) = \sum_{t=p+1}^{n} a^2{}_t(\phi,\mu,\theta/Z) \tag{3.13}$$

(3.13) şeklindeki yazılış genellikle istatistiksel paket programlarında kullanılan yapıdır. Burada ϕ, μ ve θ'nın parametre tahminlerini elde ettikten sonra, a_t'nin tahmin edilen varyansı, $\hat{\sigma}_a^2$ bulunur. Öyleyse,

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{S(\hat{\phi},\hat{\mu},\hat{\theta})}{\text{serbestlik derecesi(s.d.)}} \tag{3.14}$$

olur. Burada serbestlik derecesi (s.d.) kullanılan toplam karelere göre, $n-(2p+q+1)$ olarak yazılabilir.

Modelleme aşamalarından kabaca belirlenen modelin parametre tahminleri tamamlandıktan sonra, hata terimlerinden yararlanarak bu modelin veriye uygunluğunun testi yapılır. Bu işlem için hatalar dizisinin otokorelasyon katsayıları bulunur ve incelenir. Eğer bu katsayılar belirli bir anlam seviyesinde sıfıra yakınsa veya sıfırdan anlamlı bir şekilde farklı değilse, geçici modelin uygun bir model olduğuna karar verilir.

Hatalar dizisini incelemek için Box-Pierce (1970) tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan Q istatistiği, modelin uygunluğunun (modelin artıklarına ilişkin otokorelasyonlarının sıfır olup olmadığı) test edilmesinde kullanılmaktadır. Bu test istatistiği ;

$$Q = n(n+2)\sum_{k=1}^{K}\frac{r^2{}_k(\hat{a})}{n-k}; \qquad \text{k} = 1,2,...,\text{K} \tag{3.15}$$

dır. Burada; $r^2{}_k(\hat{a})$, örnek tahmin hatalarının k gecikmedeki örnek otokorelasyon katsayılarını, n, modellenen dizinin gözlem sayısını ve K ise hesaplanan otokorelasyon sayısını gösterir. Yukarıdaki test istatistiği yaklaşık olarak $\chi^2{}_{(\text{K-p-q})}$ dağılımını gösterir. Buradaki p ve q sırasıyla AR ve MA modellerinin dereceleridir. Hesaplanan Q değeri ki-kare tablo değerinden küçükse, geçici olarak bulunan modelin uygun model olduğuna karar verilir. Eğer hesaplanan test istatistiği değeri tablo değerinden büyük ise modelin uygun bir model olmadığı söylenebilir. Bu durumda başka bir model veya modeller belirlenebilir (Wei, 1990).

Bilindiği gibi zaman dizileri analizinde veya genel olarak herhangi bir istatistiksel veri analizinde veri setinin modeli olarak birden fazla yeterli model elde edilebilir. Bazen en iyiyi seçmek kolaydır. Fakat çoğunlukla en iyiyi seçmek her zaman kolay

olmamaktadır. Böyle durumlar için, zaman dizileri analizi literatüründe birden çok model seçme ölçütü vardır. Bunlardan biri kestirim sonuçlarına göre en iyi modeli seçmektir. Diğerleri ise kısaca bilgi ölçütleridir. Bu alanda pek çok bilgi ölçütü olup, bu çalışmada yalnızca AIC (Akaike Information Criteria) bilgi ölçütü kullanılacaktır. Çalışmanın amacı seçim ölçütlerini karşılaştırmak olmadığından bunlardan birini kullanmak yeterli olacaktır. AIC, Akaike (1977) tarafından öne sürülmüştür,

$$AIC(M) = n\ln \hat{\sigma}_a^2 + 2M \tag{3.16}$$

Burada $M=p+q$ olmak üzere modeldeki parametrelerin sayısını göstermektedir. Buna göre en iyi model seçiminde karar şöyle verilir; uygun modellerin içerisinde en iyi model, AIC değeri en küçük olan modeldir. Her ne kadar bu çalışmada kestirim yapılmayacak ise de, doğrusal durağan modelleme sürecinin tamamlanması açısından, kestirim konusu aşağıda özetlenecektir.

3.1.6. Kestirim

Modelleme sürecinden sonra en önemli amaçlardan birisi gelecekle ilgili değerlerin tahmin edilmesi veya kestirimidir. Kestirim, modeli incelenen zaman dizisinin $t+l$ döneminde gerçekleşeceği Z_{t+l} değerinin tahmini olan $\hat{Z}_{t+l}$ 'yi $t+l$ döneminden önceki belirli sayıda dönemin tahmin değerlerine, gözlem değerlerine ve hata terimlerine bağlı olarak tahmin eden bir modeldir. Bu, bir zaman dizisi için uygun olduğuna karar verilen model AR içeriyorsa, bu dizinin $t+l$ döneminde alacağı değerin tahmini, $t+l$ döneminden önceki belirli sayıda dönemin tahmin ve gözlem değerlerine ve a_t hata terimine bağlı olarak yapılır. Eğer uygun model MA içeriyorsa, $\hat{Z}_{t+l}$ tahmini, $t+l$ döneminden önceki belirli sayıda dönemin tahmin hatalarına dayanarak yapılır. Bulunan uygun model, AR ve MA'yı birlikte içeriyorsa, bu modele dayanarak $\hat{Z}_{t+l}$'nin tahmini, $t+l$ döneminden önceki belirli sayıda dönemin tahmin değerine, gözlem değerine ve bu değerlerle ilgili hesaplanan hata terimlerine dayanarak bulunur (Özmen, 1986).

Zaman dizilerinde modelleme olayından sonra en önemli kullanım alanlarından birisi veri için gelecekle ilgili değerlerin tahmin edilmesidir. Herhangi bir genel ARIMA modeli için kestirim yöntemlerinden biri en küçük ortalama hata kareler kestirimleri yöntemidir. Buna göre özetle aşağıdaki bilgiler verilebilir;

$$E[Z_{n+l} - \hat{Z}_n(l)]^2$$

$$\hat{Z}_n(l) = E(Z_{n+l} / Z_{nl}, Z_{n-l}, \ldots, Z) \tag{3.17}$$

kestirim hatası,

$$e_n(l) = Z_{n+l} - \hat{Z}_n(l) = \sum_{j=0}^{l-1} \psi_j a_{n+l-j} \tag{3.18}$$

ve varyansı

$$\mathrm{Var}[\hat{Z}_n(l)] = \mathrm{Var}[\mathrm{e}_n(l)] = \sigma_A^2 \sum_{j=0}^{l-1} \psi_j^2 \tag{3.19}$$

şeklinde yazılır. Belli bir α değeri için kestirime ilişkin güven aralığı ise,

$$\hat{Z}_n(l) \pm N_{\frac{\alpha}{2}} (1 + \sum_{j=1}^{l-1} \psi_j^2)^{1/2} \sigma_A \tag{3.20}$$

3.2. Magnitüd Rastgele Değişkeninin Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi Ve Tekrarlanma Sürelerinin Tahmini

3.2.1. Magnitüd rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonunun belirlenmesi

Magnitüd (M), θ alt sınırlı ve kuramsal olarak üst sınırı olmayan sürekli bir rastgele değişken olarak tanımlanmaktadır. Burada θ, ölçülebilen en küçük deprem

magnitüdür. $\overline{M}$, çok sayıda deprem verisinden elde edilen ortalama magnitüddür. Buna göre,

$$\lambda = (\overline{M} - \theta)^{-1}$$

olmak üzere, magnitüd rastgele değişkeninin yoğunluk fonksiyonu,

$$f(M) = \lambda e^{-\lambda (M-\theta)} \qquad \theta \leq M < \infty \tag{3.21}$$

biçiminde bir üstel fonksiyondur (Ramachandran, 1980).

Yoğunluk fonksiyonu kullanılarak M rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonu da,

$$F(M) = \int_{R_M} \lambda\ e^{-\lambda (M-\theta)}\ dM = -\ e^{-\lambda (M-\theta)} \tag{3.22}$$

olarak bulunur. Bu aşamada veriye ilişkin değerler ile teorik dağılıma ilişkin değerlerden oluşan tablo hazırlanacaktır Buradan elde edilebilecek tabloya bir numaralı tablo adı verilsin. Söz konusu olabilecek bu bir numaralı tablo, belirlenen Magnitüd değerlerine karşılık gelen frekans, bunlara ilişkin yüzdeler, birikimli olasılıklara ilişkin gözlenen ve beklenen değerler ile bunlara karşılık gelen farklardan ibarettir. Burada beklenen değerler (3.22) bağıntısından elde edilen edilecektir. Bu ise, dağılım fonksiyonunun θ alt sınır değeri ile her sınıfin üst değeri arasında integrallenmesinden elde edilmektedir.

3.2.2. Depremlerin tekrarlanma sürelerinin tahmini

Bu kısımda, bir numaralı olarak adlandırılan tablonun değerlerinden yararlanılarak çeşitli magnitüdlerdeki depremlerin tekrarlanış ya da olası geri dönüş süreleri elde edilecektir. Bunun için tablodaki beklenen birikimli olasılıklardan, M magnitüdlü depremin meydana gelme olasılıkları, yıllık beklenen sayıları ve bunlara ilişkin

tekrarlanma yılları bulunarak hazırlanacak tabloda gösterilecektir. Bu tabloya da iki numaralı tablo adı verilsin. Burada yıllık beklenen sayılar, M magnitüdlü depremin meydana gelme olasılıklarıyla $\overline{M}$'nin çarpılmasından elde edilir. Depremin tekrarlanma yılı ise 1/(yıllık beklenen deprem sayısı) oranından elde edilir. Buna göre,

$$Tekrarlanma\ yılı = \frac{1}{beklenen\ \ deprem\ \ sayisi} \tag{3.23}$$

yazılabilir.

3.3. Modelleme ve Analiz İçin Kullanılan Diğer Yöntemler

3.3.1 Eğri tahmin modelleri

Bir veri grubu için bir veya birden çok eğri tahmin modeli seçilebilir. Bunu belirlemek için öncelikle verinin grafiği çizilir. Grafiğin yapısına göre uygun model seçilir. Bu çalışmada modellenen veriler için aşağıdaki modeller denenmiştir; doğrusal, logaritmik, ters, karesel, kübik, güç, S-eğri, büyüme ve üstel modeller. İstatistik literatürde geniş bir şekilde yer alan bu modellere ilişkin ayrıntı burada verilmeyecektir. Deprem verilerinin eğri tahmin modelleri bakımından incelenerek yapılan analizler sonucunda elde edilen modeller bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak verilecektir.

Deprem verilerinin analiz edildiği literatürde yukarıda adı verilen eğri tahmin modellerinin hepsinin aynı anda kullanılmadığı yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır. Söz konusu modellerin istatistiksel bakımdan bilinen uygulamaların yanında, deprem verileri için detaylı bir şekilde kullanılmış olmaları, bu çalışmanın kapsamı bakımından önem kazanmaktadır. Bu sebepten dolayı, literatürde bilinen bu modellerin yapısına ilişkin ayrıntıya girilmeden, modellere ilişkin bilgiler kullanılarak, sonuçları analizlerden sonra verilecektir.

3.3.2. Ki-kare testleri

Ki-Kare testi gözlenen frekanslarla beklenen frekanslar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı temeline dayanır. Ki-Kare testinde niteliksel veriler kullanılır. Ki-kare testlerinin uygulamada pek çok farklı amaçlarla kullanımı bulunmaktadır. Bu çalışmada iki değişken arasında ilişki olup olmadığının test edilmesinde ve örnekten elde edilen dağılımın istenen herhangi bir teorik dağılıma uyup uymadığının testinde kullanılacaktır. Literatürde bilinen bu kavramın burada detayına girilmeyecektir. Buna göre söz konusu hipotez testleri aşağıdaki gibi kurulabilir.

H_0: Değişkenler arasında ilişki yoktur.

H_1: Değişkenler arasında ilişki vardır.

ve

H_0: Örnek belirli bir dağılıma sahip olan bir yığından gelmektedir.

H_1: Örnek yokluk hipotezinde belirtilen dağılımdan gelmemektedir.

Kullanılacak ki-kare test istatistiği ise

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \frac{(f_{g_{ij}} - f_{b_{ij}})^2}{f_{b_{ij}\,i}} \tag{3.24}$$

dir. Burada,

$f_{g_{ij}}$: her bir gözdeki gözlenen frekans

$f_{b_{ij}}$:her bir gözdeki beklenen frekansıdır.

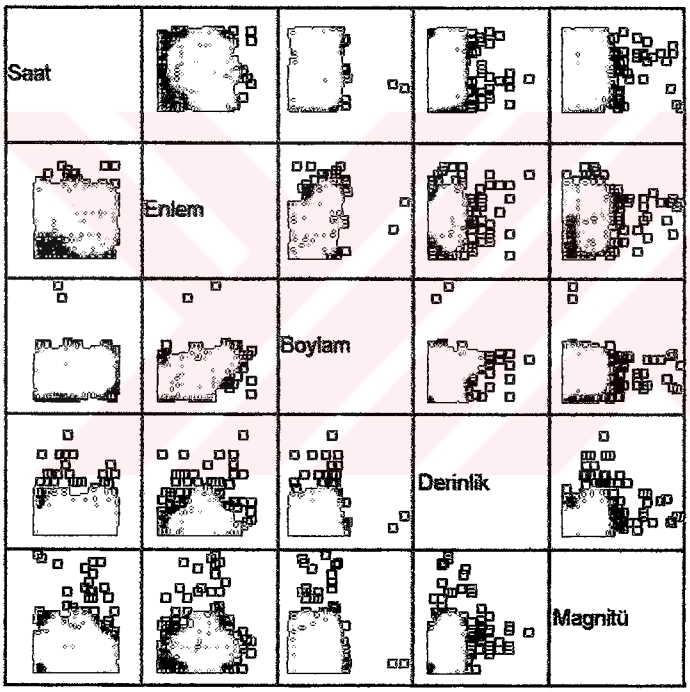
Uygulanan teste belli bir anlamlılık düzeyi, örneğin $\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.01$ seçilir. Bu anlamlılık düzeylerinde serbestlik dercesine karşılık gelen tablo χ^2 değerine bakılır ve hesaplanan χ^2 değeri tablo χ^2 değerinden büyük olursa yokluk hipotezi red edilir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

4. DEPREM VERİLERİNİN ANALİZİ

4.1 Veriler Ve Ön İncelemesi

Bu çalışmada, 1900-2000 tarihleri arasında (39.50-41.50) Kuzey - (26.00-32.50) Doğu koordinatları arasındaki bölgenin Magnitüdü $M \geq 4.0$ olan deprem verileri kullanılmaktadır. Ek-1'de verilen söz konusu veriler, depremin olduğu saat, enlem, boylam, derinlik ve magnitüd değerlerinden oluşmaktadır. Bu tezde esas itibariyle inceleme konusu, yukarıda ifade edildiği gibi ilgili enlem-boylam ve tarihler arasında meydana gelen 4'e eşit ve daha büyük deprem sayılarıdır. Ancak bu konudaki detaylı



Şekil 4.1. Magnitüdler ile saat, enlem, boylam ve derinlikler arasındaki serpme diyagramlar

analize geçmeden önce söz konusu meydana gelen deprem büyüklükleri (magnitüd)'nin, oluştukları saat, enlem, boylam ve derinlikleriyle ilişkilerini veren grafik Şekil 4.1'de ve bunlar arasındaki Pearson korelasyon katsayısı ise Çizelge

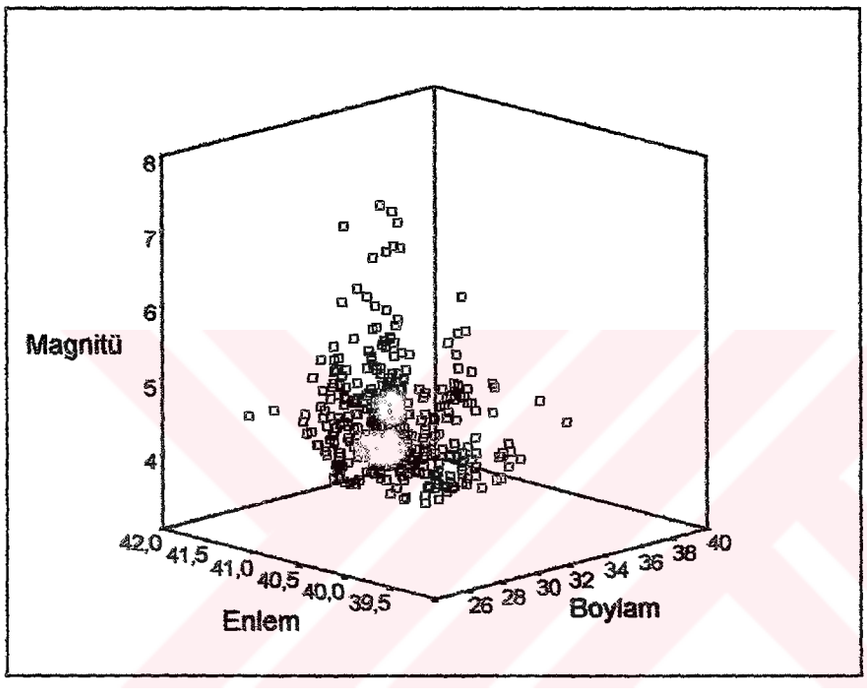
4.1'de verilmiştir. Burada magnitüd kelimesinin grafiklerde magnitü olarak alındığını not etmekte fayda var.

Çizelge 4.1. Magnitüdler ile saat, enlem, boylam ve derinlikler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	Saat	Enlem	Boylam	Derinlik	Magnitüd
Saat					
Pearson Korelasyon	1.000	-0.080	0.020	-0.023	0.079
P-değeri	,	0.093	0.675	0.625	0.094
N	447	447	447	447	447
Enlem					
Pearson Korelasyon	-0.080	1.000	-0.006	0.083	0.015
P-değeri	0.093	,	0.900	0.078	0.760
N	447	447	447	447	447
Boylam					
Pearson Korelasyon	0.020	-0.006	1.000	-0.026	-0.039
P-değeri	0.675	0.900	,	0.583	0.411
N	447	447	447	447	447
Derinlik					
Pearson Korelasyon	-0.023	0.083	-0.026	1.000	0.296**
P-değeri	0.625	0.078	0.583	,	0.000
N	447	447	447	447	447
Magnitüd					
Pearson Korelasyon	0.079	0.015	-0.039	0.296**	1.000
P-değeri	0.094	0.760	0.411	0.000	,
N	447	447	447	447	447

** 0.01 için anlamlı

Çizelge 4.1 incelendiğinde magnitüdlerle depremin meydana geldiği derinlikler arasındaki ilişkinin anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, magnitüdlerin meydana geldikleri enlem ve boylamların birlikte olduğu üç boyutlu serpme diyagramı Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Magnitüglerin meydana geldiği enlem ve boylamlar için üç boyutlu serpme diyagramı

Bu kısımda amaç, üzerinde çalışılan verinin tanıtılması olduğundan, şekil ve çizelgelere yönelik detaylı yoruma girilmeyecektir. İnceleme ve analizlere ilişkin detaylı sonuçlar gelecek kesimlerde verilecektir. Buna göre, magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Magnitüdlere göre meydana gelen toplam deprem sayıları

Magnitüd	4.0-4.4	4.5-4.9	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.4	6.5-6.9	7.0-7.4
Sayı	214	136	60	21	8	2	6

4.2. Deprem Magnitüdlerinin Meydana Gelişleri Bakımından Analizleri

Bundan sonraki kısımlarda yukarıda kabaca ifade edilen verilere yönelik detaylı inceleme ve analizlere girilecektir. Buna göre, 1900-2000 tarihlerinde (39.50-41.50) kuzey - (26.00-32.50) doğu koordinatları arasındaki magnitüdü M≥4.0 deprem verileri kullanılarak aşağıdaki çizelgeler oluşturulup analiz edilmiştir.

4.2.1. Deprem sayılarının derinliklere göre incelenmesi

Depremler yerin altında belli derinliklerde meydana gelmektedir. Bu derinlikler ve magnitüdlerine göre sınıflandırılmasından Çizelge 4.3 elde edilmiştir. Buna göre, magnitüdleri yedi kategoride, derinlikleri ise altı kategoride olmak üzere oluşturulan çapraz çizelge aşağıda verilmiştir. Bu çizelgeden yararlanarak, magnitüdler ile derinlikler arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı ki-kare testi ile incelenecektir.

Çizelge 4.3. Magnitüdlere ve derinliklere göre oluşturulan deprem sayıları

Derinlikler	4.0 - 4.4	4.5 – 4.9	5.0 – 5.4	5.5 – 5.9	6.0 – 6.4	6.5 – 6.9	7.0 – 7.4
0-10 Km	152	58	21	10	3	1	2
11-20	44	35	11	6	2	0	3
21-30	14	21	9	1	1	0	0
31-40	3	12	10	1	2	1	1
41-50	1	1	0	0	0	0	0
51-	0	9	9	3	0	0	0

Öyleyse söz konusu hipotez aşağıdaki gibi kurulur,

H_0: Deprem sayılarının magnitüdü ile derinliği arasında ilişki yoktur.

H_1: Deprem sayılarının magnitüdü ile derinliği arasında ilişki vardır.

Bundan sonra verilecek bu tür testlerdeki hipotezler, yeniden kurulmadan bu şekilde ifade edildiği var sayılacaktır.

Yukarıdaki çizelge için uygulanan ki-kare testi sonucunda hesaplanan χ^2=92.237 , serbestlik derecesi 30 iken α=0.05 ve α=0.01 de ki-kare tablo değerleri sırasıyla 43.773 ve 50.892'dir. Hesaplanan değer, tablo değerinden büyük olduğundan H_0 red edilir. Bunun anlamı, deprem sayılarının magnitüdü ile derinliği arasında ilişki olduğu ya da meydana gelen deprem sayılarının magnitüd ve derinliklere göre farklılık gösterdiği sonucuna varılmıştır.

4.2.2. Deprem sayılarının gece gündüze göre incelenmesi

Depremlerin oluş zamanı (gece-gündüz) ve magnitüdlerine göre sınıflandırılmasından Çizelge 4.4 elde edilmiştir.Buna göre, depremlerin oluş zamanı gece ve gündüz olmak üzere iki kategoride,magnitüdleri yedi kategoride oluşturulan çapraz çizelge aşağıda verilmiştir. Bu çizelgeden yararlanılarak, magnitüdler ile oluş zamanı (gece-gündüz) arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı ki-kare testi ile incelenecektir.

Çizelge 4.4. Magnitüdlere ve gece-gündüze göre oluşturulan deprem sayıları

zaman	4.0 – 4.4	4.5 – 4.9	5.0 – 5.4	5.5 – 5.9	6.0 – 6.4	6.5 – 6.9	7.0 – 7.4
gece	106	73	27	10	2	0	3
gündüz	108	63	33	11	6	2	3

Bunun için uygulanan ki-kare testi sonucunda hesaplanan χ^2_h=5.346 ve 6 serbestlik derecesinde α=0.05 ve α=0.01 iken tablo değerlerinden küçük olduğu için hipotez kabul edilir. Bunun anlamı, deprem sayılarının magnitüdü ile oluş zamanı arasında ilişki olmadığı yani deprem magnitüdleri ve oluş sayıları üzerinde oluş zamanının etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.2.3. Deprem sayılarının mevsimlere göre incelenmesi

Depremlerin meydana geldikleri mevsimler ve magnitüdlerine göre sınıflandırılmasından Çizelge 4.5 elde edilmiştir. Bu çizelgeden yararlanarak, magnitüdler ile mevsimler arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı ki-kare testi ile incelenecektir.

Çizelge 4.5. Magnitüdlere ve mevsimlere göre oluşturulan deprem sayıları

Mevsimler	4.0 – 4.4	4.5 – 4.9	5.0 – 5.4	5.5 – 5.9	6.0 – 6.4	6.5 – 6.9	7.0 – 7.4
ilkbahar	59	47	20	7	1	0	2
Yaz	60	40	16	8	2	2	2
sonbahar	57	30	13	4	2	0	2
Kış	38	19	11	2	3	0	0

Bu çizelge için uygulanan ki-kare testi sonucunda hesaplanan χ^2_h=14.209 ve 18 serbestlik derecesinde α=0.05 ve α=0.01 iken tablo değerlerinden küçük olduğu için mevsimlerle deprem büyüklükleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır. Yani deprem sayıları, magnitüd ve mevsimlere göre farklılık göstermediği bulunmuştur.

4.2.4. Deprem sayılarının onar yıllık dönemlere göre incelenmesi

Son yüz yılı onar yıllık dönemler şeklinde böler ve her bir onar yılda meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre sınıflandırılmasından Çizelge 4.6 elde edilmiştir. Bu çizelgeden yararlanılarak, magnitüdler ile onar yıllık dönemler arsında anlamlı bir ilişki olup olmadığı ki-kare testi ile incelenecektir.

Çizelge 4.6. Magnitüdlere ve onar yıllık dönemlere göre oluşturulan deprem sayıları

Yıllar	4.0 – 4.4	4.5 – 4.9	5.0 – 5.4	5.5 – 5.9	6.0 – 6.4	6.5 – 6.9	7.0 – 7.4
1.10 yıl	0	2	4	2	0	0	0

2.10 yıl	0	4	3	0	1	0	1
3.10 yıl	0	6	5	2	1	0	0
4.10 yıl	0	5	6	2	2	0	0
5.10 yıl	0	6	5	4	1	1	0
6.10 yıl	0	28	13	3	1	0	2
7.10 yıl	0	23	6	4	1	1	1
8.10 yıl	60	9	9	1	0	0	0
9.10 yıl	44	18	2	1	1	0	0
10.10 yıl	97	33	6	2	0	0	2
11.10 yıl	13	2	1	0	0	0	0

Uygulanan test sonucunda hesaplanan χ^2_h=285.808 ve 60 serbestlik derecesinde α=0.05 ve α=0.01 için bulunan tablo değerlerinden büyük olduğu için aralarında ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre, deprem sayılarının magnitüdü ile onar yıllık dönemler arasında ilişki olduğu yani meydana gelen deprem sayılarının magnitüd değerlerine göre her on yılda farklı sayıda depremin meydana geldiği söylenebilir.

4.2.5. Deprem sayılarının aylara göre incelenmesi

Depremlerin meydana geldikleri aylar ve magnitüdlerine göre sınıflandırılmasından Çizelge 4.7 elde edilmiştir. Bundan yaralanılarak, magnitüdler ile aylar arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı ki-kare testi ile incelenecektir.

Çizelge 4.7. Magnitüdlere ve aylara göre oluşturulan deprem sayıları

Aylar	4.0 – 4.4	4.5 – 4.9	5.0 – 5.4	5.5 – 5.9	6.0 – 6.4	6.5 – 6.9	7.0 – 7.4
Ocak	21	6	3	1	2	0	0
Şubat	9	7	6	0	1	0	0
Mart	23	25	11	2	0	0	1
Nisan	16	12	6	2	0	0	0
Mayıs	19	11	4	3	1	0	1

Haziran	12	6	2	2	0	1	0
Temmuz	11	16	6	2	0	1	0
Ağustos	38	17	8	4	2	0	2
Eylül	26	7	2	2	1	0	0
Ekim	13	12	6	0	0	0	1
Kasım	18	11	5	2	1	0	1
Aralık	8	6	2	1	0	0	0

Burada da deprem sayılarının magnitüd ve mevsimlere göre farklılık göstermediği için bu sonucu doğrulayıcı bir sonuçla karşılaşılması beklenir. Nitekim uygulanan ki-kare testi sonuçlarına göre χ^2_h=61.286 ve 70 serbestlik derecesinde α=0.05 ve α=0.01 deki tablo değerlerinden küçük olduğundan deprem sayılarının magnitüd ve aylara göre farklılık göstermediği bulunmuştur.

Şimdiye kadar çapraz tablolar kullanılarak yapılan analizlerde, ki-karelerin hesaplanmasında elde edilen beklenen değerler bakımından, az da olsa bazı sapmaların olabileceği dikkate alınarak, sonuçların buna göre yorumlanmasında yarar vardır.

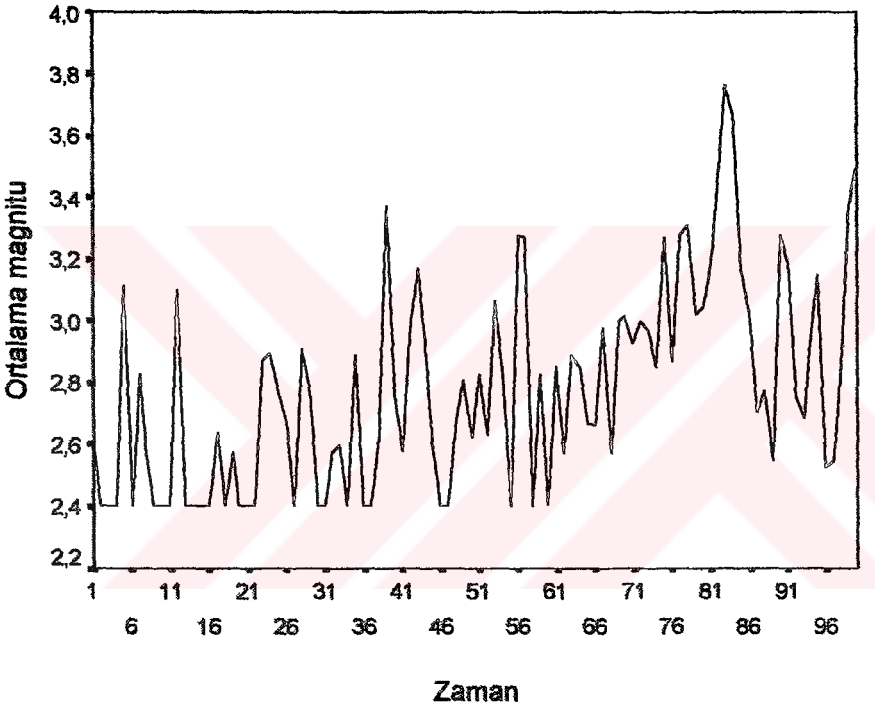
4.3. Deprem Sayılarının Zaman Dizileri Açısından Modellenmesi Ve Kestirimi

Bu başlık altında 1900-2000 tarihlerinde (39.50-41.50) Kuzey - (26.00-32.50) Doğu koordinatları arasındaki bölgenin magnitüdü M≥4.0 olan deprem verilerinin yıllık ortalama magnitüd değerleri ile yıllar itibariyle toplam deprem sayıları için zaman dizileri analizi yapılacaktır. Burada elde edilecek zaman dizisi modelleri, söz konusu dizilerin gelecekte kestirim değerlerinin elde edilmesinde kullanılacaktır.

4.3.1. Deprem sayılarının yıllık ortalamalara göre modellenmesi ve kestirimi

Söz konusu zaman dizilerinden öncelikle yıllık ortalama dizisi analiz edilecektir. Analizlere geçmeden önce burada incelenecek olan dizinin değerlerinin nasıl elde

edildiği verilecektir. Bu çalışmada magnitüdü M≥4.0 olan depremler inceleme konusu olmakla beraber, bazı ay ve yıllarda M≥4.0 deprem tespit edilmemiştir. Ancak bu ay ve yıllarda sanki hiç deprem olmamış gibi 0(sıfır) değeri koymaktansa, depremin olabileceği varsayılan değerler olan 0.9, 1.9, 2.9 ve 3.9 büyüklüklerinin ortalaması 2.4 değeri kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen yıllık ortalama magnitüd değerlerine ilişkin dizinin grafiği Şekil 4.3a'da gösterilmektedir.



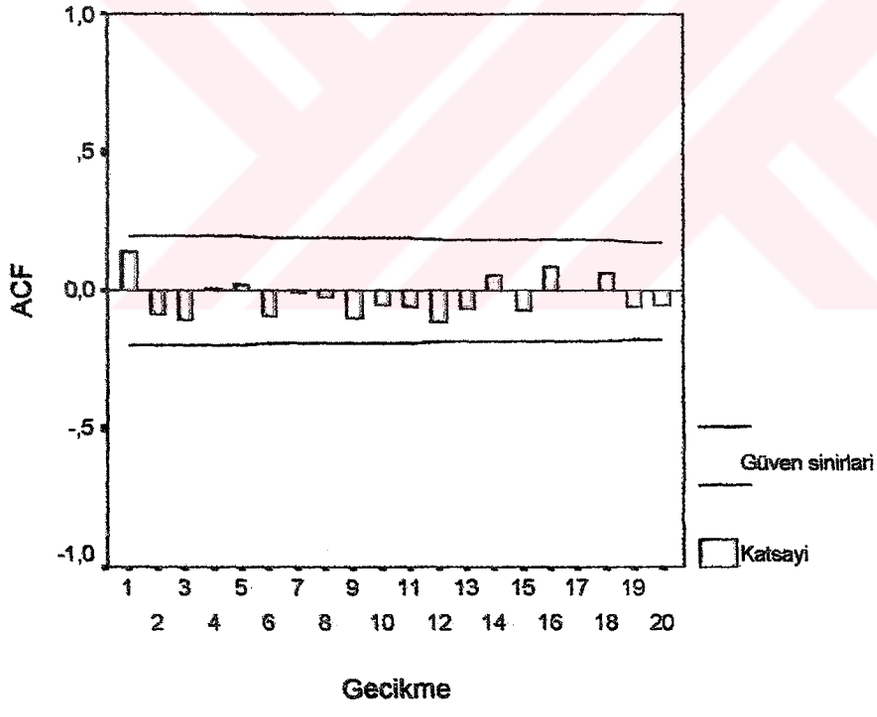
Şekil 4.3a. 1900-2000 Yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık ortalama magnütüdleri

Ayrıntılı olarak incelenen bu diziye ilişkin analiz sonuçları detaya girilmeden özetlenecektir. Buna göre inceleme konusu olan orijinal verinin, yukarıda verilen grafiği ile burada verilmeyecek ACF ve PACF değerleri dikkate alındığında durağan olmayan bir yapı belirlenmiştir. Bu durumu mümkün olduğunca azaltan bir dönüşüm olarak, birinci dereceden fark alınmıştır. Buna ilişkin tahmin edilen modelin sonuçları ise Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Birinci dereceden farkı alınmış yıllık ortalama deprem verisinin zaman dizisi modeli

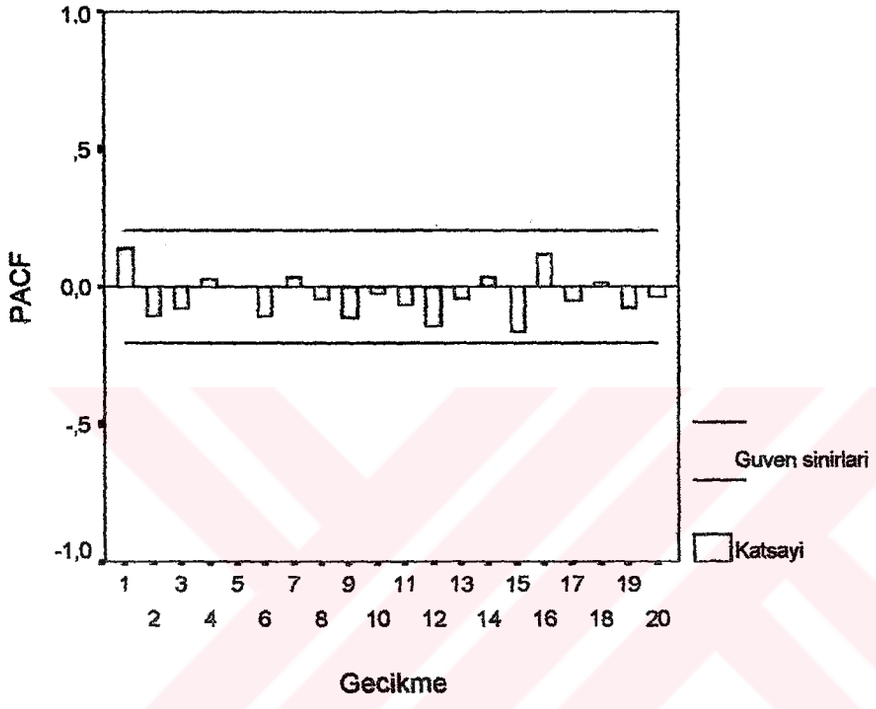
Model	Tahmin	Standart hata	T-değeri	P-değeri
MA(1)	0.83516	0.05816	14.36078	0.0000

Çizelge 4.8 göz önüne alındığında, modelin birinci dereceden hareketli ortalamalar [MA(1)] modeli olduğu anlaşılmaktadır. P-değeri dikkate alındığında modele ait parametre tahminin anlamlı olduğu söylenebilir. Ayrıca, artıklara ilişkin gecikme sayısı 20 olmak üzere hesaplanan Q istatistiğinin 10.3354 olan değerine göre modelin uygun bir model olduğu söylenebilir. Bundan başka uygunluğu belirlenen diğer modeller içerisinde bilgi ölçüt değeri, AIC=36.840032 ile en küçük olarak bulunan MA(1) modeli bu dizi için seçilmiş olur.

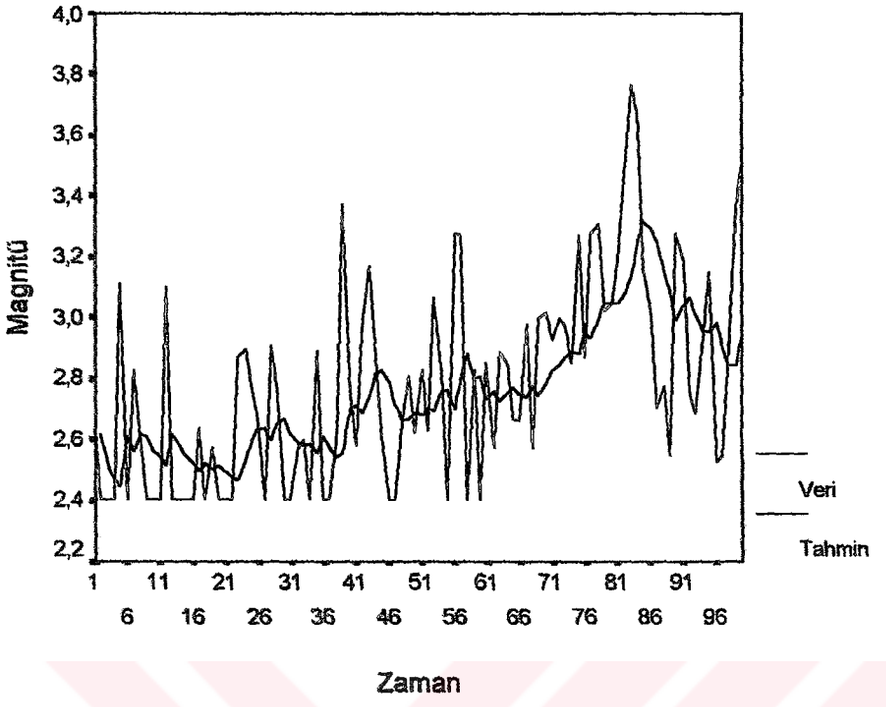


Şekil 4.3b. Yıllık ortalama verisinin modeline ilişlin artıkların ACF grafiği

Modelden elde edilen artıkların ACF ve PACF grafikleri sırasıyla Şekil 4.3b ve Şekil 4.3c'de verildiği gibidir. Şekil 4.3d'de ise modelden elde edilen diziye ait veriler ile orijinal verileri bir arada göstermektedir.



Şekil 4.3c. Yıllık ortalama verisinin modeline ilişkin artıkların PACF grafiği

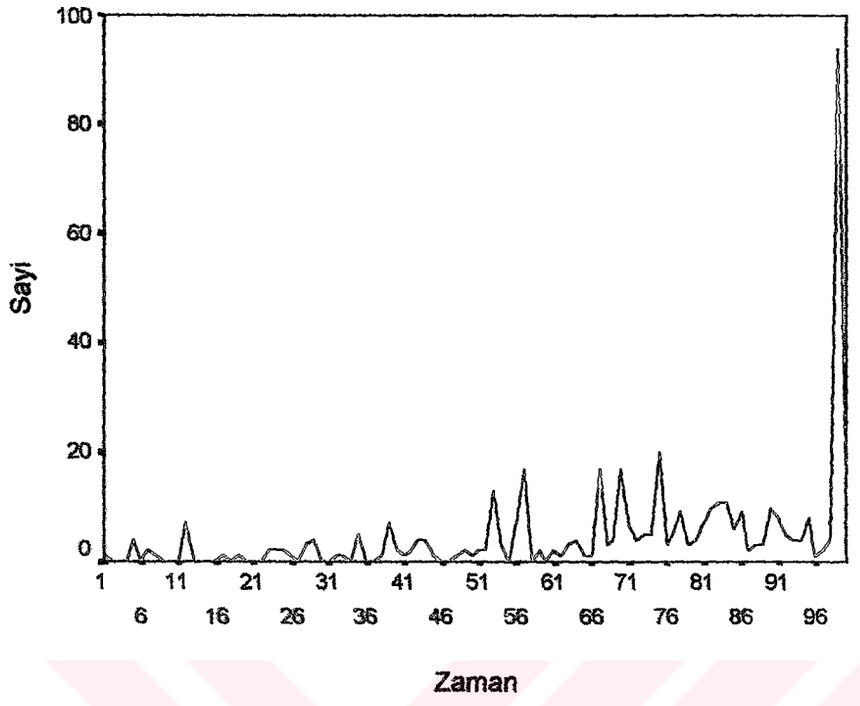


Şekil 4.3d. Yıllık ortalama verileri ve modelden tahmini

Burada tahmin edilen model kullanılarak, 2001 yılına ait meydana gelebilecek depremlerin, ortalama magnitüd değerleri için kestirimi 3.03429, bu kestirime ait alt sınır değeri 2.46155 ve üst sınırı 3.60702 olarak bulunmuştur.

4.3.2. Deprem sayılarının yıllık toplamları bakımından modellenmesi ve kestirimi

Söz konusu zaman dizilerinden deprem sayılarının yıllık toplamları bakımından dizisi analiz edilecektir. Yıllık toplam magnitüd değerlerine ilişkin dizinin grafiği Şekil 4.4a'da gösterilmektedir.



Şekil 4.4a. 1900-2000 Yılları arasında meydana gelen depremlerin yıllık toplam sayıları

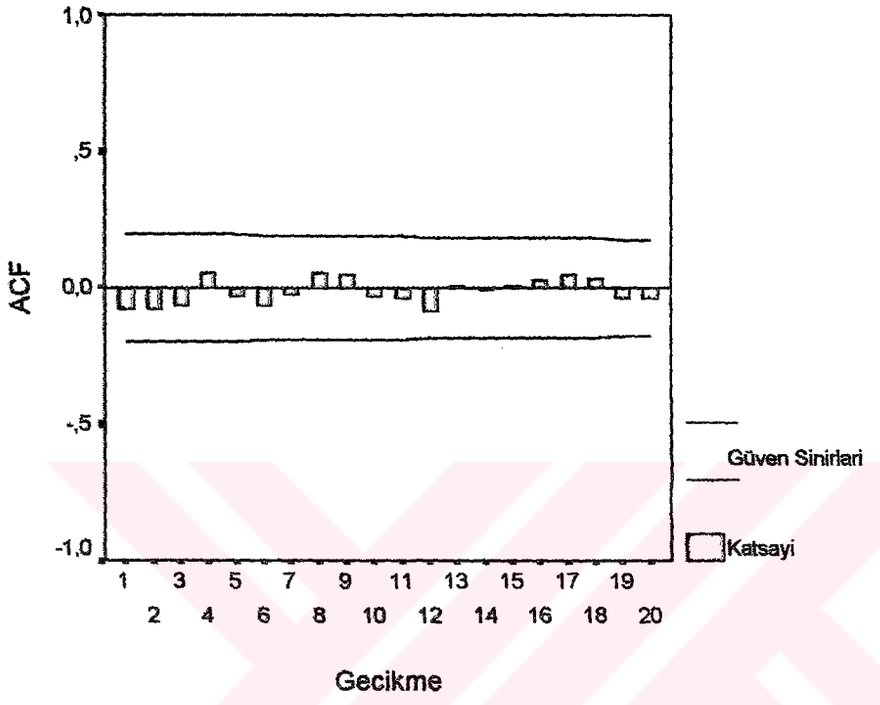
İnceleme konusu olan verinin yukarıda verilen grafiği, ACF ve PACF değerleri dikkate alındığında durağan olmayan bir yapı belirlenmiştir. Bu durumu mümkün olduğunca azaltan bir dönüşüm olarak, birinci dereceden fark alınmıştır. Buna ilişkin tahmin edilen modelin sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Birinci dereceden farkı alınmış yıllık toplam deprem verisinin zaman dizisi modeli

Model	Tahmin	Standart hata	T-değeri	P-değeri
AR(1)	-0.78696	0.10089	-7.800	0.0000
AR(2)	-0.50357	0.20653	-2.43826	0.01658

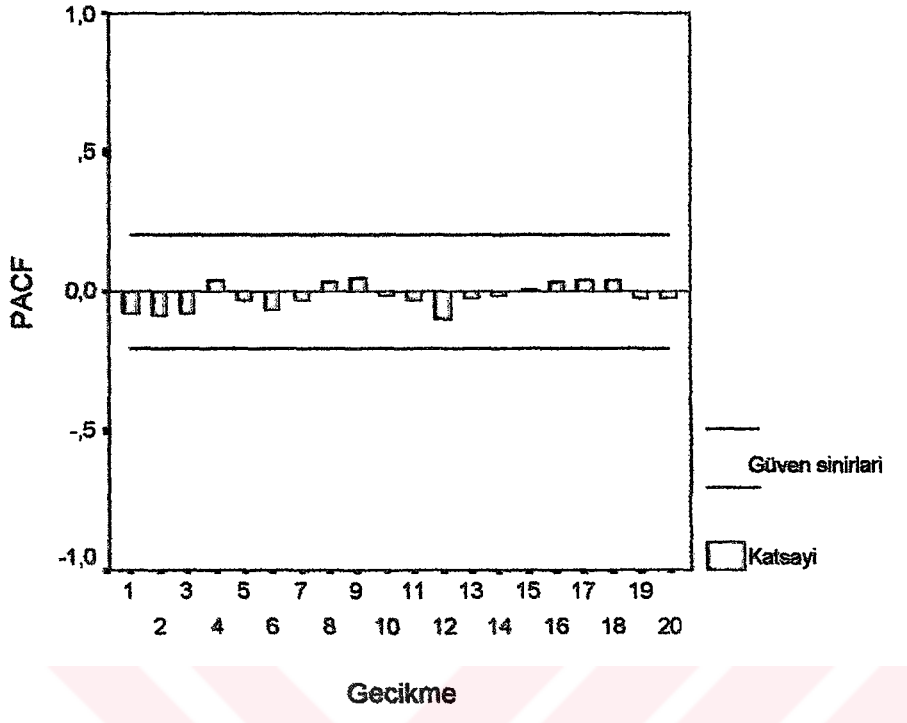
Çizelge 4.9 göz önüne alındığında, modelin ikinci dereceden otoregressif [AR(2)] modeli olduğu anlaşılmaktadır. P-değerleri dikkate alındığında modele ait parametre tahminlerinin anlamlı olduğu söylenebilir (2. parametre tahmini 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamsızdır.) Ayrıca, artıklara ilişkin gecikme sayısı 20 olmak üzere hesaplanan Q istatistiğinin 4.51262 olan değerine göre model uygun bir

model olduğu bulunmuştur. Uygun modeller içerisinden bilgi ölçütü değeri AIC=744.51933 ile en küçük olan AR(2) modeli seçilen model olarak kabul edilir.

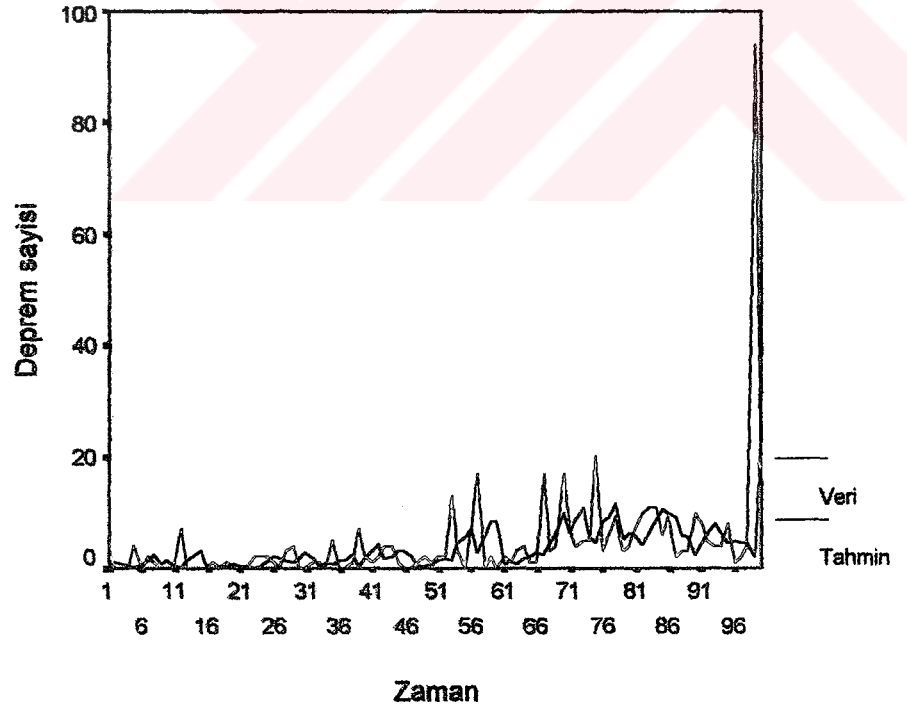


Şekil 4.4b. Yıllık toplam sayıların modeline ilişkin artıkların ACF grafiği

Modelden elde edilen artıkların ACF ve PACF grafikleri sırasıyla Şekil 4.4b ve Şekil 4.4c'de verildiği gibidir. Bu grafikler ile Şekil 4.4d'de verilen modelden elde edilen diziye ait veriler ile orijinal verileri gösteren bu grafik elde edilen sonuçları desteklemektedir.



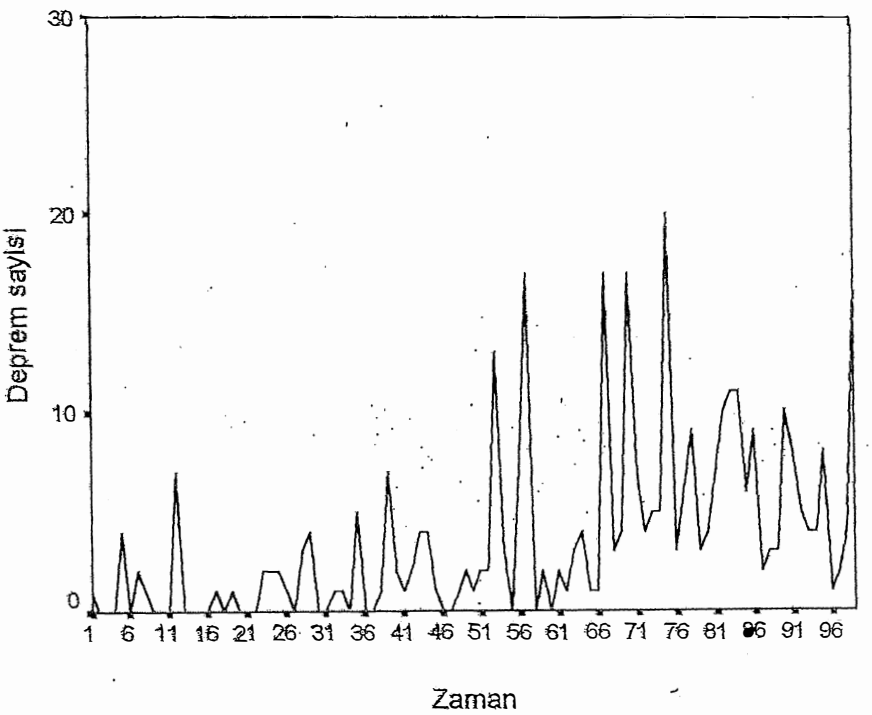
Şekil 4.4 c.Yıllık toplam sayıların modeline ilişkin artıkların PACF grafiği



Şekil 4.4d. Yıllık toplam deprem sayıları ve modelden tahmini

Burada tahmin edilen model kullanılarak, 2001 yılına ait meydana gelebilecek depremlerin, ortalama magnitüd değerleri için kestirimi 32, bu kestirime ait alt sınır değeri 12 ve üst sınırı 52 olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki modelden elde edilen tahmin değerleri ile yıllık toplam deprem sayıları grafiği incelendiğinde 99 uncu gözlemin aykırı değer olabileceği düşünülmüştür. Bu durum dikkate alınarak 99 uncu gözlem çıkarıldıktan sonra modelleme işlemi tekrarlanacaktır. Buna göre aykırı değer olarak belirtilen gözlem çıkarıldıktan sonraki dizi Şekil 4.4e'de verilmiştir.



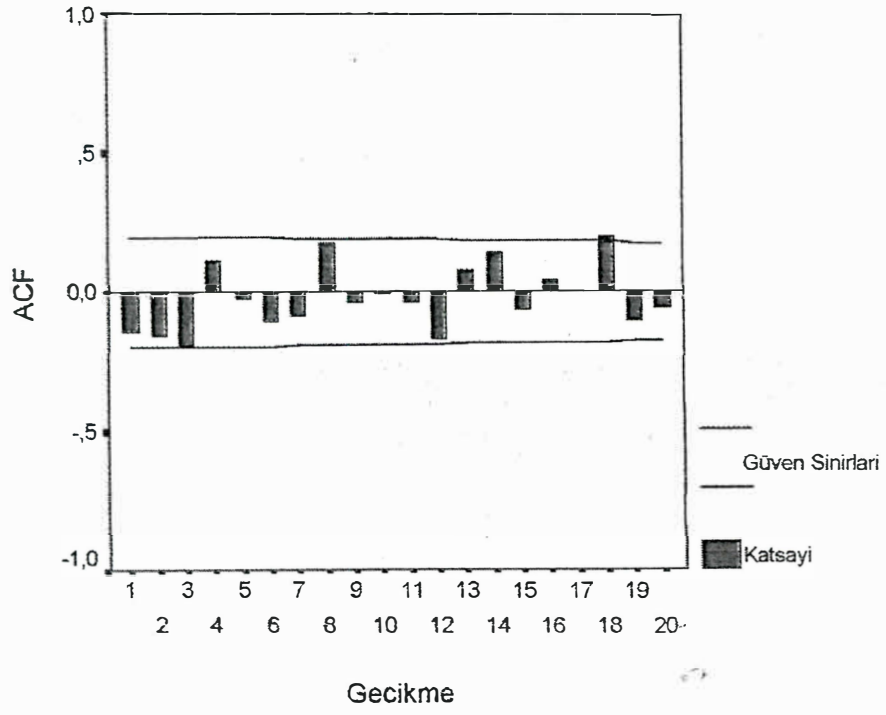
Şekil 4.4e. 1900-2000 Yılları arasında meydana gelen depremlerin aykırı değeri çıkarıldıktan sonra oluşturulan yıllık toplam sayıları grafiği

İnceleme konusu olan verinin yukarıda verilen grafiği, ACF ve PACF değerleri dikkate alındığında durağan bir yapı belirlenmiştir. Buna ilişkin tahmin edilen modelin sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Toplam yıl verisinde aykırı değer alınmışken oluşan zaman dizisi modeli

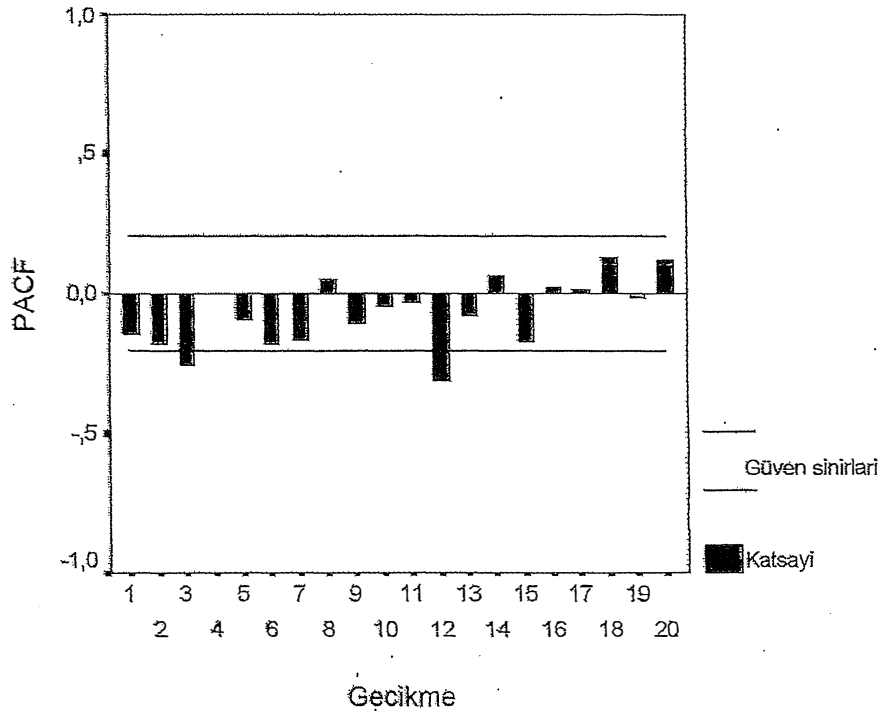
Model	Tahmin	Standart hata	T-değeri	P-değeri
AR(1)	-0.60791	0.09522	-6.38391	0.0000
AR(2)	-0.45009	0.09530	-4.72286	0.00001

Çizelge 4.10 göz önüne alındığında, modelin ikinci dereceden otoregressif [AR(2)] modeli olduğu anlaşılmaktadır. P-değerleri dikkate alındığında modele ait parametre tahminlerinin anlamlı olduğu söylenebilir (2. parametre tahmini 0.01 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamsızdır.) Ayrıca, artıklara ilişkin gecikme sayısı 20 olmak üzere hesaplanan Q istatistiğinin 25.4367 olan değerine göre model uygun bir model olduğu ve diğer uygun modeller içerisinde en küçük bilgi ölçütü AIC=568.13343 değerine sahip olduğu söylenebilir.

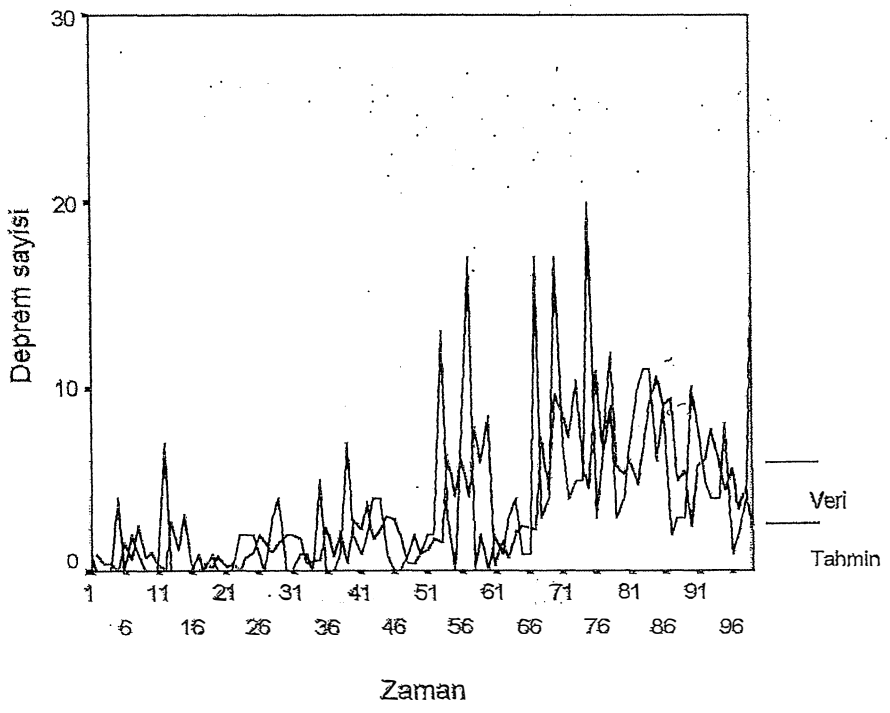


Şekil 4.4f. Aykırı değeri alınan yıllık toplam deprem sayılarının model artıklarına ilişkin ACF grafiği

Modelden elde edilen artıkların ACF ve PACF grafikleri sırasıyla Şekil 4.4f ve Şekil 4.4g'de verildiği gibidir. Şekil 4.4h'da modelden elde edilen dizi ile orijinal verilere ait grafiği göstermektedir.



Şekil 4.4g. Aykırı değeri alınan yıllık toplam deprem sayılarının model artıklarına ilişkin PACF grafiği



Şekil 4.4h. Aykırı değeri çıkartılmış yıllık toplam deprem sayıları ve modelden tahmini

Burada tahmin edilen model kullanılarak, 2001 yılına ait meydana gelebilecek depremlerin, ortalama magnitüd değerleri için kestirimi 8, bu kestirime ait alt sınır değeri 0 ve üst sınır değeri 16 olarak bulunmuştur.

4.4. Deprem Sayılarının Eğri Tahmin Modelleri

Burada 4.2, 4.7, 5.2, 5.7, 6.2, 6.7, 7.2 magnitüd (bağımsız değişken, X) değerlerine karşılık gelecek şekilde 4.2 alt başlığında verilen meydana gelen depremlerin derinlik, oluş zamanı (gece-gündüz), meydana geldiği mevsim, onar yıllık dönemler, meydana geldiği aylardaki deprem sayıları ile toplam deprem sayılarına (bağımlı değişken, Y) göre eğri tahmin modelleri elde edilmeye çalışılmıştır.

4.4.1. Derinliklere göre eğri tahmin modelleri

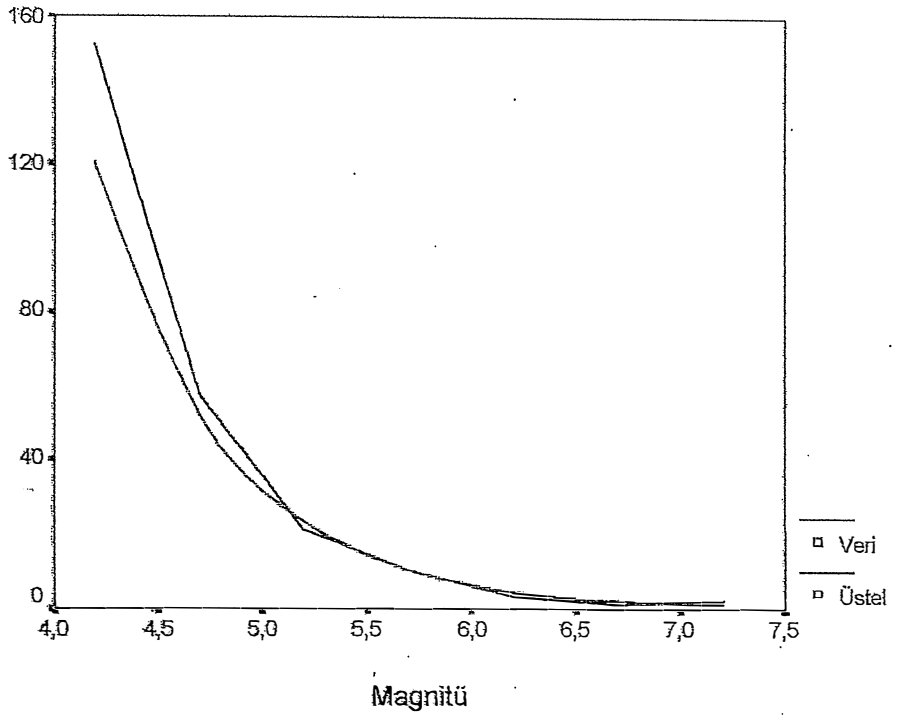
Yukarıda belirtilen magnitüdlere karşılık meydana gelen depremlerin çeşitli derinlikler bakımından tahmin edilen eğri modelleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Derinlik verileri için uygun eğri tahmin modelleri

Derinlik (km)	Model	$R^2_{değeri}$	$F_{değeri}$	Anlamlılığı
0-10	Üstel $Y=b_0e^{b_1x}+e$ $Y=11.71e^{1.647x}+e$	0.9315	68.00364	$P_{değeri}=0.00043$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı
11-20	Kübik $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+e$ $Y=270.81-61.99x+0.48x^3+e$	0,96645	57,61857	$P_{değeri}=0,0011$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı
21-30	Ters $Y=b_0+b_1/x+e$	0,74352	14,49476	$P_{değeri}=0,0125$ $\alpha=0,01$ için anlamsız ama

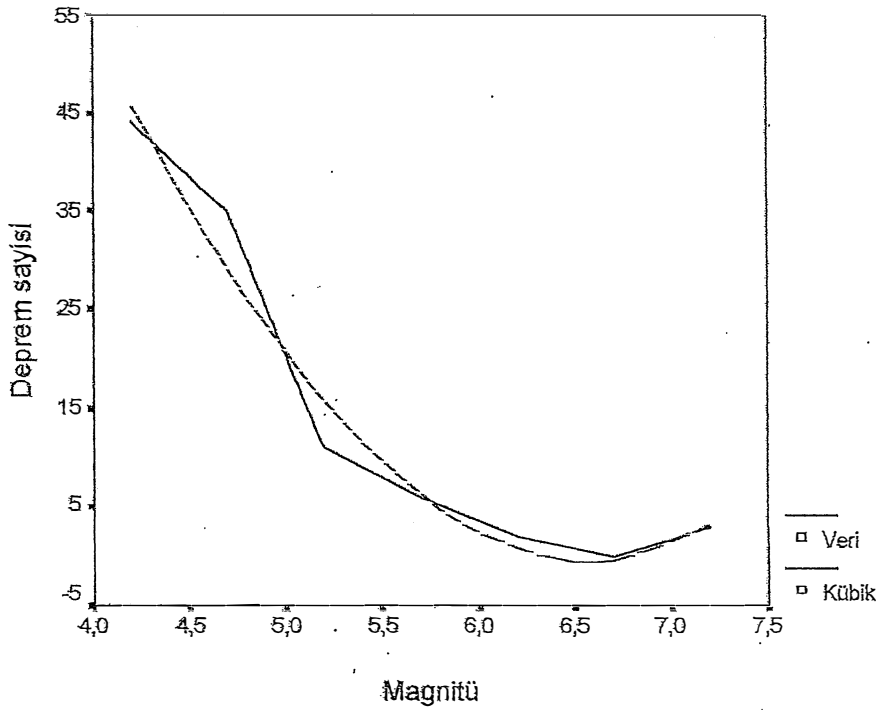
	Y=-30.05+202.18/x+e			α=0,05 için anlamlı model
31-40	Üstel $Y=b_0e^{b_1x}+e$ $Y=142.66e^{-0.705x}+e$	0,49894	4,97892	$P_{değeri}$=0,0760 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız
41-50	Ters $Y=b_0+b_1/x+e$ Y=-1.826+11.657/x+e	0,72270	13,03089	$P_{değeri}$=0,0154 α=0,01 için model anlamsız ama α=0,05 için anlamlı model
51-	Doğrusal $Y=b_0+b_1x+e$ Y=13.99-1.928x+e	0,24107	1,58824	$P_{değeri}$=0,2632 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız

Çizelge 4.11 incelendiğinde 0-10 km derinlikte oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli üstel olup, belirleme katsayısı 0.93, buradan r=0.97, hesaplanan F değeri 68.00'e karşılık gelen P değeri 0.00043 olduğu dikkate alınırsa bu durumda model, 0.01 anlamlılık düzeyine göre 0-10 km derinlikte meydana gelen deprem sayıları ile 4.2, 4.7, 5.2, 5.7, 6.2, 6.7, 7.2 magnitüdleri arasında tahmin edilen model istatistiksel olarak uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.5a'da verilmiştir. Bu görüntü modelin uygunluğunu desteklemektedir.



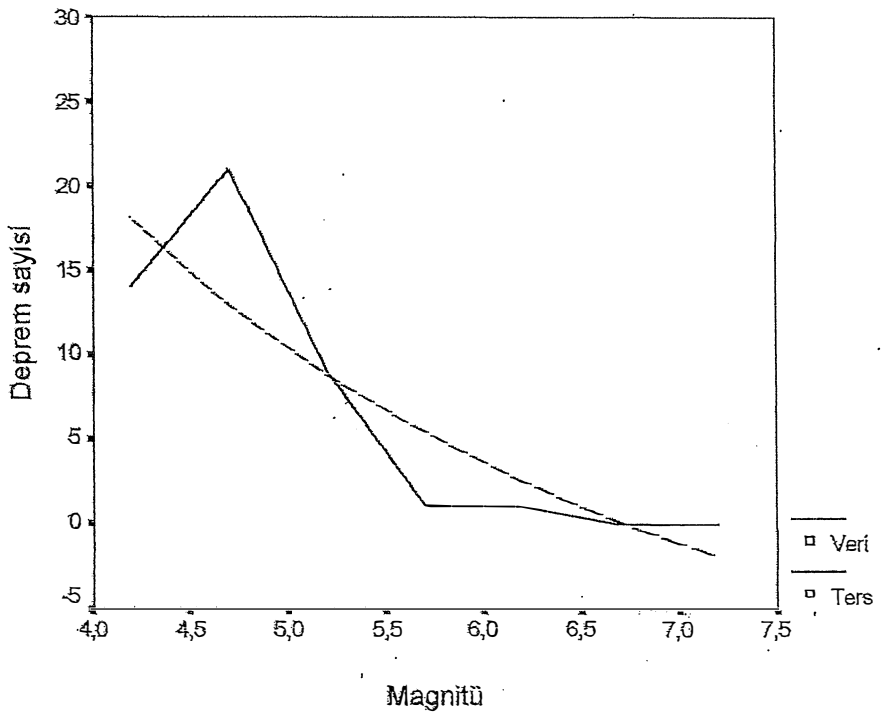
Şekil 4.5a. 0-10 km derinliği bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

11-20 km de oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli kübik model olup, hesaplanan F değeri 57.6185 e karşılık gelen P değeri 0.0011 olup bu modelin 0.01 anlamlılık düzeyine göre uygun bir model olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca r değeri ise 0.98 dir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.5b'de verilmiştir. Bu ise modelin uygunluğunu desteklemektedir.



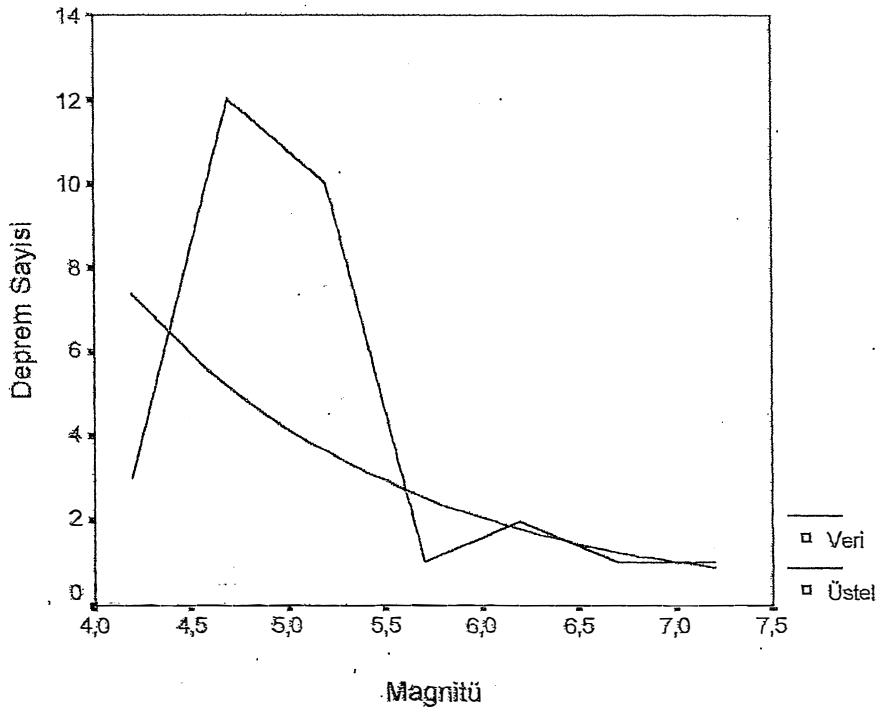
Şekil 4.5b. 11-20 km derinliği bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

21-30 km de oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli ters model olup, r değeri 0.86 ve hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0125 olup bu modeli 0.01 anlamlılık düzeyine göre anlamsız ama 0.05 anlamlılık düzeyi için anlamlı bir model olduğu tespit edilmiştir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.5c'de verilmiştir. Bu grafik dikkatle incelendiğinde 0.01'e göre anlamlı olan modellere göre daha farklıdır.



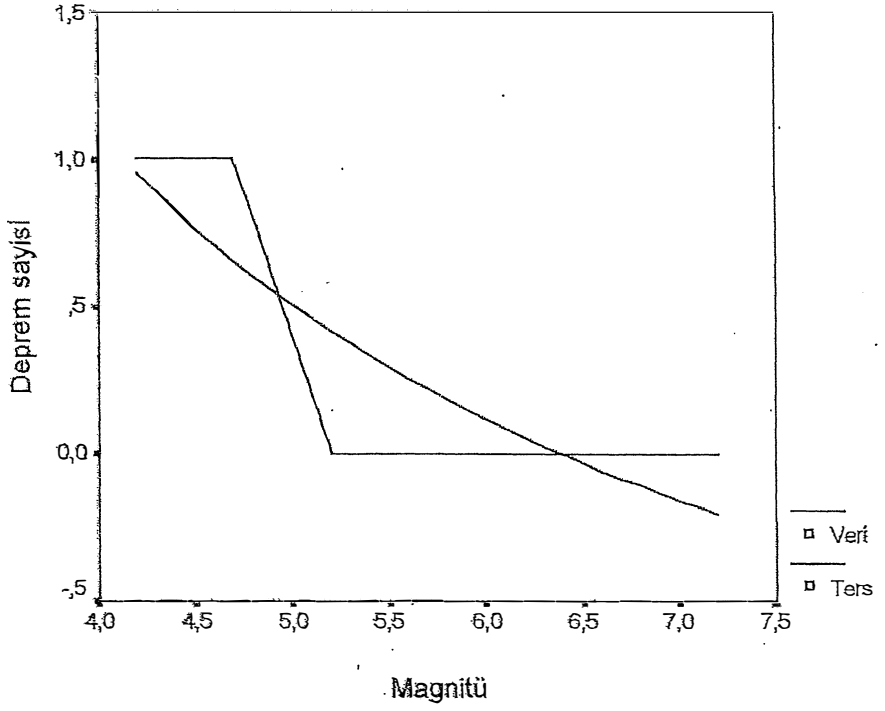
Şekil 4.5c. 21-30 km derinliği bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

31-40 km de oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli üstel bir model olup, r değeri 0.71 ve hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0760 olup bu modeli 0.01 anlamlılık düzeyine göre modelin uygun bir model olmadığı tespit edilmiştir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.5d'de verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi belirlenen model anlamsız bir modeldir.



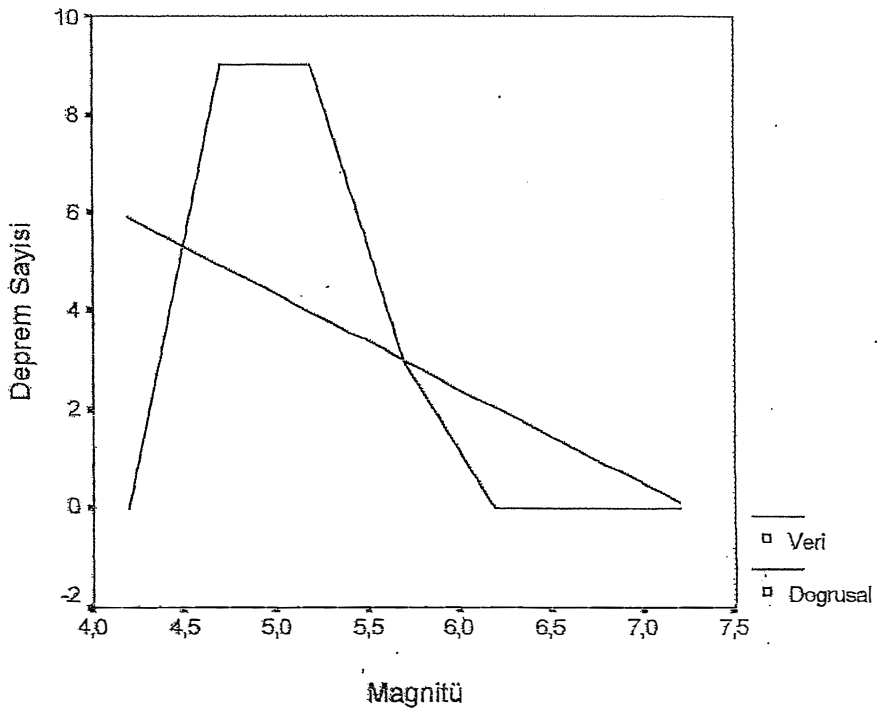
Şekil 4.5d. 31-40 km derinliği bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

41-50 km derinlikte oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli ters bir model olup, r değeri 0.85 ve hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0154 olup, model 0.01 anlamlılık düzeyi için anlamsız ama 0.05 için anlamlı bir model olarak tespit edilmiştir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.5e'de verilmiştir. Bu grafik dikkatle incelendiğinde 0.01'e göre anlamlı olan modellere göre daha farklıdır.



Şekil 4.5e. 41-50 km derinliği bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

51 ve daha fazla derinlikte oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli doğrusal model olup, r değeri 0.49 ve hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.2632 olup, model 0.01 ve 0.05 anlamlılık düzleri için anlamsız bir model olarak tespit edilmiştir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.5f'de verilmiştir. Grafikten de bu sonucu açıkça görmekteyiz.



Şekil 4.5f. 51- km derinliği bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

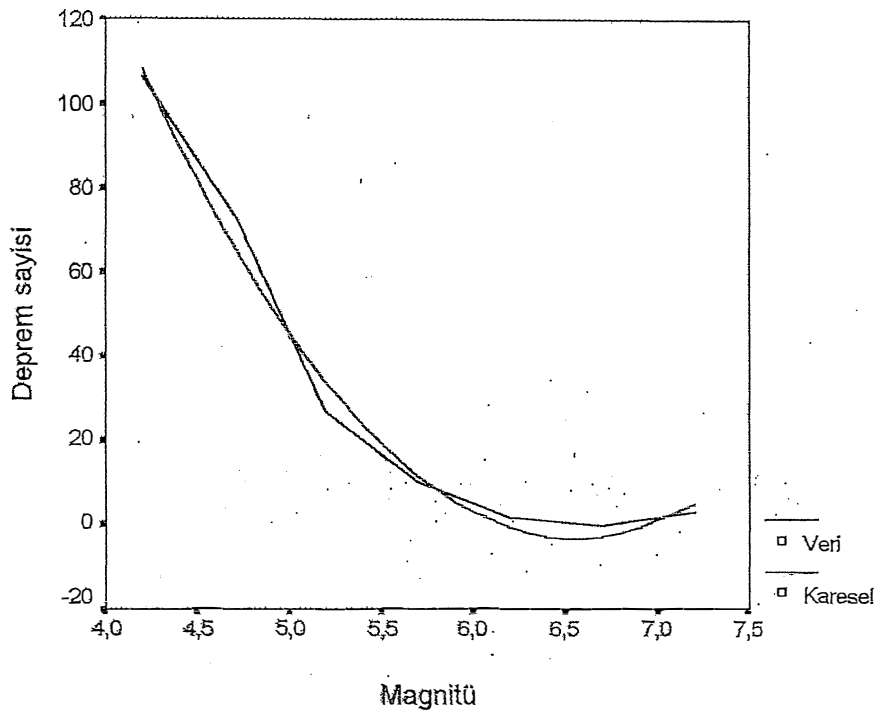
4.4.2. Gece-gündüze göre eğri tahmin modelleri

Yukarıda belirtilen magnitüdlere karşılık meydana gelen depremlerin gece ve gündüz bakımından tahmin edilen eğri modelleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Gece-Gündüz verileri için uygun eğri tahmin modelleri

Zaman	Model	R^2 –değeri	F-değeri	Anlamlılığı
Gece	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=853.8-261.2x+19.9x^2+e$	0,98839	170,25639	$P_{değeri}=0,0001$ $\alpha=0,01, \alpha=0,05$ model anlamlı
Gündüz	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=812.01-247x+18.7x^2+e$	0,99393	327,52412	$P_{değeri}=0,000$ $\alpha=0,01, \alpha=0,05$ model anlamlı

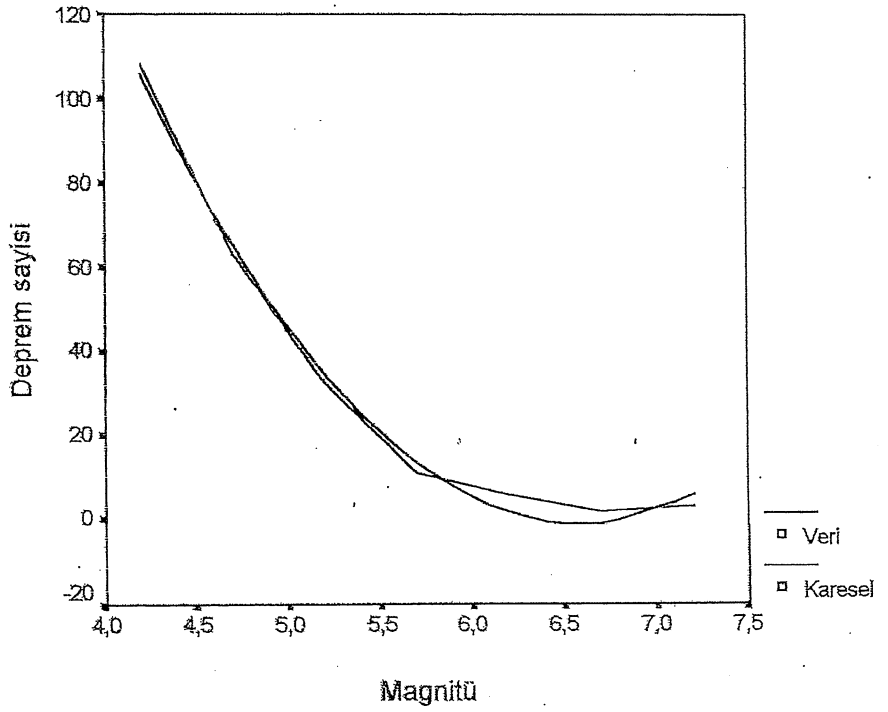
Çizelge 4.12 incelendiğinde gece meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0001 olup model 0.01 anlamlılık düzeyine göre gece meydana gelen deprem sayıları ile magnitütleri arasında tahmin edilen model istatistiksel olarak uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik Şekil 4.6a'da gösterilmiştir. Bu şekil modelin uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.6a. Gece bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Gündüz meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.000 olup model 0.01 anlamlılık düzeyine göre gündüz meydana gelen deprem sayıları ile magnitütleri arasında tahmin edilen model istatistiksel olarak uygun bir

modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.6b'da gösterilmiştir. Bu şekil modelin uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.6b. Gündüz bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

4.4.3. Mevsimlere göre eğri tahmin modelleri

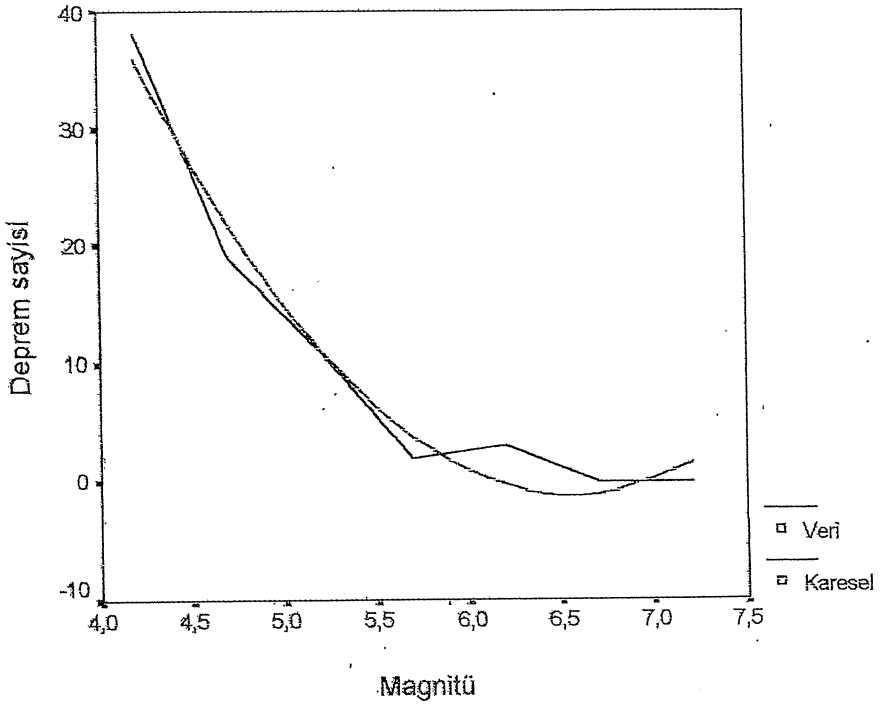
Yukarıda belirtilen magnitüdlere karşılık meydana gelen depremlerin mevsimlere göre eğri modelleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13.Mevsim verileri için uygun eğri tahmin modelleri

Mevsim	Model	R^2 -değeri	F-değeri	Anlamlılığı
Kış	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=285.5-87.42x+6.66x^2+e$	0,97445	76,26582	$P_{değeri}=0,0007$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı

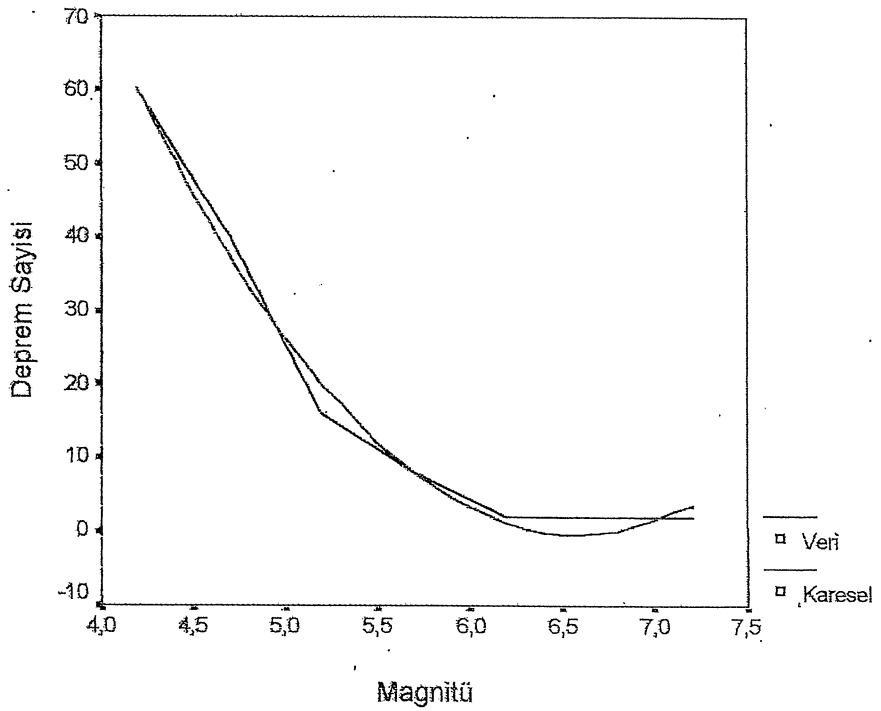
Sonbahar	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=462.4-143.8x+11.14x^2+e$	0,98703	152,15638	$P_{değeri}=0,0002$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı
Yaz	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=462-140x+10.66x^2+e$	0,98998	197,60976	$P_{değeri}=0,001$ $\alpha=0,01$ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı
İlkbahar	Kübik $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+e$ $Y=352.7-79.71x+0.59x^3+e$	0,98027	99,36490	$P_{değeri}=0,0004$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı

Kış mevsiminde meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.98, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0007 olup model 0.01 anlamlılık düzeyine göre kışın meydana gelen deprem sayıları ile magnitüdleri arasında tahmin edilen model istatistiksel olarak uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.7a'da gösterilmiştir. Bu şekil modelin uygunluğunu desteklemektedir.



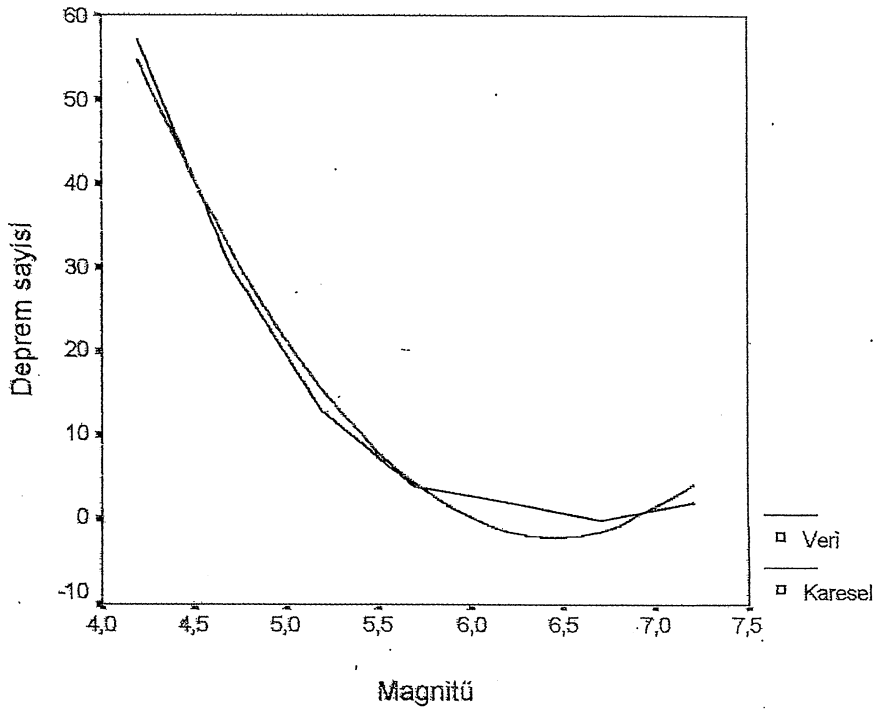
Şekil 4.7a. Kış mevsimi bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Sonbahar mevsiminde meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli de karesel bir model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0002 olup model 0.01 anlamlılık düzeyine göre uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.7b'de gösterilmiştir. Bu şekil modelin uygunluğunu desteklemektedir.



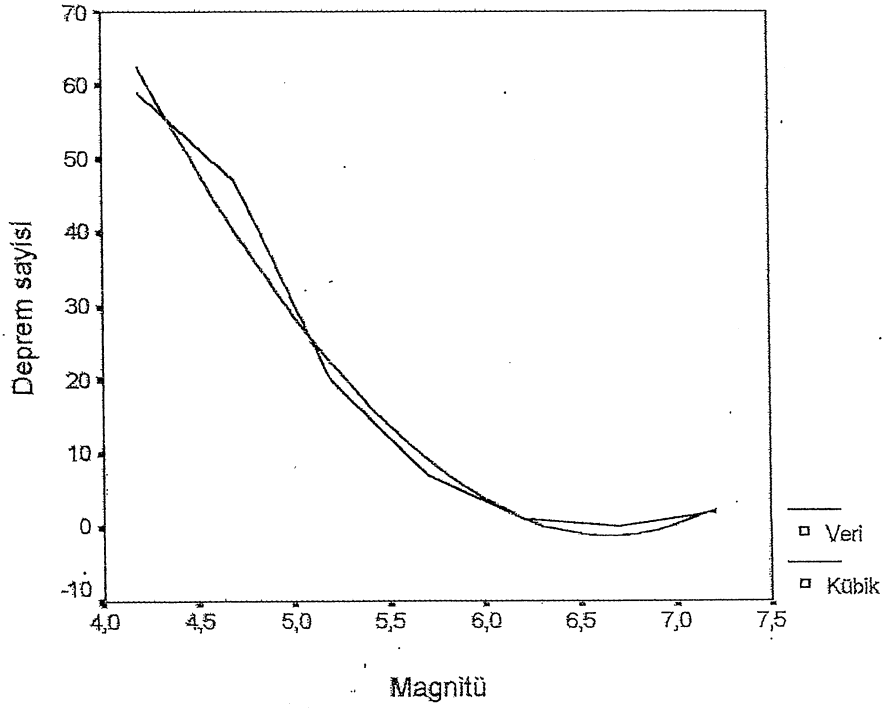
Şekil 4.7b. Sonbahar mevsimi bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Yaz mevsiminde meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli de karesel bir model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.001 olup model 0.01 anlamlılık düzeyine göre uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.7c'de gösterilmiştir. Bu şekil modelin uygunluğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 4.7c. Yaz mevsimi bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

İlkbahar mevsiminde meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli kübik bir model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0004 olup model 0.01 anlamlılık düzeyine göre uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.7d'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi model uygun bir modeldir.



Şekil 4.7d. İlkbahar mevsimi bakımından magnitudlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

4.4.4. Onar yıllık dönemlere göre eğri tahmin modelleri

Yukarıda belirtilen magnitüdlere karşılık meydana gelen depremlerin onar yıllık dönemlere göre eğri modelleri Çizelge 4.14'de verilmiştir.

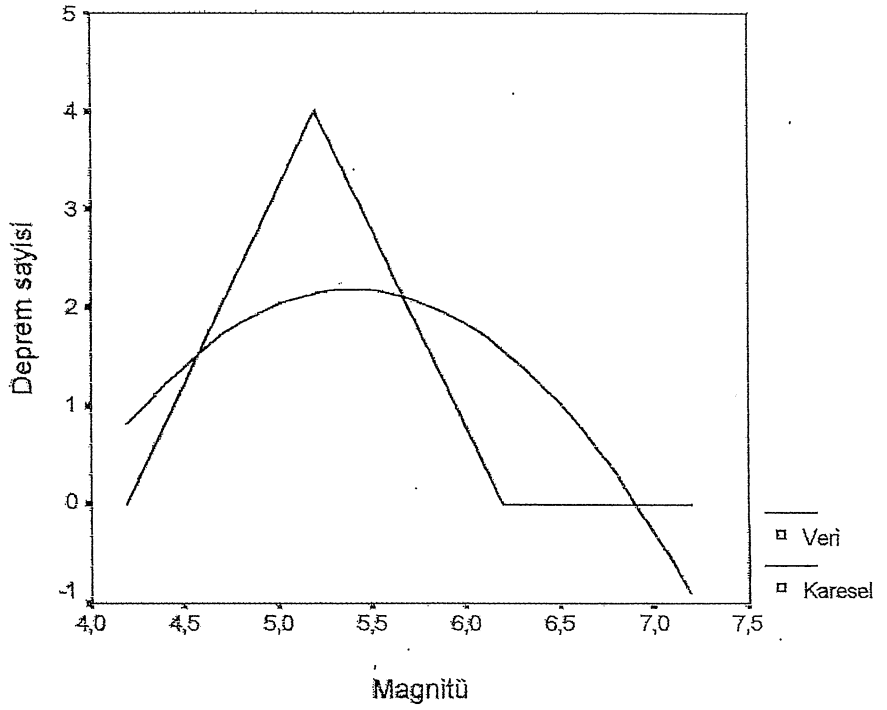
Çizelge 4.14. Onar yıllık veriler için uygun eğri tahmin modelleri

Yıl	Model	R^2değeri	F-değeri	Anlamlılığı
1.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=-26+10.28x-0.95x^2+e$	0.47436	1.80488	$P_{değeri}=0,2763$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamsız
2.On yıl	Doğrusal $Y=b_0+b_1x+e$	0.11343	0.63969	$P_{değeri}=0,4601$ $\alpha=0,01$ ve

	Y=4.13-0.5x+e			α=0,05 için model anlamsız
3.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=-30.4+13x-1.24x^2+e$	0.45238	1.65217	$P_{değeri}$=0,2999 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız
4.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=-40.1+16x-1.523x^2+e$	0.52067	2.17251	$P_{değeri}$=0,2298 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız
5.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=-42.8+17.4x-1.62x^2+e$	0.55051	2.44944	$P_{değeri}$=0,2020 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız
6.On yıl	Doğrusal $Y=b_0+b_1x+e$ $Y=31.9-4.428x+e$	0.21075	1.33509	$P_{değeri}$=0,3001 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız
7.On yıl	Doğrusal $Y=b_0+b_1x+e$ $Y=23.87-3.29x+e$	0.18947	1.16880	$P_{değeri}$=0,3290 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamsız
8.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=499-161x+12.809x^2+e$	0.83295	9.97260	$P_{değeri}$=0,0279 α=0,01 için model anlamsız ama α=0,05 için anlamlı model
9.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=389-124.4x+9.85x^2+e$	0.93091	26.94591	$P_{değeri}$=0,0048 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamlıdır

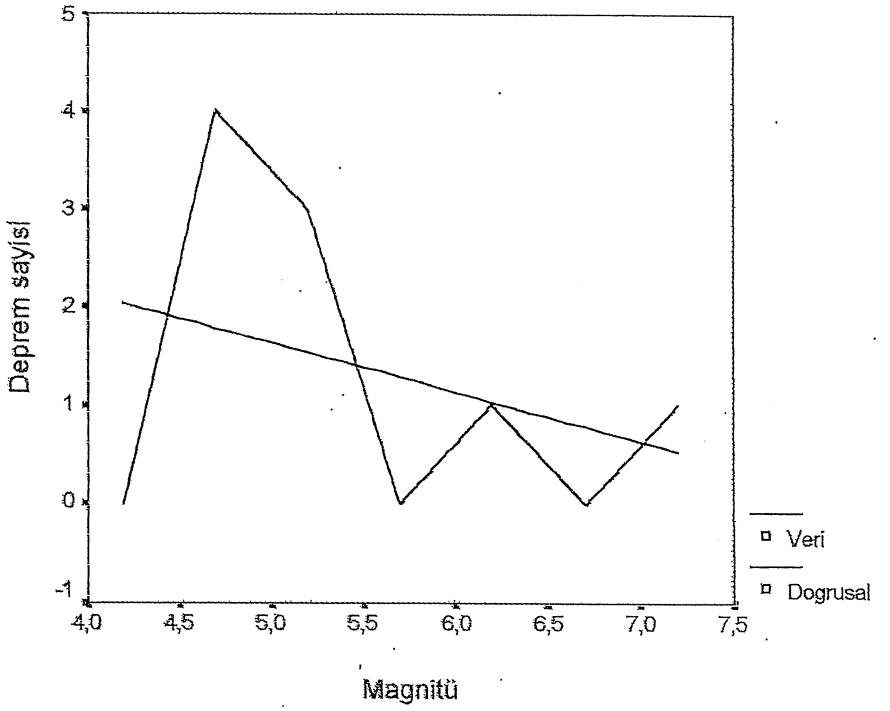
10.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=869- $280.1x+22.3x^2+e$	0.92616	25.08571	$P_{değeri}=0,0055$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlıdır
11.On yıl	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=113- $36.8x+2.95x^2+e$	0.83611	10.20296	$P_{değeri}=0,0269$ $\alpha=0,01$ için model anlamsız ama $\alpha=0,05$ için anlamlı model

Çizelge 4.14 incelendiğinde 1.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.69, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.2763 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde model anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8a'da verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunu göstermektedir.



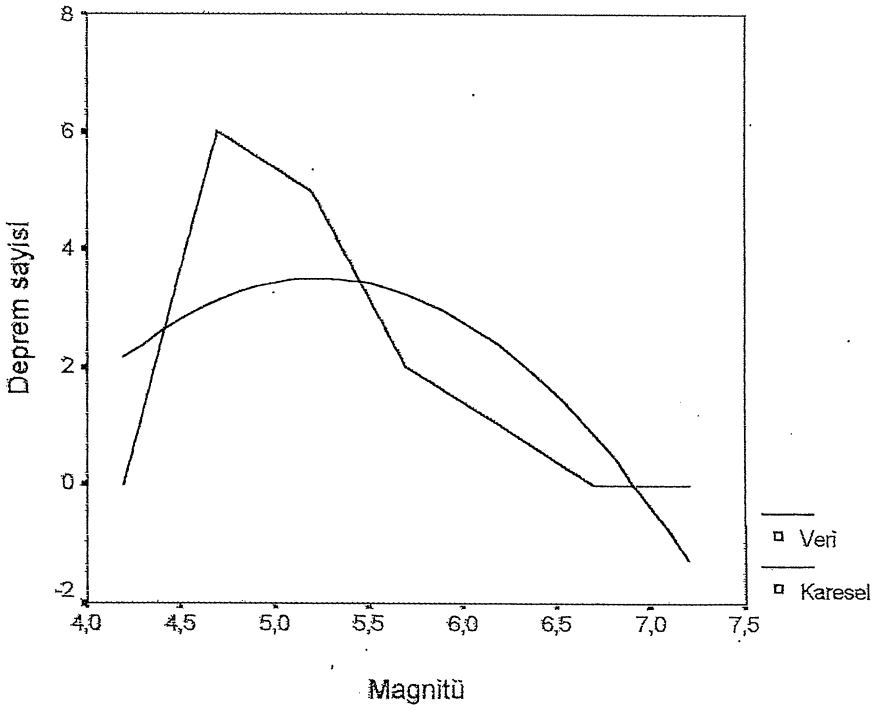
Şekil 4.8a. 1. On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

2.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli doğrusal bir model olup, belirleme katsayısı 0.34, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.4601 iken, 0.01 anlamlılık düzeyinde model anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8b'de verilmiştir. Bu şekil modelin uygun olmadığı ifade edtmektedir.



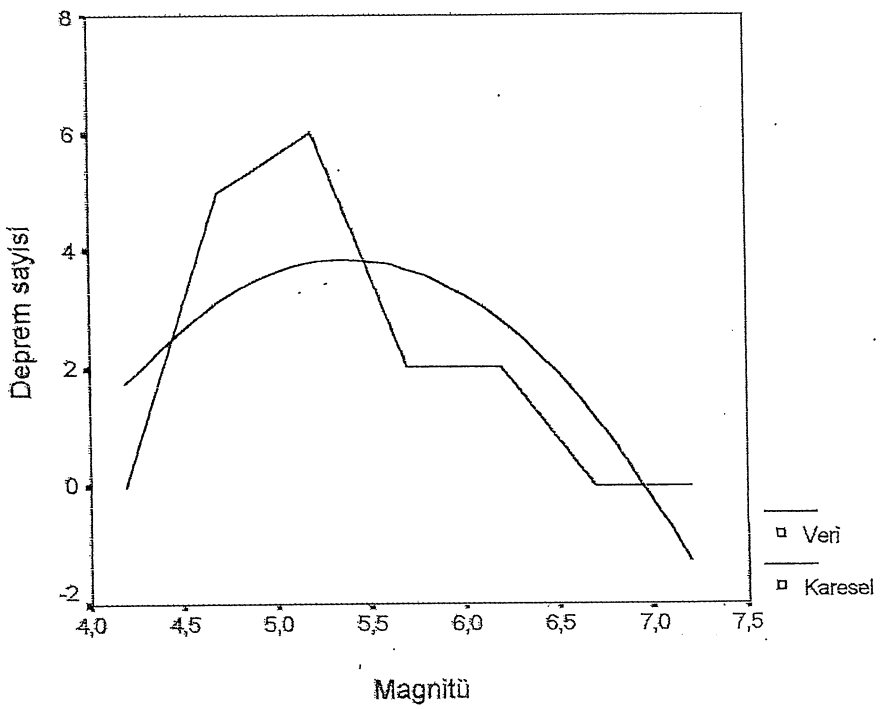
Şekil 4.8b. 2.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

3.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel modeldir. Belirleme katsayısı 0.67, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.2999 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8c'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunu desteklemektedir.



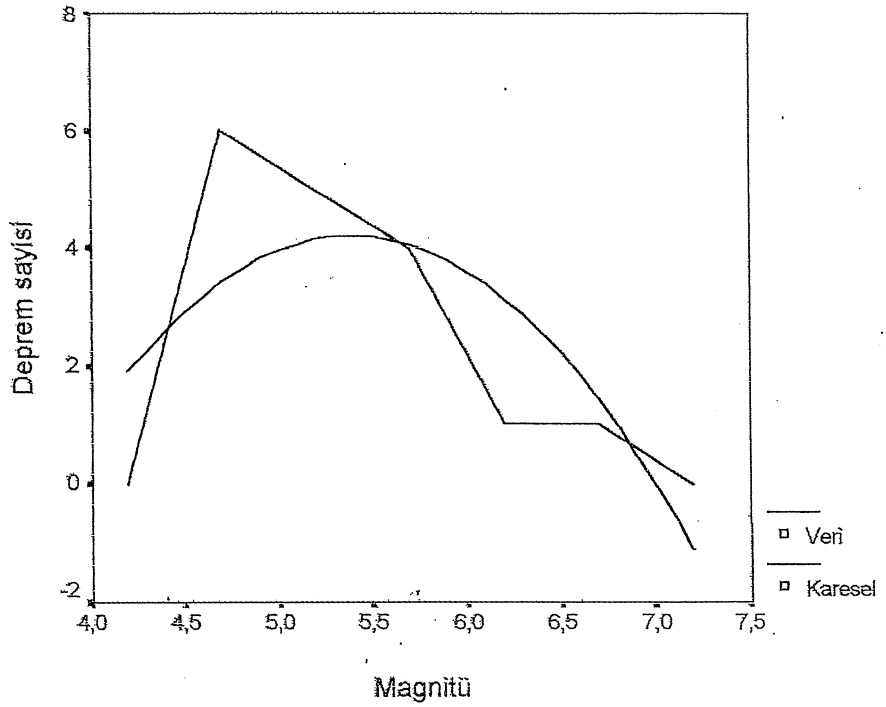
Şekil 4.8c.3. On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

4.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.72, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.2298 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8d'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunu göstermektedir.



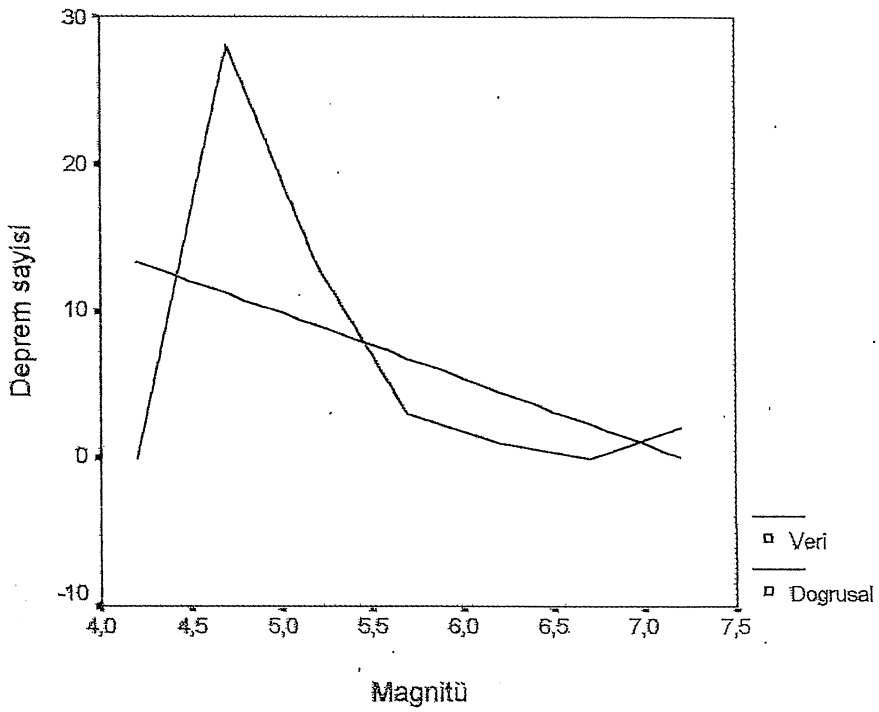
Şekil 4.8d. 4.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

5.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.74, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.2020 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bir model bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8e'de verilmiştir. Bu şekil modelin anlamsızlığını desteklemektedir.



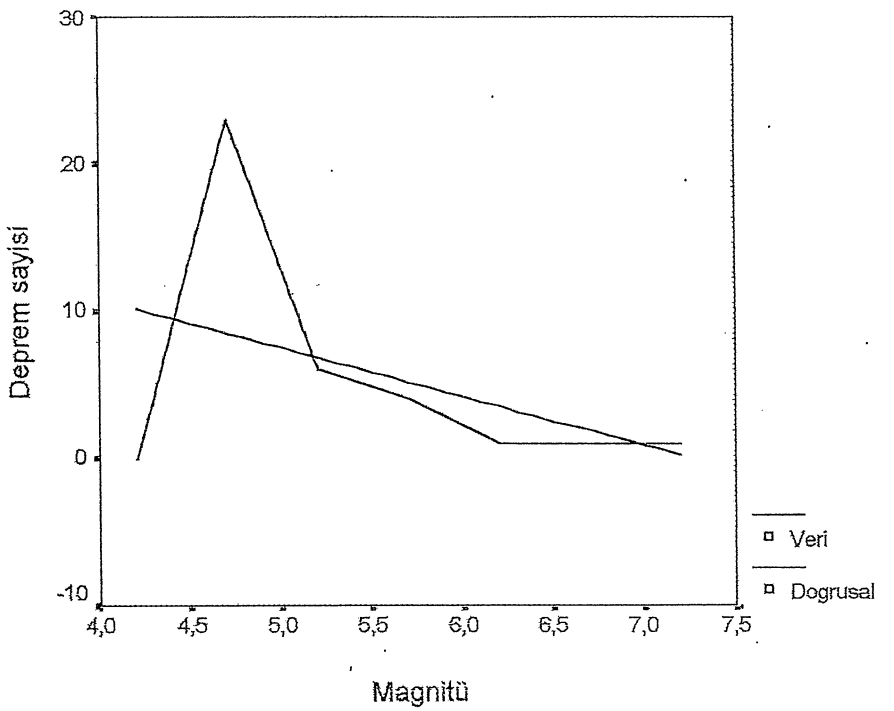
Şekil 4.8e. 5.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

6.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli doğrusal model olup, belirleme katsayısı 0.46, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.3001 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8f'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunu desteklemektedir.



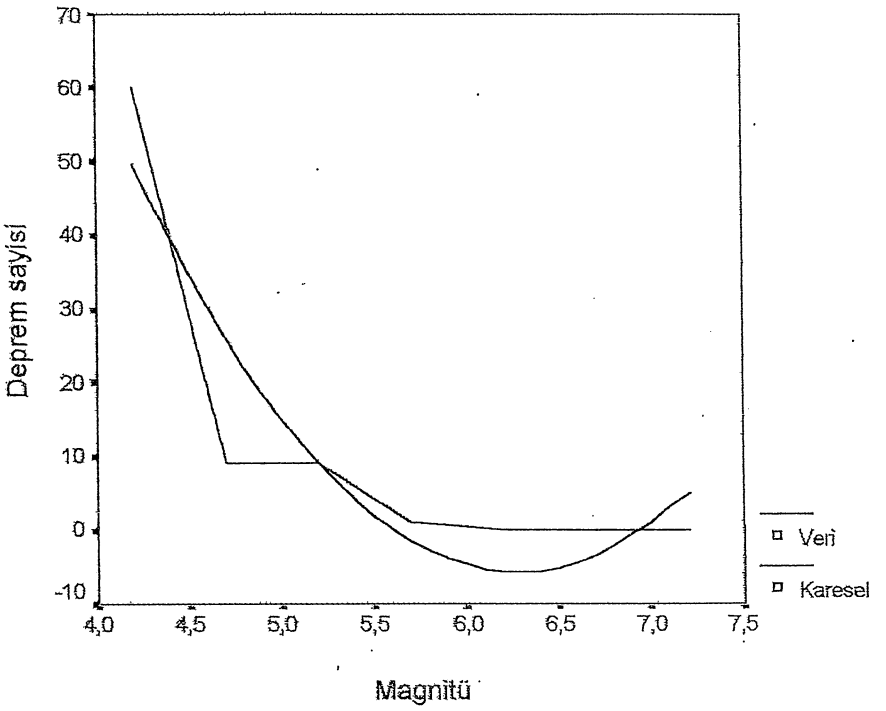
Şekil 4.8f. 6.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

7.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli doğrusal bir model olup, belirleme katsayısı 0.44, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.3290 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8g'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunu ifade etmektedir.



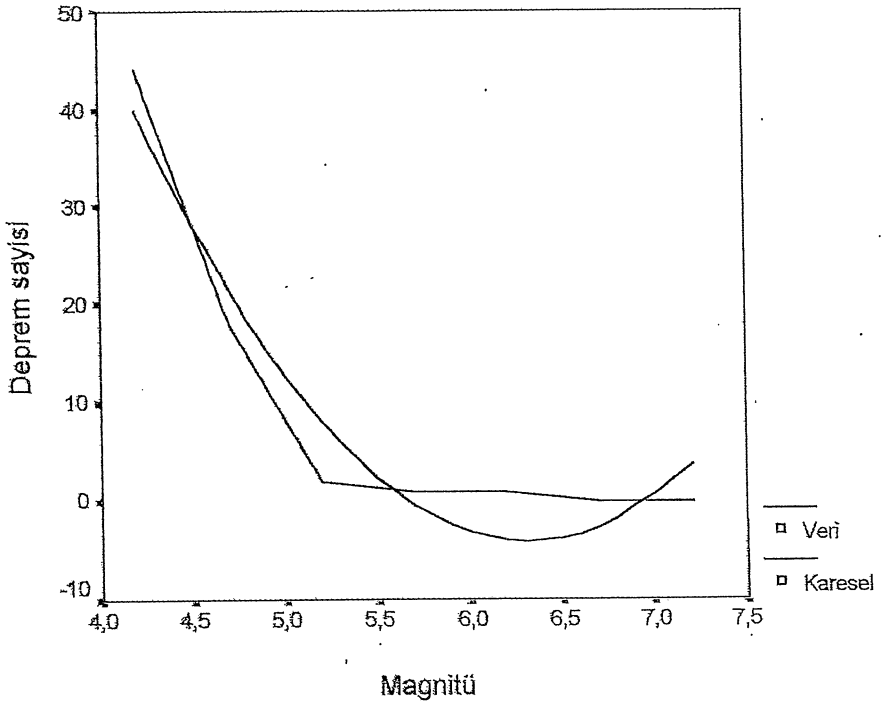
Şekil 4.8g. 7.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

8.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.91, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0279 iken model 0.05 anlamlılık düzeyinde anlamlı, ama 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8h'da verilmiştir.



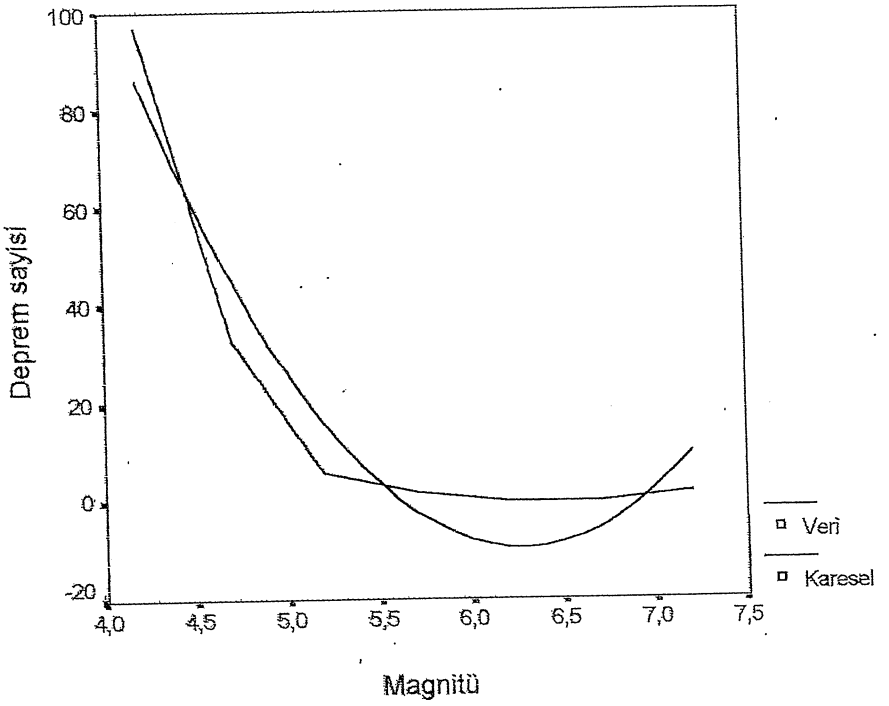
Şekil 4.8h. 8.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

9.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.96, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0048 iken model 0.01 ve 0.05 anlamlılık düzeylerinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8ı'da verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu desteklemektedir.



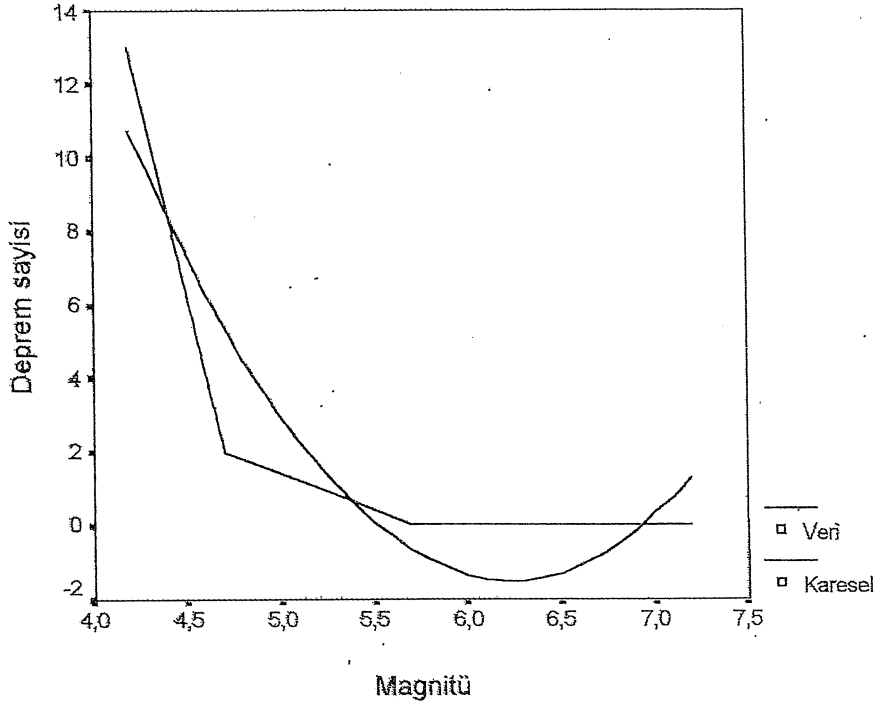
Şekil 4.8ı. 9.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

10.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.96, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0055 iken model 0.01 ve 0.05 anlamlılık düzeylerinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8i'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı bir model olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.8i. 10.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

11.On yıllık dönemde oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel bir model olup, belirleme katsayısı 0.91, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0269 0.05 anlamlılık düzeyinde model anlamlı 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamsız bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.8j'de verilmiştir.



Şekil 4.8j. 11.On yıllık dönem bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

4.4.5. Aylara göre eğri tahmin modelleri

4.2, 4.7, 5.2, 5.7, 6.2, 6.7, 7.2 magnitüd değerlerine karşılık gelecek şekilde meydana gelen depremlerin aylara göre eğri modelleri Çizelge 4.15'de verilmiştir.

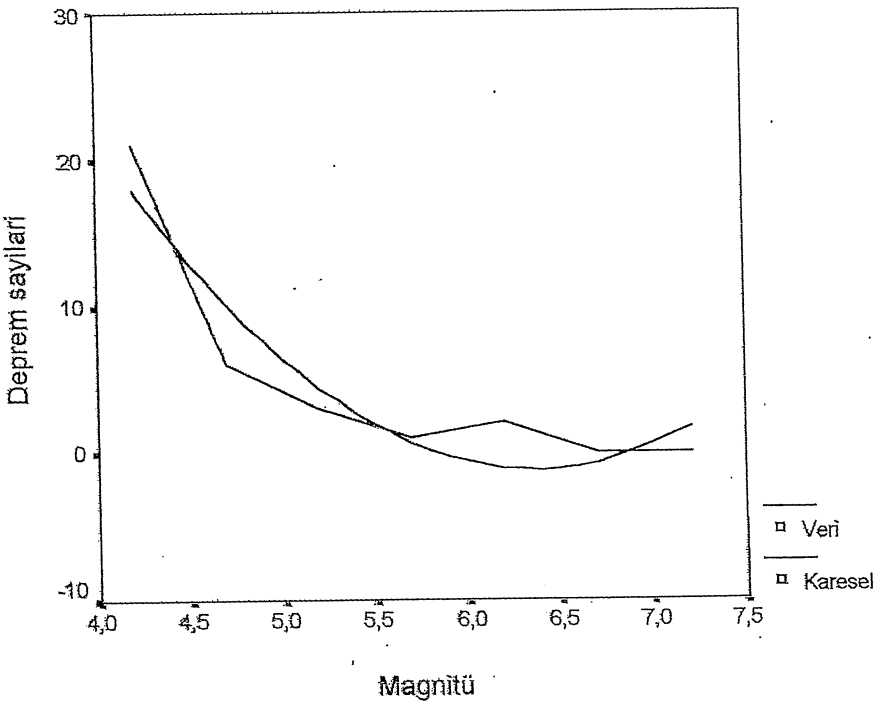
Çizelge 4.15. Aylar verisi için uygun eğri tahmin modelleri

Aylar	Model	R^2 - değeri	F-değeri	Anlamlılığı
Ocak	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=165-52x+4.09x^2+e$	0.87748	14.32445	$P_{değeri}=0,0269$ $\alpha=0,01$ için model anlamsız ama $\alpha=0,05$ için anlamlı model
Şubat	Ters $Y=b_0+b_1/x+e$	0.87800	35.98388	$P_{değeri}=0,0018$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model

	Y=-15.33+102.79/x+e			anlamlıdır
Mart	Ters $Y=b_0+b_1/x+e$ Y=-42.87+285.54/x+e	0.84750	27.78776	$P_{değeri}$=0,0033 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamlıdır
Nisan	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=118-35x+2.5714x^2+e	0.98879	176.400	$P_{değeri}$=0,0001 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamlıdır
Mayıs	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=147-45.27x+3.47x^2+e	0.98155	106.42478	$P_{değeri}$=0,0003 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamlıdır
Haziran	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=92-28.4x+2.19x^2+e	0.94752	36.11200	$P_{değeri}$=0,0028 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamlıdır
Temmuz	Ters $Y=b_0+b_1/x+e$ Y=-22.42+152.151/x+e	0.75530	15.43297	$P_{değeri}$=0,0111 α=0,01 için model anlamsız ama α=0,05 için anlamlı model
Ağustos	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=301-94.17x+7.33x^2+e	0.96708	58.75690	$P_{değeri}$=0,0011 α=0,01 ve α=0,05 için model anlamlıdır
Eylül	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ Y=213-67.98x+5.38x^2+e	0.87340	13.79758	$P_{değeri}$=0,0160 α=0,01 için model anlamsız ama α=0,05 için anlamlı model

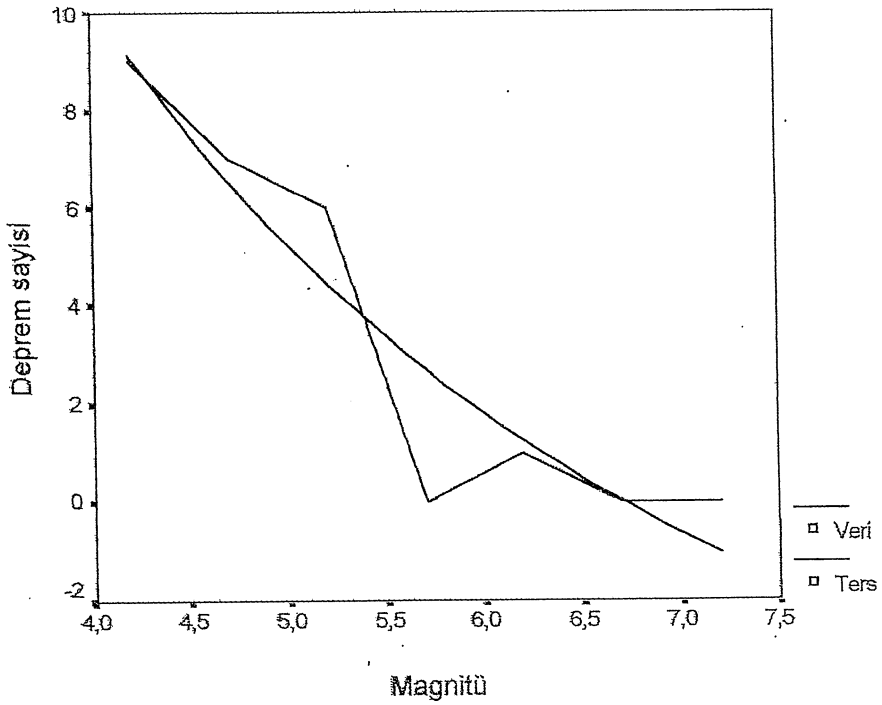
Ekim	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=109-32.94x+2.47x^2+e$	0.92169	23.54030	$P_{değeri}=0,0061$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlıdır
Kasım	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=140-42.96x+3.28x^2+e$	0.99523	417.55556	$P_{değeri}=0,000$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlıdır
Aralık	Karesel $Y=b_0+b_1x+b_2x^2+e$ $Y=62.88-19x+1.42x^2+e$	0.97758	87.2	$P_{değeri}=0,0005$ $\alpha=0,01$ ve $\alpha=0,05$ için model anlamlıdır

Çizelge 4.15 incelendiğinde ocak ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.94, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0269 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde model anlamsız, 0.05 anlamlılık düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9a'da verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunu ifade etmektedir.



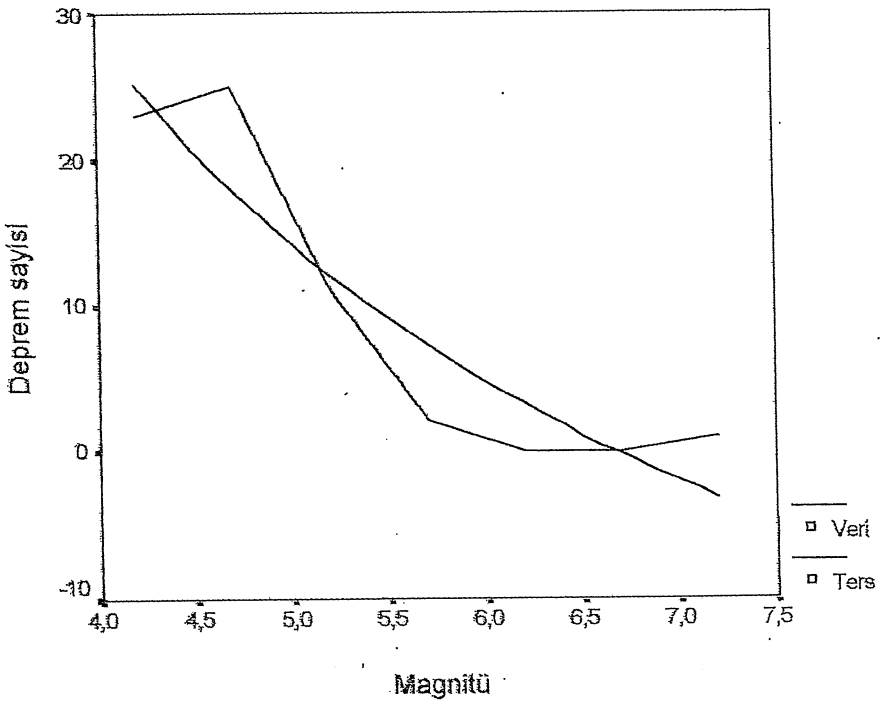
Şekil 4.9a. Ocak ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Şubat ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli ters bir model olup, belirleme katsayısı 0.94 hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0018 iken model 0.01 ve 0.05 anlamlılık düzeylerinde model anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9b'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu desteklemektedir.



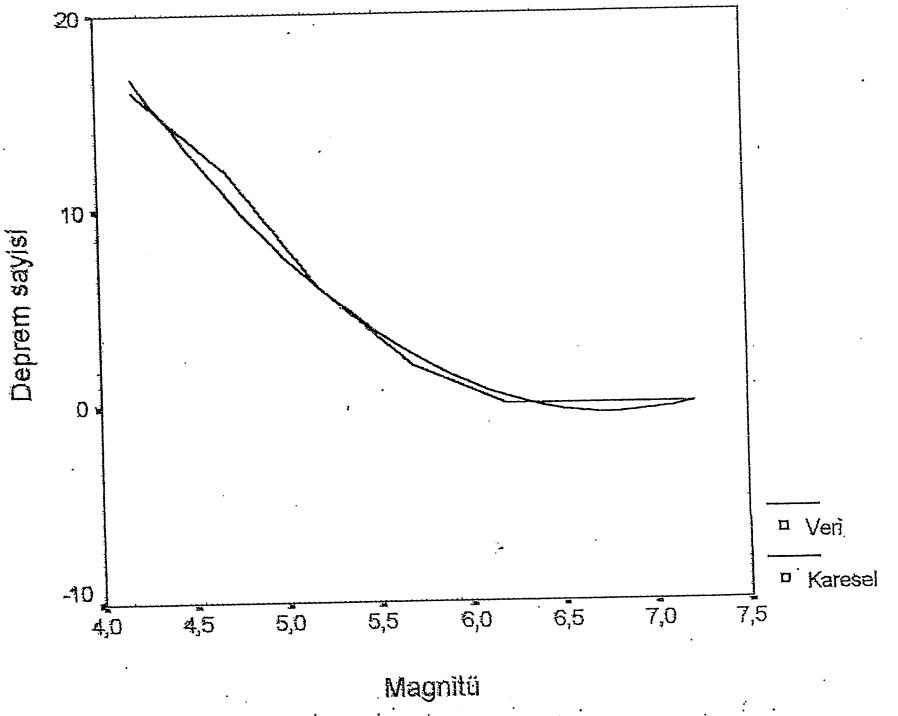
Şekil 4.9b. Şubat ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Mart ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli ters model olup, belirleme katsayısı 0.92, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.033 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9c'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu ifade etmektedir.



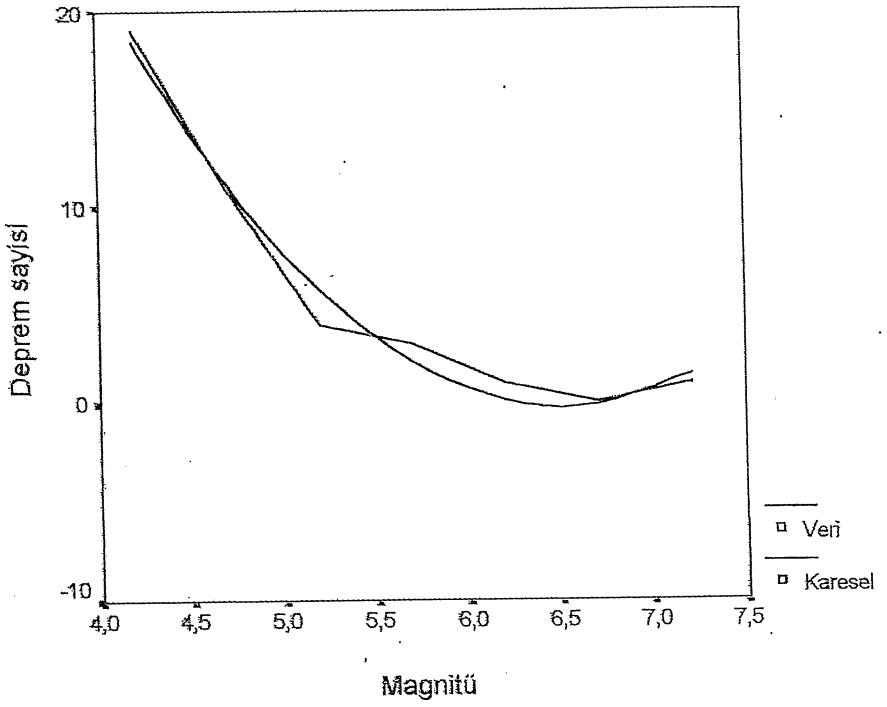
Şekil 4.9c. Mart ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Nisan ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0001 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9d'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.



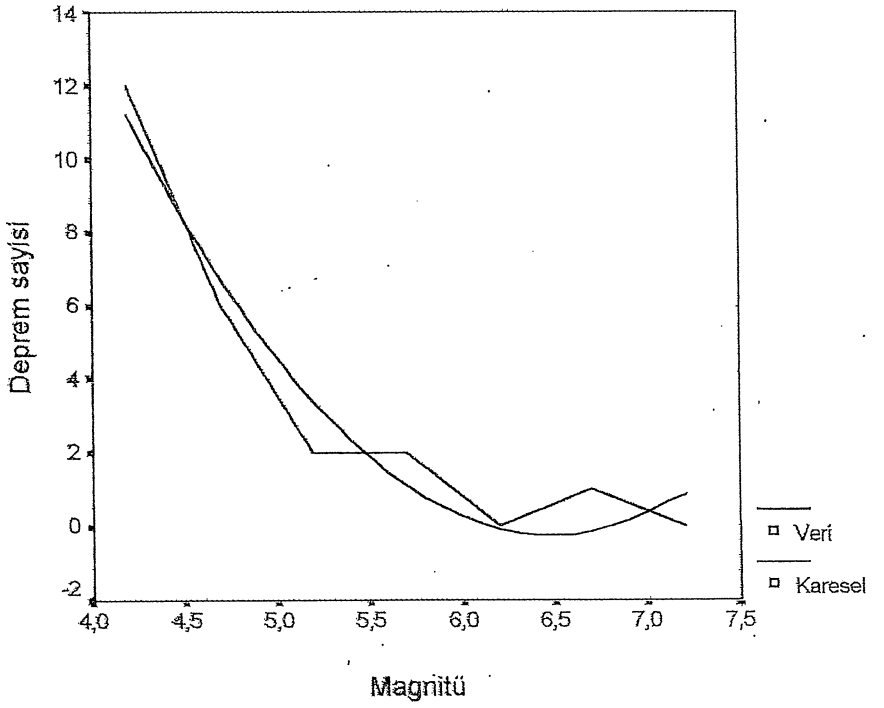
Şekil 4.9d. Nisan ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Mayıs ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0003 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9e'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu desteklemektedir.



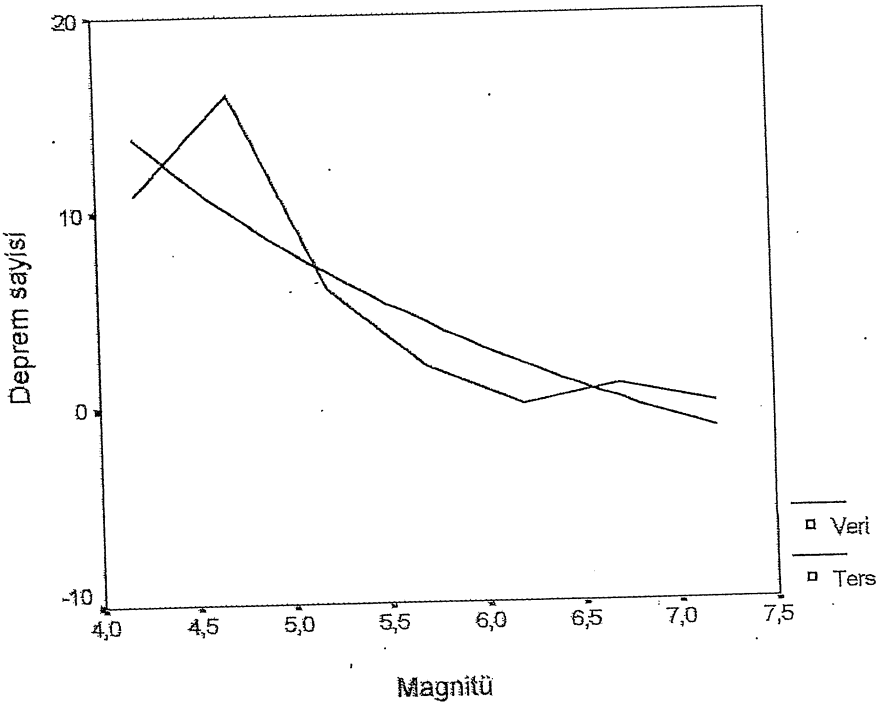
Şekil 4.9e. Mayıs ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Haziran ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.97, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0028 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9f'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğuna bir başka desteklemektedir.



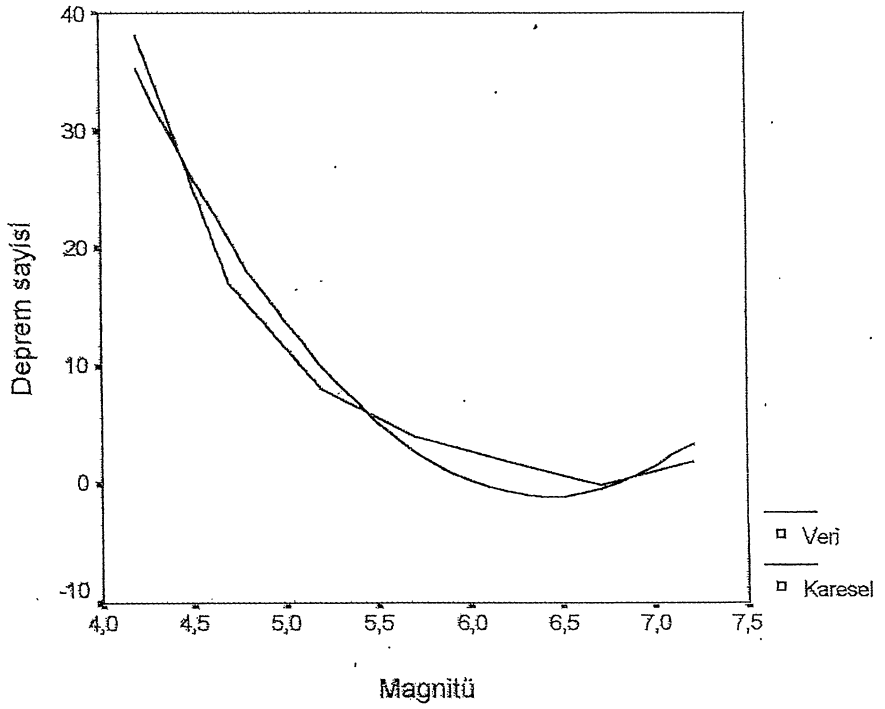
Şekil 4.9f. Haziran ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Temmuz ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli ters model olup, belirleme katsayısı 0.87, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0111 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde model anlamsız, 0.05 anlamlılık düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9g'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamsız olduğunun bir göstergesidir.



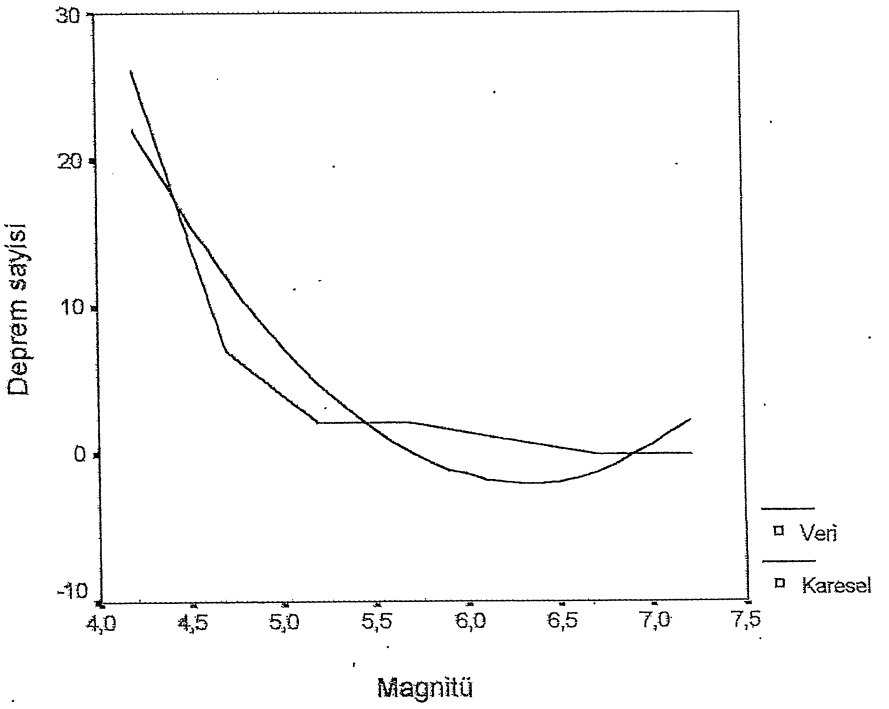
Şekil 4.9g. Temmuz ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Ağustos ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.98, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0011 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9h'da verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu desteklemektedir.



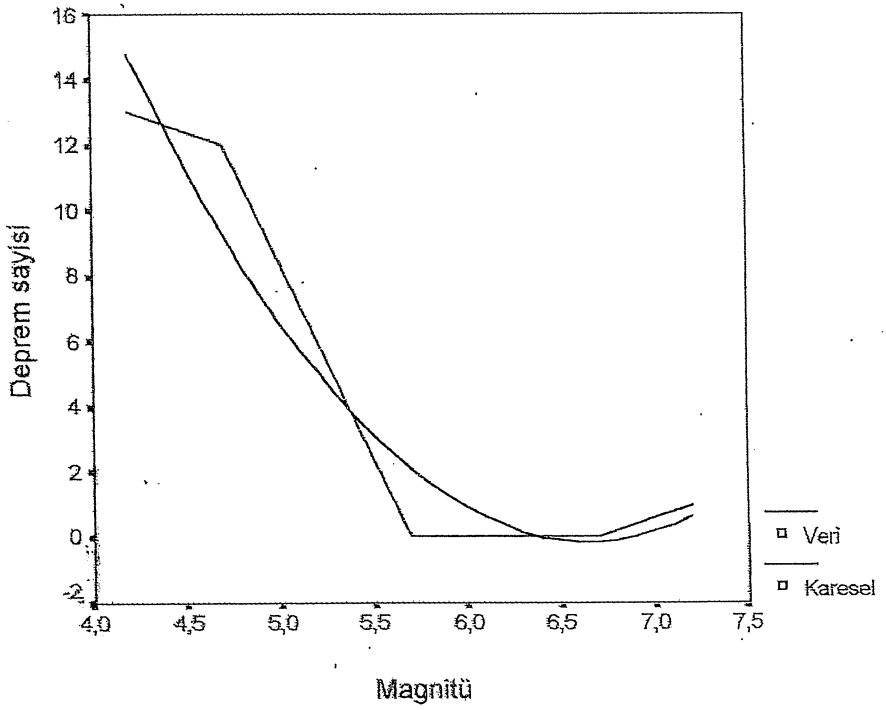
Şekil 4.9h. Ağustos ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Eylül ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.93, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0160 iken model 0.01 anlamlılık düzeyinde model anlamsız, 0.05 anlamlılık düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9ı'da verilmiştir.



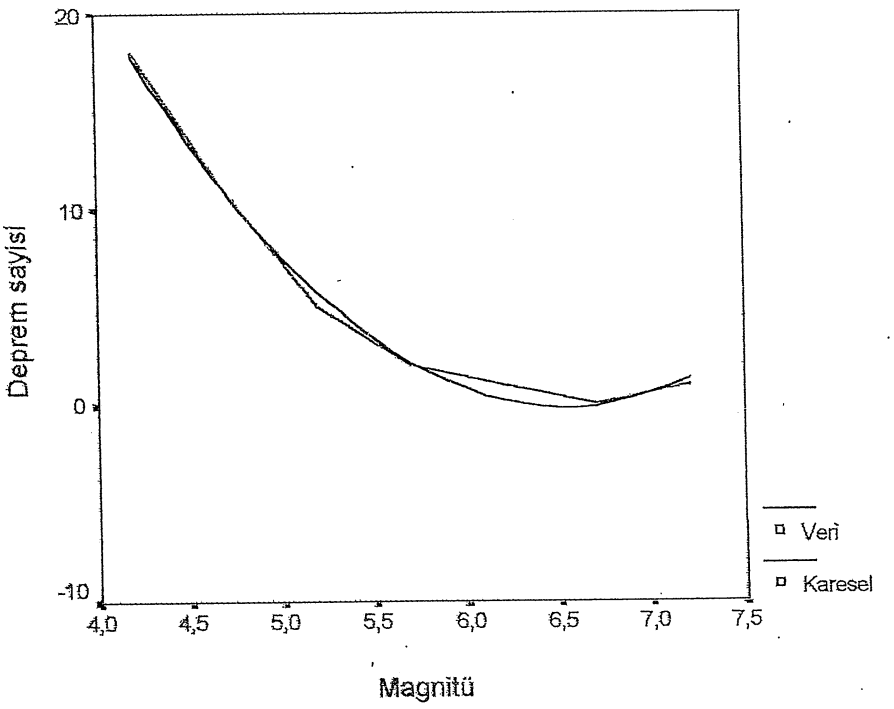
Şekil 4.9ı. Eylül ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Ekim ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.96, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0061 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9i'de verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.



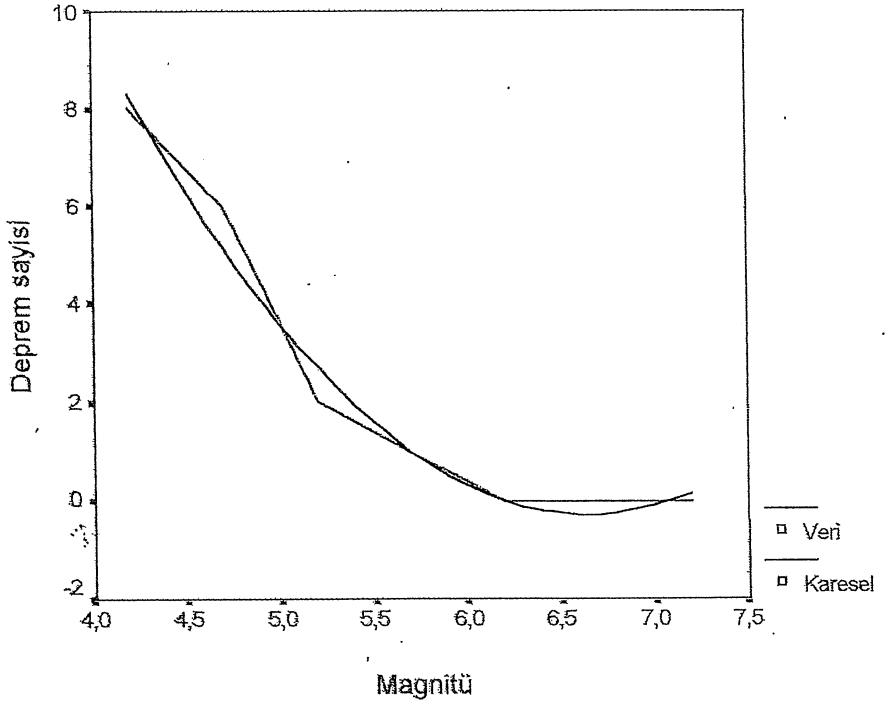
Şekil 4.9i. Ekim ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Kasım ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.99, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.00 iken, model 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9j'de verilmiştir.Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.9j. Kasım ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Aralık ayında oluşan depremlerin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli karesel model olup, belirleme katsayısı 0.98, hesaplanan F değerine karşılık gelen P değeri 0.0005 iken model 0.01 ve 0.05 anlamlılık düzeylerinde anlamlı bulunmuştur. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.9k'da verilmiştir. Şekildeki bu görüntü modelin anlamlı bir model olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.9k. Aralık ayı bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

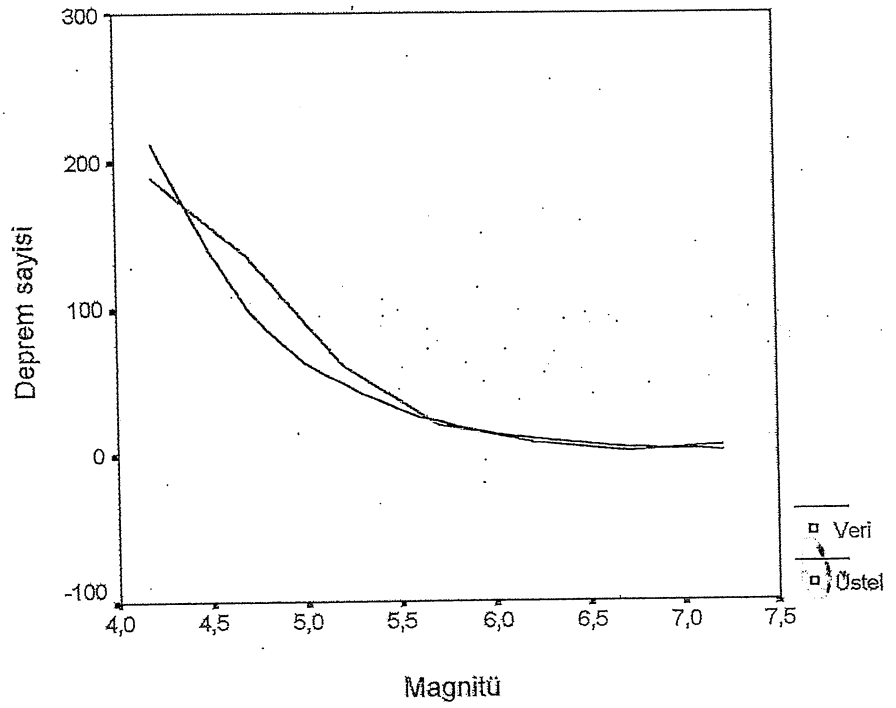
4.4.6. Toplam sayıya göre eğri tahmin modelleri

4.2, 4.7, 5.2, 5.7, 6.2, 6.7, 7.2 magnitüd değerlerine karşılık gelecek şekilde meydana gelen depremlerin toplam sayıya göre eğri tahmin modeli Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Toplam sayı verisi için uygun eğri tahmin modelleri

Deprem sayısı	Model	R^2 değeri	F-değeri	Anlamlılığı
Sayı	Üstel $Y=b_0e^{b_1x}+e$ $Y=108301e^{-1.4860x}+e$	0.88799	39.63737	$P_{değeri}=0,0015$ $\alpha=0,01$ve $\alpha=0,05$ için model anlamlı

Çizelge 4.16 incelendiğinde toplam sayı verisinin magnitüdlerine göre eğri tahmin modeli üstel olup, belirleme katsayısı 0.88799, buradan r=0.94, hesaplanan F değeri 39.63737'e karşılık gelen P değeri 0.0015 olduğu dikkate alınırsa bu durumda model, 0.01 anlamlılık düzeyine göre toplam deprem sayıları ile 4.2, 4.7, 5.2, 5.7, 6.2, 6.7, 7.2 magnitüdleri arasında tahmin edilen model istatistiksel olarak uygun bir modeldir. Bu model kullanılarak elde edilen tahminler ile gerçek veri arasındaki grafik Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu görüntü modelin uygunluğunu desteklemektedir.



Şekil 4.10. Toplam sayı verisi bakımından magnitüdlere göre meydana gelen deprem sayıları arasındaki modelden elde edilen tahminler ile gerçek veriyi gösteren grafik

Eğri tahmin modellerinde dikkat edilecek olursa bazı modeller istatistiksel olarak anlamsız olmalarına rağmen sonuçlar yine verilmiştir. Bu, verinin bu kapsamda

uygun bir model yapısını yansıtmadığı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, anlamlı olarak verilen modeller ne derece önem arz ediyorsa, sonuç bakımından anlamsız olarak verilen modeller de ona yakın bir önem arz etmektedir.

4.5. Magnitüd Rastgele Değişkeninin Dağılım Fonksiyonunun Elde Edilmesi, Yorumu Ve Bazı Magnitüdlere Göre Depremlerin Tekrarlanma Sürelerinin Tahmin Edilmesi

4.5.1. Magnitüd rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonunun elde edilmesi ve deprem sayıları açısından yorumu

Burada 1900-2000 yılları arasında kaydedilen M≥4 olan 447 depremin magnitüdleri incelenerek, θ=4.2 ve ortalama magnitüd $\overline{M} = 4.6$ olarak bulunmuştur. $\mu=(4.6\text{-}4.2)^{-1}$ olmak üzere $\mu=2.5$ elde edilir. Bulunan parametrelerden ise , (3.21) bağıntısından,

$$f(M)=2.5e^{-2.5(M-4.2.)} \qquad 4.2 \leq M < \infty$$

şeklinde bulunmuştur. Yoğunluk fonksiyonu kullanılarak M rastlantı değişkeninin dağılım fonksiyonu da,

$$F(M)= \int_{R_m} 2.5\ e^{-2.5\,(M-4.2)}\ dM = -\ e^{-2.5\,(M-4.2)}$$

olarak bulunur. Çizelge 4.18'de gözlenen 447 verinin gözlenen ve (3.22) bağıntısından elde edilen beklenen dağılımları bulunmaktadır. Çizelgedeki gözlenen frekanslar yüzdelerin kümülatif olarak toplanmasıyla elde edilmiştir. Çizelgedeki beklenen birikimli olasılıklar, dağılım fonksiyonunun θ=4.2 alt sınır değeri ile her sınıfın üst değeri arasında integrallenmesinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.18'den magnitüdleri 4 ya da daha çok olan 447 gözlem değerinin kuramsal olarak üstel dağılıma uygunluğu açıkça görülmektedir. Bu uygunluk magnitüdü 5 ya

da daha büyük olan ve yıkıcı olarak ifade edilen depremler için %91.72 gibi büyük bir değer olduğu söylenebilir.

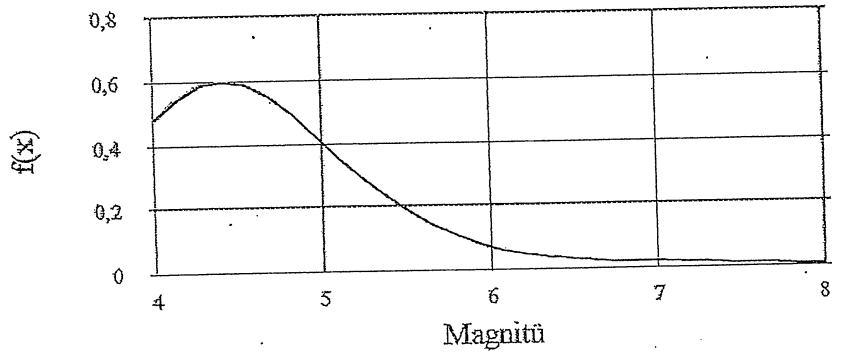
Çizelge 4.17. 1900-2000 Yılları arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre sıklık dağılımı

Sınıf No	Alt Sınır	Sınıf Değeri(M)	Üst Sınır	Sıklık Sayısı	%
1	4.0	4.2	4.4	214	0.4787
2	4.5	4.7	4.9	136	0.3043
3	5.0	5.2	5.4	60	0.1342
4	5.5	5.7	5.9	21	0.0470
5	6.0	6.2	6.4	8	0.0179
6	6.5	6.7	6.9	2	0.0045
7	7.0	7.2	7.4	6	0.0134
Toplam				447	1.0000

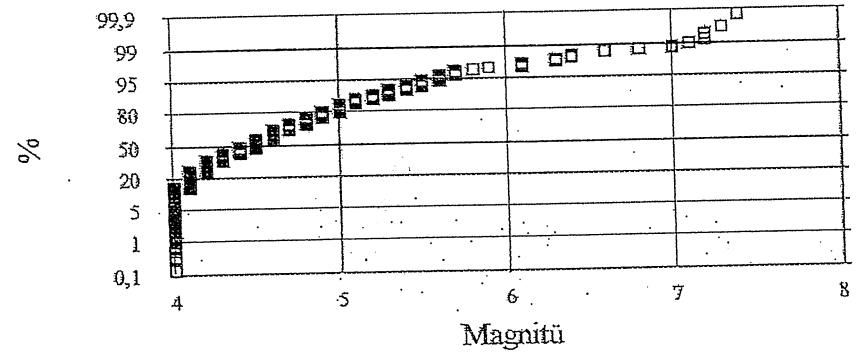
Çizelge 4.18. Deneysel ve kuramsal dağılıma ilişkin değerler

M	f	%	F(M≤x) Gözlenen	F(M≤x) Beklenen	Fark Değerleri
4.2	214	0.4787	0.4787	0.3626	0.1161
4.7	136	0.3043	0.783	0.7932	0.0102
5.2	60	0.1342	0.9172	0.9329	0.0157
5.7	21	0.0470	0.9642	0.9782	0.0140
6.2	8	0.0179	0.9821	0.9929	0.0108
6.7	2	0.0045	0.9866	0.9977	0.0111
7.2	6	0.0134	1.0000	0.9992	0.0008

Çizelge 4.17 ve 4.18'deki değerler grafiksel olarak ifade edilmek istendiğinde Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 elde edilir.



Şekil 4.11. 1900-2000 Yılları arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre sıklık dağılım grafiği



Şekil 4.12. 1900-2000 Yılları arasında meydana gelen depremlerin magnitüdlerine göre birikimli dağılım yüzdeler grafiği

4.5.2. Bazı magnitüdler için depremlerin tekrarlanma sürelerinin tahmini

Bu bölümde Çizelge 4.18'in değerlerinden yararlanılarak çeşitli magnitüdlerdeki depremlerin tekrarlanış yada olası geri dönüş süreleri bulunmuştur. Bunun için çizelgedeki beklenen birikimli olasılıklardan, M magnitüdlü depremin meydana gelme olasılıkları , yıllık beklenen sayıları ve bunlara ilişkin tekrarlanma süreleri bulunarak Çizelge 4.19'da gösterilmiştir.

Burada üçüncü sütun, çeşitli magnitüdlerdeki depremlerin meydana gelme olasılıklarıdır. Dördüncü sütun ise üçüncü sütundaki olasılık değerlerinin 4.47 (yıllık ortalama gözlenen 4 veya daha büyük magnitüdlü deprem sayısı) ile çarpılmasından elde edilen yıllık beklenen deprem sayılarını göstermektedir. Son sütun ise çeşitli magnitüdlerdeki depremlerin yıl cinsinden tekrarlanma sürelerini göstermektedir.

Çizelge 4.19. Çeşitli magnitüdlerdeki depremlere ilişkin bilgiler

M	F(M≤x)	f(M=x)	F_i(yıllık beklenen sıklık)	Tekrarlanma Yılı
4.2	0.3626	0.3626	1.6208	0.6170
4.7	0.7932	0.4306	1.9248	0.5195
5.2	0.9329	0.1397	0.6245	1.6013
5.7	0.9782	0.0453	0.2025	4.9383
6.2	0.9929	0.0147	0.0657	15.2207
6.7	0.9977	0.0048	0.0215	46.5116
7.2	0.9992	0.0015	0.0067	146.2537

Kurulan modelin uygun olup olmadığını ve dolayısıyla elde edilen sonuçların güvenilir olup olmadığını sınamak amacıyla yıllık ortalama 4.47 gözlem için deneysel dağılımın kuramsal üstel dağılıma uygunluğu Ki-kare uyum iyiliği testi ile araştırılmıştır. Çizelge 4.18 deki gözlenen ve beklenen birikimli olasılıklar arasındaki en büyük fark değeri 4.2 magnitüdlü sınıfa karşılık gelen 0.1161 değeridir. Bu değer α=0.05 için

H_0:Örnek üstel dağılıma sahip bir yığından seçilmiştir.

H_1: Örnek üstel dağılıma sahip bir yığından seçilmemiştir.

(3.24) eşitliğinden χ^2 değeri 0.038 bulunmuştur ve çizelge değeri $\chi^2_{6,0.05}$ =12.5916 olduğundan deneysel dağılımın üstel dağılıma uyduğu biçimindeki hipotez kabul edilmiştir.

Literatürde depremlerin tekrarlanma yıllarının tahmininde kullanılan bir başka yöntem de Poisson modeli ile yapılmaktadır. Bağcı (2000) tarafından Poisson modeli kullanılarak, bu çalışmada incelenen söz konusu veriler için tekrarlanma yılları elde edildiğinden, burada yalnızca bu analizlerin sonuçları verilecektir. Buna ilişkin değerler Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Çeşitli magnitüdler için Poisson modeli kullanılarak elde edilen tekrarlanma yılları

Magnitüd	Tekrarlanma yılı
5.0	1.9
5.5	4.0
6.0	8.3
6.5	17.1
7.0	35.3
7.5	72.8

Depremlerin tekrarlanma yıllarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden Poisson modeli daha çok büyük magnitüdlü depremler için daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan tekrarlanma yıllarının bulunması yöntemi ise genellikle düşük magnitüdlü depremler için daha iyi sonuç vermektedir. Bu durum göz önüne alındığında ortaya çıkan sonuçlar daha sağlıklı yorumlanabilir. Şöyle ki, 6.5 ve daha küçük magnitüdlü depremlerin tekrarlanma yılları her iki yönteme göre benzer sonuç vermekle birlikte, bu tezde kullanılan yöntemin sonuçları daha güvenilir olarak kabul edilebilir. Benzer şekilde 6.5 dan daha büyük magnitüdlü depremlerin tekrarlanma yıllarının belirlenmesinde ise Poisson modelinin sonuçlarının daha güvenilir olabileceği kabul edilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşanılan her depremden sonra ilk akla gelen konu her zaman, depremlerin önceden bilinip bilinmeyeceğidir. Bu konuda çeşitli tartışmalar yapıla gelmektedir. Nitekim Türkiye'de son yüzyılın en büyük depremi olarak adlandırılan 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşanan 7.4 büyüklüğünde meydana gelen binlerce kişinin ölümüne ve binlerce binanın yıkılmasına yol açan İzmit depreminden sonrada depremlerin önceden bilinmesi konusu ile ilgili pek çok yazı çıkmış ve tartışma yapılmıştır. Bunun üzerine bu süreçte yapılan bazı bilimsel çalışmaların yanında, karmaşık olan bu konuyu istatistiksel analiz bakış açısıyla konuya açıklık getirebilmek amacıyla bu tez hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde (39.50-41.50) kuzey – (26.00-32.50) doğu koordinatları arasında, 1900-2000 yıllarında ve büyüklüğü M≥4.0 olarak kaydedilmiş 447 deprem verisinin çeşitli istatistiksel teknikler kullanılarak çözümlemesi yapılmıştır. İlk olarak, deprem sayısı ve magnitüdlerinin derinliklerine, mevsimlere, oluş zamanına (gece-gündüz), onar yıllık dönemlere ve aylara göre farklılık gösterip göstermediği araştırılmıştır. Analizlerde yapılan ki-kare testlerinden sonra derinliklere ve onar yıllık dönemlere göre farklılık gösterdiği ama oluş zamanına (gece-gündüz), mevsimlere ve aylara göre farklılık göstermediği bulunmuştur. Bundan önce, magnitüdler ile saat, enlem, boylam ve derinlikler arasındaki Pearson korelasyon katsayısı incelenmiş ve sonuçta magnitüdlerle depremin meydana geldiği derinlikler arasındaki ilişkinin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştı. Böylece bu iki sonuç birbirini desteklemiş oldu.

Deprem sayılarının zaman dizileri açısından incelenmesi; öncelikle, yıl içinde meydana gelen deprem büyüklüklerine ilişkin ortalamalar dizisinin 1. dereceden hareketli ortalamalar [MA(1)] modeli olduğu ve bu model kullanılarak yapılan kestirimde 2001 yılına ait meydana gelebilecek depremlerin ortalama magnitüd değerinin 3.04 olabileceği elde edilmiştir. Depremlerin yıllık toplam sayıları bakımından oluşturulan zaman dizisinin modellenmesi yapıldığında, 2. dereceden otoregressif [AR(2)] modeli olduğu tahmin edilmiştir. Bu model kullanılarak

kestirim yapıldığında 2001 yılına ait meydana gelebilecek depremlerin, toplam deprem sayısı için kestirimi 32 olabileceği bulunmuştur.

Daha sonra deprem sayılarının çeşitli magnitüdlere göre eğri tahmin modelleri bulunmaya çalışılmıştır. Buna göre, deprem sayılarının derinliklerine, oluş zamanına (gece-gündüz), mevsimlere, onar yıllık dönemlere ve aylara göre tek tek eğri tahmin modelleri; yapılan çeşitli denemelerden sonra, bunlar için en uygun modelin belirlenmesine çalışılmıştır. Bunlara ait sonuçlar, 0-10 km ve 31-40 km derinlikte oluşan depremler için en uygun eğri tahmin modeli üstel model olduğu ve elde edilen sonuçlara göre 0-10 km derinlikte meydana gelen depremler için bulunan bu modelin belirlenen anlamlılık düzeyine göre (0.01 ve 0.05) istatistiksel olarak uygun bir model olduğu ama 31-40 km derinlikte oluşan depremler için elde edilen modelin anlamsız olduğu ortaya çıkmıştır. 11-20 km derinlik için uygun model kübik modeldir ve istatistiksel olarak anlamlıdır. 21-30 km ve 41-50 km derinlikler için ters model ve istatistiksel olarak da anlamlı modellerdir (0.05 için). 51 ve daha fazla derinlikte oluşan depremlerin eğri tahmin modeli doğrusal modeldir ve istatistiksel olarak anlamsız bir model olduğu analizler sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar elde edilen grafiklerde de açıkça görülmektedir. Gece-gündüze göre eğri tahmin modelleri karesel modeldir ve her ikisi içinde anlamlı bir modeldir. Mevsimlere göre ise; kış, sonbahar ve yaz mevsimi için karesel ve anlamlı bir model, ilkbahar mevsimi için tahmin edilen model kübik ve anlamlı bir model olarak bulunmuştur. Elde edilen grafiklerde bulunan sonucu desteklemektedir. Yüzyıllık zaman dilimi onar yıllık dönemlere bölündüğünde, 1.,3.,4.,5.,8.,9.,10., ve 11. onar yıllık dönemlerdeki eğri tahmin modeli karesel ve 1.,3.,4.,5. onar yıllık dönemler için anlamsız 9. ve 10. için anlamlı ve 8. ve 11. onar yıllık dönemler için α=0.01 için anlamsız ama α=0.05 için anlamlı olarak bulunmuştur. Aylar itibariyle yapılan modellemede ocak, nisan, mayıs, haziran, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık ayları için karesel model ve yapılan analizler sonucunda modellerin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Şubat, mart ve temmuz ayları için de ters model ve anlamlı modeller olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen grafiklerde bu sonucu desteklemektedir. Çalışmada daha sonra, toplam deprem sayısı ile deprem magnitüdleri modellenmeye çalışılmış ve

üstel dağılıma uyduğu, yapılan analizlerden sonra da modelin anlamlı olduğu bulunmuştur.

Son olarak magnitüd rastgele değişkeninin yoğunluk ve dağılım fonksiyonu bulunmuştur. Buradan hareketle çeşitli magnitüdlerdeki depremlerin meydana gelişlerine ilişkin bazı olasılıklar ile tekrarlanma yılları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu şekilde yapılan çalışmalar için üstel model kullanılmıştır. Bu modelin kullanılmasının doğruluğu hipotez testi ile desteklenmiştir. Daha önce yapılmış başka bir çalışmada kullanılan Poisson'un daha çok büyük magnitüdlü depremler için iyi sonuçlar verdiği bu tez sonuçlarıyla karşılaştırıldığında görülmüştür. Literatürde bilindiği gibi üstel dağılım modeli ise genellikle düşük magnitüdlü depremler için daha iyi sonuçlar verdiği göz önüne alındığında, 4.2 büyüklüğümde bir depremin tekrarlanma yılı 0.5195 dir. Bu ise yılda yaklaşık iki kere 4.2 civarındaki büyüklükte deprem olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca elde edilen bu sonuçlara göre 6.2 büyüklüğündeki bir başka deprem için ise yaklaşık 15 yıl sonra tekrarlanabileceği söylenebilir.

Tüm bu yapılan çalışmaların sonucunda özetle şu söylenebilir; ne zaman, nerede ve hangi büyüklükte olacağını daha önceden kestirilemeyen depremler, iklime (mevsimlerden ötürü) veya gece-gündüze bağlı olarak meydana gelmediği söylenebilir. Yani bu sonuçlara göre, iklim bakımından hava sıcaklığının normalin üzerinde artması veya azalması bir depremin olacağına işaret olmadığı anlaşılıyor. Çünkü depremlerin oluş sayısının mevsimlerin dolayısıyla ayların ya da gece ve gündüz olmasına göre farklılık göstermediği ortaya çıkmıştı. Fakat verilerden de açıkça görülmektedir ki yüzyılın sonlarına doğru, deprem sayıları ve deprem magnitüdlerinde bir artış söz konusudur (bunda kayıtlardaki düzenliliğin etkisi de olabilir). Bu arada, depremin oluş sayısı, depremin meydana geldiği derinliğe göre ise farklılık göstermiştir. Sığ depremler olarak adlandırılan ve yer yüzüne daha yakın olan bu depremlerin sayısı daha fazla ve meydana getirdikleri hasarlar da daha çoktur. Örneğin eldeki bu verilere göre şimdiye kadar 50 km den daha fazla derinlikte hiç büyük magnitüdlü deprem görülmemiştir.

Sonuç olarak, deprem kaçınılmaz olan büyük bir doğal afettir. Belki bir depremin ne zaman olacağı tam olarak bilinemez. Fakat yaşanılanlardan ders alınarak meydana gelebilecek zarar ve can kaybı en aza indirilebilir. Buna göre, bilinen deprem bölgelerinden uzakta ve ayrıca olabilecek depremlere dayanıklı yapılar yaparak, diğer bazı gerekli önlemler alarak bu sağlanabilir. Ayrıca, bunları yaparken eldeki verileri istatistiksel çalışmalarla değerlendirilerek, deprem konusundaki belirsizliklere, burada yapılmaya çalışıldığı gibi açıklık getirilmeye çalışılabilir. Böylesi çalışmalar, deprem dolayısıyla alınabilecek tedbirlere de yol gösterici nitelikte olabilecektir.

KAYNAKLAR

Akaike, H., 1977, On entropy maximization principle, **Proc.Symp. On Application of Statistics**, Dayton, Ohio, ed. P.R. Krishniah.

Alsan, E., 1978," İstanbul-Kandilli Deprem İstasyonu için süreye bağlı magnitüd denklemi", **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni** , 21, 34-43, Ankara.

Alsan, E.; Ulusan, N.; Başarır, E.; Ayhan, E.; Kaptan, C.; Üçer, S.B. ve Tezuçan, L.,1977, "Batı Türkiye'de Deprem Etkinliği (Eylül-Aralık 1976)", **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni** , 19, 45-93, Ankara.

Ayhan, E.; Alsan, E. ve Üçer, S.B., 1977, "Türkiye'nin deprem bölgelerinin belirlenmesinde bazı istatistik yaklaşımlar ", **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni**, 18, 1-24, Ankara.

Ayhan, E., Sancaklı, N., 1983, "1971-1975 Yıllarında Batı Türkiye Deprem Etkinliği", **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni** , 42, 48-56, Ankara.

Bağcı, G., 2000, "Deprem öncesi sismisite Kuzey Anadolu Fay'ının batı kesiminin depremselliği (tarihsel ve aletsel dönem) ve risk", **17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu** (Editör: Ramazan Demirtaş), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü**, 1900-2000 tarihleri arasında (39.50-41.50) kuzey - (26.00-32.50) doğu koordinatları arasındaki magnitütü M≥4.0 deprem verileri.

Box, G.E.P. and Jenkis, G.M.., 1976, Time series analysis: forecasting and control, **Holden Day Inc**, California.

Box, G.E.P. and Pierce, D.A., 1970, Distribution of residual autocorrelation in autoregressive integrated moving average time series models, **Journal of American Statistical Association** 70, 70-79.

Dikey, D.A. and Fuller, W.A., 1979, Distribution of the estimators for autoregressive time series with unit root, **Journal of American Statistical Association** 74, 427-431.

Epstein,B. and Lomnitz, C., 1966, "Amodel for the occurance of large earthquaker", **Nature**, 211, 954-956.

Erguvanlı, A. ve Özaydın, K. ,1978, "Batı Anadolunun deprem risk analizi", **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni**, 22, 61-65, Ankara

Ergünay, O., 1976, "Depremlerin Önceden Bilinmesi" ,İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü, **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni** , 12, 36-55, Ankara.

Erkoç, T.; Baran, B. ve Hamzaçelebi, G., 2000," Deprem Nedir ?", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü**, Ankara.

Işıkara, A.M., 1984, "Depremlerin Önceden Bilinmesinin State of Art'ı ve Türkiye'de Yapılan Çalışmalar", **Kuzey Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu**, İ.Ü., Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Bölümü, İstanbul.

Kasap, R., 1996, Basılmamış Zaman Dizileri Analizi Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara.

Numanoğlu, A.B., 1978, "Batı Anadolu'nun deprem risk analizi", **Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni** , 21, 44-52, Ankara.

Ogata, Y., 1988, "Statistical models for eartquake occurrences and residual analysis for point processes", **JASA**, 83, 401, 9-27.

Özmen, Dr. A., 1986, Zaman dizisi analizinde Box-Jenkins yöntemi ve banka mevduat tahmininde uygulama denemesi., **Anadolu Üniversitesi Yayınları**, 207, 1-110.

Pampal, S., 2000, Depremler, İkinci Baskı, **ALFA Basım Yayım**, İstanbul.

Ramachandran,G.,1980, "Extreme value theory and earthquake insurance", **Transactions of the 21st International Congress of Actuaries**,, Vol 1, 337-353, Switzerland.

Tatlıdil, H. ve Çıngı, H., 1986, "1975-1982 Yıllarına ilişkin Batı Anadolu deprem verilerinin istatistiksel çözümlemesi", **Deprem Araştırma Bülteni**, 52, 42-60, Ankara.

Utsu, T., 1975, "Correlation between Shallow earthquake in Kwanto region and intermadiate earthquake in Hida region, central Japan", **Zisin (Journal of the Seismological Society of Japan)**, 2nd ser., 28, 303-311.

Wei, W. W. S., 1990, Time Series Analysis: Univariate and Multivariate, **Addison-Wesley Pub.**, UK.

Yüceman, S., 1982, Sismik Risk Analizi, **ODTÜ, İdari İlimler Fakültesi Yayını**, 41, Ankara.

EK 1: 1900-2000 Tarihlerinde (39.50-41.50) Kuzey - (26.00-32.50) Doğu Koordinatları Arasındaki Magnitütü M>=4.0 Deprem Verileri

SAAT	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK	MAGNİTÜD
12,32	39,8	30,5	15	5
17,32	39,6	27,9	15	5
5,36	40,2	29	6	5,6
16,13	39,8	30,5	22	5,4
3,42	41	31	27	5,2
2,41	41	29	12	4,5
0	40,7	30,1	15	5,5
20,31	41,5	26,5	20	4,5
1,29	40,6	27,2	16	7,3
9,23	40,6	27,1	15	6,3
18,3	40,6	27,1	15	5,3
8,19	40,6	27,2	30	5
21,04	40,1	26,8	30	4,9
9,31	40,5	27	15	4,5
23,4	40,5	27	15	4,8
19,4	40,6	27,1	15	5,3
7,54	41,5	28	12	4,5
11,34	41	30	25	5,5
12,13	41,2	28,6	24	5
11,05	39,5	28,4	80	5,3
17,49	39,6	27,7	15	5,4
20,03	39,6	27,7	15	4,6
0	40,9	30,4	10	4,6
17,54	40,1	30,7	10	5,7
7,36	41	30,9	10	5,3
21,54	39,6	29,1	10	6,1
18	39,8	30,5	12	5
23,18	41,5	31,5	30	4,8
1,12	41,12	32,2	30	4,6
22,18	40,5	31,4	70	4,8
23	41,1	27,5	30	4,5
22,19	40,9	30,6	15	4,5
3,23	41,3	31,1	60	4,7
14,41	40,4	27,5	30	6,4
15,18	40,5	27,5	5	4,6
15,19	40,5	27,5	5	4,5
16,2	40,3	27,5	20	6,3
7,29	40,3	27,2	10	5,2
12,29	40,2	27,9	10	5
3,4	39,8	29,5	50	5,2
13,32	39,8	29,6	10	4,8
13,06	39,8	29,5	50	5,3
12,32	39,8	29,7	50	5,5
23,43	39,9	29,8	60	5,1
23,16	39,8	29,6	20	5,7
21,32	39,8	29,5	10	5,3
11,02	41,3	30,2	30	4,6
20,43	40,1	30,1	40	4,5
9,23	40,1	28,3	30	4,6

4,42	40,8	27,8	20	5,6
17,01	39,6	28,6	10	6,1
8,15	39,6	29,6	40	5
15,32	40,9	30,5	10	6,6
16,47	40,8	30,7	10	5,5
16,32	40,2	31,4	10	4,9
6,08	40,7	31,3	10	5
3,33	40,7	31,4	40	5,1
12,05	41	32,3	10	5,3
4,4	40,8	31,1	10	5,5
2,28	40,5	31,2	30	4,9
4,44	40,2	29	60	5,6
,28	39,9	29,4	40	5
18,47	41	30,7	10	4,7
17,53	39,7	28,1	40	5,1
22,52	40,2	28	40	5
20,46	40,1	26,2	50	4,9
6,3	41	28,1	11	4,9
1,27	39,6	28,6	40	5,4
19,06	40	27,4	10	7,2
20,34	40	27,8	10	4,6
21,18	40	27,6	30	5,4
22,28	40	27,4	30	4,8
23,28	40	27,4	30	4,5
12,53	40	27,4	0	4,8
21,13	39,9	27,4	10	5
13,17	40	27,4	0	4,6
20,2	40	27,4	0	4,9
15,1	39,9	27,5	10	4,7
18,24	40	27,4	0	4,5
1,47	40	27,5	20	4,9
16,05	40,3	28,5	20	5,3
12,58	40,5	27,5	30	5
23,37	40,5	27,5	10	4,8
10,34	40,6	27,5	10	4,6
12,15	40,4	26,3	10	5,5
14,42	41	30,2	10	4,9
20,31	39,9	30,5	40	6,4
6,04	39,8	30,2	60	5,2
19,01	40,3	30,9	40	4,6
9,46	40	27,3	60	4,5
1,29	41,1	29,9	80	4,6
6,33	40,7	31	10	7,1
8,54	40,6	30,7	40	5,4
9,13	41,3	30,7	100	5,1
9,16	41,4	31,1	10	4,9
9,36	40,8	30,8	10	5,9
7,05	40,8	31,2	80	4,7
8,24	41,1	30,7	70	4,6
11,01	40,7	31	50	5,8
,9	40,6	30,5	50	4,8
5,33	40,6	31	40	4,7
8,47	40,7	31	20	4,7
10,17	40,8	30,8	20	4,9
5,26	40,8	30,9	50	5
21,08	40,7	30,8	40	4,8

1,12	40,7	30,8	10	4,8
2,33	40,1	29,8	10	4,7
15,01	40,8	29,7	10	5,2
4,34	40,5	29,4	20	4,6
17,03	40,9	27,5	10	5,4
,44	39,8	30,2	10	5
8,58	40	26,1	80	5,2
,33	39,6	28,2	40	4,5
3,09	40,3	26,2	50	5,1
16,58	40,8	29,1	40	6,3
2,1	40,8	28,9	10	4,8
14,29	40,2	28,2	23	5,1
14,31	40,3	28,2	34	7
8,47	40	28,6	30	4,8
21,03	40	28,8	26	4,6
14,08	40,5	26,2	33	5,6
1,3	40,3	27,4	12	5,5
3,47	40,3	26,2	32	4,5
16,56	40,7	30,7	33	6,8
17,14	40,7	30,8	6	4,6
17,3	40,7	30,5	33	4,8
17,48	40,7	30,6	26	5,1
18,09	40,7	30,5	35	5
19,47	41,1	30,6	59	4,6
20,35	40,8	30,4	4	4,7
21,21	41	30,5	49	4,6
23,41	40,6	30,5	30	4,7
4,03	40,6	30,4	21	4,5
4,48	40,6	30,4	33	4,7
1,19	40,7	30,6	23	4,6
1,31	40,7	30,5	18	5,6
18,58	40,8	30,5	27	4,5
,13	40,7	30,5	26	4,6
20,09	40,7	30,4	25	4,9
11,46	39,5	26	33	4,5
5,4	40,8	30,5	39	4,5
17,12	40,5	31,3	6	4,5
,59	40,1	27,5	6	5,7
14,41	40,1	27,6	33	4,7
21,51	39,5	27,9	21	4,7
8,41	40,5	28,4	33	4,5
21,12	39,5	30,3	0	5,3
21,19	39,5	30,7	0	4,4
21,52	39,5	31,1	0	4,4
4,25	39,6	31,1	0	4
7,4	39,6	31	0	4,3
5,21	39,6	31,1	0	4,3
3,52	39,7	30	0	4,3
8,39	39,5	31	0	4,2
2,38	39,6	30,9	10	4
13,33	40	30,9	0	5
13,5	39,6	30,7	0	4,9
13,5	39,6	30,7	0	5,3
14,14	39,5	31	0	4,5
13,23	39,9	28,9	0	4,1
17,39	40,2	28,5	0	4

6,28	39,7	28,5	10	4
4,36	39,9	26,2	0	4
19,41	39,6	27,3	10	5
13,45	41	28	13	4,7
14,03	40	28,7	3	4,3
10,11	40	28,5	0	4,1
9,26	40,1	26,7	0	4,1
16,42	39,5	27,8	0	4,1
,43	39,5	29,1	0	4,3
2,04	40,4	29	6	4,1
5,06	40,3	30	33	4,1
3,32	39,8	28,6	0	4,3
7,4	40,4	28,7	0	4,3
12,57	40,4	28,3	0	4
,29	40,3	29,3	26	4,2
11,5	40,7	27,5	5	4,2
16,06	40,6	27,5	6	4,1
14,54	40,4	29,9	8	4,2
7,39	39,7	26,8	29	4,3
10,57	40,5	28,9	18	4,1
8,46	39,7	26,9	37	4,3
8,49	39,5	27	0	4
11,2	39,5	26,4	0	4,2
4,51	39,8	28,6	0	4
8,37	40,4	26,1	5	4,2
2,06	40,5	26	2	4,6
5,17	40,4	26,2	5	5,1
5,35	40,5	26,1	18	5,3
9,26	40,3	26	0	4
5,15	40,5	26,1	15	5,6
5,23	40,2	26	0	4,1
6,15	40,4	26,2	22	4,8
7,51	40,3	26,3	0	4
19,42	40,5	26,1	5	4,6
21,16	40,4	26,2	0	4
8,32	40,3	26,3	0	4
2,06	40,4	26	33	5,3
13,03	40,6	26,4	0	4,5
5,03	40,3	26,2	36	4
1,08	40,4	26	20	4,4
17,59	40,5	26,5	44	4
2,57	41,1	32,3	0	4
4,54	40,3	27,3	7	4,1
22,42	40,5	28,8	0	4,1
13,28	39,5	29,1	0	4,7
19,31	40,7	30,4	0	4
9,14	39,6	27,3	0	4,1
11,55	39,7	28,6	0	4,4
17,24	40,5	26,4	0	4,1
11,31	39,5	27,6	0	4,2
2,26	39,5	29,4	0	4
21,32	39,6	28,2	0	4,2
14,55	39,7	28,9	0	4
8,5	40,5	29,3	0	4,2
21	39,6	32,3	0	4,2
5,31	40,3	28,8	0	4,2

14,34	40,2	27,3	10	4,1
3,01	39,5	28,3	0	4,4
18,13	40,7	27,6	10	4,6
19,35	39,5	28,3	0	4,3
18,33	41	28,3	0	4,1
10,34	40,3	27,3	5	4,1
11,13	39,7	29	11	4,4
10,33	41,2	32,3	0	4,5
4,49	40,8	29	10	4,6
3,46	39,7	28,8	8	4
16,24	40,5	29,2	8	4,1
3,15	40,4	28,5	18	4,4
12,21	40,1	29,2	10	4,5
18,35	39,9	29,1	17	4,1
20,49	40,9	28,2	16	5
14,55	39,8	30,7	5	4,3
9,48	40,4	29,2	11	4,1
3,05	39,7	27,9	10	4,2
19,48	39,6	27,9	10	4
11,36	41,2	29,4	5	4,3
5,49	40	27,5	28	4,2
5,49	39,5	28	8	4,5
1,47	40,5	30,4	1	4
11,36	41,3	29,4	6	4
22,05	39,5	28,5	10	4,1
22,05	39,5	28,5	9	4,1
11,16	39,8	30,3	26	4,4
11,16	39,8	30,2	8	4
5,15	40,7	28,6	8	4,1
9,54	40,8	28,9	10	4,8
9,54	40,8	28,9	6	4,8
8,39	40,6	29	21	4,5
8,39	40,6	29	8	4,6
9,23	40,8	27,9	11	4,5
18,26	40,5	26,4	27	4
11	39,6	27,8	11	4,1
6,33	39,7	26	11	4
16,52	40,2	28,3	19	4,8
16,52	40,2	28,3	11	4,9
14,11	39,5	26,1	10	4,7
21,07	39,6	26,1	11	4,4
7,19	40,4	28	14	4
7,22	40,4	28	12	4
7,51	40,4	28	10	4,3
21,03	40,2	27,3	14	4,2
4,36	40,2	29,3	5	4
16,59	40,4	30	20	4
15,33	40,1	28,1	10	4
22,22	40,5	26,2	25	4
21,24	40,8	27,8	23	4,5
21,24	40,8	27,8	11	4,3
4,08	40,9	27,7	24	4,7
4,08	40,8	27,8	11	4,5
5,36	40,8	27,7	11	4,3
19,57	40,3	29,7	30	4,1
15,39	40,3	29,5	6	4

14,34
3,01
18,13
19,35
18,33
10,34
11,13
10,33
4,49
3,46
16,24
3,15
12,21
18,35
20,49
14,55
9,48
3,05
19,48
11,36
5,49
5,49
1,47
11,36
22,05
22,05
11,16
11,16
5,15
9,54
9,54
8,39
8,39
9,23
18,26
11
6,33
16,52
16,52
14,11
21,07
7,19
7,22
7,51
21,03
4,36
16,59
15,33
22,22
21,24
21,24
4,08
4,08
5,36
19,57
15,39

40,2
39,5
40,7
39,5
41
40,3
39,7
41,2
40,8
39,7
40,5
40,4
40,1
39,9
40,9
39,8
40,4
39,7
39,6
41,2
40
39,5
40,5
41,3
39,5
39,5
39,8
39,8
40,7
40,8
40,8
40,6
40,6
40,8
40,5
39,6
39,7
40,2
40,2
39,5
39,6
40,4
40,4
40,4
40,2
40,2
40,4
40,1
40,5
40,8
40,8
40,9
40,8
40,8
40,3
40,3

27,3
28,3
27,6
28,3
28,3
27,3
29
32,3
29
28,8
29,2
28,5
29,2
29,1
28,2
30,7
29,2
27,9
27,9
29,4
27,5
28
30,4
29,4
28,5
28,5
30,3
30,2
28,6
28,9
28,9
29
29
27,9
26,4
27,8
26
28,3
28,3
26,1
26,1
28
28
28
27,3
29,3
30
28,1
26,2
27,8
27,8
27,7
27,8
27,7
29,7
29,5

10
0
10
0
0
5
11
0
10
8
8
18
10
17
16
5
11
10
10
5
28
8
1
6
10
9
26
8
8
10
6
21
8
11
27
11
11
19
11
10
11
14
12
10
14
5
20
10
25
23
11
24
11
11
30
6

4,1
4,4
4,6
4,3
4,1
4,1
4,4
4,5
4,6
4
4,1
4,4
4,5
4,1
5
4,3
4,1
4,2
4
4,3
4,2
4,5
4
4
4,1
4,1
4,4
4
4,1
4,8
4,8
4,5
4,6
4,5
4
4,1
4
4,8
4,9
4,7
4,4
4
4
4,3
4,2
4
4
4
4
4,5
4,3
4,7
4,5
4,3
4,1
4

23,14
3,23
13,57
10,31
19,52
6,33
7
1,32
2
20,21
17,39
11,55
19,5
,48
5
20,26
21,28
13,44
,13
8,14
23,08
14,41
14,55
16,57
17,52
17,54
17,56
17,57
18,05
18,14
18,24
22,13
16,26
16,26
17,51
3,36
8,15
22,31
10,28
19,59
4,33
22,27
4,57
11,38
19,13
3,27
16,26
16,26
16,26
14,1
14,1
10,36
10,36
14,38
14,49
14,49

40,6
40,6
40,8
40,8
40,7
40,8
40,8
40,7
40,6
40,7
40,8
40,8
40,8
40,6
40,8
40,7
40,7
40,8
40,7
40,9
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,9
40,9
40,9
41
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,8
40,7
40,9
40,9
41
40,9
40,9
40,6
40,8
40,9
40,8
40,8
40,8
40,9
40,9
40,9
40,9
40,9
40,7
40,8
40,8

29,1
29,1
29,9
30
30,6
29,7
31,1
29,2
29,1
29,9
31,1
30
30,1
29,1
31
30,5
27,5
30,2
29,3
31,1
28,9
30,2
30,2
31,2
31,2
31,3
31,3
31,5
31,2
31,3
31,1
31,3
31,1
31,1
31,6
31,3
31,5
31
31
31
31
31,5
30,9
29,2
30,7
30,9
30,7
30,7
30,7
31,3
31,3
31,3
31,3
29,3
31
31

11
9
3
5
8
19
6
4
15
19
3
4
17
14
2
7
21
2
19
13
10
9
7
11
12
11
10
16
11
10
11
4
8
8
6
10
3
6
7
8
6
7
5
4
12
13
12
12
12
15
15
8
8
10
4
4

4
4,2
4,2
4,2
4,2
4,3
4,3
4,3
4
4
4
5,7
4,4
4,6
4
4,3
5
4,1
4,9
4,2
4,4
5,7
4,4
7,2
4,8
4,7
4,8
4,8
4,7
5
4,7
4
4,1
4,4
4,8
4,2
5
4
4,3
5
4
4,3
4
4
4,5
4,1
4
4
4
4,4
4,4
4,4
4,4
4,1
4
4

18,57	40,8	30,3	12	4,5
,15	40,9	29,2	11	4,2
11,4	40,3	32,1	6	4,8
13,41	40,8	30,8	9	5,4
14,24	39,8	30,7	6	4
3,12	40,8	30,9	5	4,1

EK 2: 1900-2000 Tarihlerinde (39.50-41.50) Kuzey - (26.00-32.50) Doğu Koordinatları Arasındaki Magnitütü M>=4.0 Deprem Verilerinin Yıllar İtibarıyla Ortalama Magnitütleri ve Toplam Sayıları

Yıllar	Ortalama	Toplam
1901	2,62	1
1902	2,4	0
1903	2,4	0
1904	2,4	0
1905	3,11	4
1906	2,4	0
1907	2,83	2
1908	2,575	1
1909	2,4	0
1910	2,4	0
1911	2,4	0
1912	3,1	7
1913	2,4	0
1914	2,4	0
1915	2,4	0
1916	2,4	0
1917	2,64	1
1918	2,4	0
1919	2,575	1
1920	2,4	0
1921	2,4	0
1922	2,4	0
1923	2,875	2
1924	2,9	2
1925	2,77	2
1926	2,675	1
1927	2,4	0
1928	2,91	3
1929	2,77	4
1930	2,4	0
1931	2,4	0
1932	2,575	1
1933	2,6	1
1934	2,4	0
1935	2,89	5
1936	2,4	0
1937	2,4	0
1938	2,62	1
1939	3,375	7
1940	2,76	2
1941	2,58	1
1942	2,975	2
1943	3,17	4
1944	2,89	4
1945	2,61	1
1946	2,4	0
1947	2,4	0
1948	2,67	1

1949	2,81	2
1950	2,625	1
1951	2,825	2
1952	2,63	2
1953	3,07	13
1954	2,81	3
1955	2,4	0
1956	3,28	7
1957	3,27	17
1958	2,4	0
1959	2,83	2
1960	2,4	0
1961	2,85	2
1962	2,575	1
1963	2,89	3
1964	2,85	4
1965	2,67	1
1966	2,66	1
1967	2,98	17
1968	2,575	3
1969	3	4
1970	3,02	17
1971	2,93	7
1972	3	4
1973	2,975	5
1974	2,85	5
1975	3,27	20
1976	2,87	3
1977	3,28	6
1978	3,31	9
1979	3,025	3
1980	3,05	4
1981	3,1975	7
1982	3,45	10
1983	3,765	11
1984	3,67	11
1985	3,17	6
1986	3,03	9
1987	2,71	2
1988	2,775	3
1989	2,55	3
1990	3,28	10
1991	3,19	8
1992	2,76	5
1993	2,69	4
1994	2,93	4
1995	3,15	8
1996	2,53	1
1997	2,55	2
1998	2,86	4
1999	3,37	94
2000	3,509	16

ÖZGEÇMİŞ

Ülkü Gürlen, 08.10.1976 tarihinde Ankara'da doğdu. İlkokulu Ankara Kocatepe İlkokulu'nda, orta öğrenimini ise Kalaba Ortaokulu ile Kalaba Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü'nden mezun oldu. 1998 yılı güz döneminde Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programına kaydoldu. Araştırmacı 1998-1999 yılında ODTÜ'de Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce öğrenimi gördü. 1999 yılından beri M.E.B Danış Tunalıgil İlköğretim Okulu'nda ücretli İngilizce Öğretmenliği yapmaktadır.