KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KUZEY ANADOLU FAY ZONU BOYUNCA P, S VE KODA DALGALARININ FREKANS BAĞIMLI SOĞURULMASI

MEHMET GÜLEROĞLU

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KUZEY ANADOLU FAY ZONU BOYUNCA P, S VE KODA DALGALARININ FREKANS BAĞIMLI SOĞURULMASI

MEHMET GÜLEROĞLU

Doç. Dr. Fadime SERTÇELİK
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Prof. Dr. Nilgün SAYIL
Jüri Üyesi, Karadeniz Teknik Üniv. .....

Doç. Dr. Tahir Serkan IRMAK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Sismik kalite faktörü (Q) sismik dalga enerjisinin azalımında kullanılan boyutsuz bir parametredir. Koda dalgalarından elde edilen kalite faktörü Q, tektonik olarak aktif ve durağan bölgelerin ayırımını en iyi gösteren değişkendir. Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca sismik dalgaların soğurma özelliği tek geri saçılma modeli ve genliğin uzaklıkla azalımına dayanan koda normalizasyon modeli kullanılarak belirlenmiştir. Koda dalgası için sismik kalite faktörü Qc kullanılmıştır. P ve S dalgalarının 5 sn'lik kısmının, koda dalgasına oranlanmasıyla, formül yardımıyla Qp ve Qs belirlenmiştir. Koda, P ve S dalgalarının yayınım özellikleri, diğer bir ifadeyle soğurulma yapısının belirlenmesi ile ortamın heterojenliği ve bunun dalga yayınımına etkisini açıklamakta kullanılmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu verilerinden elde edilen Q kalite faktörü sonuçları, fay boyunca kalite faktörü konusunda bilgi sahibi olunması açısından önemli bir boşluğu doldurması ve bu sonuçların fayın tektoniğinin anlaşılması bakımından önemli katkılar sunması beklenmektedir.

Yüksek lisans eğitimime başladığım günden bugüne kadar, gerek manevi desteği gerekse bilgi birikimi ve tecrübesi ile ihtiyaç duyduğum her zaman desteğini esirgemeyen değerli tez danışman hocam Doç. Dr. Fadime SERTÇELİK'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Bana verdikleri sonsuz sevgi, sabır, destek ve imkan için her zaman yanımda olan Annem ve Babama teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak – 2015 Mehmet GÜLEROĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ ix
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR x
ÖZET…. xi
ABSTRACT xii
GİRİŞ 1
1. KUZEY ANADOLU FAY ZONUNUN TEKTONİĞİ VE SİSMİSİTESİ 3
2. KABUK VE ÜST MANTODA ELASTİK DALGA YAYINIMI 12
2.1. Yer İçinde Elastik Dalgaların Soğurulması 12
2.2. Kalite Faktörü (Q) 13
2.3. Koda Dalgası Kalite Faktörü (Qc) 15
2.4. Koda Dalgasının Kökeni 17
2.5. Tekil Saçılma Modeli 19
2.6. Tekil Geri Saçılma Modeli 19
2.7. Tekil İzotropik Saçılma Modeli 20
2.8. Koda Dalgası Yöntemi ile (Qc)'nin Belirlenmesi 20
2.9. Koda Normalizasyon Yöntemi ile (Qp) ve (Qs)'in Belirlenmesi 21
3. KUZEY ANADOLU FAY ZONU BOYUNCA Qc , Qp ve Qs'in BELİRLENMESİ 24
3.1. Verilerin ve Çalışma Bölgelerinin Özellileri 24
3.2. 1.Bölge : Karlıova-Tokat Arası Soğurma Çalışması 38
3.2.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi 38
3.2.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi 42
3.3. 2.Bölge : Tokat-Çorum Arası Soğurma Çalışması 47
3.3.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi 47
3.3.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi 52
3.4. 3.Bölge : Çorum-Adapazarı Arası Soğurma Çalışması 57
3.4.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi 57
3.4.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi 62
3.5. 4.Bölge : Adapazarı-Yalova Arası Soğurma Çalışması 67
3.5.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi 67
3.5.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi 71
3.6. 5.Bölge : Yalova-Saros Körfezi Arası Soğurma Çalışması 76

3.6.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi 76
3.6.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi 81
3.7. Kuzey Anadolu Fay Zonu Boyunca Soğurma Çalışması 86
3.7.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi 86
3.7.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi 90
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 96
KAYNAKLAR 104
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 110
ÖZGEÇMİŞ 111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye diri fay haritası 4
Şekil 1.2. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Karlıova-Tokat arasındaki bölümü..... 5
Şekil 1.3. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tokat-Çorum arasındaki bölümü..... 6
Şekil 1.4. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Çorum-Adapazarı arasındaki bölümü..... 7
Şekil 1.5. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Adapazarı-Yalova arasındaki bölümü 8
Şekil 1.6. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Yalova-Saros Körfezi arasındaki bölümü 9
Şekil 2.1. Yer içerisinde Qa'nın derinlikle değişimini gösteren modeller 13
Şekil 2.2. Bir sismogram üzerinde koda dalgasının gösterimi 17
Şekil 2.3. Elipsel koordinat düzlemi 22
Şekil 3.1. (a) Kuzey Anadolu Fayı boyunca meydana gelen depremler ve atım miktarları, (b) Çalışmada kullanılan depremlerin dağılımı ve çalışma bölgeleri 24
Şekil 3.2. Karlıova-Tokat Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı 25
Şekil 3.3. Tokat-Çorum Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı 27
Şekil 3.4. Çorum-Adapazarı Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı 28
Şekil 3.5. Adapazarı-Yalova Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı 29
Şekil 3.6. Yalova-Saros Körfezi Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı 30
Şekil 3.7. Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca kullanılan depremlerin episantr derinlik ve istasyonların dağılımı. 31
Şekil 3.8. Hesaplamalarda ve analizlerde uygulanan veri-işlem aşamalarını gösteren akış şeması 33
Şekil 3.9. 26.07.2009, 01:00:58'de meydana gelen depremin ERZN istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi 34
Şekil 3.10. 03.03.2009, 10:47:57'e ait depremin MDNY istasyonuna ait E-W kaydı….. 35
Şekil 3.11. 28.06.2011, 20:22:10'a ait depremin CORM istasyonuna ait N-S kaydı….. 36
Şekil 3.12. 26.07.2009, 01:00:58'e ait depremin ERZN istasyonuna ait Z kaydı…. 37
Şekil 3.13. 26.07.2009, 01:00:58'de meydana gelen depremin ERZN istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi 38
Şekil 3.14. Karlıova-Tokat Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 39
Şekil 3.15. Karlıova-Tokat Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 39

Şekil 3.16. Karlıova-Tokat Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 40
Şekil 3.17. Karlıova-Tokat Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi 41
Şekil 3.18. Karlıova-Tokat Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı 41
Şekil 3.19. Karlıova-Tokat Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı 42
Şekil 3.20. 24.01.2010, 19:54:56'e ait depremin PTK istasyonuna ait Z kaydı….. 43
Şekil 3.21. 26.07.2009, 01:00:58'e ait depremin BAYT istasyonuna ait E-W kaydı…... 44
Şekil 3.22. 03.07.2012, 23:20:45'e ait depremin RSDY istasyonuna ait N-S kaydı..…... 45
Şekil 3.23. Karlıova-Tokat Bölgesi için E-W,N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi 46
Şekil 3.24. 13.02.2009, 05:17:35'de meydana gelen depremin ERZN istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi 48
Şekil 3.25. Tokat-Çorum Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 49
Şekil 3.26. Tokat-Çorum Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 49
Şekil 3.27. Tokat-Çorum Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 50
Şekil 3.28. Tokat-Çorum Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi 51
Şekil 3.29. Tokat-Çorum Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı 51
Şekil 3.30. Tokat-Çorum Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı 52
Şekil 3.31. 13.02.2009, 05:17:35'e ait depremin CORM istasyonuna ait Z kaydı.…….53
Şekil 3.32. 07.09.2009, 16:30:41'e ait depremin BZK istasyonuna ait Z kaydı.…….54
Şekil 3.33. 20.02.2011, 14:13:58'e ait depremin CORM istasyonuna ait N-S kaydı...…... 55
Şekil 3.34. Tokat-Çorum Bölgesi için E-W,N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi 56
Şekil 3.35. 24.11.2013, 20:49:37'de meydana gelen depremin MDUB istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi 58
Şekil 3.36. Çorum-Adapazarı Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 59
Şekil 3.37. Çorum-Adapazarı Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 59

Şekil 3.38. Çorum-Adapazarı Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 60
Şekil 3.39. Çorum-Adapazarı Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi 61
Şekil 3.40. Çorum-Adapazarı Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı 61
Şekil 3.41. Çorum-Adapazarı Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı 61
Şekil 3.42. 08.11.2009,10:13:16'e ait depremin CANT istasyonuna ait Z kaydı..… 63
Şekil 3.43. 21.07.2013, 21:43:41'e ait depremin CANT istasyonuna ait E-W kaydı. 64
Şekil 3.44. 21.07.2013, 21:43:41'e ait depremin LOD istasyonuna ait N-S kaydı...…. 65
Şekil 3.45. Çorum-Adapazarı Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi 66
Şekil 3.46. 20.02.2011,02:09:37'de meydana gelen depremin ARMT istasyonunun Z kaydının 30 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi 67
Şekil 3.47. Adapazarı-Yalova Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 68
Şekil 3.48. Adapazarı-Yalova Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 68
Şekil 3.49. Adapazarı-Yalova Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 69
Şekil 3.50. Adapazarı-Yalova Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi 70
Şekil 3.51. Adapazarı-Yalova Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qc dağılımı 70
Şekil 3.52. Adapazarı-Yalova Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı 70
Şekil 3.53. 16.08.2011, 17:30:06'a ait depremin ARMT istasyonunun Z kaydı..…. 72
Şekil 3.54. 11.08.2011, 13:37:11'E ait depremin KLYT istasyonuna ait E-W kaydı.. 73
Şekil 3.55. 03.10.2010, 17:49:02'e ait depremin ADVT istasyonuna ait N-S kaydı...…. 74
Şekil 3.56. Çorum-Adapazarı Bölgesi için E-W,N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi 75
Şekil 3.57. 30.03.2011, 17:07:20'de meydana gelen depremin EDC istasyonunun Z kaydının 40 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi 77
Şekil 3.58. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 78
Şekil 3.59. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 78

Şekil 3.60. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 79
Şekil 3.61. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi 80
Şekil 3.62. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı 80
Şekil 3.63. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı 80
Şekil 3.64. 03.10.2013, 10:26:07'e ait depremin KCTX istasyonuna ait Z kaydı..…. 82
Şekil 3.65. 03.10.2013, 10:26:07'e ait depremin MDNY istasyonuna ait E-W kaydı..…. 83
Şekil 3.66. 16.11.2009, 18:47:22 'e ait depremin EDC istasyonuna ait N-S kaydı……..84
Şekil 3.67. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi 85
Şekil 3.68. Kuzey Anadolu fay Zonu için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 86
Şekil 3.69. Kuzey Anadolu Fay Zonu için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 87
Şekil 3.70. Kuzey Anadolu Fay Zonu için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi 87
Şekil 3.71. Kuzey Anadolu Fay Zonu için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi 88
Şekil 3.72. Kuzey Anadolu Fay Zonu için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı 89
Şekil 3.73. Kuzey Anadolu Fay Zonu için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı 89
Şekil 3.74. Kuzey Anadolu Fay Zonu için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi 90
Şekil 3.75. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölgeden elde edilen ortalama Qo değerlerinin 20-30-40 sn kesme zamanı için karşılaştırılması 91
Şekil 3.76. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölgeden elde edilen ortalama n değerlerinin 20-30-40 sn kesme zamanı için karşılaştırılması 91
Şekil 3.77. E-W bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp, Qs değerlerinin karşılaştırılması 92
Şekil 3.78. N-S bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp, Qs değerlerinin karşılaştırılması 92
Şekil 3.79. E-W bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp/Qs oranının frekanslara göre değişimi 93
Şekil 3.80. N-S bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp/Qs oranının frekanslara göre değişimi 93
Şekil 3.81. Dünya'daki tektonik yönden aktif bölgeler için 20 sn kesme zamanlı Qo'ın frekans bağımlılığı 94
Şekil 3.82. Dünya'daki tektonik yönden aktif bölgeler için 30 sn kesme zamanlı Qo'ın frekans bağımlılığı 94

Şekil 3.83. Dünya'daki tektonik yönden aktif bölgeler için 40 sn kesme zamanlı Qo'ın frekans bağımlılığı 95

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Karlıova-Tokat Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri 26
Tablo 3.2. Tokat-Çorum Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri 26
Tablo 3.3. Çorum-Adapazarı Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri 28
Tablo 3.4. Adapazarı-Yalova Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri..... 29
Tablo 3.5. Yalova-Saros Körfezi Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri 31
Tablo 3.6. Karlıova-Tokat Bölgesi için elde edilen Qc değerleri 40
Tablo 3.7. Tokat-Çorum Bölgesi için elde edilen Qc değerleri 50
Tablo 3.8. Çorum-Adapazarı Bölgesi için elde edilen Qc değerleri 60
Tablo 3.9. Adapazarı-Yalova Bölgesi için elde edilen Qc değerleri..... 69
Tablo 3.10.Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için elde edilen Qc değerleri..... 79
Tablo 3.11. Kuzey Anadolu Fay Zonu için elde edilen Qc değerleri 88

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Ap : P dalgası genliği
Ac : Koda dalgası genliği
As : S dalgası genliği
b : Eğim
Cs : Düzeltme parametresi
E : Enerji, (J)
exp : Logaritma
f : Frekans, (Hz)
Hz : Hertz
I : Enerji
km : Kilometre
L : Tabaka kalınlığı
M : Magnitüd
my : Milyon yıl
P : P dalgası (Primer,Birincil)
S : S Dalgası (Seconder,İkincil)
t : Kayma zamanı, (sn)
tan : Tanjant
V : Kesme dalga hızı, (m/s)
w : Açısal frekans
Q : Kalite faktörü
Qc : Koda dalgası kalite faktörü
Qp : P dalgası kalite faktörü
Qs : S dalgası kalite faktörü
° : Derece
α : Soğurulma katsayısı
γ : Logaritmik azalım değeri
π : Pi sayısı, (3.14)

Kısaltmalar

B : Batı
BGB : Batı-Güney Batı
D : Doğu
DAFZ : Doğu Anadoly Fay Zonu
G : Güney
GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
K : Kuzey
KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu
KD : Kuzey Doğu
OAFZ : Orta Anadolu Fay Zonu

KUZEY ANADOLU FAY ZONU BOYUNCA P, S VE KODA DALGALARININ FREKANS BAĞIMLI SOĞURULMASI

ÖZET

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca sismik dalgaların soğurma özelliği tek geri saçılma modeli ve genliğin uzaklıkla azalımına dayanan koda normalizasyon modeli kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan veriler, 37 istasyonda kaydedilmiş 654 deprem kaydına ait 978 veri içermektedir. Koda dalgası için sismik kalite faktörünün frekans bağımlılığı $Qc(f)=Qof^{n}$ formülü kullanılarak belirlenmiştir. P ve S dalgalarının soğurulma (Qp ve Qs) ise genlik oran yöntemi ile hesaplanmıştır. Fay Zonu boyunca tüm kayıtlar kullanılarak hesaplanan Qc=182, n=0,90 bulunmuştur. Ayrıca, tüm çalışma alanı 5 alt bölgeye ayrılmıştır. Karlıova-Tokat arası için; Qc=160, n=0,87, Qp=32-503, Qs=60-414, Tokat-Çorum arası için; Qc=171, n=0,81, Qp=54-477, Qs=49-689, Çorum-Adapazarı arası için; Qc=191, n=0,76, Qp=75-514, Qs=23-493, Adapazarı-Yalova arası için; Qc=212, n=0,86, Qp=34-737, Qs=35-452, Yalova-Saros Körfezi arası için; Qc=188, n=0,88, Qp=52-469, Qs=46-601 sonuçları elde edilmiştir. Fayın tamamı için Qp= 47-479 ,Qs=46-607 olarak hesaplanmıştır. Qc için en düşük değer Karlıova ile Tokat arasında, en yüksek değer ise Adapazarı ile Yalova arasında belirlenmiştir. Qp için en yüksek değer Çorum-Adapazarı, en düşük değer ise Yalova-Saros Körfezi arasında hesaplanmıştır. Qs için en yüksek değer Adapazarı-Yalova, en düşük değer ise Çorum-Adapazarı arasında hesaplanmıştır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar uyum göstermektedir. Ayrıca, bölgesel soğurma sonuçları stres birikimi, tektonik hareketlilik, akışkan satüre yapılar ve heterojenite ile değişim gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kesme Zamanı, Koda, Kuzey Anadolu Fay Zonu, P ve S Dalgaları, Soğurma.

FREQUENCY DEPENDENT ATTENUATION OF P, S AND CODA WAVES ALONG THE NORTH ANATOLIA FAULT ZONE

ABSTRACT

In this study, The attenuation structure of the North Anatolia Fault Zone is determined using the single back scattering model of coda wave and coda normalization method which are based on the decrease of coda wave amplitude in distance. The data used in this study includes 978 implement the records of 654 earthquakes recorded at 37 stations. Frequency dependence of seismic coda wave quality factor $Qc(f)=Qof^{n}$ determined using formula. Attenuation of P and S waves (Qp and Qs) was calculated by the amplitude ratio method. Calculated using all records along the fault zone Qc=182, n=0,90 was found. İn addition, all study area is divided into five subregions. The estimated average frequency-dependent relation for all lapse times are; Qc=160, n=0,87, Qp=32-503, Qs=60-414 for Karlıova-Tokat Region; Qc=171, n=0,81, Qp=54-477, Qs=49-689 for Tokat-Çorum Region; Qc=191, n=0,76, Qp=75-514, Qs=23-493 for Çorum-Adapazarı Region; Qc=212, n=0,86, Qp=34-737, Qs=35-452 for Adapazarı-Yalova Region; Qc=188, n=0,88, Qp=52-469, Qs=46-601 for Yalova-Saros Körfezi Region. For all the faults Qp=47-479, is calculated as Qs=46-607. The lowest Qc value is determined between Karlıova and Tokat. The highest Qc value is determined between Adapazarı and Yalova. The highest Qp value is determined between Çorum and Adapazarı, the lowest Qp value is determined between Yalova-Saros Körfezi. Qs value is determined between Adapazarı-Yalova, the lowest Qs value is determined between Çorum-Adapazarı. The results obtained from each two methods are in agreement. In addition, regional absorption results stress accumulation, tectonic activity, is made to vary with fluid saturated and has been interpreted as heterogeneity.

Key Words: Lapse Time, Coda, North Anatolia Fault Zone, P and S Waves, Attenuation.

GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fay Zonu; Dünya'nın en hızlı hareket eden ve aktif sağ-yanal atımlı faylarından biridir. Yaklaşık 1200 km uzunluktaki Kuzey Anadolu Fay Zonu doğrultu atımlı (transform) ve sağ yönlü aktif bir fay olup, son 30 senede meydana gelen depremler esnasında fayın boyu ve atım miktarları arazi üzerinde tespit edilmiştir. Kuzey Anadolu Fay Zonu, tek bir kayma düzlemi olmayıp birçok parçalardan meydana gelmiş 500-1000 m genişlikte bir 'fay zonu' halindedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu, Anadolu Bloğu'nun, güneyde Arap Plakası ve kuzeyde Avrasya Plakası'nın arasında kalması ve bu sebeple batıya doğru açılma şeklinde hızla hareket etmesi sebebiyle yüksek sismik aktivite göstermektedir.

Sismik kalite faktörü (Q) sismik dalga enerjisinin azalımının tanımlanmasında kullanılan boyutsuz bir parametredir (Knopoff, 1964). Koda dalgalarının oluşum mekanizmaları üzerinde ilk çalışma Aki (1969), (Aki ve Chouet, 1975) tarafından yapılmış ve Aki (1980) tarafından kodanın oluşumu üzerine modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden tek saçılma modeli günümüze değin birçok araştırmacı tarafından yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Koda dalgalarından elde edilen kalite faktörü Q, tektonik olarak aktif ve durağan bölgelerin ayırımını en iyi gösteren değişkendir. Yüksek Q değerleri (>600) tektonik yönden durağan bölgeleri gösterirken düşük Q değerleri (<200) aktif sismik bölgeleri temsil eder. Kodanın oluşum mekanizmasıyla ilgili olarak Sato (1977) tarafından geliştirilen ve günümüzde en popüler olan tek saçılma modeli, soğurulma hesapları için kullanılmaktadır. Bu çalışmada tek saçılma yöntemi çerçevesinde ilk kez Sato (1977) tarafından önerilen koda dalgası yöntemi kullanılarak soğurulma parametresi Qc hesaplanmıştır. Koda Normalizasyon Yöntemi ile P ve S dalgalarının koda dalgasına spektral genlik oranları depremlerin episantrlarının istasyonlara olan uzaklıklarının fonksiyonu olarak görüntülenip, genlik oranının azalımından soğurulma parametreleri Qp ve Qs hesaplanmıştır (Aki, 1980, Frenkal, 1990). Koda ve S dalgası yayınım özellikleri, diğer bir ifadeyle soğurulma yapısını belirlenmesi ile ortamın heterojenliği ve bunun dalga yayınımına

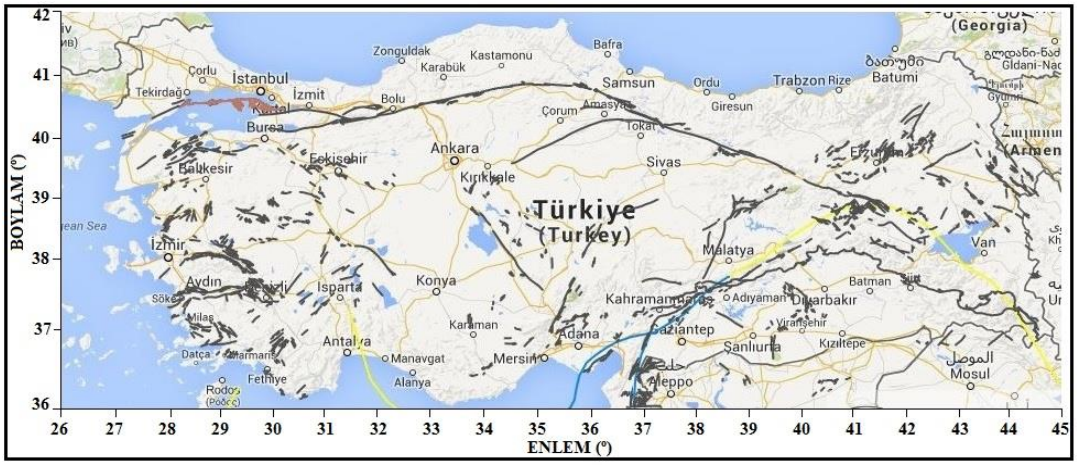
etkisini açıklamakta kullanılır. Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca soğurulma özellikleri araştırılmıştır. Kuzey Anadolu Fay Zonu verilerinden elde edilen Q kalite faktörü sonuçları, fay boyunca kalite faktörü konusunda bilgi sahibi olunması açısından önemli bir boşluğu doldurması ve bu sonuçların fayın tektoniğinin anlaşılması bakımından önemli katkılar sunması beklenmektedir.

1. KUZEY ANADOLU FAY ZONUNUN TEKTONİĞİ VE SİSMİSİTESİ

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), morfolojik olarak belirgin ve sismik açıdan oldukça aktif, dünya da en iyi bilinen faylardan biridir.

KAFZ yaklaşık olarak 1200 km uzunluğunda, Doğu Anadolu'dan Yunanistan'a kadar geniş yay şeklinde uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur. Zonun genişliği 100 m ile 10 km arasındadır. Bu fay kuzeydeki Avrasya ve güneydeki Anadolu levhası arasındaki sınırın bir bölümünü oluşturan transform fay özelliğindedir. Karadeniz kıyılarına paralel olarak doğuda Karlıova'dan, batıda Saros körfezine kadar uzanır ve Doğu Anadolu sıkışma bölgesini Ege-Kıbrıs yayına bağlar. Kuzey Anadolu'da önemli bir tektonik hat olarak çok önce fark edilmiş ve daha sonra tanımlanan KAFZ'na paralel olarak gösterilmiştir. Nowacks (1928) Paphloganische Narbe; Salomon-Calvi (1936, 1940) Forsetzung der Tonale Linie ve Pamir (1948) tarafından Cicatrice Nord Anatolienne diye adlandırılmıştır. Bu araştırmacılar KAFZ'nu orojenik bir yapı olarak tanımlamış ve Anadolu'da Alpin orojeninin bir tepe olarak tarif etmişlerdir. Salomon-Calvi (1936, 1940) Wegener'in kıtaların kayması teorisi içinde Gondwana ve Avrasya çarpışmasına bağlı bir sütur zonu olarak tanımlamışlardır.

1939-1948 yıllarında oluşan depremlerin incelenmesi ile Ketin (1948), bu depremlerin Kuzey Türkiye'deki Karadeniz dağları boyunca uzanan sağ yönlü bir doğrultu atımlı fay boyunca oluştuklarını ve bu yapının bölgenin orojenik yapısıyla ilişkisinin olmadığı sonucuna varmıştır. Bu yapının genç bir yapı olduğunu belirtmiş ve bu fayın güney bloğunu oluşturan Orta ve Batı Anadolu'nun, kuzey bloğunu oluşturan Karadeniz'e göre batıya doğru hareket ettiğini ortaya koymuştur. Bu teorisinin doğru olması durumunda bunu tamamlayan sol yönlü doğrultu atımlı bir fay sisteminin de olması gerektiğini de öne sürmüştür. Ketin (1957) fayı Kuzey Anadolu Deprem Fayı olarak adlandırmıştır. (Ketin ve Roesli, 1953) fayı Kaliforniya'daki San Andreas Fayı ile karşılaştırmıştır.



Şekil 1.1. Türkiye diri fay haritası
URL-1: http://deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014)

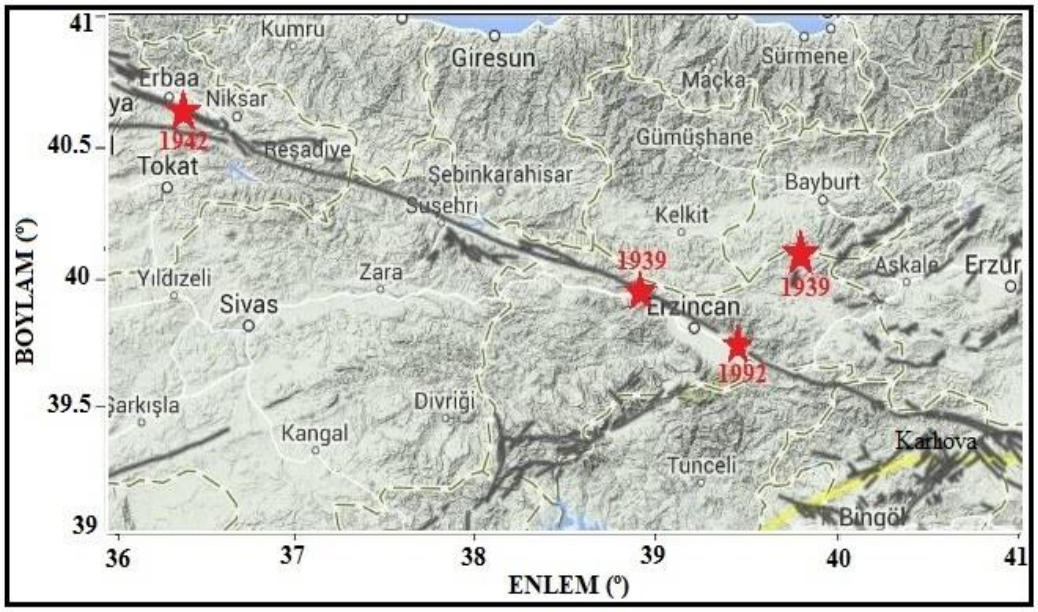
Birçok doğrultu atımlı fay gibi KAFZ 1000-1200 km uzunluğu boyunca morfolojik olarak iyi gelişmiş yüzey yapıları içerir. Fay zonu boyunca zona paralel, yarı paralel faylar, saç örgüsü geometrisi, çek-ayır havzaları, çökme gölleri, basınç sırtları, ötelenmiş dereler vb. gibi yapılar izlenir (Bozkurt, 2001).

Çalışmadaki bölgelendirme esas alınarak bölgelerin sismotektonik özellikleri şöyledir:

1.Bölge : Karlıova-Tokat arasındaki bölgeyi içermektedir. Şekil 1.2'de KAFZ morfolojik olarak Karlıova'dan Tokat'a kadar net bir şekilde izlenir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile birleştiği Karlıova'nın 10 km doğusundan itibaren blok faylı ve bindirmeli bir kuşak boyunca izlenmez. Karlıova doğusundan itibaren oluşan depremler sırf doğrultu atımlı faydan ziyade önemli bindirme bileşenleri kapsar (Mc Kenzie, 1972).

Karlıova bölgesinde kompleks bir fay deseni ve morfoloji ile karakterize olur (Allen, 1965, Arpat ve Şaroğlu, 1972, Seymen ve Aydın, 1972). Karlıova'dan Erzincan'a kadar fay zonu süreklidir. Erzincan yakınlarında fay kesilir ve 10 km kuzeye sıçrama yapar. Bu iki fay kolu burada bir çek-ayır havzası niteliğindeki Erzincan ovası ile birbirine bağlanır. Erzincan'dan Reşadiye'ye kadar fay zonu tekrar süreklilik sunar. Bu segmentin karakteristik özellikleri, uzamış çökme gölleri (sağ göletler), bazen travertenler ile ilişkili kaynaklar, fay diklikleri ve deforme olmuş akarsu vadilerinden oluşmuştur. Niksar havzası, Taşova-Erbaa

havzası, Erzincan havzası çek-ayır havza özelliğindedir. Reşadiye ve Erbaa arasında fay sürekliliğini tekrar kaybeder. Şekil 1.2'de gösterilen 21.11.1939'da 08:49:03.00'da meydana gelen M=5,9 büyüklüğünde Erzincan/Çayırlı depremi ve akabinde 26.12.1939'da 23:57:21.00'da meydana gelen M=7,9 Erzincan depremi bölgede meydana gelen en büyük depremdir.

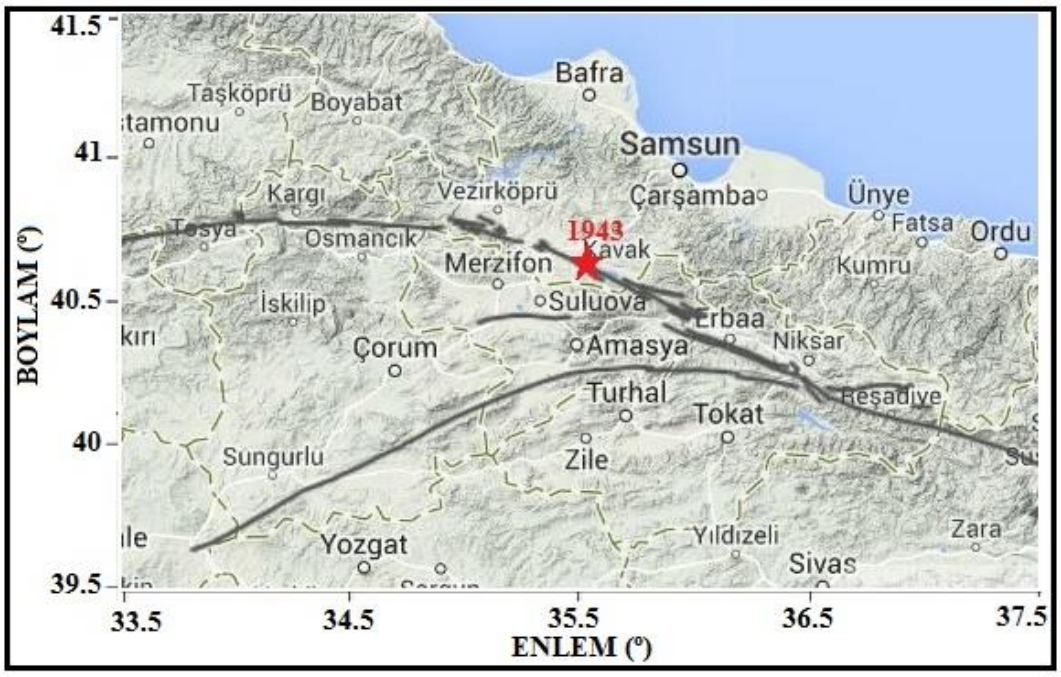


Şekil 1.2. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Karlıova-Tokat arasındaki bölümü URL-2: http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014)

1939 Erzincan depremi (M=7,9-8) 350 km'lik yüzey kırığı oluşturmuştur. 1942'de meydana gelen Tokat/Erbaa depremi ve Niksar depremleri bölgenin tektonik yapısının aktif olduğunu gözler önüne sermektedir. Yakın zamanda bu bölgede meydana gelen en büyük deprem 13.03.1992'de 17:18:39:40 oluş zamanlı M=6,8 büyüklüğüne sahip Erzincan/Üzümlü depremi olmuştur.

2.Bölge : Tokat-Çorum arasının sismisite özellikleri; Erzincan'dan gelen kol Amasya güneyinde D-B yönünde döner. Reşadiye'nin kuzeyinde yeni bir kol başlar. Güneydeki ve kuzeydeki kollar arasında üçüncü bir kol daha bulunur. Bu fay Erzincan çek-ayır havzası geniş bir çek-ayır havzası içinde ikincil bir ekstensiyonel faydır. Amasya'dan Eskipazar doğusuna kadar fay yine süreklilik sunar. Eskipazar'dan batıya doğru fay çatallanır (Ketin ve Roesli, 1953). Bu çatallanma daha batıda fayın kuzey ve güney kollara bölünmesinin ilk işaretleridir.

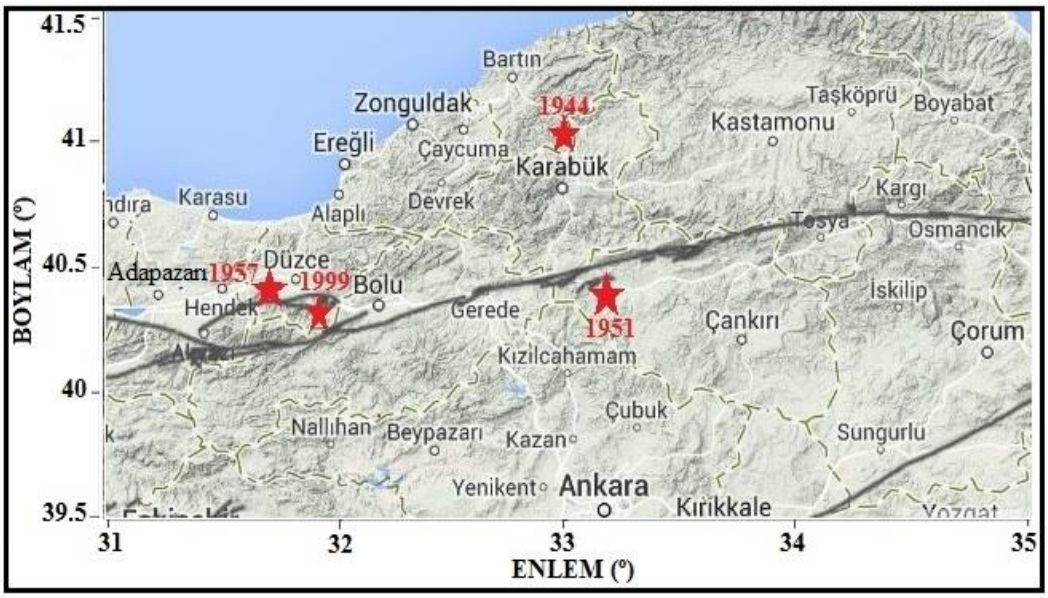
Çağa depresyonu bu bölümde yer alır. Mudurnu'nun batısından sonra KAFZ iki ana bölüme ayrılır.



Şekil 1.3. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tokat-Çorum arasındaki bölümü URL-2: http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014)

Bu yapılar KAFZ'nun iki ana kolunun batıya doğru daha fazla sıçramasından kaynaklanır. Bu bölgede şu ana kadar meydana gelmiş en büyük deprem Şekil 1.3'te de gösterilen 26.11.1943'te 22:20:41.00'da meydana gelen M=7,4 büyüklüğündeki Samsun/Ladik depremi olmuştur. Bu bölgede özellikle son 5 yılda Amasya ve Çorumda meydana gelen 3,0 ve üzeri büyüklükteki deprem sayısı bölgenin hareketli olduğunu göstermektedir.

3.Bölge : Çorum-Sakarya arasında kalan bölgede aletsel dönemde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiş ve bölge aktif olarak depremlere maruz kalmaktadır. Bölge KAFZ'nun en çok etkilendiği bölgedir. Bu bölgede şu ana kadar; Şekil 1.4'te de gösterilen 01.02.1944'te 03:22:40.00'da meydana gelen M=7,2 olan Karabük/Safranbolu depremi, 13.08.1951'de 18:33:34.00'da meydana gelen M=6,9 olan Çankırı/Çerkeş depremi, 26.05.1957'de 06:33:35'de meydana gelen M=7,1 olan Düzce/Gölyaka depremidir. Bu bölgede yakın zamanda meydana gelen en büyük deprem 12.11.1999'da 18:57:00'da meydana gelen Düzce/Kaynaşlı depremidir.



Şekil 1.4. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Çorum-Adapazarı arasındaki bölümü URL-2: http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014)

4.Bölge : Sakarya-Yalova arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Şekil 1.5'te fayın kuzey kolu, İzmit-Sapanca gölü grabeni içine girer ve Ganosdağ güneyinde Marmara denizini batı kıyısında kaybolur. Ganosdağ-Saros arasında kuzeydeki kol sürekli bir doğrultu atımlı fay şeklinde izlenir. KAFZ genellikle geniş, çok sayıda bazen paralel bazen de saç örgüsü şeklindeki kollardan oluşan bir sağ yönlü doğrultu atımlı faydır. Batı Anadolu'da Mudurnu batısında graben ve horst morfolojisi ile birleşir. KAFZ, Dokurcun civarında iki kola ayrılır. Kuzeydeki kol Marmara denizini kat eder ve KAFZ'nun en aktif bölümünü oluşturur. Şekil 1.5'te de gösterilen 17 Ağustos 1999 depremi de bu kol üzerinde oluşmuştur. Canıtez'in (1962) sismik ve gravite çalışmaları fay zonunun altındaki kabuğun normalden daha ince olduğunu göstermiştir. Fay zonundaki kayaçlar oldukça ezilmiş ve kırıklanmıştır. Bu kayaçların kolay erozyonu fay boyunca bir rift morfolojisi oluşturmuştur. Bu rift morfolojisi Karlıova'dan Mudurnu'ya kadar uzanır. Sadece Erzincan ve Reşadiye civarında kesilir. Güneydeki kol Marmara denizi'nin güney kenarını sınırlar. Daha sonra güneybatıya doğru bükülür ve Ege denizi içinde güneybatı yönünde devam eder. KAFZ'nun kara üzerindeki bölümleri ayrıntılı olarak ortaya konmuş, ancak Marmara suları altındaki kesimi ile ilgili bilgiler sınırlıdır. Marmara bölgesinde KAFZ'nun özellikleri, 1999 depreminden sonra oldukça fazla araştırma konusu olmuştur. Marmara denizinin oluşumu ile ilgili

olarak değişik modeller önerilmiştir. Bununla birlikte Marmara denizinde fayların uzunluğu ve doğası hakkında bir görüş birliği bulunmamaktadır.



Şekil 1.5. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Adapazarı-Yalova arasındaki bölümü URL-2: http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014)

Havzalar 3 km kalınlığına erişen Pliyo-Kuvaterner sedimentlerini kapsar. Marmara denizini hem kuzeyden hem güneyden sınırlayan oldukça dik yarlardan oluşan iki batimetrik yapı bulunur. Bunlar ana aktif fayların yerini gösterir. Bu yapılar Kuzey ve güney sınır fayları olarak adlandırılmıştır.

5.Bölge : Şekil 1.6'da ki Yalova-Saros Körfezi bölümünde ise; Ganosdağ-Saros arasında kuzeydeki kol sürekli bir doğrultu atımlı fay şeklinde izlenmiştir. Marmara denizi, deniz tabanından birkaç yüz metre yüksekliğe erişen sırtlarla birbirinden ayrılmış Çınarcık Merkezi Marmara, Tekirdağ havzası gibi KD yönelimli, asimetrik doğrultu atımlı derin deniz fay havzalarından oluşmuştur. Marmara denizini hem kuzeyden hem güneyden sınırlayan oldukça dik yarlardan oluşan iki batimetrik yapı bulunmuştur. Bunlar ana aktif fayların yerini göstermiştir. Bu yapılar kuzey ve güney sınır fayları olarak adlandırılmıştır. Kuzey sınır fayı Marmara denizine İzmit Körfezi ekseninden girer ve batıda Trakya'da yüzeye çıkarak Ganos Fayını

oluşturmuştur. Fay daha sonra Gelibolu yarım adasının kenarını sınırlayarak Ege denizine doğru uzanmış ve Ege denizi içinde fayın daha batıya olan uzanımı Ege çukurluğunu sınırlamıştır. Marmara denizi sırf doğrultu atımlı deformasyon zonu ile Batı Anadolu'daki genleşme bölgesi arasındaki geçiş zonudur. Güney sınır fayı D-B yönünde uzanır ve İzmit körfezinin güney kenarını sınırlar (Gölcük-Yalova bölümü).



Şekil 1.6. Kuzey Anadolu Fay Zonunun Yalova-Saros Körfezi arasındaki bölümü URL-2: http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014)

Marmara denizi çevresindeki GPS verileri Anadolu levhasının batıya doğru yılda 20 mm hareket ettiğini gösterir Bozkurt, 2001).

KAFZ ve ana sıçramalarında birkaç çöküntü gözlenir (Bozkurt, 2001). Bunlardan bir kısmı;

1-Çek-ayır havza: Niksar havzası, Taşova-Erbaa havzası, Erzincan havzası, Adapazarı havzası.

Bileşik çek-ayır havza: Merzifon-Suluova gibi küçük çek-ayır havzaların birleşmesi sonucu oluşmuş havzalar.

2-Fay kaması havzaları: Suşehri, Gölova, Vezirköprü havzaları.

3-Bir kenarından aktif doğrultu atımlı fay, diğer kenarından bindirme fayı ile sınırlı karmaşık çek-ayır havzaları (Geyve havzası).

4-Negatif çiçek (palmiye) yapısı (Almus fay zonu boyunca Kazova havzası): Doğrultu atımlı faylarla sınırlı ve genleşmenin gözlendiği yapı.

Ketin (1948) KAFZ'nun genç bir yapı olduğunu belirtmiş fakat özel bir oluşum yaşı vermemiştir. Pavoni (1960) fayın Erken Tersiyer yaşlı olabileceğini belirtmiş ve faydaki atımın 350-400 km olabileceğini belirtmiştir.

Erinç (1973) fay etrafındaki drenaj ağının geç Miyosen esnasında oluştuğunu ve bu drenajın fay tarafından değiştirildiğini belirtmiştir. Ketin (1976) fay boyunca oluşan havzalarda Orta Miyosen'den daha yaşlı kayaçların depolanmadığını, bu nedenle fayın morfolojik olarak bu zamandan önce oluşmadığını belirtmiştir. Tatar (1975) batı Erzincan civarında fayın hareketsiz kollarını örten Pliyosen yaşlı kayaçları göstererek fayın Pliyosen öncesinde oluştuğunu söylemiştir. Jeomorfolojik veriler fayın erken Miyosen ile Pliyosen arasında oluşmaya başladığını göstermektedir. Fayın yaşı ve atımı ile ilgili en önemli jeolojik veriler Seymen (1975) tarafından Reşadiye civarındaki jeolojik haritalamalar sonucu ortaya çıkmıştır. Bu kenet zonu çok geniş ofiyolit melanj birimleri ile temsil edilir. Kenet zonunun fayın her iki bloğunda 45^0 den daha fazla eğimli olduğunu belirtmiştir. Seymen (1975) Amasya ve Erzincan arasında fayın bu keneti kesip ötelediği için bu kesimdeki yaşının Burdugaliyen sonrası olması gerektiğini belirtmiştir. Fay boyunca kenet zonundaki görünür ötelenmeyi 85 ±5 km olarak vermiştir. Faydaki düşey hareket az ve kenet zonu oldukça eğimli olduğu için bu görünür ötelenme, gerçek atıma oldukça yakın bir değerdir. Tokay (1973) ve Tatar'ın (1975) buluntuları faydaki toplam hareketin 50-100 km arasında olduğunu göstermektedir. Anadolu ve çevresindeki bölgesel tektonik, bu fay üzerinde 100 km'den daha fazla hareketi olanaksız kılmaktadır.

KAFZ'nun oluşum yaşı ve sağ yönlü hareketin oluşumu ile ilgili veriler dört başlık altında toplanabilir (Bozkurt, 2001).

1-Sağ yönlü hareket Orta Miyosen'den itibaren başlamış ve bu kaçış Arabistan-Avrasya levhasının çarpışmasından kaynaklanmıştır.

2-KAFZ en geç Miyosen'de veya Erken Miyosen'den önce oluşmuştur.

3-KAFZ, doğu Anadolu'da Geç Miyosen'de harekete başlamış, batıya doğru hareket ederek Marmara denizine Pliyosen'de varmıştır.

4-Son çalışmalarda fayın doğuda 16 my'dan daha yaşlı fakat batıda 3 my'dan daha gençtir. Jeolojik çalışmalar faydaki hareketin 85±5 km'den 20-25 km arasında değiştiğini belirtmektedir. Faydaki hareket hızı yılda 5-10 mm (Barka, 1992), 17±2 mm (Westaway, 1994) Levha hareketleri ve sismik bilgiler yılda 30-40 mm (Taymaz ve diğ., 1991) Son zamanlardaki GPS verileri yılda 15-25 mm (Reilinger ve diğ., 1997, Oral ve diğ., 1995, Ayhan ve diğ., 1995, McClusky ve diğ., 2000) hızı göstermektedir. Bu hareket hızı erken Pliyosen'den itibaren 75-125 km hareketi göstermektedir. Bu da jeolojik verilerle elde edilen 85±5 km ile uyuşum içindedir. Geçmiş 60 yılda KAFZ boyunca birçok büyük deprem gelişmiştir (Bozkurt, 2001). 1939 Erzincan depremi (M=7,9-8) 350 km'lik yüzey kırığı oluşturmuştur. Fay boyunca 9 adet orta ve büyük deprem gelişmiş, bu depremlerle 1000 km'den daha fazla yüzey kırığı gelişmiştir. Birçok deprem batıya doğru kaçışı göstermektedir. Tarihsel depremlerin dağılımı iki koldan kuzeydeki kolun daha aktif olduğunu ve daha büyük deprem oluşturduğunu belgelemektedir. KAFZ bazı görüşlere Karlıova üçlü kavşağında sona ermemekte güneydoğuya doğru devam etmektedir. Üçlü kavşak zamanla batıya hareket etmiş, dolayısıyla Karlıova doğusundaki üçlü kavşağın batıya göçmesinden önceki doğrultu atımlı faylar günümüzdeki şeklini almıştır.

2. KABUK VE ÜST MANTODA ELASTİK DALGA YAYINIMI

2.1. Yer İçinde Elastik Dalgaların Soğurulması

Sismik dalgaların soğurulması birçok fiziksel parametreye bağlıdır. Bu parametreler basınç, sıcaklık ve saturasyon yanı sıra ortamın heterojenitesine doğrudan bağlıdır. Soğurulma çalışmaları hem laboratuvar hem de kabuk manto çekirdek fazları incelenerek yapılmaktadır. Literatürde α soğurulma katsayısı, δ logaritmik azalım değeri olmak üzere kalite faktörü Q,

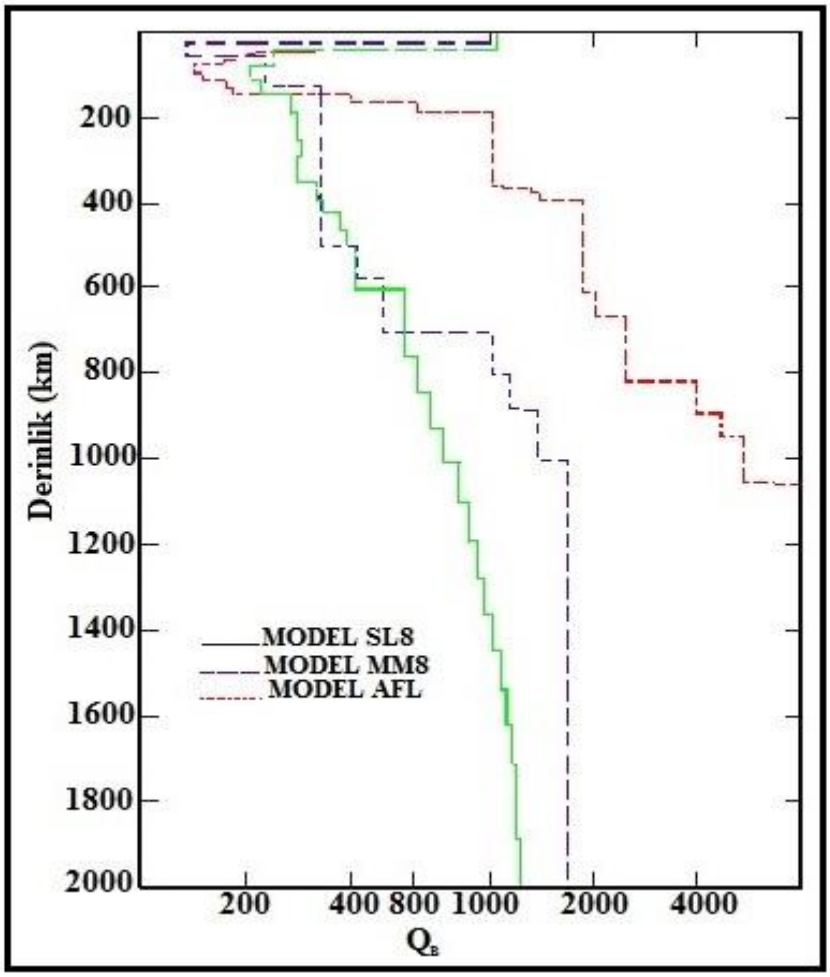
$$Q=\frac{\pi f}{\alpha V}=\frac{\pi}{\delta} \tag{2.1}$$

şeklinde ifade edilir. Burada V kesme dalgası hızını ve f frekansı ifade eder. Sınırlı bir ortamda genellikle cisim dalgalarının soğurulması esas alınmasına rağmen, az da olsa soğurulmanın tanımlanmasında dispersif dalgalarda dikkate alınmaktadır.

Yerin içerisinde Q dağılımının belirlemesinde (Anderson ve Hart, 1978) tarafından SL8 olarak bilinen bir model ortaya konulmaktadır. Bunun yanı sıra yüzey dalgası verilerinden hesaplanan MM8 modeli (Anderson ve Archembeau, 1964) ve kısa peryotlu P-dalgası verilerinden elde edilen AFL modeli (Lundquist ve Cormier, 1980) karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Şekil 2.1).

Kabuk ve üst manto (0-300 km) için, Q'nun derinlikle dağılımını gösteren çok sayıda model vardır. Birçok sismik veri küresel simetriye sahip ve frekanstan bağımsız Q modeliyle açıklanmaktadır. Kabuk içerisinde Q yaklaşık 160'dır. Kabuğun altında (50-100 km) Q~500, Astenosferde veya hızın düşük olduğu kısımlarda (100-200 km) bu değer 125 olarak tespit edilmiştir. Koda dalgası kalite faktörü Qc kabuğun üst kısımlarındaki yapıyla alakalıdır. Sığ tabakalarda, Qc'nin bölgeden bölgeye belirgin bir şekilde değişim gösterdiği (120-600 arasında) belirlenmiştir. Qc kabuk içerisindeki heterojeniteye bağlı olduğundan, düşük Qc değerleri kabukta fazla ayrışmanın olduğunu göstermektedir. Bu da o bölgenin sismik açıdan aktif olduğunu

ifade etmektedir. Qc yüksek değerlere sahip ise kabuğun daha stabil olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2.1. Yer içerisinde Qa'nın derinlikle değişimini gösteren modeller (Lundquist ve Cormier, 1980)

2.2. Kalite Faktörü (Q)

Dalga yayınımı uzay ve zaman ortamında tanecik hareketinin değişimini ifade etmektedir. Dolayısıyla, dalganın soğurulması uzay ve zaman ortamında değerlendirilebilmektedir. Ele alınan bir bölge için, dalga zamanla ve uzaklığa bağlıolarak soğurulmaktadır. Dalga hareketi için, frekansın fonksiyonu olarak kalite faktörü Q(w);

$$\frac{1}{Q(w)} = \frac{1}{2\pi}\frac{\Delta E}{E}, \qquad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu tanımlamada,1/Q, w açısal frekansına bağlı harmonik hareketin bir devrinde saçılan ΔE enerjisinin, maksimum enerjiye ya da aynı süreç boyunca yüklenen enerjiye oranını gösterir. Denklem (2.2) no'lu bağıntı kullanıldığında gerilme ve deformasyon arasındaki faz açısı δ ile Q arasında,

$$\frac{1}{Q}=\tan\delta \tag{2.3}$$

ilişkisi vardır.

Genliğin soğurulan harmonik kısım dikkate alındığında, genliğin Aexp (-π/Q) şeklinde azalım gösterdiği görülür. Enerjinin, genliğin karesiyle doğru orantılı olması nedeniyle, enerjinin azalımı,

$$\Delta E=A^2\left[1-\exp\left(-\frac{2\pi}{Q}\right)\right] \tag{2.4}$$

şeklinde ifade edilir. $\Delta E/E$ oranının alınmasıyla, (2.2) nolu bağıntı elde edilir. $\Delta A/A$ oranından dalga yayılım bağıntısı,

$$\frac{1}{Q}=\frac{1}{\pi}\frac{\Delta A}{A} \tag{2.5}$$

şeklinde ifade edilir.

Dalganın uzay ve zaman ortamında bir değişim gösterdiği göz önüne alındığında, tek bir periyotta veya dalga boyunda enerjide bir saçınım olduğunu düşünülebilir. Bu durumda zamana bağlı Qt ve uzaya bağlı Qs kalite faktörlerini tanımlamış olur. Denklem (2.2) ve sabit Denklem (2.5) no'lu bağıntılara göre, Qt bir periyotluk zaman sürecinde bir düzlemin sabit bir noktasında dalga soğurulmasını, Qs ise verilen bir zaman aralığında bir dalga boyunda dalga soğurulmasını ifade etmektedir.

Dalga soğurulması bağıntısı, frekansa ve dalga sayısına karmaşık sayılar atamak suretiyle yeniden yazılabilir. Bu durumda bir harmonik elastik dalga,

$$u(x,t)=A\exp\left[i(k'x-w't)\right] \tag{2.6}$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada dalga sayısı ve frekans kompleks ifadelerdir. Bunlar;

$$k' = k + ik^*, \tag{2.7}$$

$$w' = w + iw^*, \tag{2.8}$$

olarak ifade edilebilir. Bu durumda Denklem (2.6) no'lu bağıntı,

$$u(x,t) = A\exp\left[i(kx - wt) - (k^* + w^* t)\right], \tag{2.9}$$

şeklinde yazılabilir. Sabit bir zaman aralığında soğurulma uzaklığa, verilen bir uzaklıkta ise soğurulma zamana bağlı olarak değişmektedir. Bunlar,

$$u(x) = Ae^{-k^*}\cos(kx - wt), \tag{2.10}$$

$$u(t) = Ae^{-w^* t}\cos(kx - wt), \tag{2.11}$$

şeklinde tanımlanırlar. Qt ve Qe (dalga sayısına bağlı kalite faktörü)'ye göre,

$$\frac{1}{Qt} = \frac{2w^*}{w}, \tag{2.12}$$

$$\frac{1}{Qe} = \frac{2w^*}{w}, \tag{2.13}$$

kısaltılması yapılabilir. Hız fazının $c' = \frac{w'}{k'}$ olmasından dolayı, karmaşık ifade $c' = c + ic^*$ halini alır. Eğer $w^* \ll w$ ve $k^* \ll k$ ise hız fazının sanal kısmı,

$$c^* = c\left(\frac{w^*}{w} + \frac{k^*}{k}\right), \tag{2.14}$$

şeklinde yazılabilir. Sonuçta Qt frekansın Qe dalga sayısının sanal bileşeni ile ilgilidir. Frekansı (w) ve c faz hızına sahip bir dalga, x mesafesini t zamanında kat eder. c=x/t olmasından dolayı, Denklem (2.12) ve Denklem (2.13) bağıntıları kullanılarak Qt=Qe eşitliği elde edilir.

2.3. Koda Dalgası Kalite Faktörü (Qc)

Koda dalgası, yüzey dalgalarının ardından gelen dalgalar için kullanılmıştır. Bu gün ise koda ismi S dalgalarından sonra gelen ve genlikleri zamanla üstel olarak azalan deprem dalgalarının adı olarak kullanılmaktadır. Koda dalgalarının soğurulması;

1) elastik olmayan ortam,

2) süreksizlikler arasındaki dalga yayılımından veya heterojeniteden kaynaklanan saçınımdan kaynaklanmaktadır.

İlk durumda, içsel sürtünmeden kaynaklanan ısıya dönüşüm nedeniyle dalga enerjisinde azalma söz konusudur (Qi). İkinci durumda ise, gözlenen noktada enerji düzlem boyunca saçınım gösterir. Enerjinin soğurulmasına neden olan her iki unsur odağa yakın bir alanda gözlenirler. Her bir kısa mesafe için, dalga yayınımı kabuk boyunca gerçekleşir ve esnek olmayan ve karmaşık ortamdan etkilenir. Koda kalite faktörü Qc ile tanımlanan toplam soğurulma her iki unsurdan da etkilenir. Koda kalite faktörü Qc,

$$\frac{1}{Qc}=\frac{1}{Qi}+\frac{1}{Qs}, \tag{2.15}$$

şeklinde ifade edilir. Burada Qi esnek olmayan ortamdan kaynaklanan soğurulmayı ifade etmektedir ve kesme dalgası soğrulma değerine (Q_β) eşittir. Qs saçınımından kaynaklanan soğurulmayı ifade etmektedir. Danity (1981) tarafından geliştirilen bağıntıda Qs;

$$\frac{1}{Qs}=\frac{gr}{w}, \tag{2.16}$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıda w açısal frekans,

$$g=\frac{\Delta I}{I \times L} \tag{2.17}$$

dispersiyon katsayısıdır. Bu ifadede I enerjiyi, L de heterojen ortamdaki tabaka kalınlığını ifade etmektedir. Koda dalgası soğurulmasını tanımlamada başka birçok esasında koda dalgası soğurulması kabuk içerisinde anelastisitenin Qi ve heterojenitenin Qs belirlenmesine imkan verir. Qc'ye neden olan iki etkinin ayrılması kolay değildir. Koda dalgası genliğinin zamanla azalması,

$$A(w,t)= A_0 \exp\left(-\frac{wt}{2Qc}\right), \tag{2.18}$$

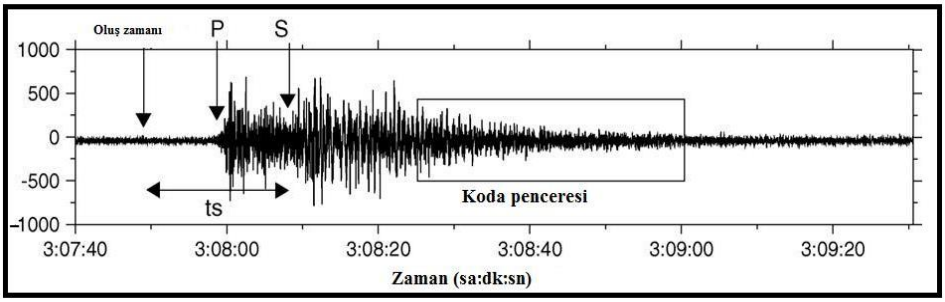
şeklinde ifade edilir. Frekansa bağlı değişen Qc'nin deneysel olarak tespiti,

$$Qc(w)=Q_0\left(\frac{w}{w_0}\right)^n, \tag{2.19}$$

şeklinde yapılmaktadır. Burada Qo referans frekansı w_0 ile ilişkilidir ve Qo , 1 Hz frekans değerindeki koda kalite faktörüdür. n değeri ise frekans bağımlılığını ifade etmektedir.

2.4. Koda Dalgasının Kökeni

Koda dalgaları yer kabuğunda düzgün bir şekilde dağılmış heterojenliklerden geri saçınım ile oluşmuş dalgalar olarak yorumlanmaktadır. Birincil dalganın yayıldığı ortamda var olan heterojeniteler nedeniyle ikincil dalgaların oluşumu olayı sismik saçılma olarak tanımlanır. Saçılma kökenli koda dalgalarının temelini P ve S dalgalarının oluşturduğu kabul edilir. Bu çalışmada incelenen koda dalgaları broad band sismogramlarda S dalgasından sonra gelen ve saçınım ile oluşan dalgadır (Şekil 2.2). Diğer bir deyişle S dalgasının kuyruk kısmını oluşturmaktadır. Bu dalgalar yer içinde rastgele dağılmış saçıcılardan kaynaklandığından, rastgele verilerin özelliklerini taşırlar. Rastgele veriler istatistik ve olasılık esaslarına göre incelenirler.



Şekil 2.2. Bir sismogram üzerinde koda dalgasının gösterimi

Koda dalgalarının rastgele olayların sonucu olduğu, sismogramların incelenmesi ile belirlenmiş ve bu rastgele olayı tanımlamak için rastgele ortam modelleri geliştirilmiştir. Koda dalgaları diğer dalgalara göre farklı özellikler gösterirler. Şahin (2008) ‘de koda dalgalarının genel özelliklerini şöyle sıralamıştır;

1-) 100 km’nin altında dışmerkez uzaklığı olan bir depreme ait sismogramın toplam uzunluğu (P dalgasının başlangıcı ile koda dalgasının bitişi arasındaki zaman farkı) dışmerkez mesafesinden ve azimuttan bağımsızdır. Bu özellik deprem büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılır.

2-) Farklı depremlerin koda dalgalarının güç spektrumu zamanın (orjin zamanından itibaren) fonksiyonu olarak azalır. Güç spektrumundaki zamana bağlı azalım, dışmerkez mesafesinden ve istasyon ile dışmerkez arasındaki yolun özelliklerinden bağımsızdır.

3-) Koda dalgasının oluşumu istasyonun bulunduğu jeolojiye de bağlıdır. Sedimanlarda, granitlerden 5 ila 8 kat daha büyüktür. Gürültü genliği koda uyarı faktörü ile orantılıdır. Bu da çeşitli zeminler için veriler üzerinde gözlenen toplam sürenin jeolojiden bağımsız olduğunu göstermektedir.

4-) Küçük açılımlı sismograf şebekesi ile yapılan koda çalışmaları, bu dalgaların dışmerkezden gelen düzlem dalgalar olmadığını göstermektedir.

Koda dalgasının oluşumu ile ilgili üç yaklaşım vardır:

1-) Koda dalgası, düşük hızlı sedimanlarda ve/veya gölcük ve göller gibi sulu ortamlara bağlı olarak gelişen düşük hızlı dalgalardan oluşmaktadır,

2-) Odakta artçı sarsıntılar tarafından meydana getirilen dalgalardır,

3-) Kaynak ile istasyon arasındaki mesafede doğrudan gelen dalgaların heterojeniteden kaynaklanan saçınımdan oluşmaktadır.

Düşük hız modeli, yukarıdaki maddelerdeki varsayımları açıklayamaz. Artçı şok modeli dolayı reddedilebilir. Nedeni, artçı şokların uzun süre devam etmesi halinde genlik azalımları deprem büyüklüklerinden bağımsızdır. Koda dalgalarının bu özelliklerine bağlı modeller oluşturulmuştur.

100 km'den daha az dışmerkez uzaklığına sahip depremlerin oluşturduğu sismik dalgalar, kabuk içerisindeki heterojenliklerden büyük ölçüde etkilenirler. Bu etkileşimde, elastik dalga yayılımı difüzyon olayına benzer bir özellik gösterir. Heterojen ortamın özelliklerini taşıyan sismik dalga bir çok yansıma ve kırılma sonucu oluşur. Bu durum yeni bir sıkışma ve kesme dalgasının meydana gelmesine, dolayısıyla, olası ışın yollarının artmasına neden olur. Yer içerisinde oluşan ışın yolu artımı dalga yayılımının difüzyon olayı gibi düşünülmesini sağlar.

Dalga yayılımının en önemli özelliği, dalga enerjisininin, yayılım doğrultusunda ilerlemesidir. Ancak heterojen bir ortamda dalganın ilerlediği yol boyunca güçlü saçılımlardan etkilenmesinden dolayı, dalga enerjisinin, dalganın yayılma doğrultusunda ilerlemesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla dalga enerjisi farklı yönlere saçılır, bu durumda enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür.

2.5. Tekil Saçılma Modeli

Bu yöntem, farklı heterojenitelerden saçılan dalgaların girişimi ile oluşan koda dalgasını açıklayan tek saçılma modelidir. Aki ve Chouet (1975) ve Sato (1977) tarafından geliştirilen tekil saçılma modeli, zayıf saçılma varsayımına dayanmaktadır. Bu modelde ortam zayıf saçıcılı olarak kabul edilir ve dalga tek saçıcıya bağlı olarak saçınım gösterir ve her bir dalgacık diğer saçıcılardan uzakta olmasından dolayı tek saçınıma uğrar. Saçınan dalga zayıftır ve saçınmış dalgadan başka bir saçınım meydana gelmez. Bu durum 'Born Yaklaşımı' ile ifade edilmektedir. Born yaklaşımına göre çoklu saçınımda meydana gelen enerji kaybı dikkate alınmaz. Bütün bunların fazla basitleştirilmesinden dolayı, birim alana düşen enerjinin dalga güzergahı boyunca korunması ilkesi bozulmuş olur.

2.6. Tekil Geri Saçılma Modeli

Tekil geri saçılım modeli yukarıda sıralanan koda dalgası özellikleri ile açıklanabilir. Patlatma deneylerinde dalga spektrumu patlatma doğrultusunda enerjinin hemen hemen tümünün kesme dalgası ve yüzey dalgası hızlarıyla istasyona ulaştığını göstermektedir. (Aki ve Chouet, 1975) koda dalgalarının oluşumu ile ilgili tekil saçılma modelini geliştirmişler ve saçılan dalganın ortalama enerji yoğunluğunun sadece zaman bağımlılığını incelemişlerdir. Cisim ve yüzey dalgalarının saçılımını içeren tekil saçılma modelinde, koda dalgalarını oluşturan saçıcılar rastgele dizilmiş fakat tekdüze dağılmış durumdadır. Bunun yanında, kaynak ve alıcının aynı noktada bulunmasına bağlı olarak, dalga yayılımı küresel biçimdedir ve birincil ve saçılan dalgalar aynı türde ve aynı hıza sahiptir. Tekil geri saçılma modelinde kaynak ile alıcı aynı noktada olduğu için, saçılan dalga birincil dalganın yayılma doğrultusundan 180° geri saçılarak alıcıya ulaşır. (Aki ve Chouet, 1975) koda dalgalarının 1 Hz civarında, yüzeye yakın heterojenitelerden geri saçılan yüzey

dalgalarından,10 Hz'den büyük frekanslarda ise litosferin derin bölgelerinden geri saçılan cisim dalgalarından oluştuğunu kabul etmektedir.

2.7. Tekil İzotropik Saçılma Modeli

Sato (1977) tarafından geliştirilen tekil izotropik saçılma modeli (Aki ve Chouet, 1975)'in geri saçılma modelinden hareketle tekil izotropik saçılma modeline dayanmaktadır. Bu modele göre, sınırlı bir ortamda rastgele dağılmış heterojeniteden saçılan enerji yer içerisinde üç boyutlu olarak yayılmaktadır. Sato (1977)'nin yaklaşımında tekil izotropik saçılma etkisi dikkate alınmakta ve tek saçılıma uğrayan dalgaların enerji yoğunluğu uzaklık ve zaman ortamında ele alınmaktadır. Tekil izotropik saçılma modeline göre (Aki ve Chouet, 1975)'nin yöntemindeki yaklaşımlar esas alınmakta, buna karşın kaynak alıcı uzaklığı dikkate alınmaktadır. Böylece koda dalgaları başlangıç zamanının, S dalga varışlarına yakın seçilmesini sağlamaktadır.

2.8. Koda Dalgası Yöntemi ile Qc'nin Belirlenmesi

Bu çalışmada ilk olarak (Aki ve Chouet, 1975) tarafından kullanılan ve daha sonra Sato (1977) tarafından geliştirilen Tek Saçılma Metodu kullanılmıştır. Tek saçılma modelinde koda dalgasının genlik azalımı zamanın fonksiyonu olarak,

$$A(f)t^{-\alpha}\exp\left(-\frac{\pi ft}{Qc}\right), \tag{2.20}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada A(f,t) belirli bir merkez frekansta (f) süzülmüş koda dalga genliği; t, kayma zamanı; Qc koda dalgası kalite faktörü; $C=2(2\Delta f)^{\frac{1}{2}}$ dir. Ayrıca α cisim, yüzey ve saçılan dalgaları için 1, 0,5 veya 0,75'tir (Sato ve Fehler, 1998). Bu nedenle Denklem (2.20) de α=1 konulup logaritma alınırsa,

$$\ln A(f,t)=\ln C(f)-\ln(t)-\left(-\frac{\pi ft}{Qc(f)}\right), \tag{2.21}$$

$$\ln[A(f,t),\, t]=\ln C(f)-\frac{\pi f}{Qc(f)}, \tag{2.22}$$

olur. $\ln[A(f,t)^{*}t]$ ve t grafiğinde saçılmış değerler arasından geçirilen doğrunun eğiminden, Qc,

$$Qc(f)=\frac{\pi f}{b} \qquad (2.23)$$

olarak hesaplanır. Burada b eğimi göstermektedir. Qc(f)'in hesaplanmasında koda zarfının kayan bir zaman penceresindeki RMS genlikleri kullanılır. Bu zaman penceresi S dalgasının kodasından seçilir. Başlangıç zamanı S dalgasının geliş zamanının 2 katı olarak (2ts) alınarak belirlenir. Bunun nedeni koda dalgasının kaynaktan etkilenmesini engellemektir (Rautian ve Khalturin, 1978). Frekans arttıkça ortalama Qc değerlerinin kesme zamanına bağımlılığı da artmaktadır. Farklı kesme zamanları için ortalama Qc değerlerinin frekans bağımlılığı bölgedeki fay zonlarının neden olduğu üst kabuktaki güçlü heterojenliklere karşılık gelmektedir.

(Novelo-Casanova, 1991), kesme zamanına bağlı olarak koda genliklerinin hesaplanmasında, Sato (1977) ise geometrik yayınım faktörünün yüksek soğurulmalı ortamlar için iyi çalıştığını, fakat düşük soğurulmalı ortamlar için etkisinin az olduğunu göstermiştir. Qc'nin frekans bağımlılığı şu bağıntı ile verilir:

$$Qc=Q_0 f^n \qquad (2.24)$$

Burada Qo, 1 Hz deki Qc değerini, f frekansı, n ise Qc'nin frekans bağımlılığı derecesini gösterir.

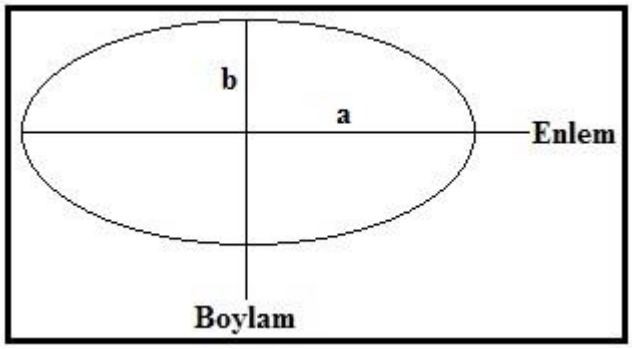
2.9. Koda Normalizasyon Yöntemi ile (Qp) ve (Qs)'in Belirlenmesi

Koda normalizasyon yöntemi; değişik doğrultularda yayılan birçok deprem verisinden hesaplanan ortalama kaynak büyüklüğü ve zemin büyütmesinin, kaynak-alıcı doğrultusundan bağımsız olduğu ve ortalama değerin coğrafik olarak değişim gösterdiği varsayımına dayanmaktadır (Aki, 1980). Buna göre; S dalgası spektral genliğinin koda spektral genliğine bölünmesiyle kaynak, zemin ve alet ile ilgili etkiler giderilmektedir (Aki, 1980). Qs değerleri, her istasyonda elastik olmayan koşulların, ya da saçınımın sebep olduğu kabuğa ait S dalgası genliğinin azalımından hesaplanır (Aki, 1980, Frenkal ve diğ., 1990). Qp ve Qs bu yöntemle:

$$<\ln\left[\frac{Ap(f,r)r}{Ac(f,t)}\right]>r\pm\Delta r=-\frac{\pi f}{Qp(f)Vp}r+Cs \qquad (2.25)$$

$$<\ln\left[\frac{As(f,r)r}{Ac(f,t)}\right]>_{r\pm\Delta r}=-\frac{\pi f}{Qs(f)Vs}r+Cs \qquad (2.26)$$

ile hesaplanır. Burada Ap ve As, Ac, P, S ve koda dalga genliğini; r, episantr uzaklığını; Vp, Vs P ve S dalga hızlarını; P dalgası için 3.5 km/s, S dalgası için 4.7 km/s değerleri kullanılmıştır. Cs, düzeltme parametresini ifade etmektedir.



Şekil 2.3. Elipsel koordinat düzlemi

Şekil 2.3'te Pulli (1984)'te bahsedilen elipsoit yüzey projeksiyonunda;

yarı büyük eksen için; $a=V_S t/2$ (2.27)

yarı küçük eksen için; $b=a^2-(r^2/4)^{\frac{1}{2}}$ (2.28)

dir. Vs, S dalga hızı, r, kaynak alıcı arasındaki uzaklık, t ise kesme zamanı olarak alınır. Bu hesap edildiğinde Qc değerlerinin elipsoid bölgeler üzerinde ortalama bir değere karşılık gelmektedir. Episantr, istasyon arasındaki uzaklık kullanılarak 5 alt bölgeni için 20-30-40 sn kesme zamanları ve S dalga hızı Vs= 4.7 km/s kullanılarak elipslerinin eksenlere olan uzaklıkları hesaplanır. Şekil 2.3'teki elipsel koordinat düzleminden yararlanarak, formül yardımıyla Kuzey Anadolu Fay Zonunda ve bölgelerde ne kadarlık bir alanı taradığımızı belirledik. Maksimum derinliği 20-30-40 sn kesme zamanlarındaki koda dalgası için;

$$h=[(vt/2)^2-(R/2)^2]^{1/2}+h_{av} \qquad (2.29)$$

formülü kullanılır. h_{av}, hiposantr derinliği olarak tanımlanır.

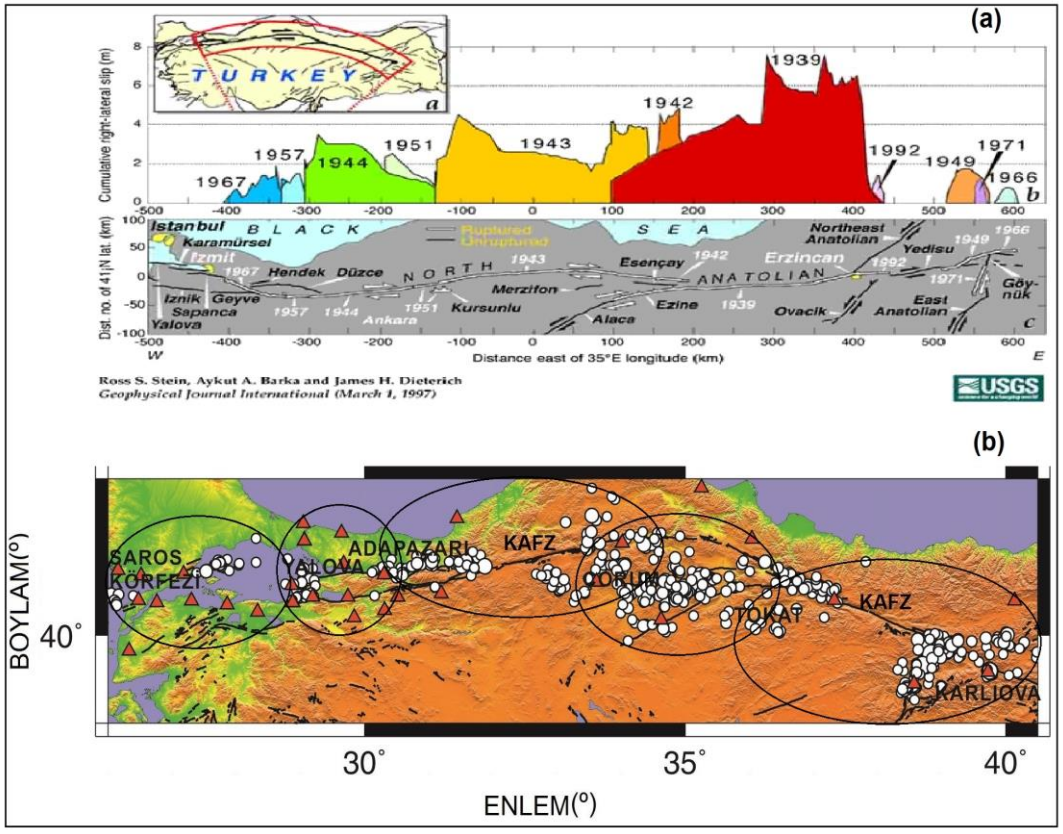
Uzun kesme zamanı yer içinde kabuk ve üst mantonun örneklenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı da yer içi heterojenitesinin değişimini belirlemek için Qc (kalite faktörü) çalışması yapmaktadır. Özellikle tektonik yönden

aktif bölgelerde bu tür çalışmalar oldukça fazladır. 20 sn'lik kesme zamanı ile yapılan çalışmalardan (Del Pezzo ve diğ., 1992)'de Etna ve Granada da yapmış oldukları çalışmada $Qc = 29f^{0,9}$, (Giampiccolo ve diğ., 2004) tarafından Sicilya'nın güney doğusundaki volkanik alanda yapılmış olan çalışmada $Qc = 64f^{0,9}$, (Gupta ve diğ., 1998)'de Koyna bölgesinde yapmış oldukları çalışmada $Qc = 66f^{1,16}$, 30 sn'lik kesme zamanı ile yapılan çalışmada ise; $Qc = 96f^{1,09}$, 40 sn'lik kesme zamanı için ise $Qc=131f^{1,04}$ olarak hesaplamışlardır. (Mukhopadhyay ve diğ., 2006)'da Kuzey Batı Himalayalarda yapmış oldukları çalışmada 30 sn'lik kesme zamanı için $Qc = 113f^{1,01}$, 40 sn'lik kesme zamanı için ise $Qc=153f^{1,07}$ sonucunu elde etmişlerdir. Türkiye için yapılan çalışmalarda ise (Akıncı ve diğ., 1994)'te Batı Anadolu'da yaptıkları çalışmada 30 sn'lik kesme zamanı için $Qc = 50,7f^{1,01}$, (Horasan ve diğ., 1998)'de Marmara bölgesinde koda dalgası soğurulmasını 50 sn kesme zamanı için $Qc=41f^{1,08}$ ve $Qs=50f^{1,09}$ olarak hesaplamışlardır. Şahin (2008)'de Güneybatı Anadolu'da koda dalga soğurulmasını $Qc=95f^{0,96}$ ve S-dalgası spektral genliğinin koda dalgası spektral genliğine oranının uzaklıkla azalımından $Qs=78f^{0,87}$ olarak hesaplamıştır. Sertçelik (2008)'de Karlıova üçlü ekleminde yaptığı koda dalga analizinde 30 sn'lik kesme zamanı için $Qc=45f^{0,76}$ olarak hesaplamıştır. Sertçelik (2012)'de Doğu Anadolu Fay Zonunda koda dalgası soğurulmasını 20 sn'lik kesme zamanı için $Qc=37f^{0,90}$, 30 sn'lik kesme zamanı için $Qc=60f^{0,82}$, 40 sn'lik kesme zamanı için $Qc=85,8f^{0,75}$ olarak hesaplamışlardır. Kumar (2014)'de Himalayalarda Siang bölgesi için yaptığı çalışmada $Qp=25f^{1,24}$ ve $Qs=62f^{1,13}$ olarak hesaplamıştır. (Meirova ve Pinsky, 2014)'de İsrail için yaptıkları çalışmada bölgenin kuzeyi için $Qc=77f^{0,96}$, güneyi için ise $Qc=132f^{0,96}$, İsrail'in geneli için ise $Qc=126f^{1,05}$ olarak hesaplamışlardır. (Gholamzadeha ve diğ., 2014)'de Faryab Bölgesinde yaptıkları çalışmada 5 sn'lik kesme zamanı için $Qc=28f^{1,14}$ ve 30 sn'lik kesme zamanı için $Qc=105f^{0,98}$ olarak hesaplamışlardır. (Yoshimoto ve diğ., 1998)'de Batı Nagano'da P ve S dalgalarının üst kabuktaki frekans bağımlı soğurulması adlı çalışmada Qp/Qs oranını 1,3 ile 2,9 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Mandal (2007)'de Kachchh baseninde sediman kalınlığı ve Qp, Qs ilişkisi adlı çalışmasında, bölgede Qs/Qp oranını 0,41 ile 2,99 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. (Parvez ve diğ., 2012)'de Kuzey Batı Himalayalarda P, S ve Koda dalgasının frekans bağımlı soğurulması adlı çalışmada, bölgede Qs/Qp oranının 1,21 ile 1,43 arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

3. KUZEY ANADOLU FAY ZONU BOYUNCA Qc ve Qp, Qs'in BELİRLENMESİ

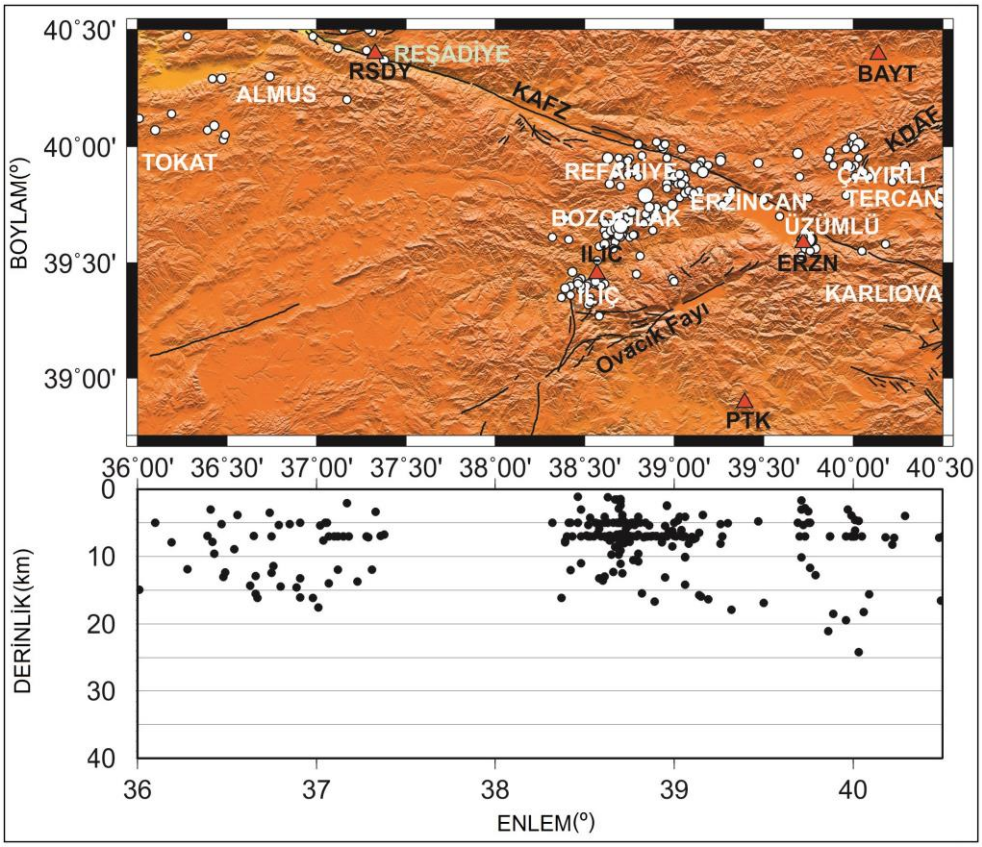
3.1. Verilerin ve Çalışma Bölgelerinin Özellikleri

Kuzey Anadolu Fay Zonu 1200 km'yi aşan uzunluğa sahip aktif bir fay zonudur. Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 2009-2014 yılları arasında meydana gelmiş, 3 ve üstü büyüklüğe sahip 654 adet deprem kullanılmıştır. Çalışma alanı fay üzerinde meydana gelmiş büyük depremlerin kırıkları göz önüne alınarak 5 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Şekil 3.1'de gösterilen bölgeler ve kullanılan verilerin özellikleri şu şekildedir:



Şekil 3.1. (a) Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelen depremler ve atım miktarları (Stein ve diğ., 1997), (b) Çalışmada kullanılan depremlerin dağılımı ve çalışma bölgeleri

1. Bölge : Karlıova-Tokat arasında, yaklaşık olarak 1939'daki depremin fay kırığını içeren bir bölgedir. Tablo 3.1'de gösterilen B.Ü Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) tarafından işletilen Bayburt (BAYT), Erzincan (ERZN), Erzincan/İliç (ILIC), Tunceli/Pertek (PTK), Tokat/Reşadiye (RSDY) istasyonlarına ait, Şekil 3.2'deki 2009-2014 tarihleri arasında meydana gelmiş 274 adet deprem için 280 adet deprem verisi kullanılmıştır. Depremlerin büyüklükleri $3{,}0 \leq M \leq 5{,}6$, derinlikleri 2,8-12,9 km ve episantr uzaklıkları 2-100 km arasında değişmektedir. Denklem (2.27) ve Denklem (2.28) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, S dalga hızı 4,7 km/sn alınarak büyük eksen için 206 km, küçük eksen için 171 km bir alanda çalışma yapılmıştır. Denklem (2.29) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, maksimum derinlik 92,5 km hesaplanarak Qc analizi yapılmıştır.



Şekil 3.2. Karlıova-Tokat Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı

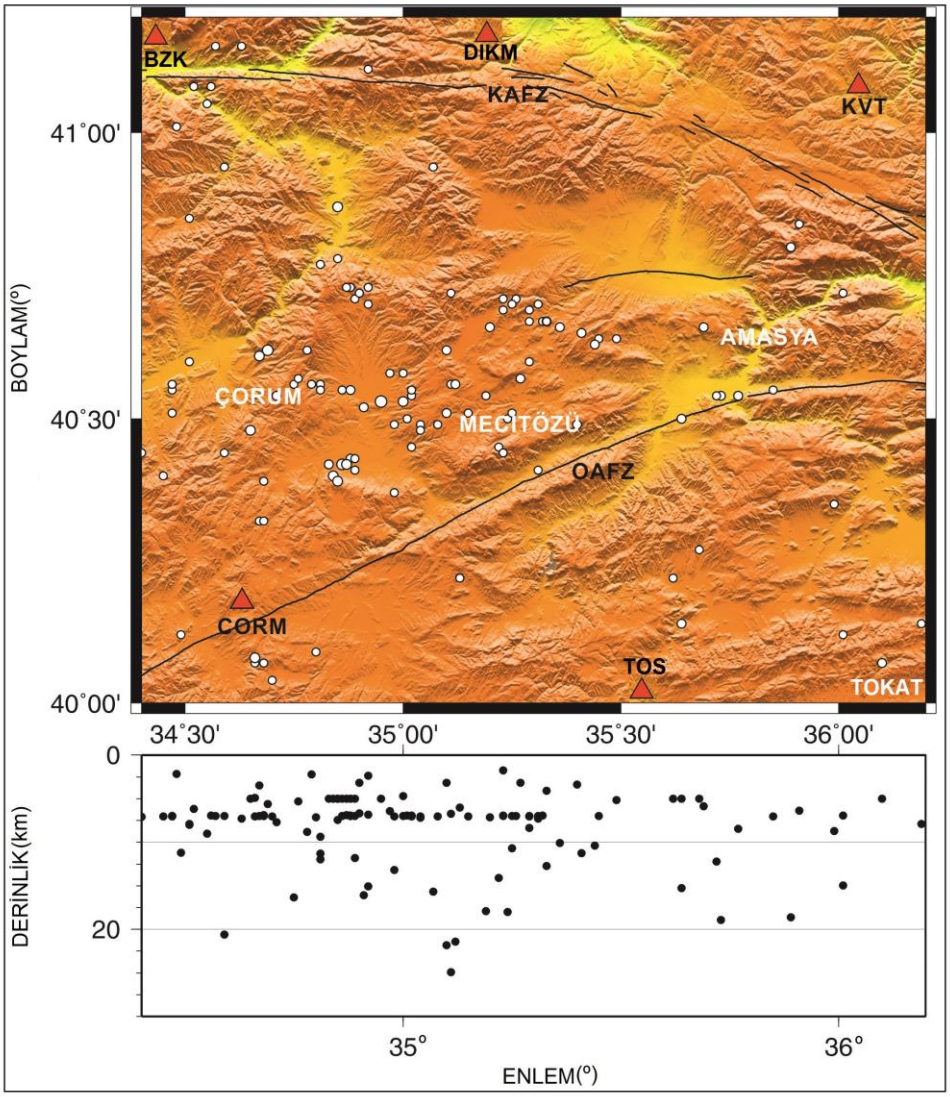
Tablo 3.1. Karlıova-Tokat Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri

Yer	Enlem(°K)	Boylam(°D)	İstasyon Kodu	Sismografın Tipi
Bayburt	40,3937	40,1410	BAYT	3ESPC
Erzincan	39,5867	39,7220	ERZN	3ESP
Erzincan	39,4518	38,5675	ILIC	3ESP
Tunceli	38,8923	39,3923	PTK	3T
Tokat	40,3972	37,3273	RSDY	3T

2. Bölge : Tokat-Çorum arasında, yaklaşık olarak 1942, 1943 depremlerinin fay kırığını içeren bir bölgedir. Tablo 3.2'de gösterilen KRDAE, UDİM tarafından işletilen Kastamonu/Bozkurt (BZK), Çankırı (CANT), Çorum (CORM), Sinop/Dikmen (DIKM), Samsun/Kavak (KVT), Kastamonu/Tosya (TOS), Yozgat (YOZ) istasyonlarına ait, Şekil 3.3'de 2009-2014 tarihleri arasında meydana gelmiş 141 adet depreme için 154 adet deprem verisi kullanılmıştır. Depremlerin büyüklükleri $3,0 \leq M \leq 4,5$, derinlikleri 3,5-10 km ve episantr uzaklıkları 2-100 km arasındadır değişmektedir. Denklem (2.27) ve Denklem (2.28) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, S dalga hızı 4,7 km/sn alınarak büyük eksen için 102 km, küçük eksen için 118 km bir alanda çalışma yapılmıştır. Denklem (2.29) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, maksimum derinlik 89,6 km hesaplanarak Qc analizi yapılmıştır.

Tablo 3.2. Tokat-Çorum Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri

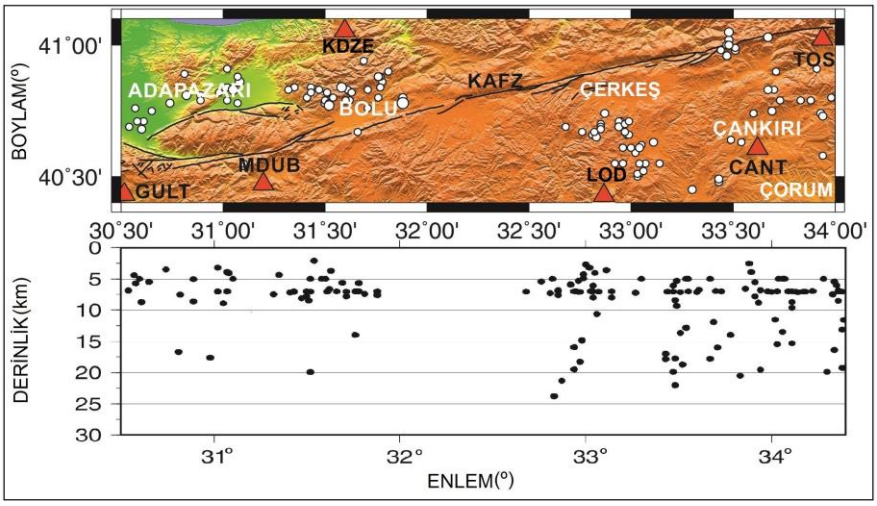
Yer	Enlem(°K)	Boylam(°D)	İstasyon Kodu	Sismografın Tipi
Kastamonu	41,9600	34,0035	BZK	3T
Çankırı	40,6062	33,6197	CANT	3T
Çorum	40,1785	34,6302	CORM	3ESP
Sinop	41,6497	35,2578	DIKM	3T
Samsun	41,0807	36,0463	KVT	3T
Kastamonu	41,0362	34,0225	TOS	CMG-5TD
Yozgat	39,6383	35,3153	YOZ	3TDE



Şekil 3.3. Tokat-Çorum Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı

3.Bölge : Çorum-Adapazarı arasında, yaklaşık olarak 1944, 1951 depremlerinin fay kırığını içeren bir bölgedir. Tablo 3.3'te KRDAE, UDİM tarafından işletilen Çankırı (CANT), Çorum (CORM), Sakarya/Gölveren (GULT), Karabük/Karadeniz Ereğli (KDZE), Ankara/Lodumlu (LOD), Bolu/Mudurnu (MDUB), Kastamonu/Tosya (TOS), Yozgat (YOZ) istasyonlarına ait, Şekil 3.4'te 2009-2014 tarihleri arasında meydana gelmiş 97 adet deprem için 132 adet deprem verisi kullanılmıştır. Depremlerin büyüklükleri $3{,}0 \leq M \leq 4{,}8$, derinlikleri 2,6-11,5 km ve episantr uzaklıkları 2-100 km arasında değişmektedir. Denklem (2.27) ve Denklem (2.28) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, S dalga hızı 4,7 km/sn alınarak büyük eksen için 228 km, küçük eksen için 126 km bir alanda çalışma yapılmıştır. Denklem (2.29)

kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, maksimum derinlik 91 km hesaplanarak Qc analizi yapılmıştır.



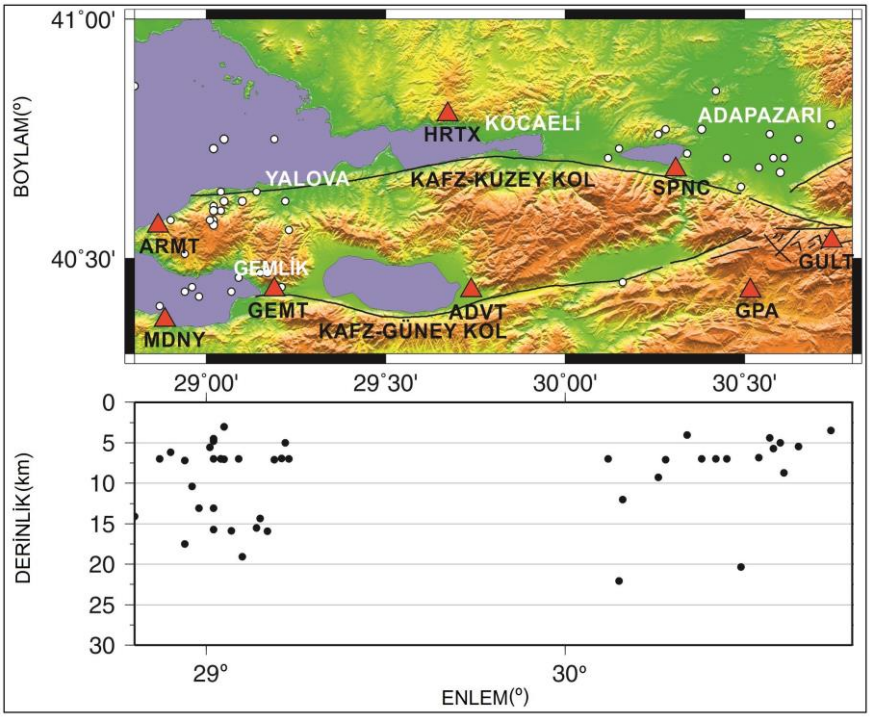
Şekil 3.4. Çorum-Adapazarı Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı

Tablo 3.3. Çorum-Adapazarı Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri

Yer	Enlem(°K)	Boylam(°D)	İstasyon Kodu	Sismografın Tipi
Çankırı	40,6062	33,6197	CANT	3T
Çorum	40,1785	34,6302	CORM	3ESP
Sakarya	40,4320	30,5156	GULT	3ESP
Karabük	41,3132	31,4430	KDZE	3T
Ankara	39,8893	32,7640	LOD	3T
Bolu	40,4712	31,1977	MDUB	3T
Kastamonu	41,0362	34,0225	TOS	CMG-5TD

4.Bölge : Adapazarı-Yalova arasında, yaklaşık olarak 1999 depreminin fay kırığını içeren bir bölgedir. Tablo 3.4'te gösterilen KRDAE, UDİM tarafından işletilen Bursa/Abdülvahap (ADVT), Yalova/Armutlu (ARMT), Bilecik/Çavuşköy (CAVİ), Bursa/Gemlik (GEMT), Bilecik/Gölpazarı (GPA), Sakarya/Gölveren (GULT), Kocaeli/Hereke (HRTX), İstanbul/Kandilli (ISK), İstanbul/Kilyos (KLYT), Bursa/Mudanya (MDNY), İstanbul/Şile (SILT), Sakarya/Sapanca (SPNC) istasyonlarına ait, Şekil 3.5'te 2009-2014 tarihleri arasında meydana gelmiş 61 adet deprem için 198 adet deprem verisi kullanılmıştır. Depremlerin büyüklükleri $3,0 \leq M \leq 4,3$, derinlikleri 2,7-13,8 km ve episantr uzaklıkları 2-100 km arasında değişmektedir. Denklem (2.27) ve Denklem (2.28) kullanılarak 40 sn kesme zamanı

için, S dalga hızı 4,7 km/sn alınarak büyük eksen için 110 km, küçük eksen için 59 km bir alanda çalışma yapılmıştır. Denklem (2.29) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, maksimum derinlik 93 km hesaplanarak Qc analizi yapılmıştır.



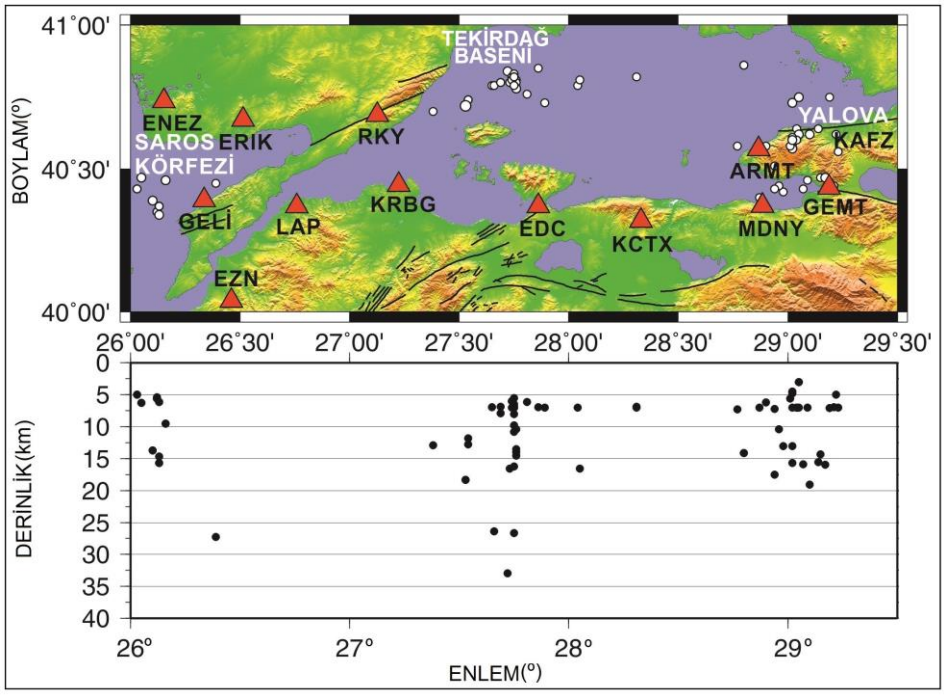
Şekil 3.5. Adapazarı-Yalova Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı

Tablo 3.4. Adapazarı-Yalova Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri

Yer	Enlem(°K)	Boylam(°D)	İstasyon Kodu	Sismografın Tipi
Bursa	40,4332	29,7383	ADVT	3ESP
Yalova	40,5683	28,8660	ARMT	3ESP
Bilecik	40,2018	29,8377	CAVİ	3ESP
Bursa	40,4350	29,1890	GEMT	3T
Bilecik	40,2850	30,3167	GPA	CMG-5TD
Sakarya	40,4320	30,5156	GULT	3ESP
Kocaeli	40,8010	29,6730	HRTX	3ESP
İstanbul	41,0657	29,0592	ISK	3T
İstanbul	41,2530	29,0420	KLYT	3T
Bursa	40,3710	28,8847	MDNY	3ESP
İstanbul	41,1530	29,6430	SILT	3ESP
Sakarya	40,6860	30,3083	SPNC	3ESP

5.Bölge : Yalova-Saros Körfezi Bölgesi arasında, yaklaşık olarak 1967 depreminin fay kırığını içeren bir bölgedir. Tablo 3.5'te gösterilen KRDAE, UDİM tarafından

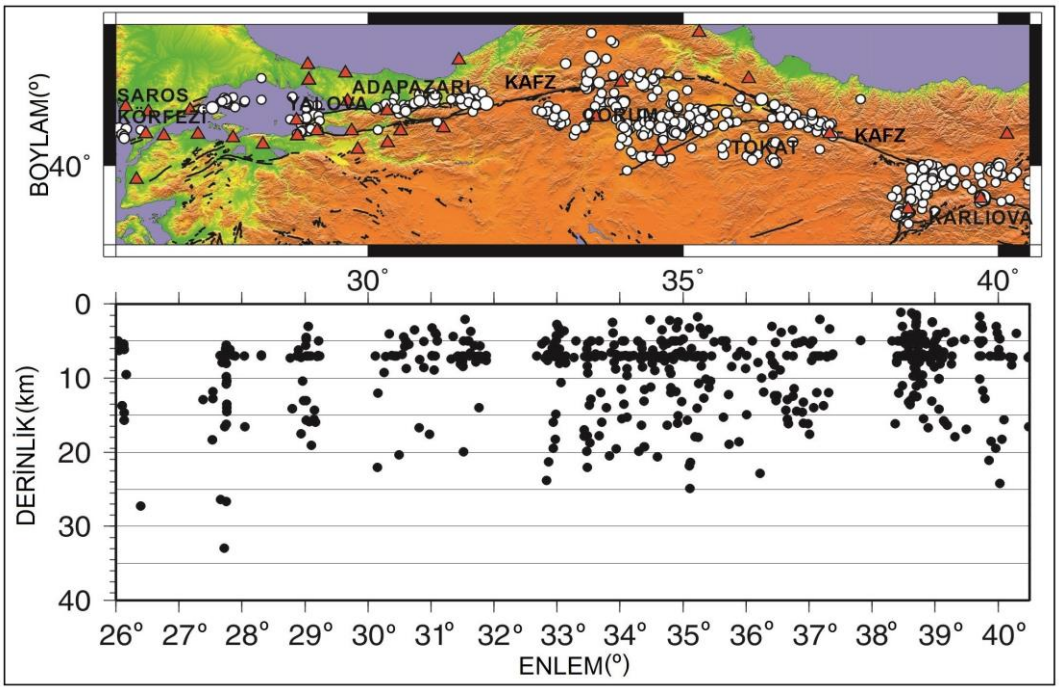
işletilen Manisa/Akhisar (AKS), Balıkesir/Edincik (EDC), İstanbul/Kandilli (ISK), Bursa/Karacabey (KCTX), Çanakkale/Erikli (ERIK), Ezine (EZN), Gökçeada (GADA), Gelibolu (GELİ), Lapseki (LAP), Karabiga (KRBG), Edirne/Enez (ENEZ), Bursa/Mudanya (MDNY), Tekirdağ/Şarköy (RKY) istasyonlarına ait, Şekil 3.6'da 2009-2014 tarihleri arasında meydana gelmiş 81 adet deprem için 214 adet deprem verisi kullanılmıştır. Depremlerin büyüklükleri $3,0 \leq M \leq 5,0$, derinlikleri 5-18 km ve episantr uzaklıkları 2-100 km arasında değişmektedir. Denklem (2.27) ve Denklem (2.28) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, S dalga hızı 4,7 km/sn alınarak büyük eksen için 277 km, küçük eksen için 109 km bir alanda çalışma yapılmıştır. Denklem (2.29) kullanılarak 40 sn kesme zamanı için, maksimum derinlik 98 km hesaplanarak Qc analizi yapılmıştır.



Şekil 3.6. Yalova-Saros Körfezi Bölgesinde kullanılan depremlerin episantr ve derinlik dağılımı

Tablo 3.5. Yalova-Saros Körfezi Bölgesinde kullanılan istasyonların özellikleri

Yer	Enlem(°K)	Boylam(°D)	İstasyon Kodu	Sismografın Tipi
Balıkesir	40,3465	27,8618	EDC	3T
Edirne	40,7362	26,153	ENEZ	3T
Çanakkale	40,6708	26,5132	ERIK	3ESP
Çanakkale	39,8255	26,3247	EZN	3ESP
Çanakkale	40,1908	25,8987	GADA	3T
Çanakkale	40,398	26,4747	GELİ	3ESP
İstanbul	41,0657	29,0592	ISK	3T
Bursa	40,2627	28,3353	KCTX	3ESP
Çanakkale	40,3932	27,2977	KRBG	3ESP
Çanakkale	40,3703	26,7593	LAP	3ESP
Bursa	40,3710	28,8847	MDNY	3ESP
Tekirdağ	40,6875	27,1777	RKY	3ESP



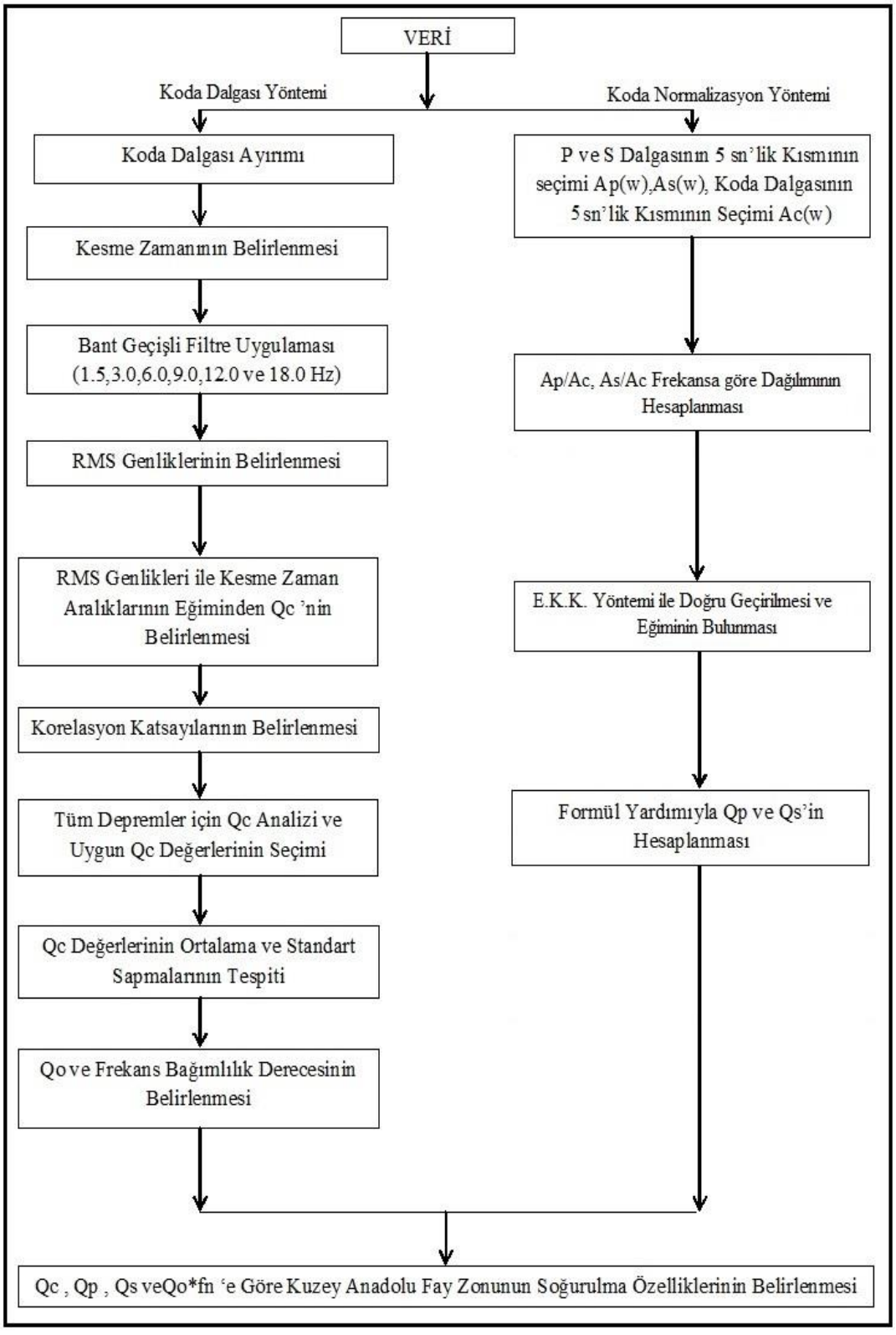
Şekil 3.7. Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca kullanılan depremlerin episantr, derinlik ve istasyonların dağılımı

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonunda soğurulma özelliklerinin ortaya konulması amacıyla teorisi Bölüm 2'de ayrıntılı biçimde anlatılan ''Koda Dalgası Yöntemi'' ve ''Koda Normalizasyon Yöntemi'' kullanılmıştır. Şekil 3.7'de öncelikle sinyal/gürültü oranına bakılmış, bu oranın 2 ve daha büyük olan sismogramlar seçilmiştir. Koda Q'nun RMS genliğini hesaplamak için kullanılan zaman penceresinin uzunluğu, Koda Q'nun azalımı ile ilişkilidir. Koda Q azalımı,

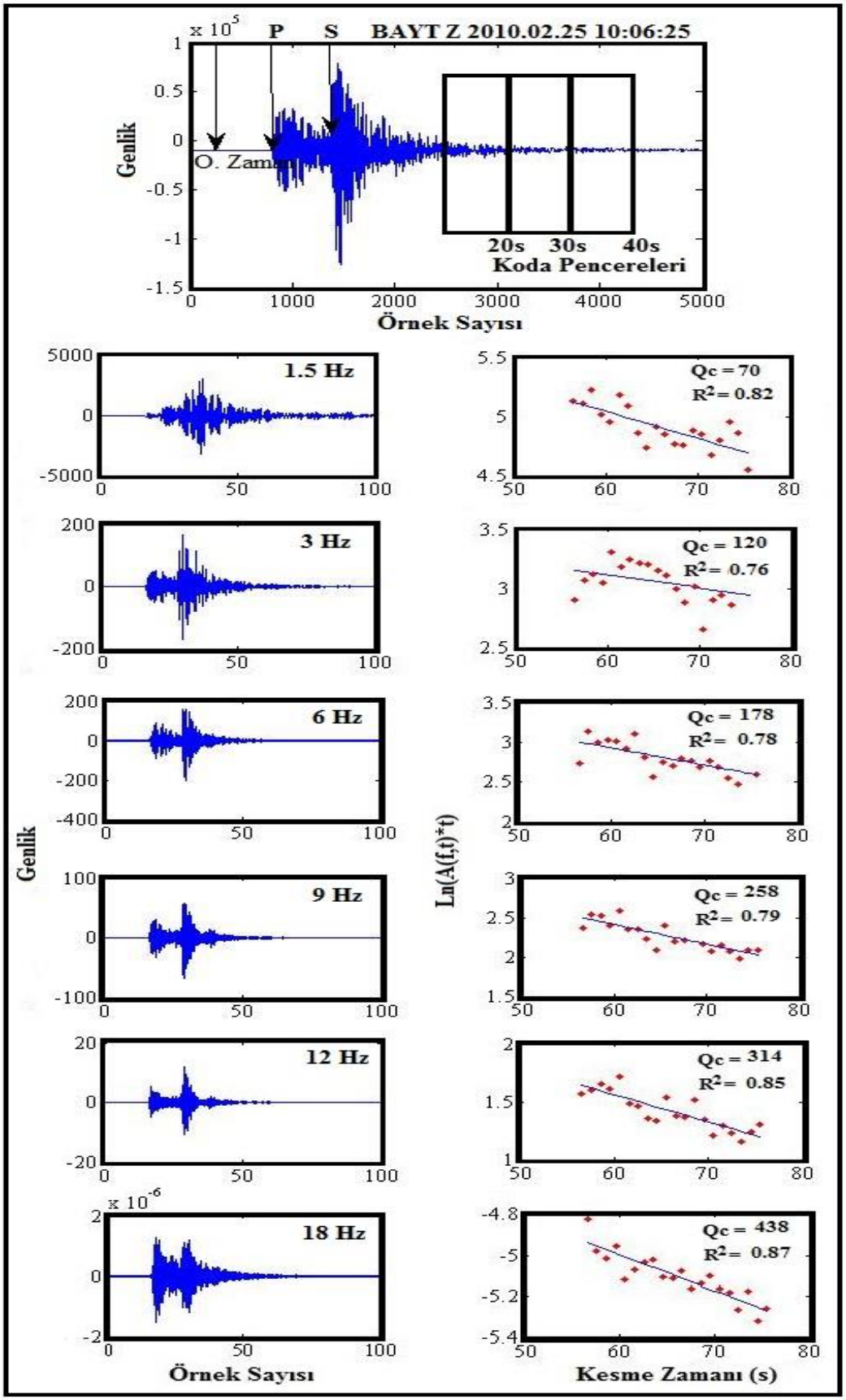
depremlerin büyüklüğünün, uzaklığının ve kesme zamanının fonksiyonudur. Böylece sismogramın seçilen kısmı, sıfır faz kaymalı, 8 kutuplu Butterworth filtresi kullanılarak, merkez frekansları 1,5, 3, 6, 9, 12 ve 18 Hz'lerde olacak şekilde bant geçişli olarak filtrelenmiştir. Sismogramın filtrelenmiş kısmının koda zarfı, 1 sn aralıklar ile 2 sn genişlikli zaman penceresinin zaman serileri üzerinde kaydırarak, bu zaman pencereleri içinde kalan sinyale ait RMS'i hesaplayarak elde edilmiştir. Koda zarfının hesaplanan genliği geometrik yayınım faktörüne bölünüp, logaritması alınarak eşitliğin sol tarafı hesaplanmıştır. Qc değeri ise en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen eğimden bulunmuştur.

Koda Normalizasyon Yönteminde ilk olarak Qc'nin belirlenmesi için filtrelenen veri üzerinde koda ayrımı yapılmış ve kesme zamanı belirlenmiştir. 5'er saniye kesme aralıklarıyla belirlenen RMS genlikleri bulunmuştur. Belirlenen RMS genlikleri ile kesme zamanı aralıklarının eğiminden Qc değerleri tespit edilmiştir, ardından RMS genlikleri zaman aralıklarının uyumu korelasyon katsayısı ile denetlenmiştir. Tüm depremler için bu işlemler yürütülerek bölgedeki soğurulmayı ifade eden Qc değeri belirlenmiştir. Daha sonra P dalgası ve S dalgaları ve koda penceresi seçilerek pencereleme uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda Ap, As ve Ac spektral genlikleri belirlenmiştir. Ap/Ac ve As/Ac oranlarının dışmerkez uzaklığına göre grafiklenerek elde edilen doğrunun eğiminden Qp ve Qs değerleri belirlenmiştir. Koda ile normalize etme yöntemi istasyonlardan 200 km'e ye kadar olan depremlere uygulanmıştır. Her bir frekans için normalize edilmiş genliklerin ortalaması tek bir şekil üzerinde toplanmıştır. İncelenen bölgedeki tüm depremler için Qp ve Qs'in frekans bağımlılık değeri elde edilerek Kuzey Anadolu Fay Zonunda P dalgası ve S dalgasının yayınım özelliği ortaya konulmuştur. Qc, Qp ve Qs hesaplamalarında ve analizinde uygulanan veri-işlem aşamalarını gösteren akış şeması Şekil 3.8 'te gösterilmiştir. Şekil 3.9'da Tek Saçılma Yöntemi için örnek olarak; 25.02.2010, 10:06:25'de meydana gelen depremin BAYT istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 3.10'da 03.03.2009, 10:47:57'e ait depremin MDNY istasyonuna ait E-W kaydı üzerinden, ham veri hali, S ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısımları gösterilmektedir. Şekil 3.11'de de 28.06.2011, 20:22:10'a ait depremin CORM istasyonuna ait N-S kaydı üzerinden ham veri hali, S ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısımları gösterilmektedir. Şekil 3.12'de

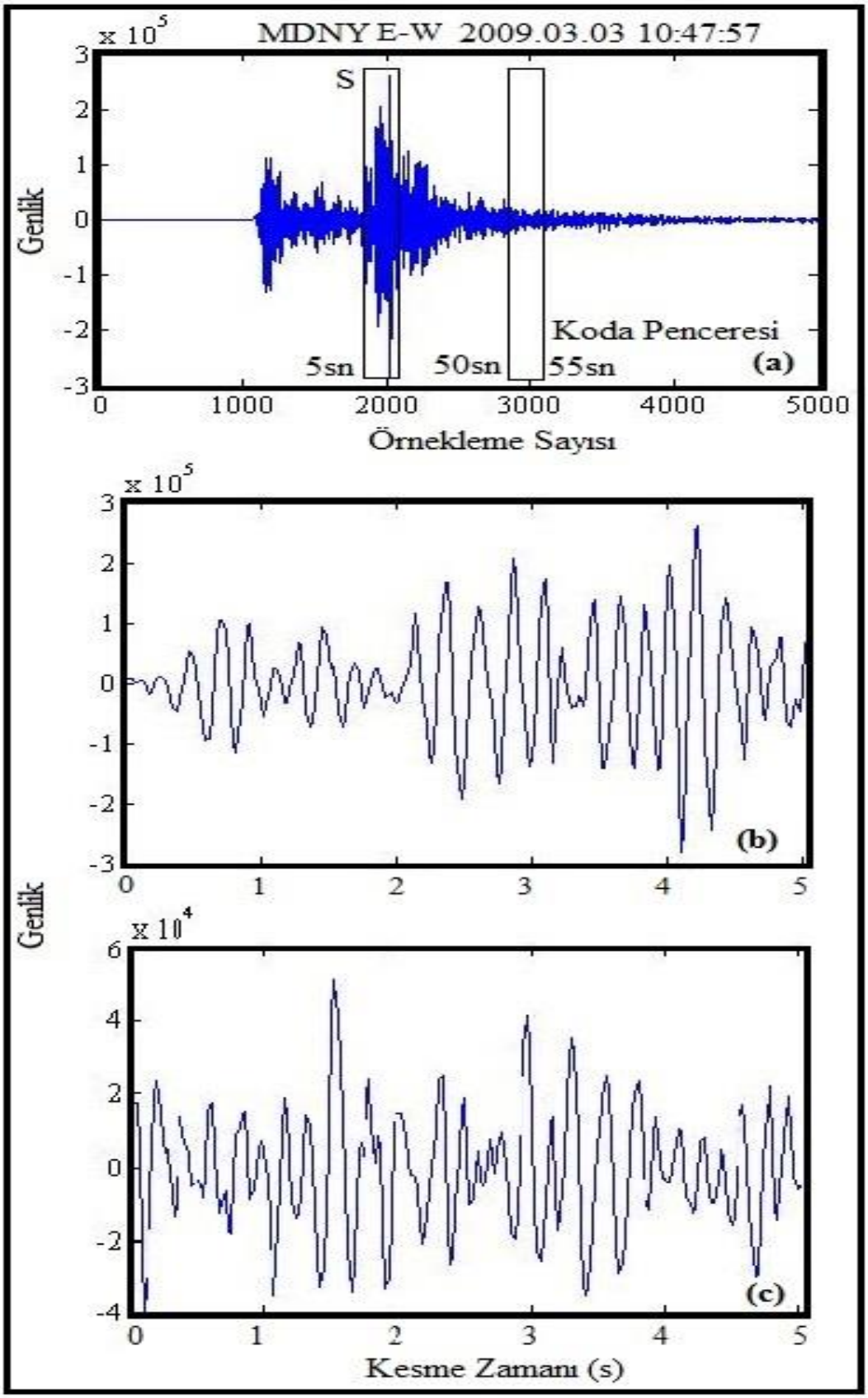
26.07.2009, 01:00:58'e ait depremin ERZN istasyonuna ait Z kaydı üzerinden ham veri hali, P ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısımları gösterilmektedir.



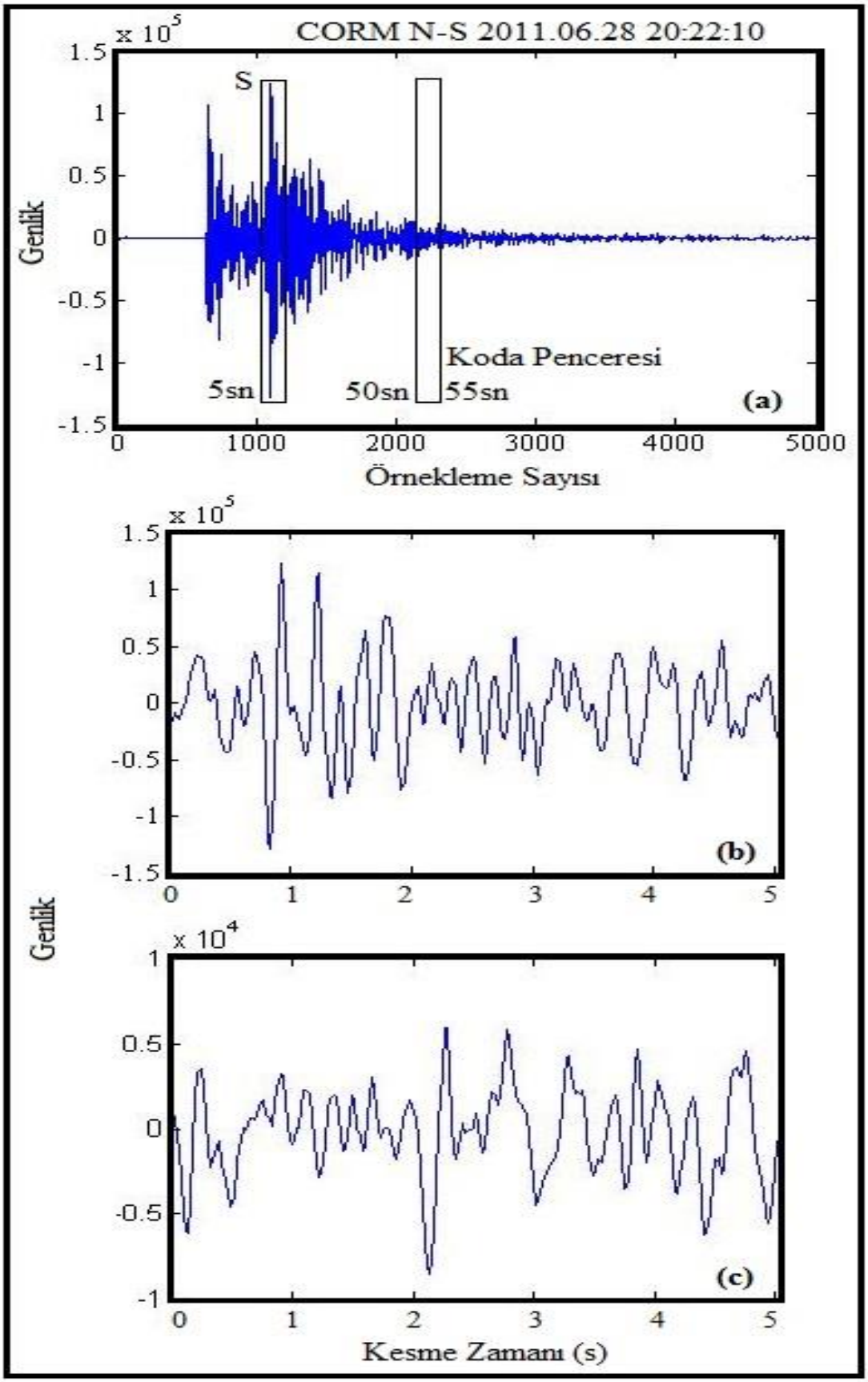
Şekil 3.8. Hesaplamalarda ve analizlerde uygulanan veri-işlem aşamalarını gösteren akış şeması



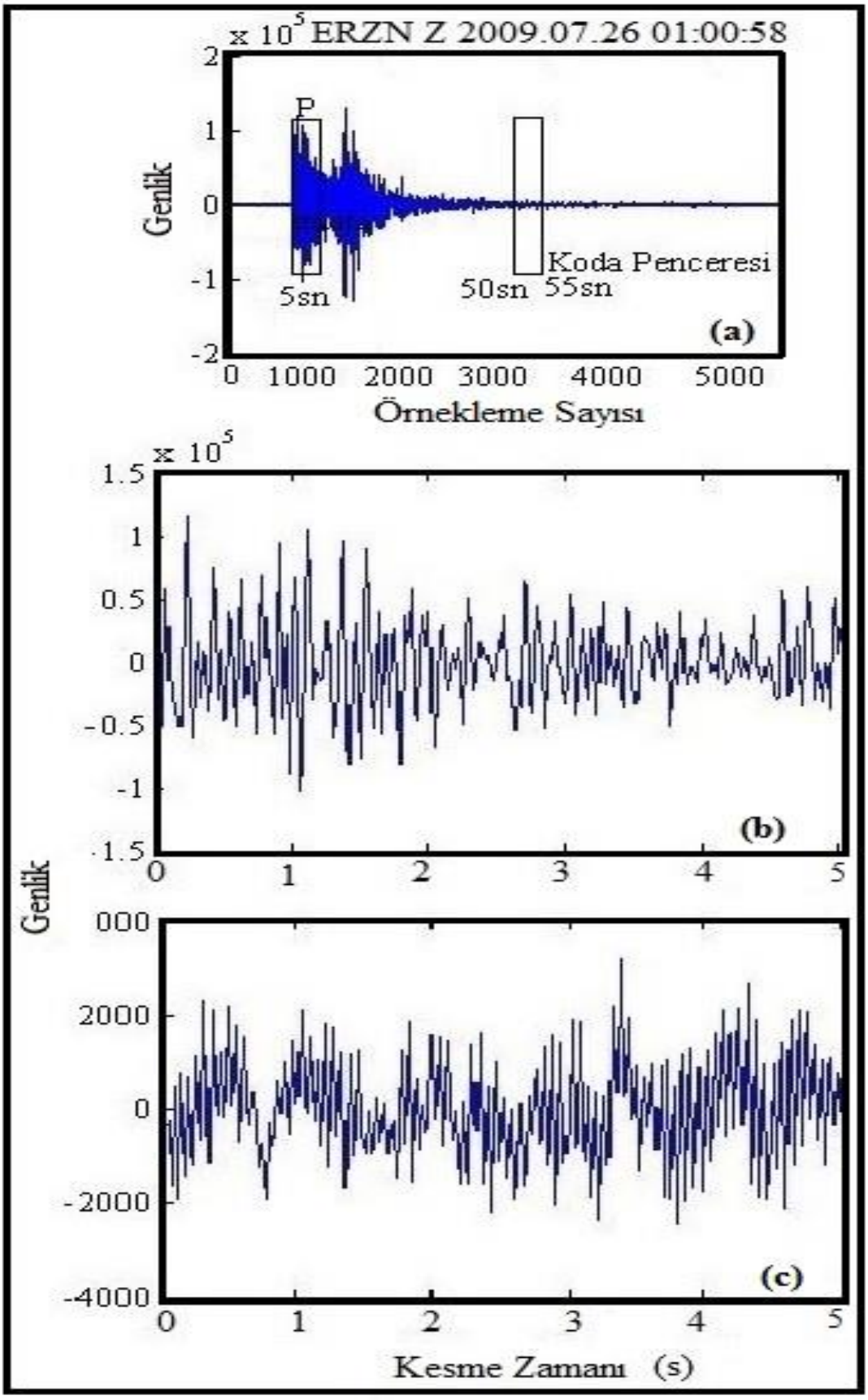
Şekil 3.9. 25.02.2010, 10:06:25'de meydana gelen depremin BAYT istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi



Şekil 3.10. 03.03.2009, 10:47:57'e ait depremin MDNY istasyonuna ait E-W kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.11. 28.06.2011, 20:22:10'a ait depremin CORM istasyonuna ait N-S kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı

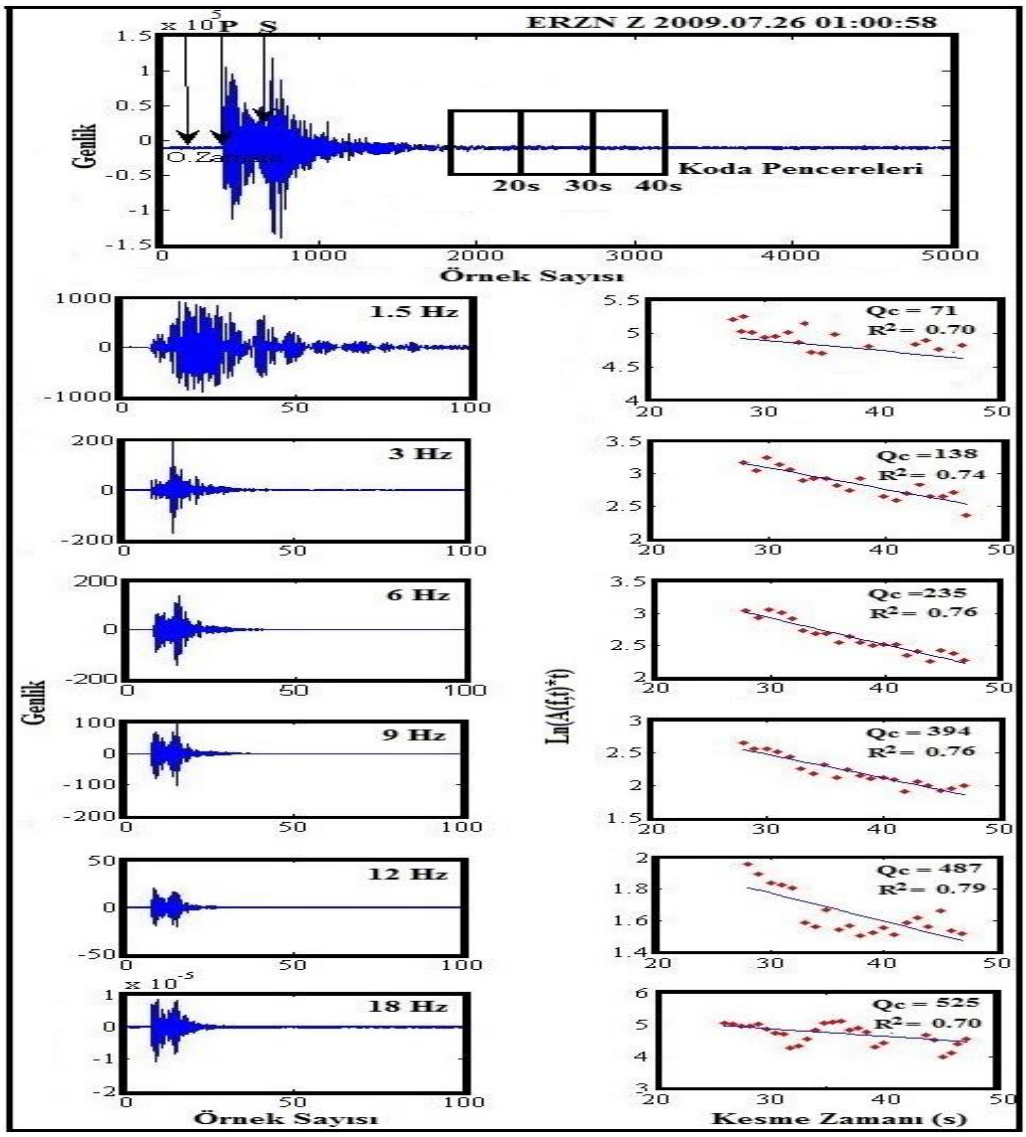


Şekil 3.12. 26.07.2009, 01:00:58'e ait depremin ERZN istasyonuna ait Z kaydı (a) Ham veri, (b) P Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı

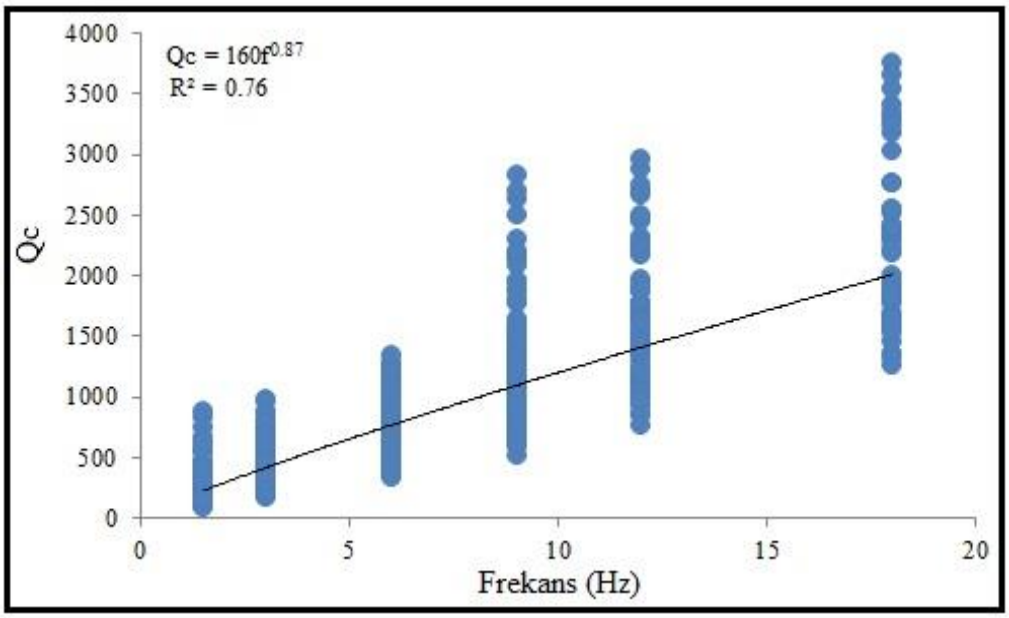
3.2. 1.Bölge-Karlıova-Tokat Arası Soğurma Çalışması

3.2.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi

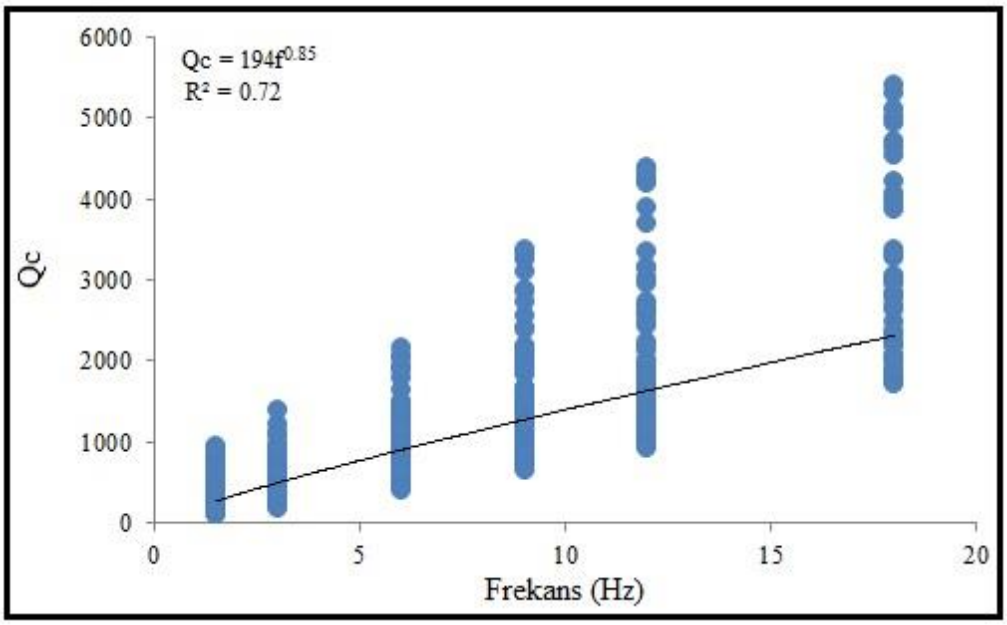
Bölgede Tablo 3.1'de verilen 5 istasyon tarafından kaydedilmiş, Şekil 3.2'de gösterilen 274 adet depreme ait, 280 düşey bileşen kaydı kullanılmıştır. Kesme zamanı pencere uzunlukları 20-30-40 sn olarak alınmıştır. Şekil 3.13'te 26.07.2009, 01:00:58'de meydana gelen depremin ERZN istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için merkez frekansları 1,5, 3, 6, 9, 12 ve 18 Hz olan 6 adet, sırayla 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-24 Hz bant genişliğinde 8 kutuplu ardışık Butterworth süzgeç kullanılarak filtrelenmiştir.



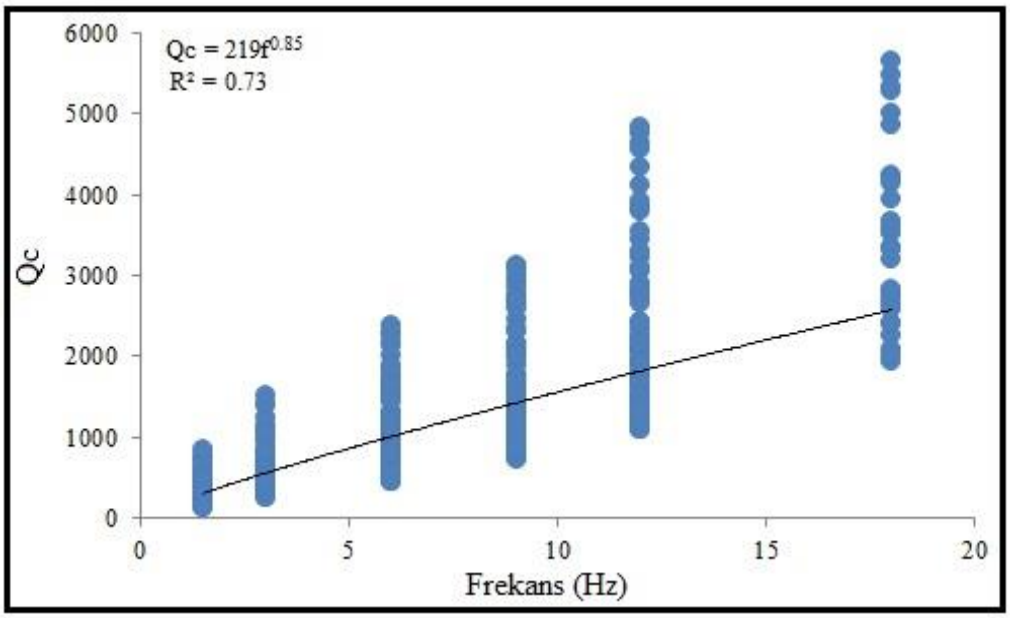
Şekil 3.13. 26.07.2009, 01:00:58'de meydana gelen depremin ERZN istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi



Şekil 3.14. Karlıova-Tokat Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi



Şekil 3.15. Karlıova-Tokat Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

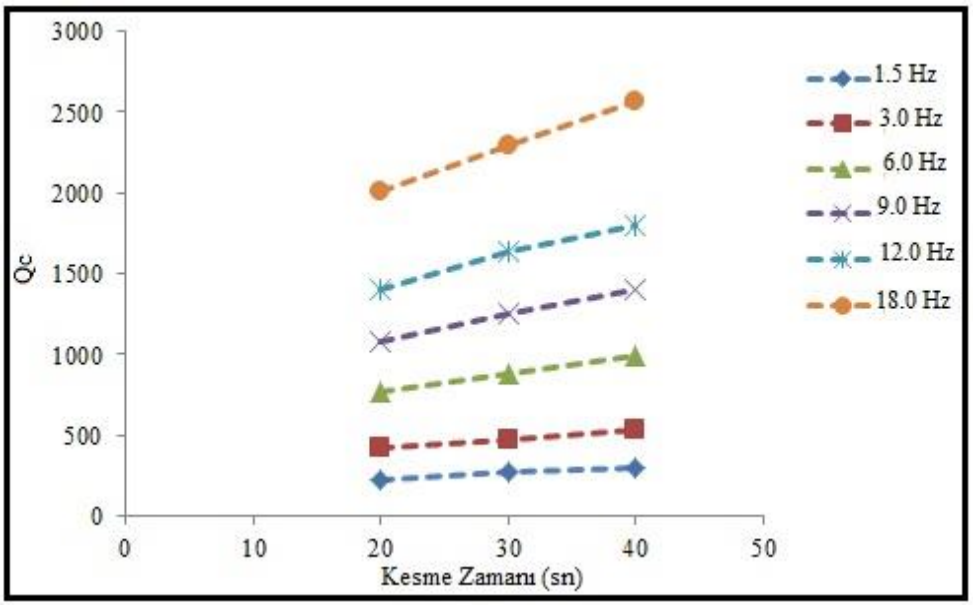


Şekil 3.16. Karlıova-Tokat Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

Tablo 3.6. Karlıova-Tokat Bölgesi için elde edilen Qc değerleri

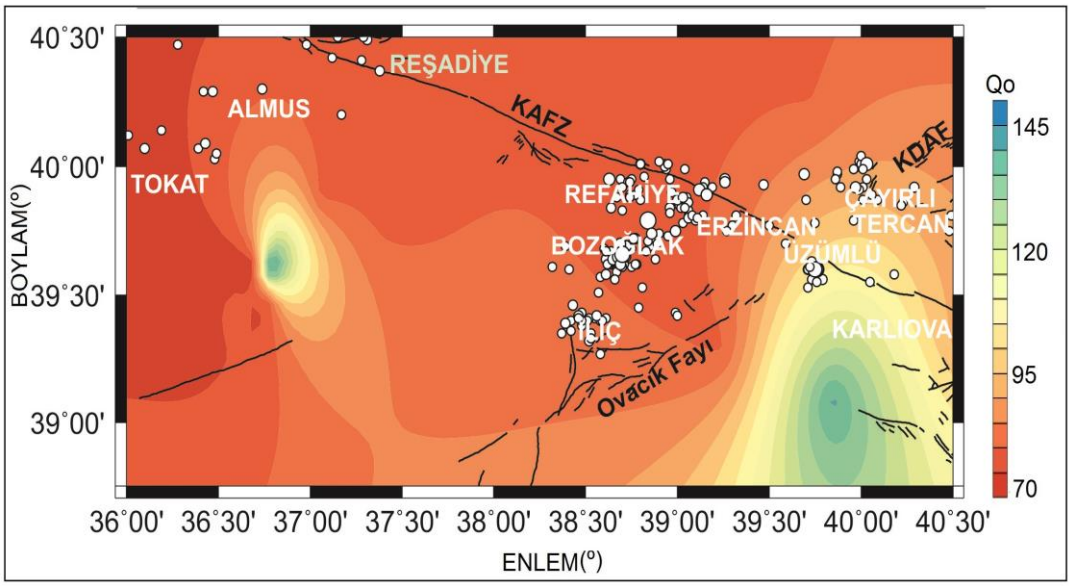
Frekanslar (Hz)	20 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	30 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	40 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri
1,5	228	280	300
3	423	479	529
6	773	877	999
9	1083	1254	1402
12	1406	1638	1805
18	2005	2300	2572

Şekil 3.14'de tüm bölge için yapılan değerlendirmede, 20 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 160, frekans bağımlılığı (n) 0,87 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te 30 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 194, frekans bağımlılığı (n) 0,85, Şekil 3.16'da 40 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 219, frekans bağımlılığı (n) 0,85 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.6 daki verilere göre hem frekansla hemde kesme zamanıyla Qc'de artış olduğu görülmektedir. Bu durum, derinlere gidildikçe daha homojen ortama gidildiği şeklinde yorumlanmıştır.

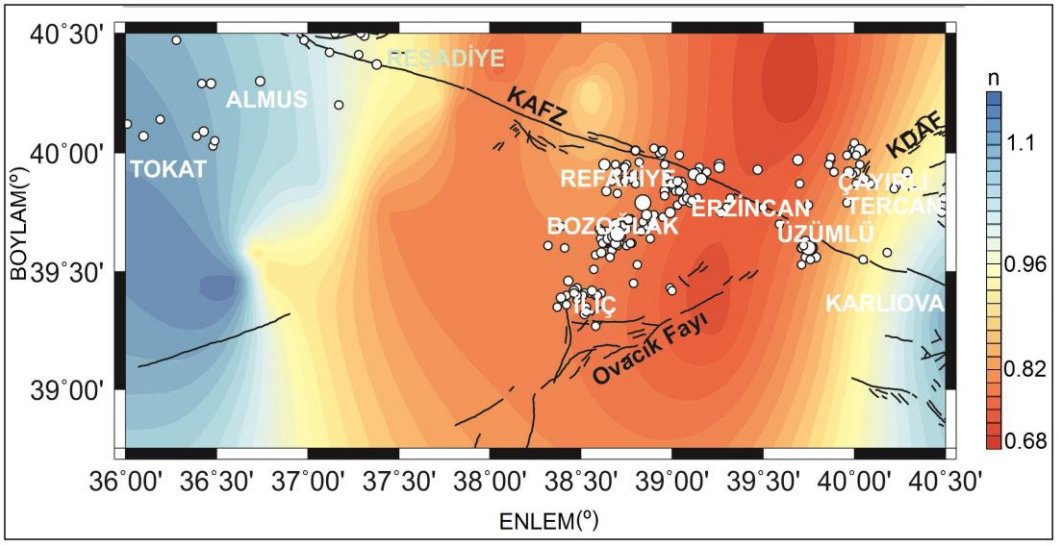


Şekil 3.17. Karlıova-Tokat Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi

Şekil 3.17'de 3 Hz'den 6 Hz'e ve 12 Hz'den 18 Hz'e geçişlerde Qc'de daha hızlı bir değişim olmaktadır. Frekans arttıkça herbir kesme zamanı için Qc değerleri artmaktadır. Herbir frekans için kesme zamanı arttıkça Qc'de artmaktadır.



Şekil 3.18. Karlıova-Tokat Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı



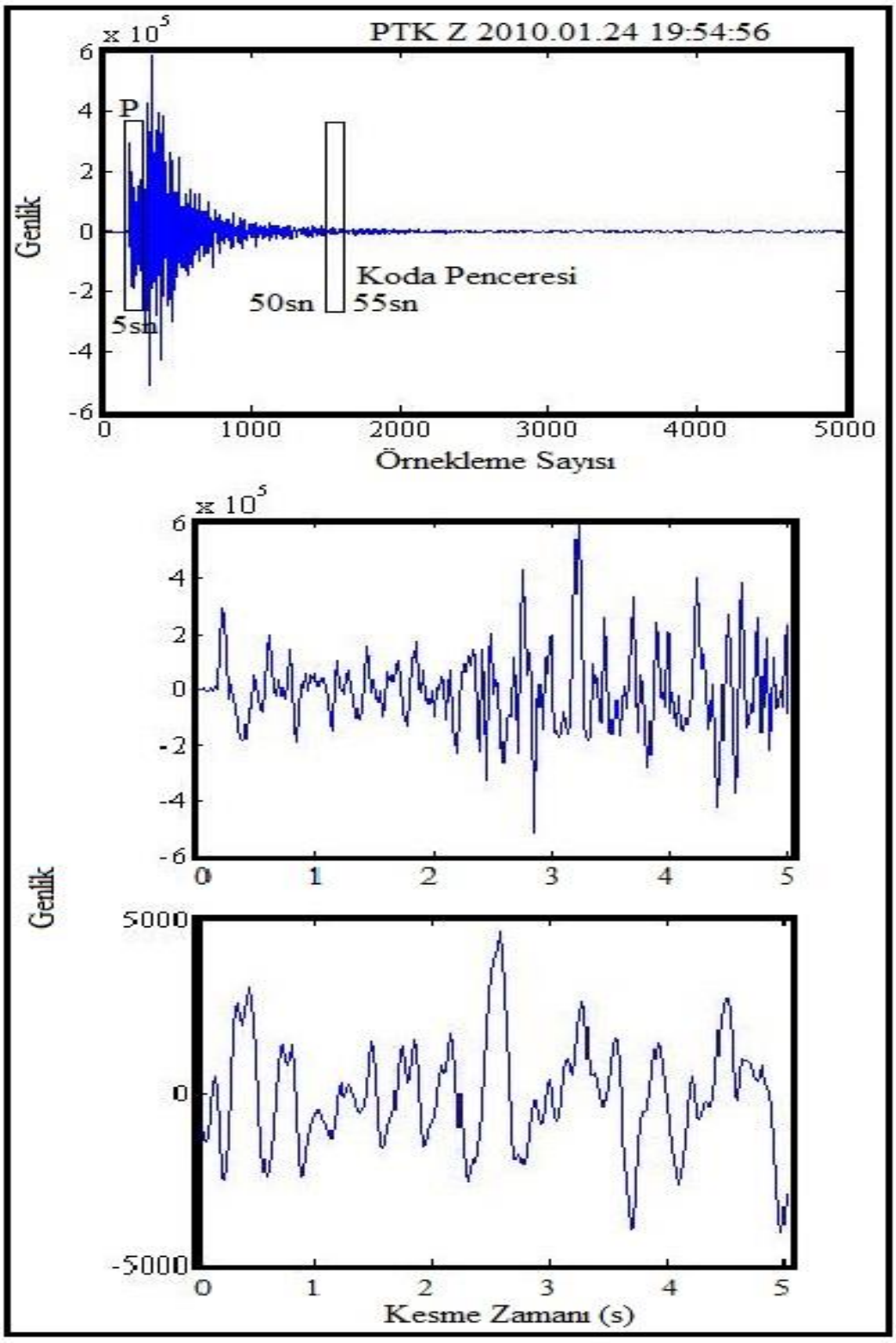
Şekil 3.19. Karlıova-Tokat Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı

Şekil 3.18'te Qo değerleri 70-140 arasında değişmektedir. Bölgenin tamamında diğer çalışma alanlarına göre düşük Qo değerleri hesaplanmıştır. Bölge kendi içerisinde değerlendirildiğindeyse en yüksek Qo değerleri Çayırlı, Üzümlü civarında hesaplanmıştır. Şekil 3.19'da n değeri 0,5-1,3 arasında değişmektedir. Frekans bağımlılığını gösteren n değeri ise bölgede doğudan batıya doğru artış göstermektedir.

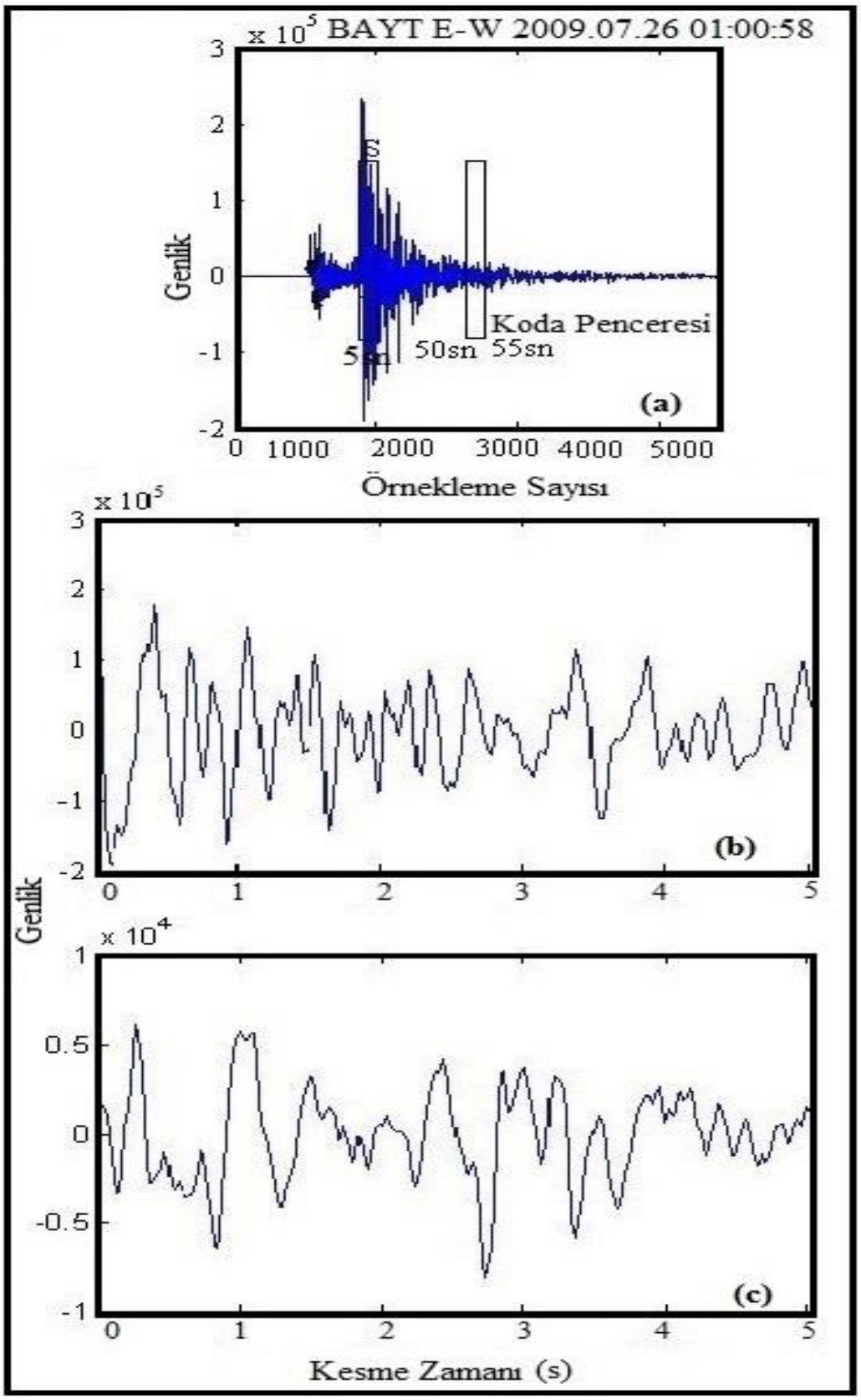
3.2.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi

Koda normalizasyon yönteminde P dalgasını hesaplamak için (Qp) düşey bileşen, S dalgası için (Qs), E-W ve N-S bileşenli kayıtlar kullanılmıştır. E-W bileşeni için 27, N-S bileşeni için 36, Z bileşeni için 32 veri analiz edilmiştir. Bazı depremlerde, değerlendirmeye alınan örnek kayıtlar üzerinde; 24.01.2010'da 19:54:56'da meydana gelen depremin ERZN istasyonuna ait Z kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan P dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı Şekil 3.20'de görülmektedir. Şekil 3.21'de 26.07.2009, 01:00:58'e ait depremin BAYT istasyonuna ait E-W kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Şekil 3.22'de 03.07.2012, 23:20:45'e ait depremin RSDY istasyonuna ait N-S kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Denklem (2.25) ve

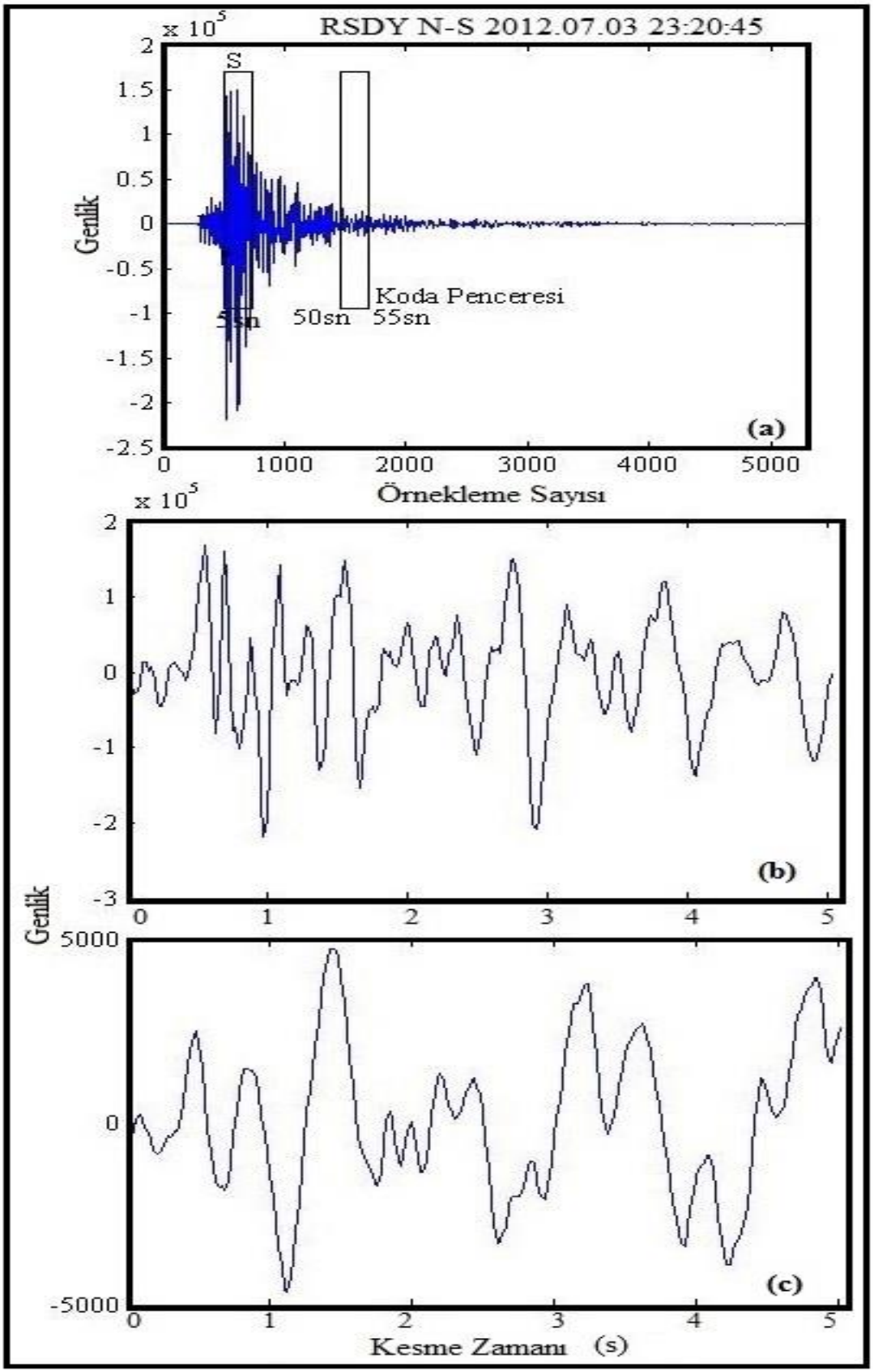
Denklem (2.26)'da verilen formül yardımıyla Ap ve As hesaplanmıştır. P ve S dalgalarının Ap/Ac ve As/Ac'ye oranlanmış halleri Şekil 3.23'te verilmektedir.



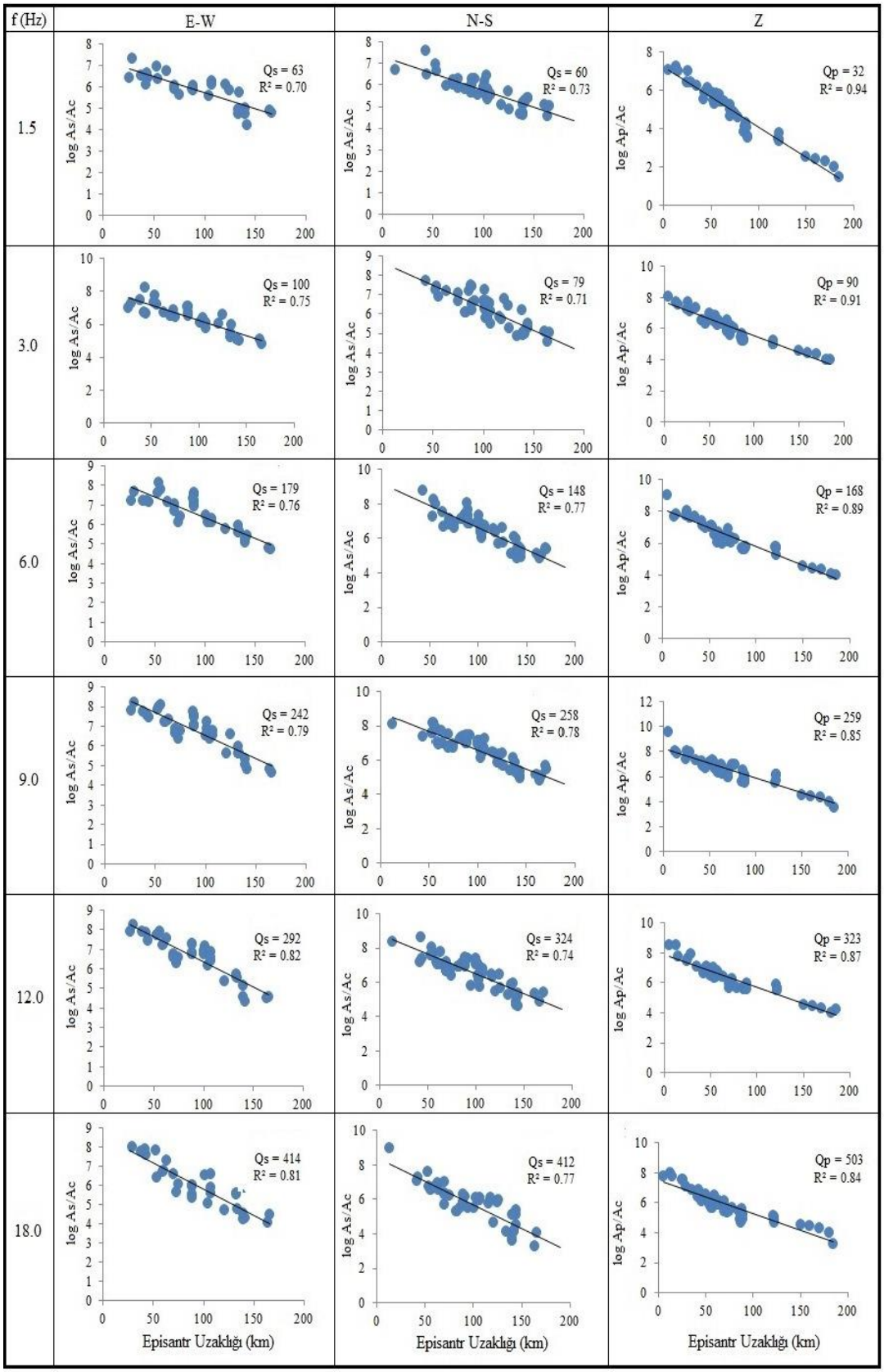
Şekil 3.20. 24.01.2010, 19:54:56'a ait depremin PTK istasyonuna ait Z kaydı (a) Ham veri, (b) P dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.21. 26.07.2009, 01:00:58'e ait depremin BAYT istasyonuna ait E-W kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.22. 03.07.2012, 23:20:45'e ait depremin RSDY istasyonuna ait N-S kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



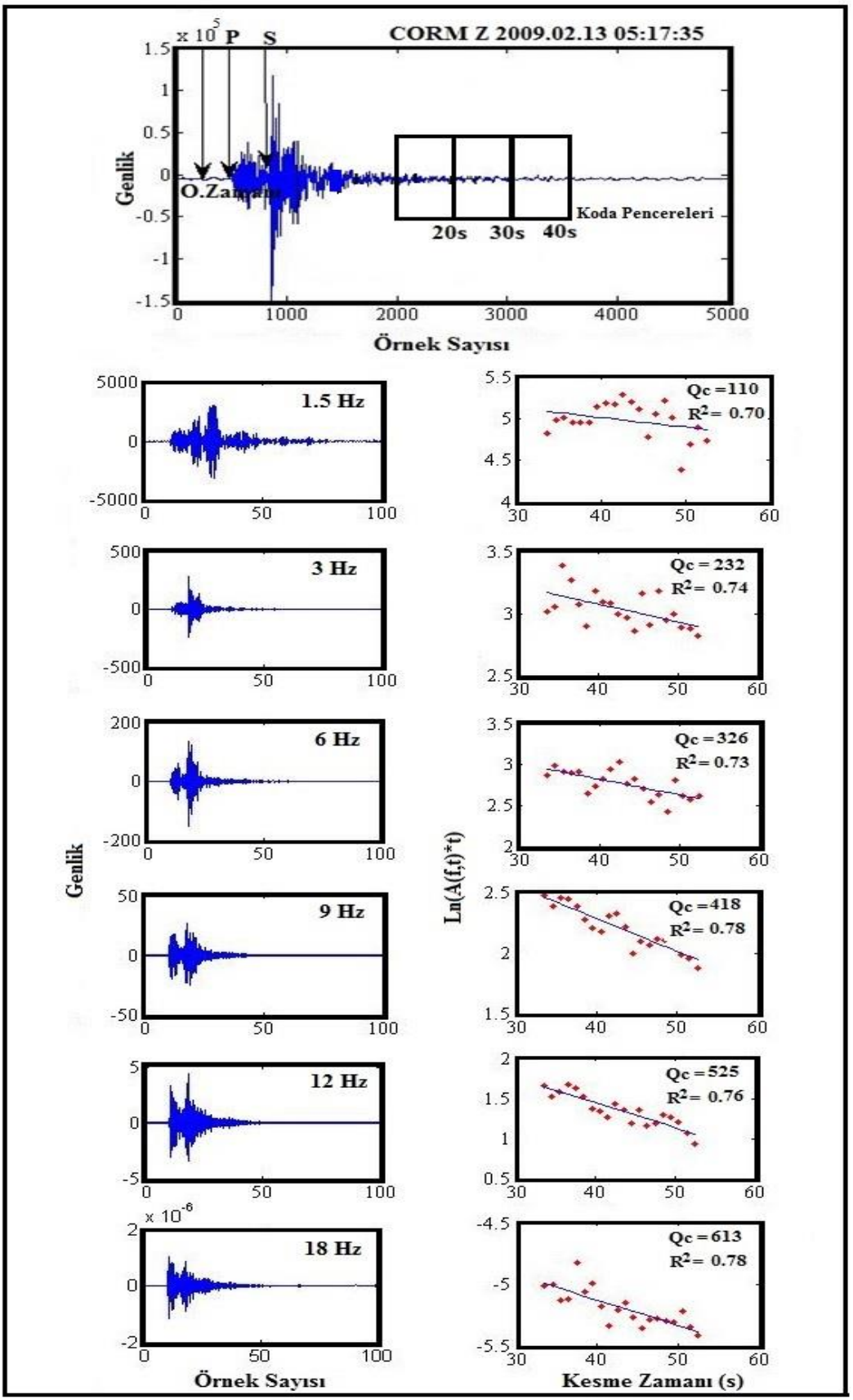
Şekil 3.23. Karlıova-Tokat Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi

N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs değerleri bileşenlere göre değişiklik göstermekle birlikte 18 Hz'de hemen hemen aynı değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirmede Qs'de düşük değerler hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeni için; 0,5-1,21, N-S bileşeni için; 0,53-1,21 arasındadır. S dalgalarının enerjilerindeki yoğun azalma içsel soğurma mekanizmalarının aktif olduğunu göstermektedir. Refahiye civarındaki sıcak su kaynakları, elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.

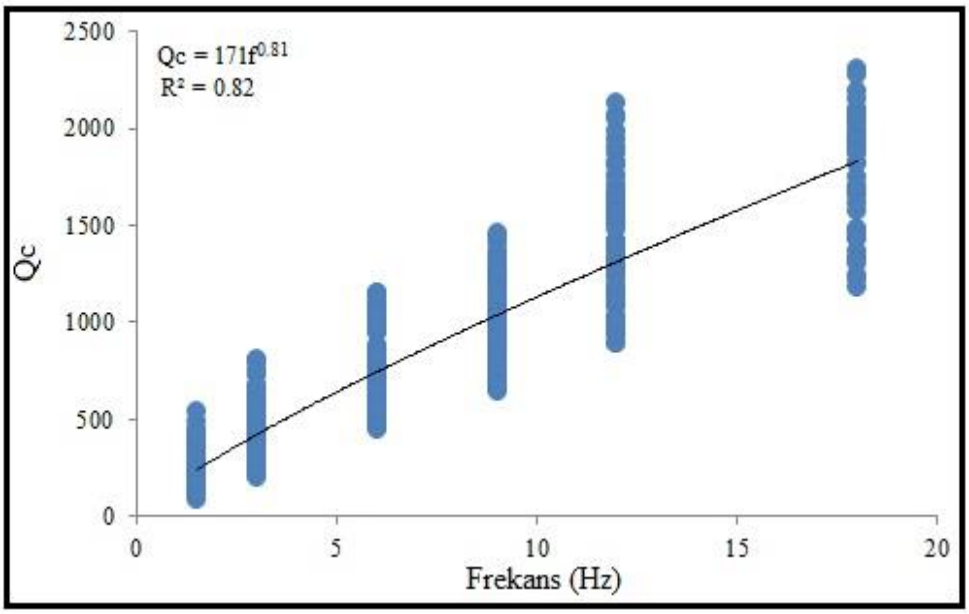
3.3. 2.Bölge-Tokat-Çorum Arası Soğurma Çalışması

3.3.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi

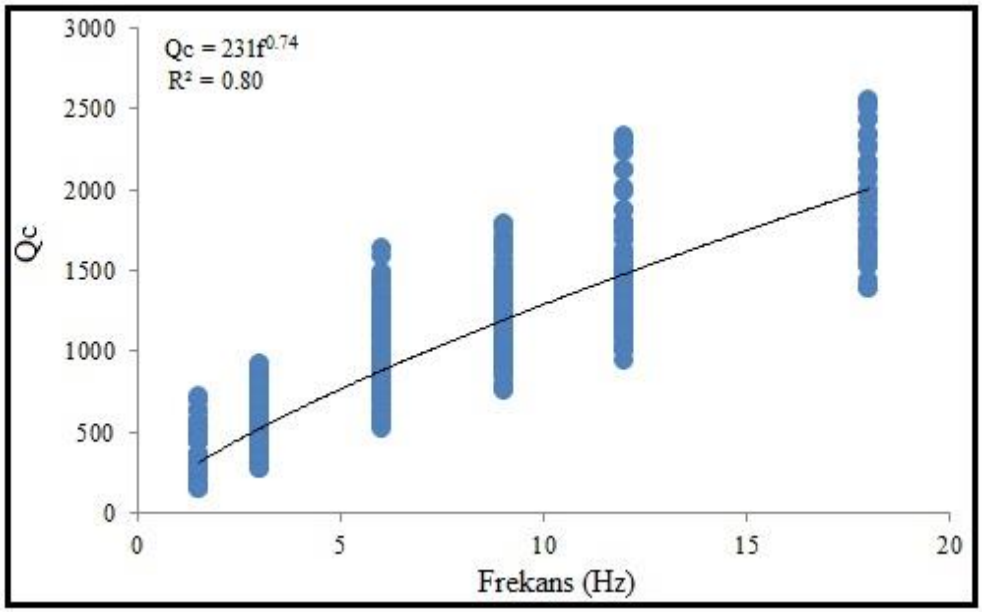
Bölgede Tablo 3.2'de verilen 7 istasyon tarafından kaydedilmiş, Şekil 3.3'te gösterilen 141 adet depreme ait, 154 düşey bileşen kaydı kullanılmıştır. Kesme zamanı pencere uzunlukları 20-30-40 sn olarak alınmıştır. Şekil 3.24'te 13.02.2009, 05:17:35'te meydana gelen depremin CORM istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için, merkez frekansları 1,5, 3, 6, 9, 12 ve 18 Hz olan 6 adet, sırayla 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-24 Hz bant genişliğinde 8 kutuplu ardışık Butterworth süzgeç kullanılarak filtrelenmiştir.



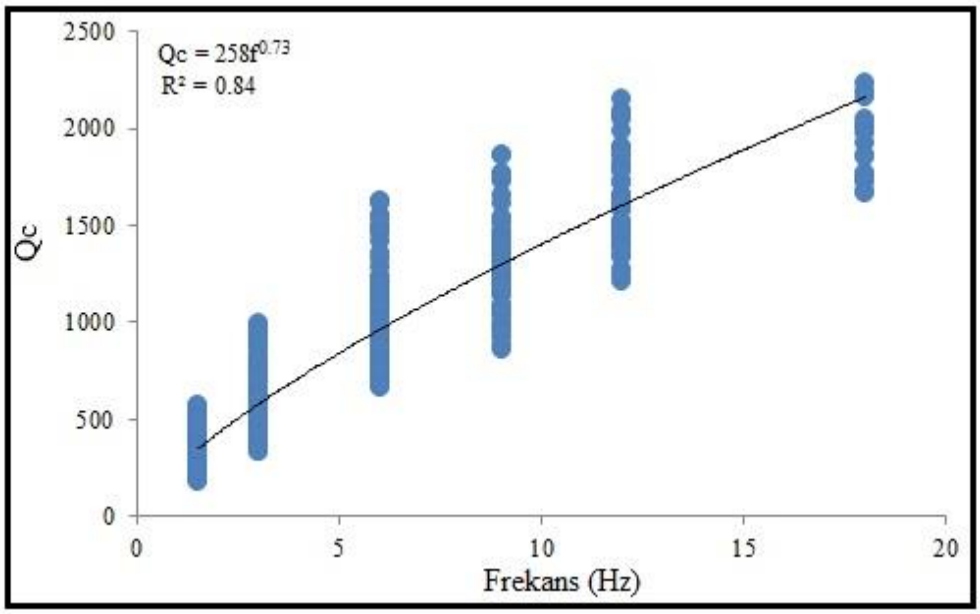
Şekil 3.24. 13.02.2009, 05:17:35'te meydana gelen depremin CORM istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi



Şekil 3.25. Tokat-Çorum Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi



Şekil 3.26. Tokat-Çorum Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

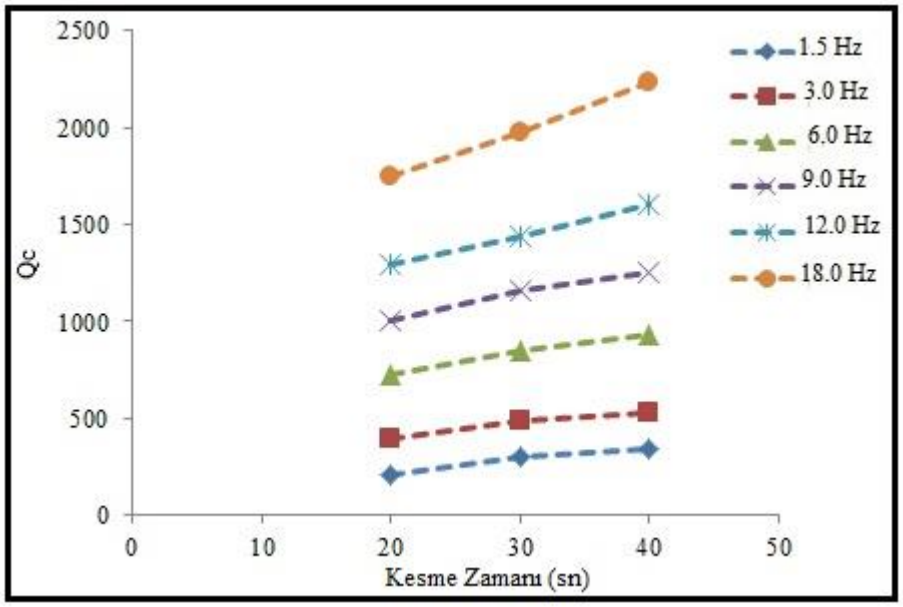


Şekil 3.27. Tokat-Çorum Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

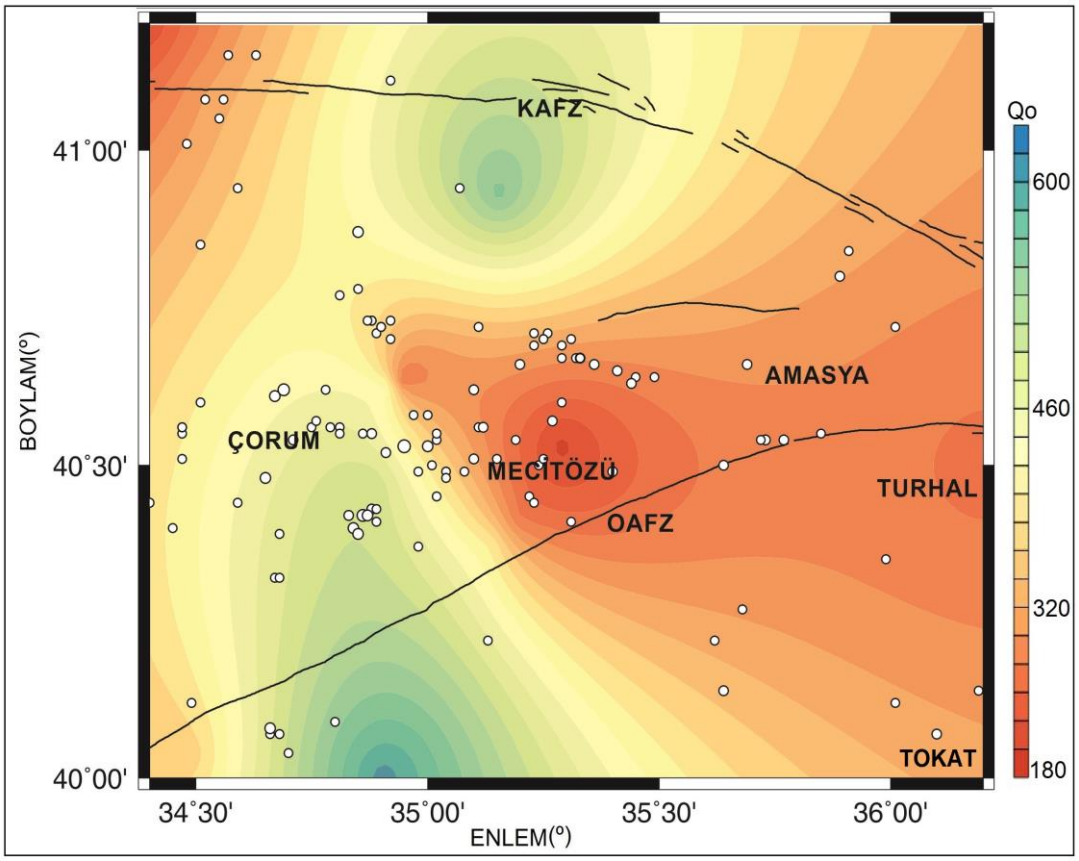
Tablo 3.7. Tokat-Çorum Bölgesi için elde edilen Qc değerleri

Frekanslar (Hz)	20 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	30 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	40 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri
1,5	210	302	338
3	397	489	527
6	725	849	929
9	1006	1154	1249
12	1290	1440	1598
18	1751	1973	2236

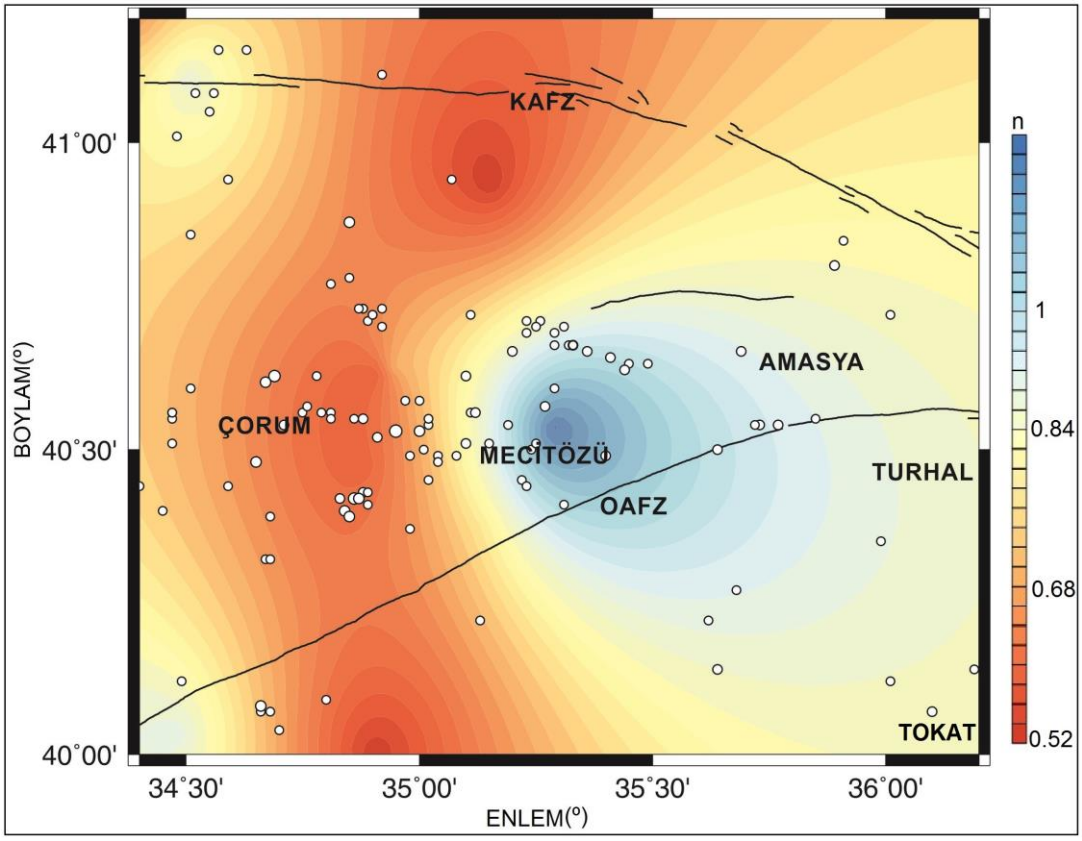
Şekil 3.25'de tüm bölge için yapılan değerlendirmede, 20 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 171, frekans bağımlılığı (n) 0,81 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.26'da 30 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 231, frekans bağımlılığı (n) 0,74, Şekil 3.27'de 40 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 258, frekans bağımlılığı (n) 0,73 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.7'deki verilere göre hem frekansla hemde kesme zamanıyla Qc'de artış olduğu görülmektedir. Bu durum, derinlere gittikçe daha homojen yapının varlığını işaret etmektedir. Şekil 3.28'de frekansın, kesme zamanına göre arttığı görülmektedir.



Şekil 3.28. Tokat-Çorum Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi



Şekil 3.29. Tokat-Çorum Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı



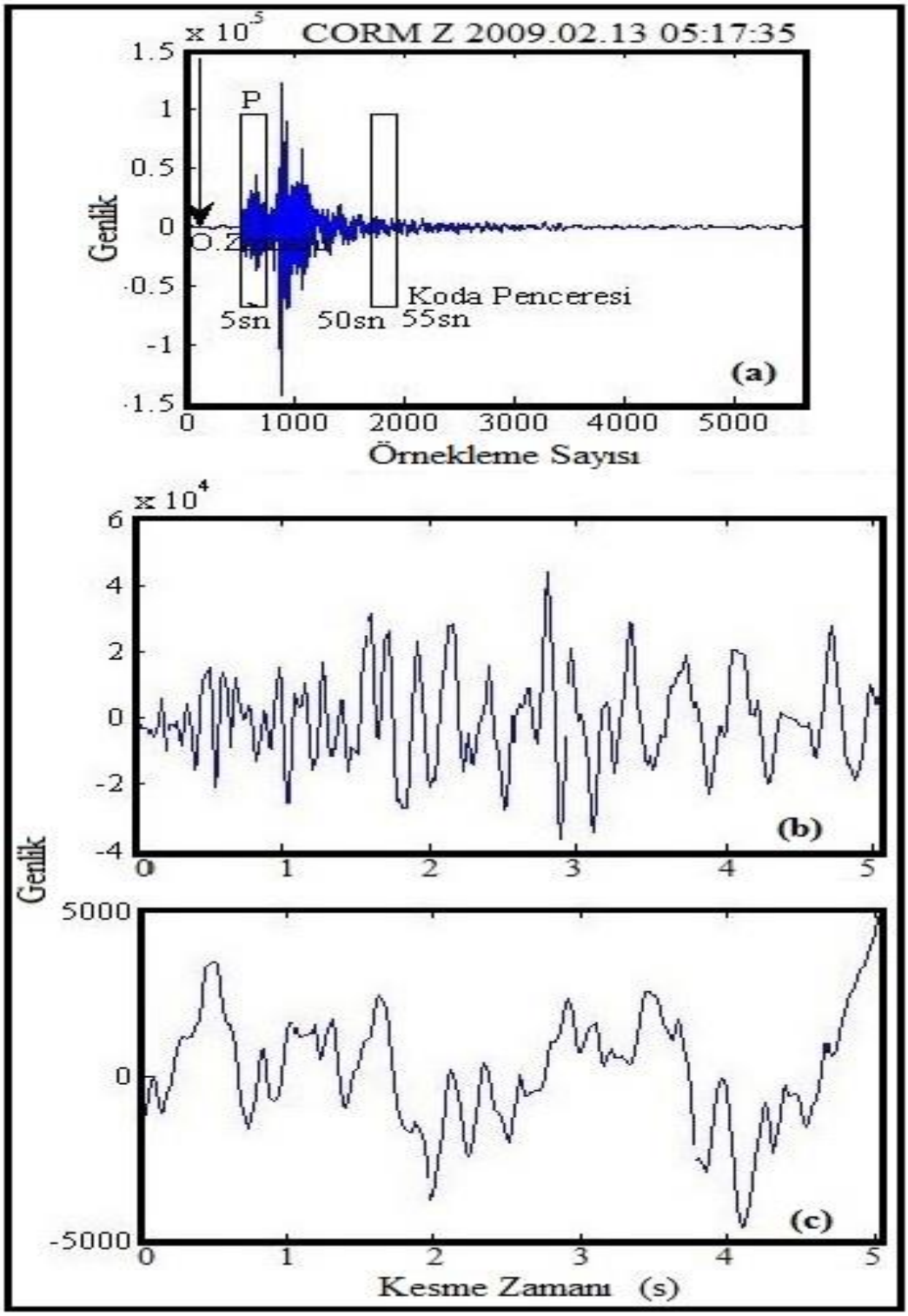
Şekil 3.30. Tokat-Çorum Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı

Qo için Şekil 3.29'ta , n değerleri için ise Şekil 3.30'da yer almaktadır. Mecitözü civarında Qo değerinde düşüş, n değerinde ise yükselme olduğu görülmektedir.

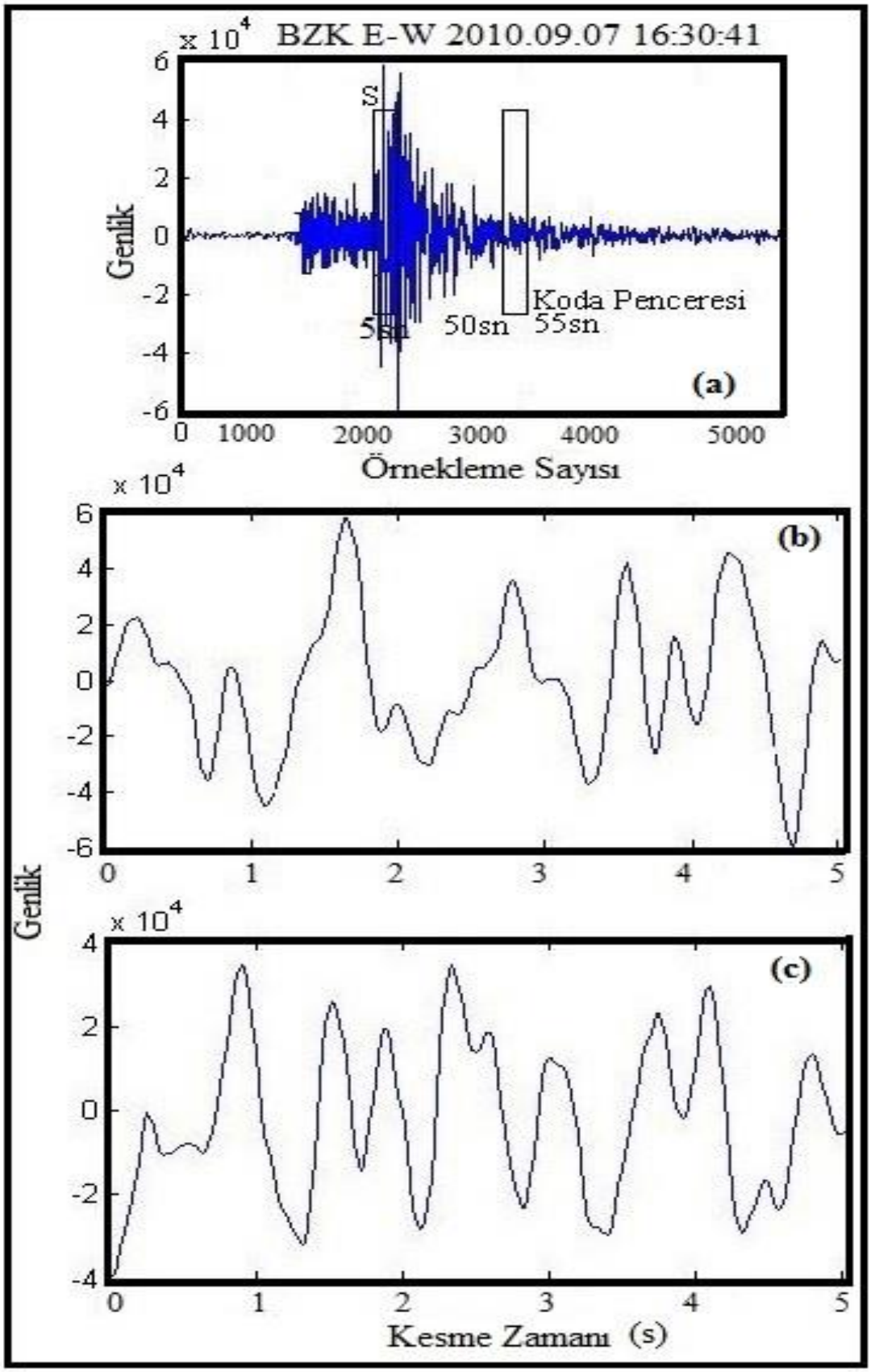
3.3.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi

Koda Normalizasyon yönteminde P dalgasını hesaplamak için (Qp) düşey bileşen, S dalgası için (Qs), E-W ve N-S bileşenli kayıtlar kullanılmıştır. E-W bileşeni için 15, N-S bileşeni için 30, Z bileşeni için 39 veri analizi yapılmıştır. Bazı depremlerde, değerlendirmeye alınan örnek kayıtlar üzerinde; 13.02.2009'da 05:17:35'te meydana gelen depremin CORM istasyonuna ait Z kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan P dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı Şekil 3.31'de görülmektedir. Şekil 3.32'de 07.09.2010, 16:30:41'e ait depremin BZK istasyonuna ait E-W kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Şekil 3.33'de 20.02.2011, 14:13:58'e ait depremin CORM istasyonuna ait N-S kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının

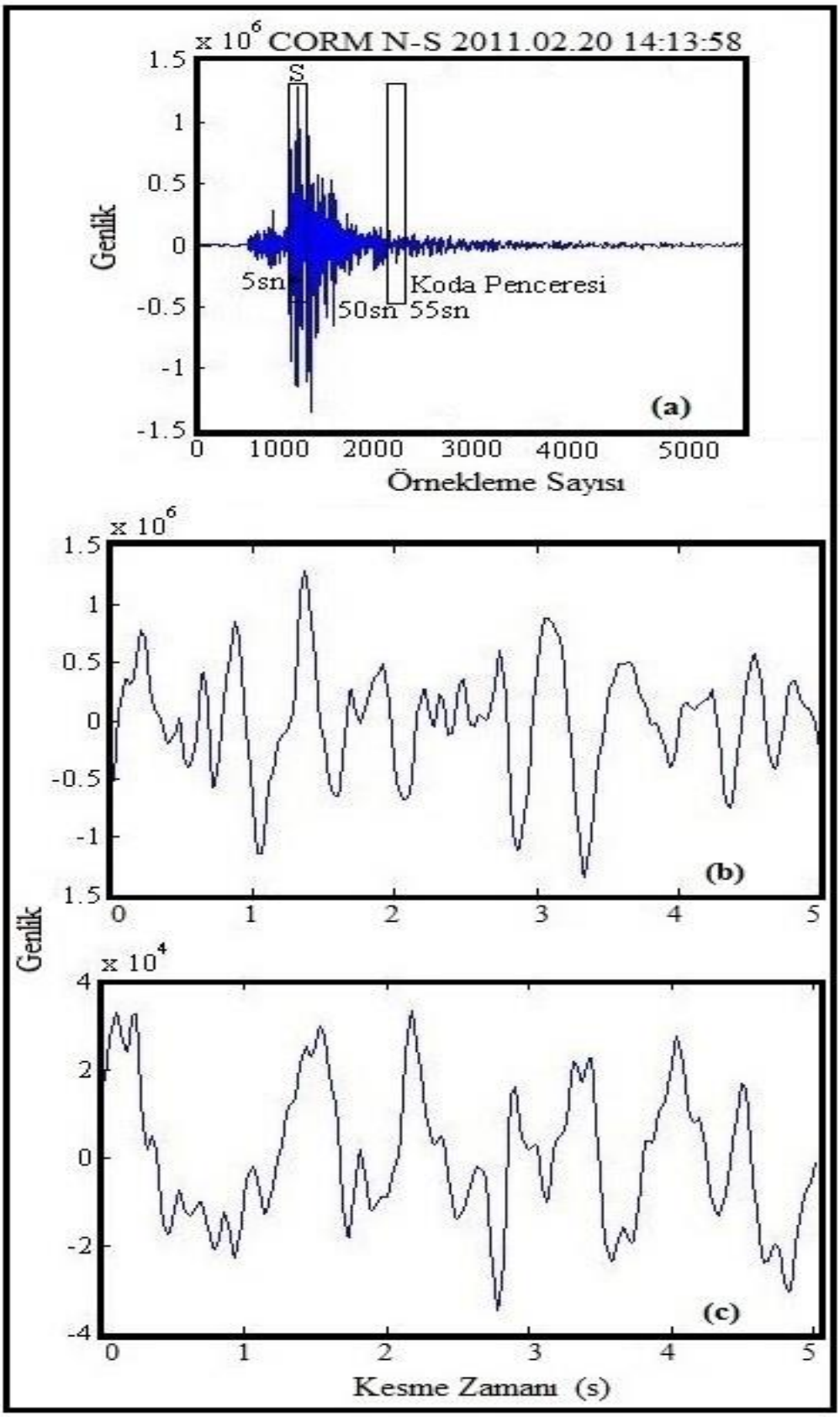
ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Denklem (2.25) ve Denklem (2.26)'da verilen formül yardımıyla Ap ve As hesaplanmıştır. P ve S dalgalarının Ap/Ac ve As/Ac'ye oranlanmış halleri Şekil 3.34'te verilmektedir.



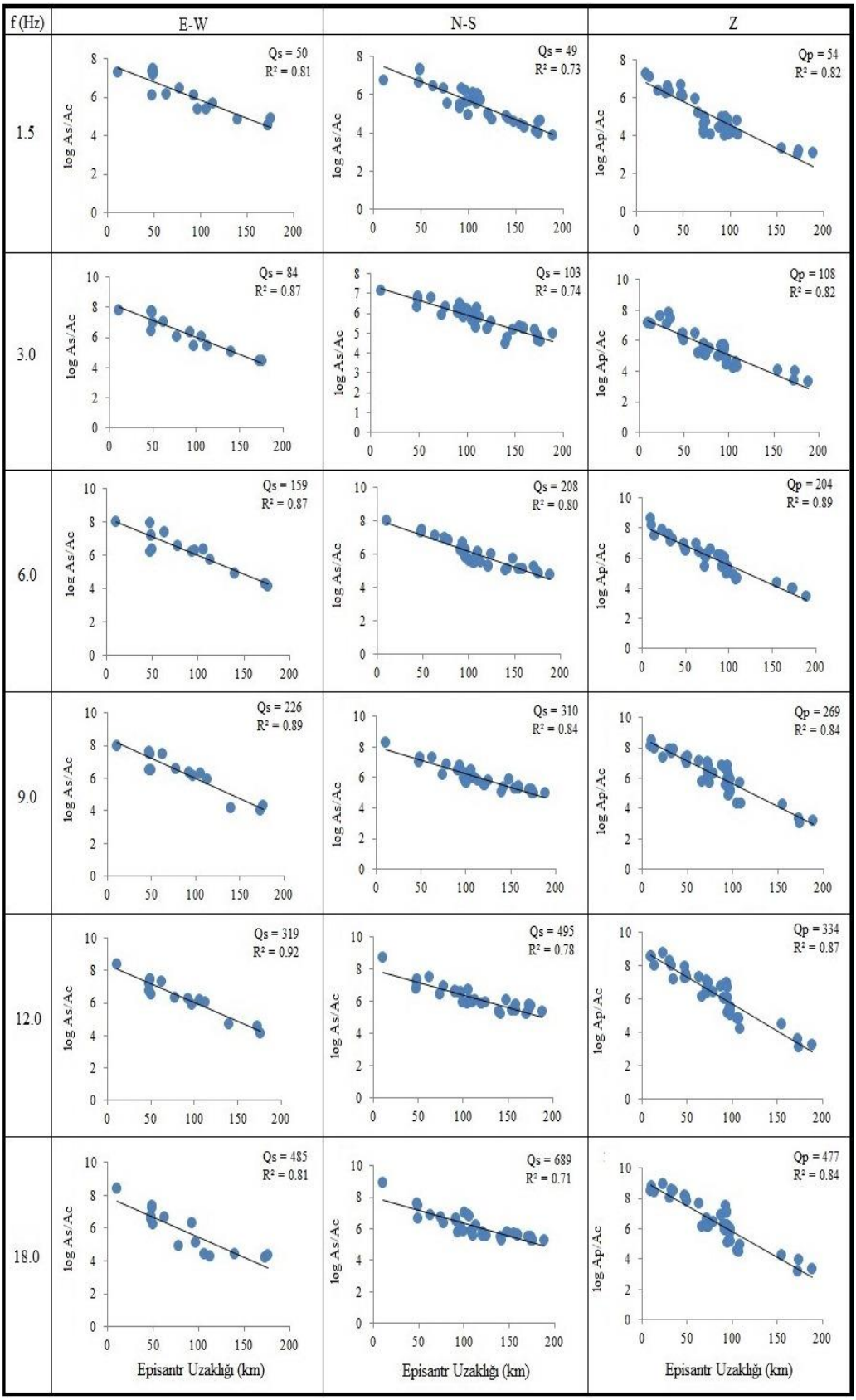
Şekil 3.31. 13.02.2009, 05:17:35'e ait depremin CORM istasyonuna ait Z kaydı (a) Ham veri, (b) P dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.32. 07.09.2010, 16:30:41'e ait depremin BZK istasyonuna ait E-W kaydı (a) Ham veri, (b) S dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.33. 20.02.2011, 14:13:58'e ait depremin CORM istasyonuna ait N-S kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



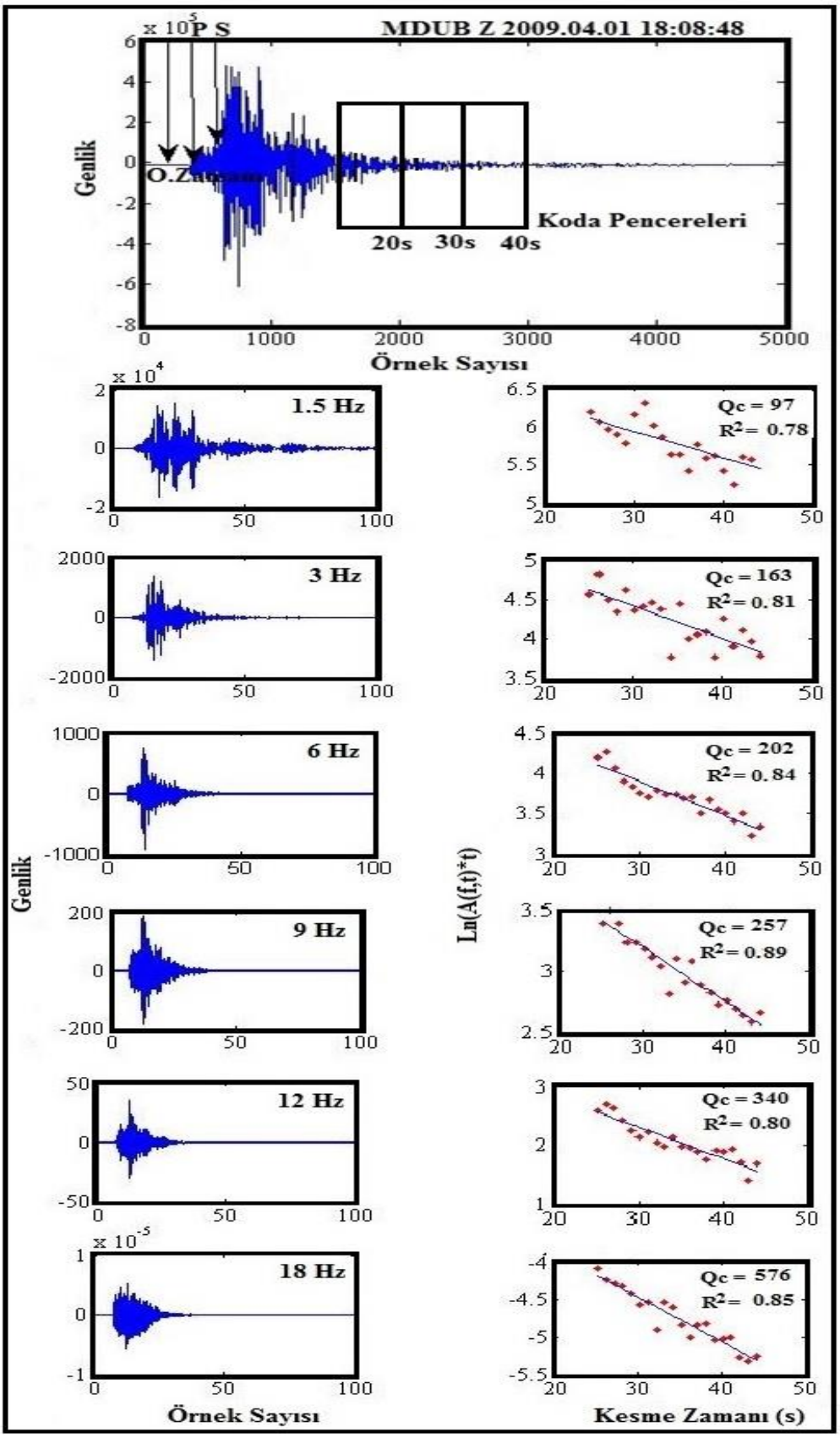
Şekil 3.34. Tokat-Çorum Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi

Şekil 3.34'te Koda Normalizasyon yöntemi ile yapılan çalışmada, Z bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs ve Qp değerleri bileşenlere göre değişiklik göstermekle birlikte 1,5 Hz'de hemen hemen aynı değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirme de Qs'de yüksek değerler hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeni için; 0,98-1,28, N-S bileşeni için; 0,67-1,10 değerleri heaplanmıştır. Qs'in yüksek olması bölgede akışkan, satüre bir kabuk alan yapısının olmadığına işaret etmektedir.

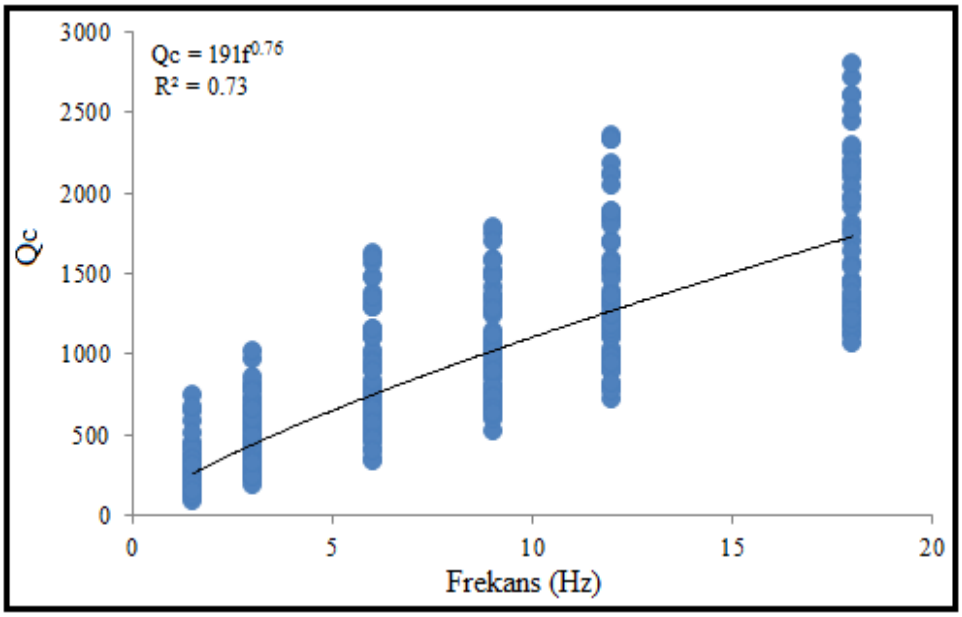
3.4. 3.Bölge-Çorum-Adapazarı Arası Soğurma Çalışması

3.4.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi

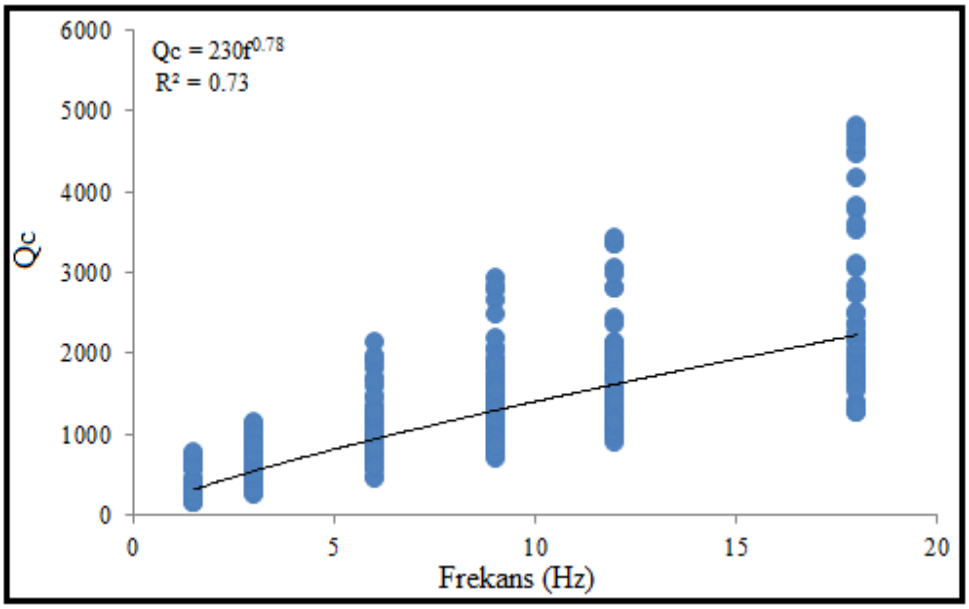
Bölgede Tablo 3.3'te verilen 8 istasyon tarafından kaydedilmiş, Şekil 3.4'te gösterilen 97 adet depreme ait, 132 düşey bileşen kaydı kullanılmıştır. Kesme zamanı pencere uzunlukları 20-30-40 sn olarak alınmıştır. Şekil 3.35'te 01.04.2009, 18:08:48'de meydana gelen depremin MDUB istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için merkez frekansları 1,5, 3, 6, 9, 12 ve 18 Hz olan 6 adet, sırayla 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-24 Hz bant genişliğinde 8 kutuplu ardışık Butterworth süzgeç kullanılarak filtrelenmiştir.



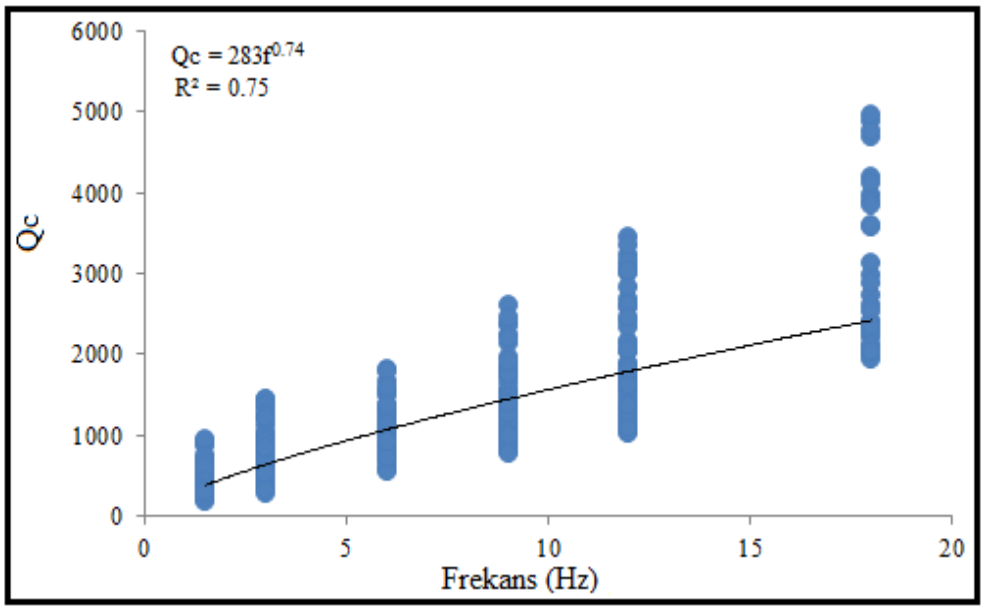
Şekil 3.35. 01.04.2009, 18:08:48'de meydana gelen depremin MDUB istasyonunun Z kaydının 20 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi



Şekil 3.36. Çorum-Adapazarı Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi



Şekil 3.37. Çorum-Adapazarı Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

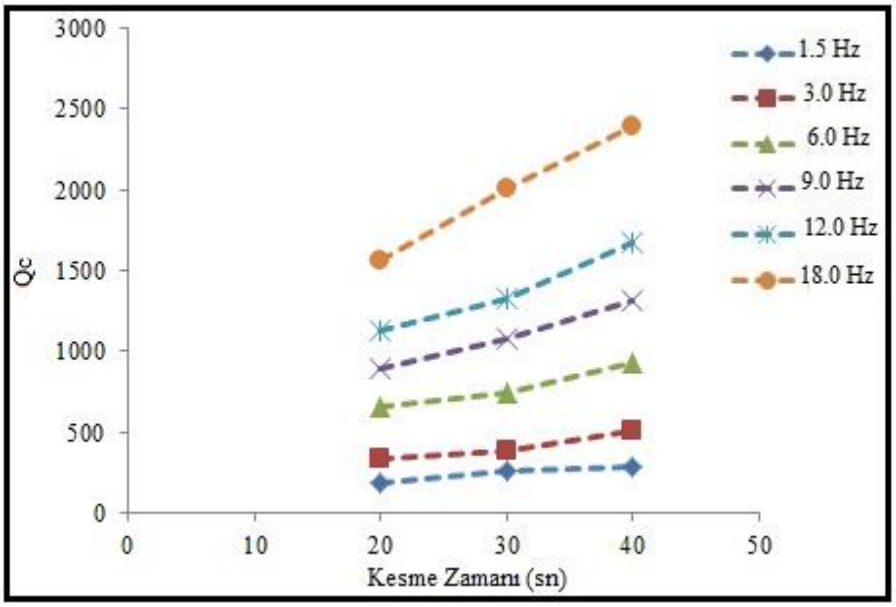


Şekil 3.38. Çorum-Adapazarı Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

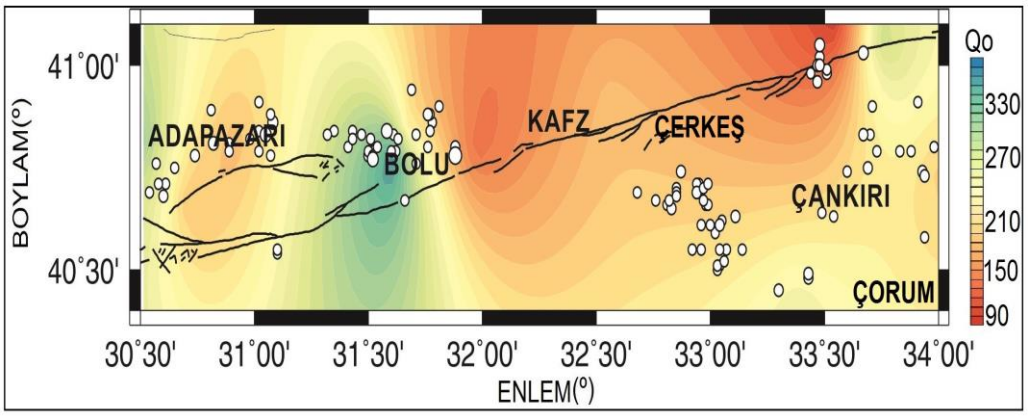
Tablo 3.8. Çorum-Adapazarı Bölgesi için elde edilen Qc değerleri

Frekanslar (Hz)	20 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	30 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	40 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri
1,5	192	265	285
3	342	392	505
6	660	750	933
9	900	1079	1321
12	1133	1325	1672
18	1565	2010	2394

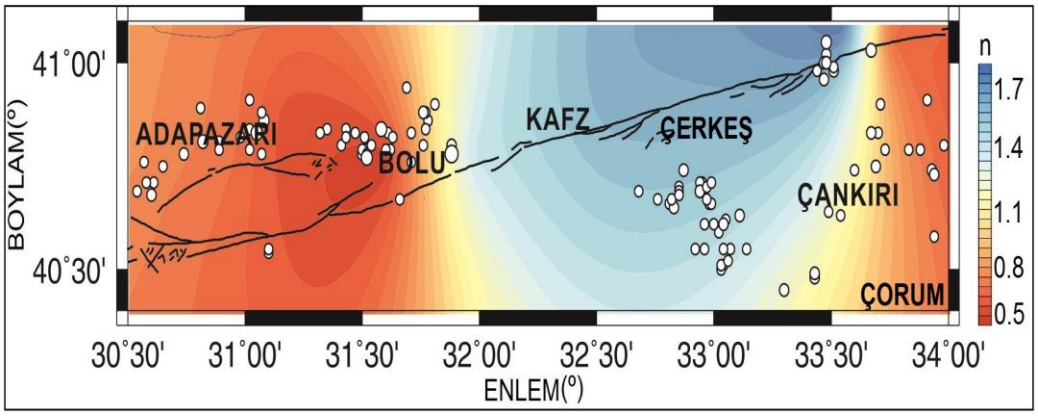
Şekil 3.36'da tüm bölge için yapılan değerlendirmede, 20 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 191, frekans bağımlılığı (n) 0,76 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.37'da 30 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 230, frekans bağımlılığı (n) 0,78, Şekil 3.38'de 40 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 283, frekans bağımlılığı (n) 0,74 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.8 'te Qc kesme zamanı ile artış gösterirken 1,5 Hz'de bu artış gözlenememektedir. Şekil 3.39'da frekansın, kesme zamanına göre arttığı görülmektedir.



Şekil 3.39. Çorum-Adapazarı Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi



Şekil 3.40. Çorum-Adapazarı Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı

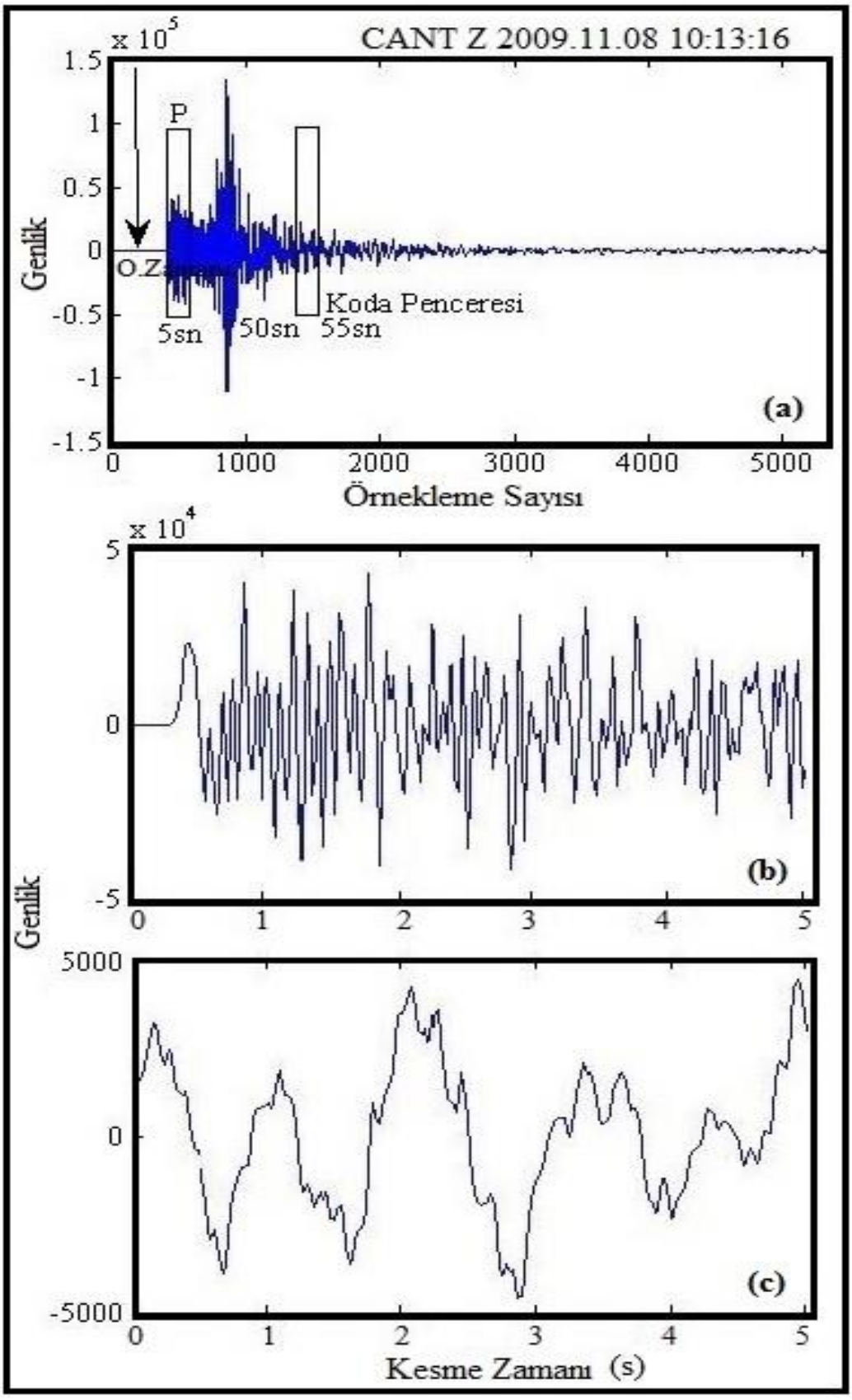


Şekil 3.41. Çorum-Adapazarı Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı

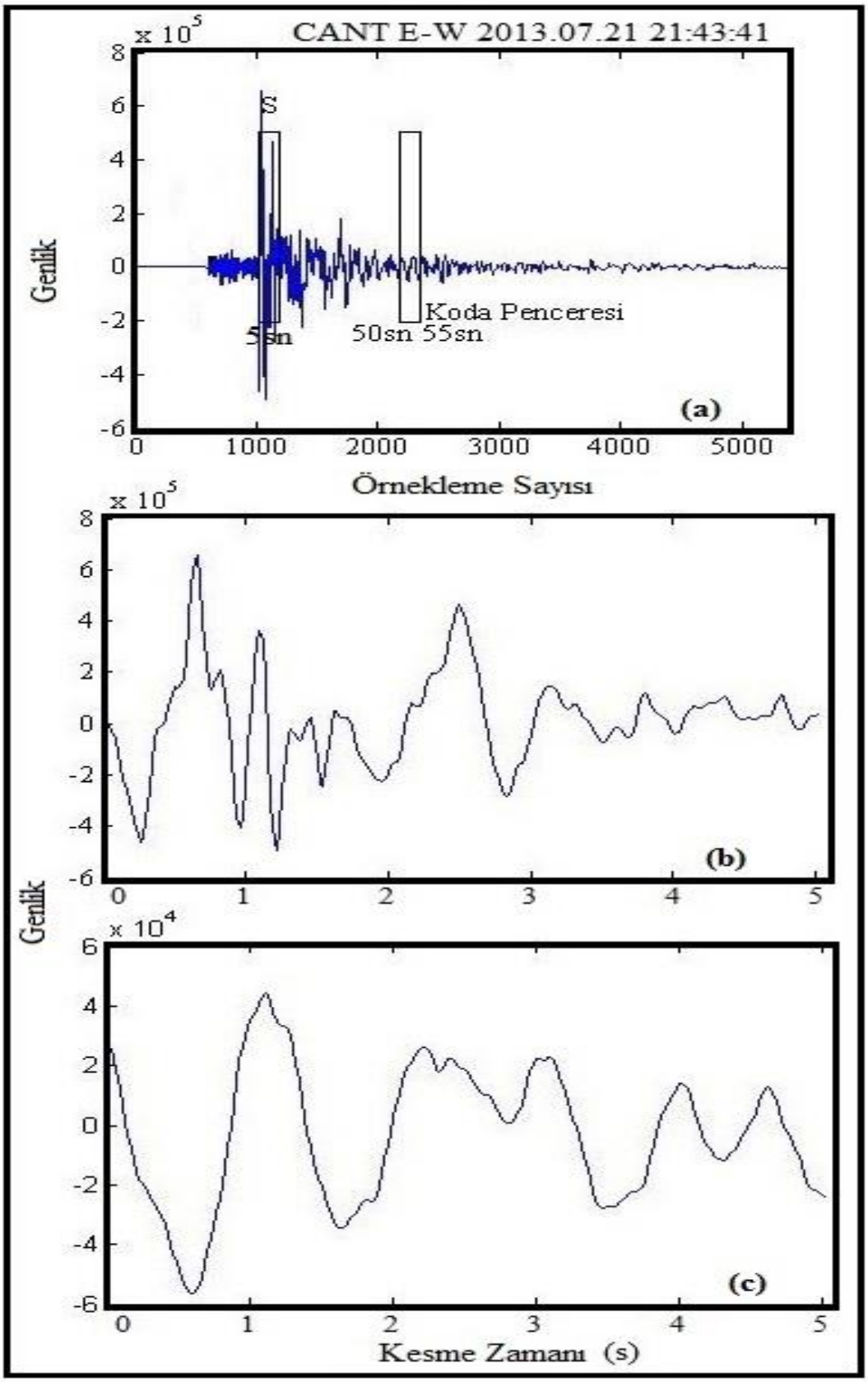
Adapazarı-Bolu arasında Qo ve n değerindeki değişimler bölgenin heterojenik yapısını gözler önüne sermektedir.

3.4.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi

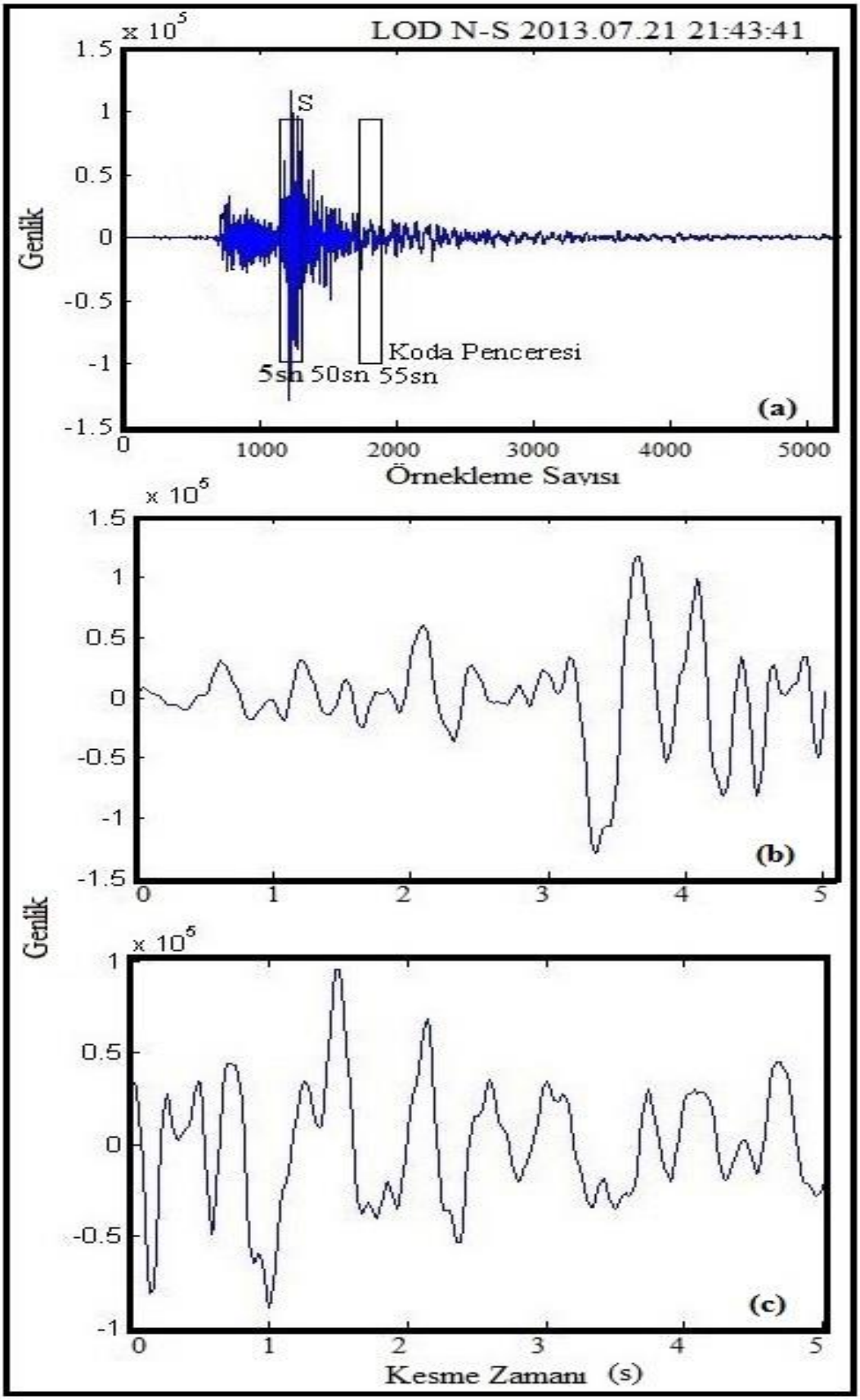
Koda normalizasyon yönteminde P dalgasını hesaplamak için (Qp) düşey bileşen, S dalgası için (Qs), E-W ve N-S bileşenli kayıtlar kullanılmıştır. E-W bileşeni için 39, N-S bileşeni için 39, Z bileşeni için 32 veri analizi yapılmıştır. Bazı depremlerde, değerlendirmeye alınan örnek kayıtlar üzerinde; 08.11.2009'da 10:13:16'da meydana gelen depremin CANT istasyonuna ait Z kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan P dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı Şekil 3.42'de görülmektedir. Şekil 3.43'te 21.07.2013, 21:43:41'e ait depremin CANT istasyonuna ait E-W kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Şekil 3.44'te 21.07.2013, 21:43:41'e ait depremin LOD istasyonuna ait N-S kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Denklem (2.25) ve Denklem (2.26)'da verilen formül yardımıyla Ap ve As hesaplanmıştır. P ve S dalgalarının Ap/Ac ve As/Ac'ye oranlanmış halleri Şekil 3.45'te verilmektedir.



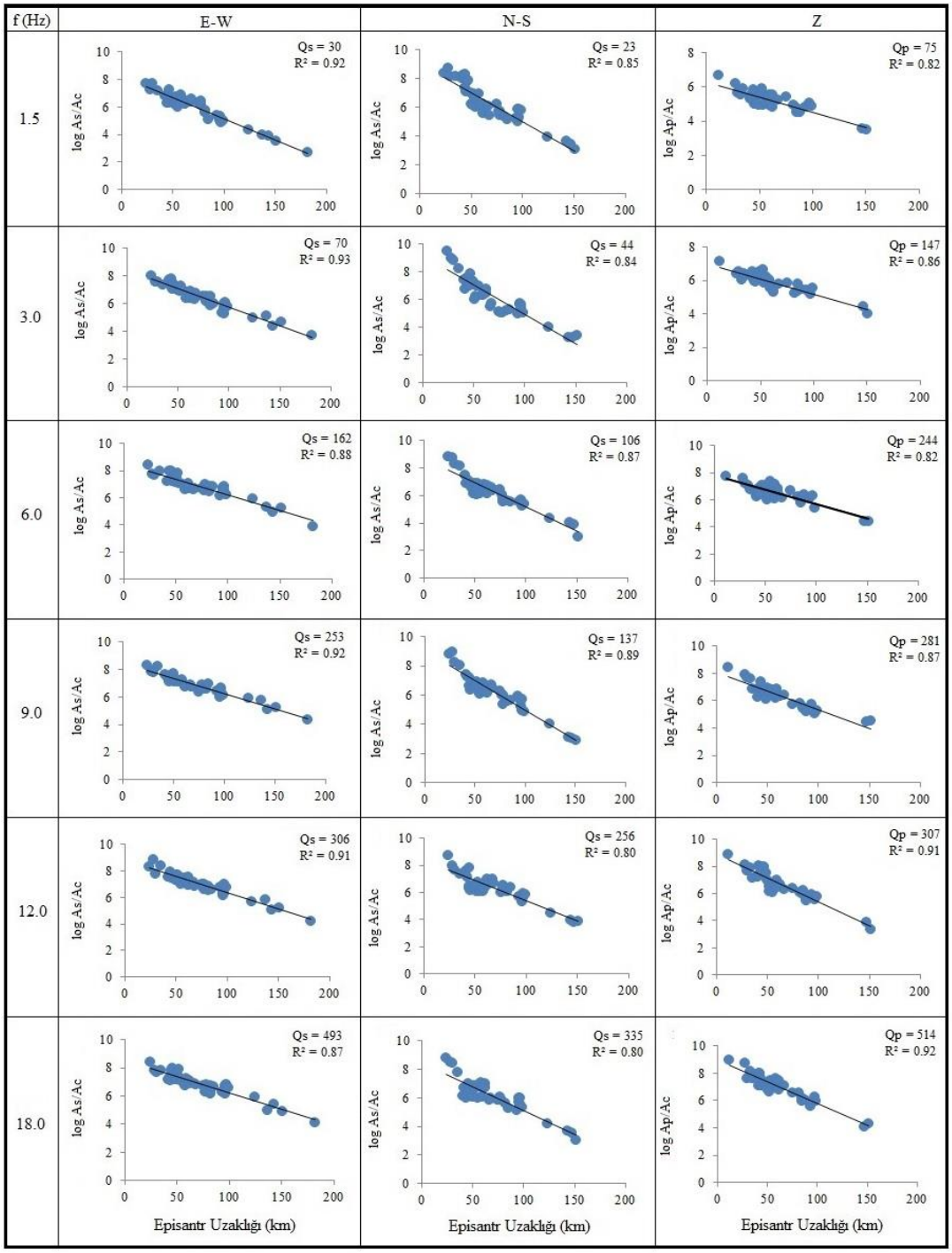
Şekil 3.42. 08.11.2009, 10:13:16'e ait depremin CANT istasyonuna ait Z kaydı
(a) Ham veri, (b) P Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.43. 21.07.2013, 21:43:41'e ait depremin CANT istasyonuna ait E-W kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.44. 21.07.2013, 21:43:41'e ait depremin LOD istasyonuna ait N-S kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.45. Çorum-Adapazarı Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi

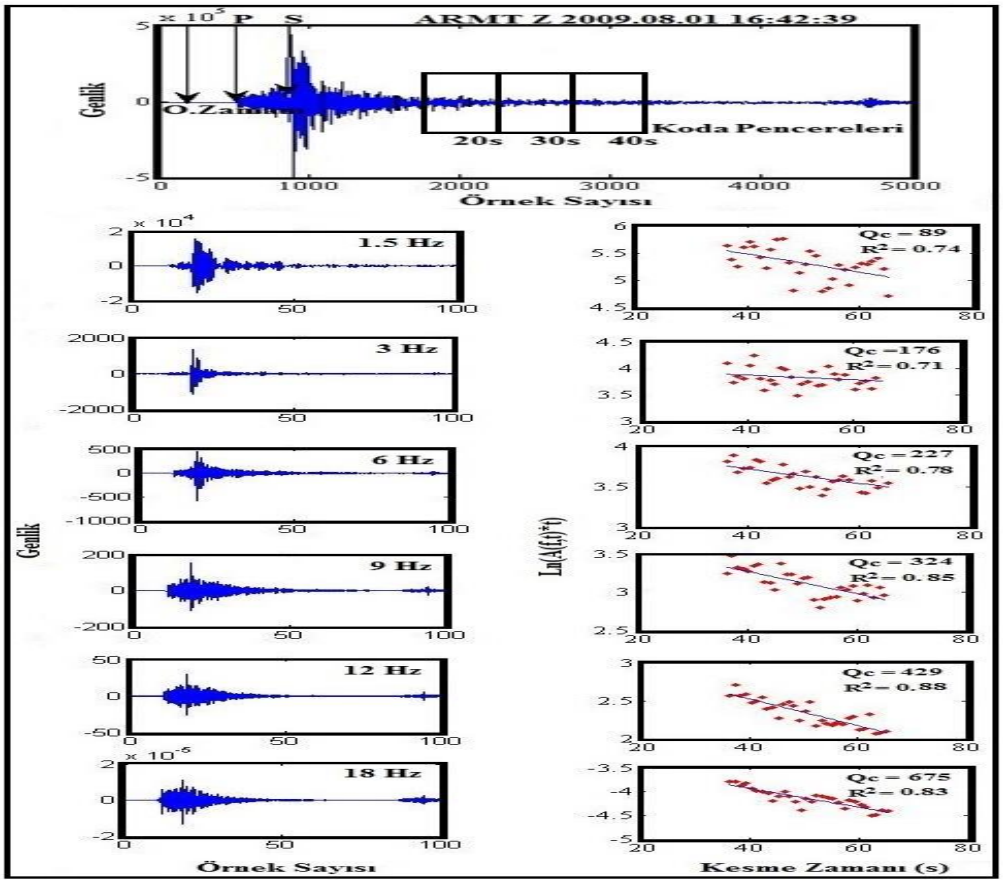
N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Genel değerlendirmede Qs'de düşük değerler hesaplanmıştır. Bunun nedeni de bölgedeki jeotermal kaynak olması olarak düşünülmektedir. Qp/Qs oranı E-W bileşeni için; 1-2,5, N-S bileşeni için ise 1,19-3,34 arasında değişen değerler almaktadır. Bölgede

Bolu'ya bağlı Karacasu beldesi, Mudurnu'ya bağlı Gürçam köyü ve Taşkesti beldesi, Seben'e bağlı Kesenözü köyü ve Göynük ilçesine bağlı Himmetoğlu köyünde bulunan kaplıcalar göz önüne alındığında, elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.

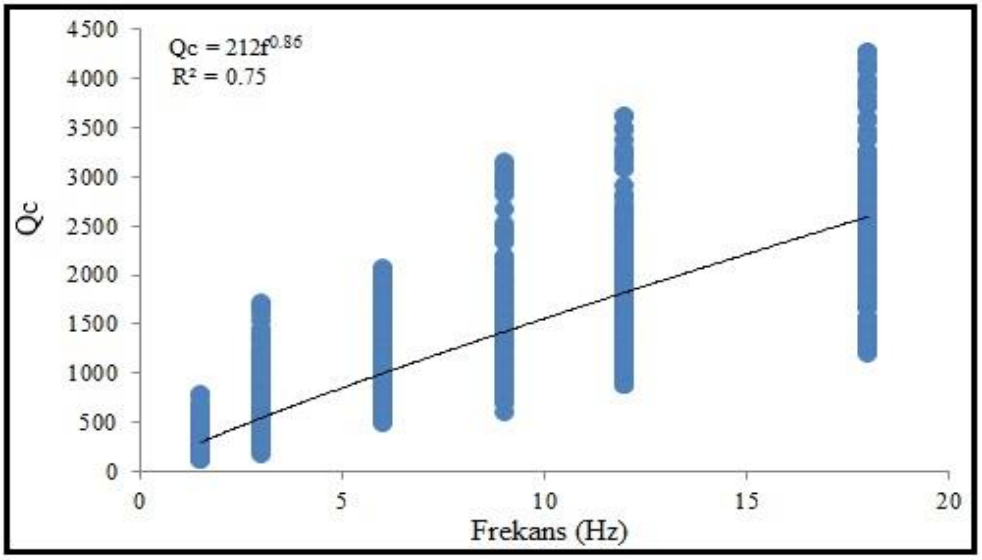
3.5. 4.Bölge-Adapazarı-Yalova Arası Soğurma Çalışması

3.5.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi

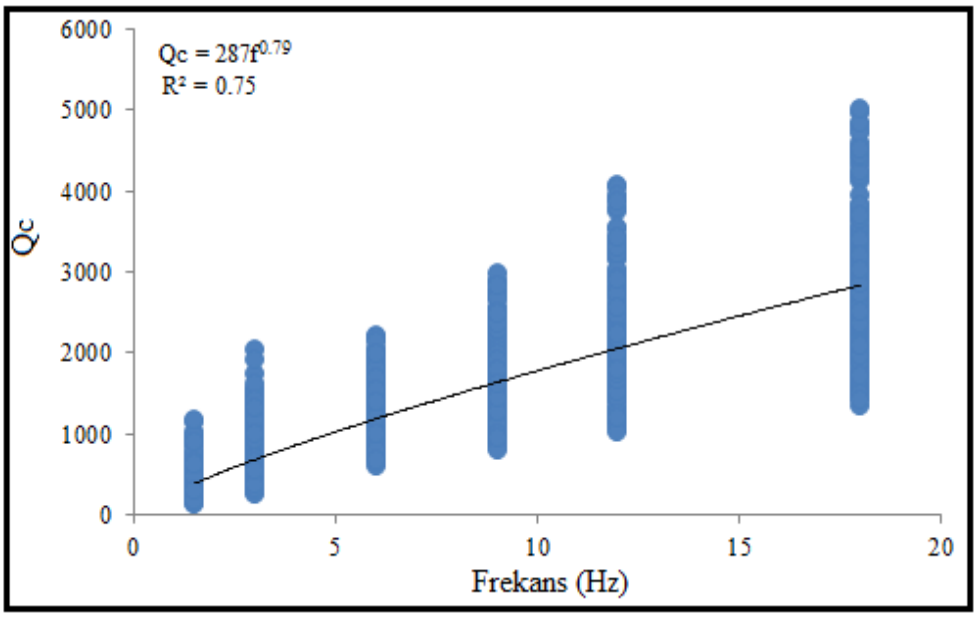
Bölgede Tablo 3.4'te verilen 12 istasyon tarafından kaydedilmiş, Şekil 3.5'te gösterilen 61 adet depreme ait, 198 düşey bileşen kaydı kullanılmıştır. Kesme zamanı pencere uzunlukları 20-30-40 sn olarak alınmıştır. Şekil 3.46'da 01.08.2009, 16:42:39'da meydana gelen depremin ARMT istasyonunun Z kaydının 30 sn kesme zamanı için merkez frekansları 1,5, 3, 6, 9, 12 ve 18 Hz olan 6 adet, sırayla 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-24 Hz bant genişliğinde 8 kutuplu ardışık Butterworth süzgeç kullanılarak filtrelenmiştir.



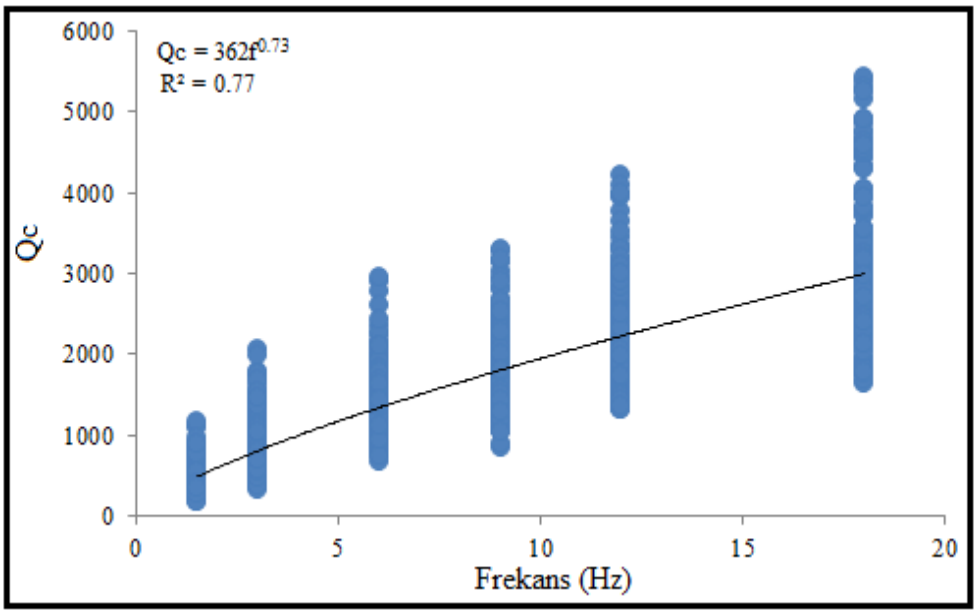
Şekil 3.46. 20.01.2011, 02:09:37'de meydana gelen depremin ARMT istasyonunun Z kaydının 30 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi



Şekil 3.47. Adapazarı-Yalova Bölgesi için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi



Şekil 3.48. Adapazarı-Yalova Bölgesi için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

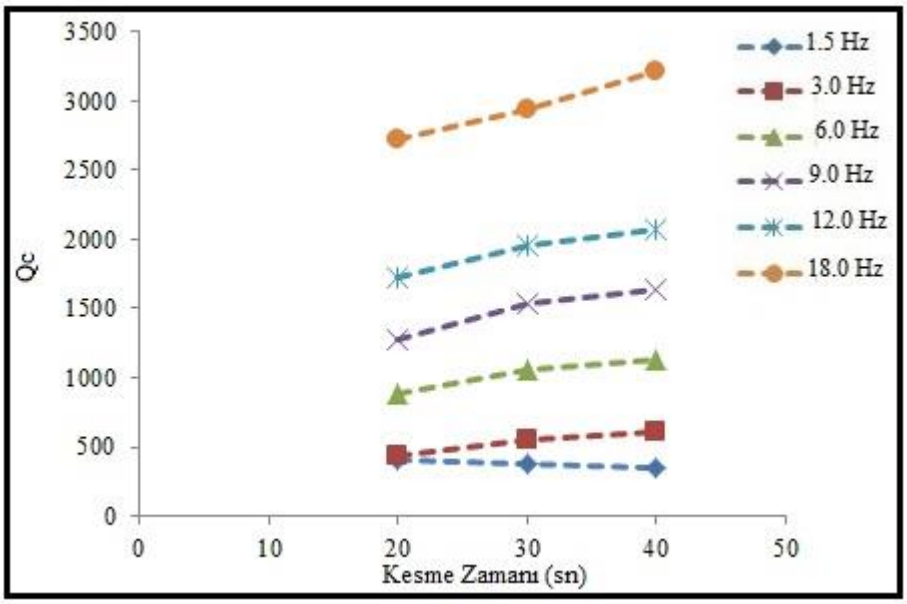


Şekil 3.49. Adapazarı-Yalova Bölgesi için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

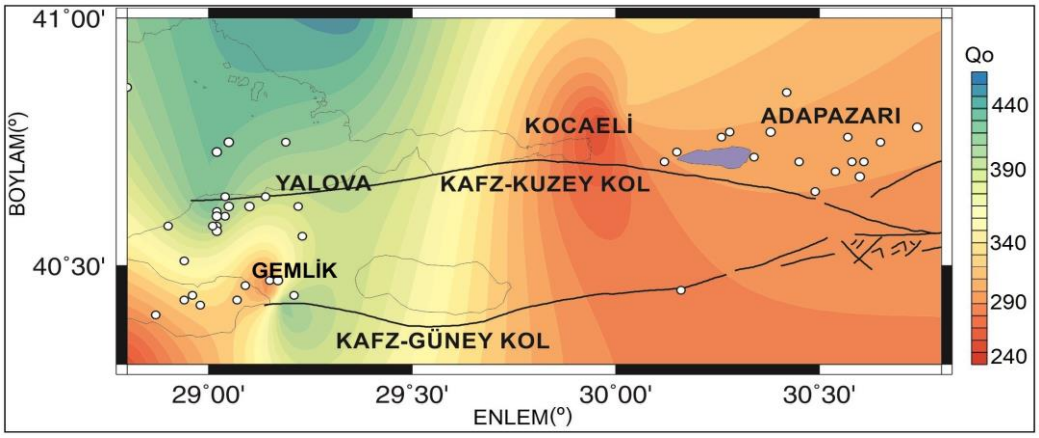
Tablo 3.9. Adapazarı-Yalova Bölgesi için elde edilen Qc değerleri

Frekanslar (Hz)	20 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	30 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	40 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri
1,5	405	384	347
3	438	548	607
6	891	1055	1127
9	1270	1533	1638
12	1724	1961	2074
18	2720	2941	3213

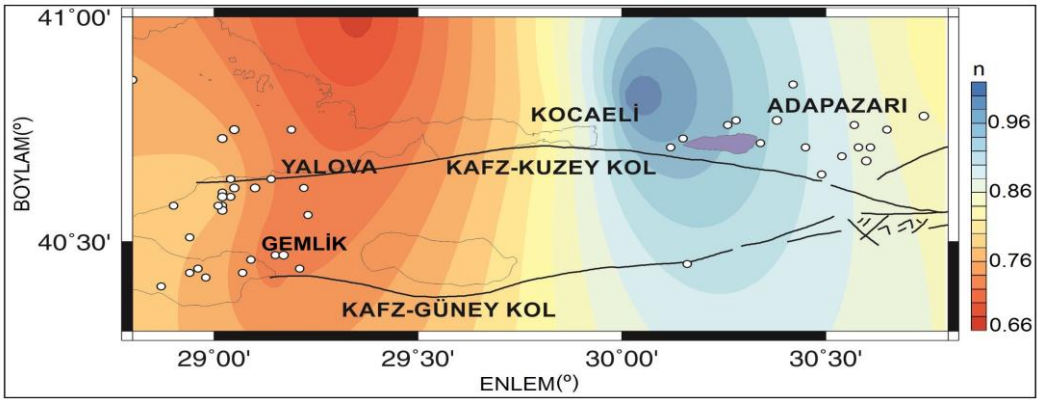
Şekil 3.47'de bölge için yapılan değerlendirmede, 20 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 212, frekans bağımlılığı (n) 0,86 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.26'da 30 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 287, frekans bağımlılığı (n) 0,79, Şekil 3.27'de 40 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 362, frekans bağımlılığı (n) 0,73 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.9'da ve Şekil 3.50'deki verilere göre hem frekansla hem de kesme zamanıyla artış sürmektedir. 1,5 Hz' de kesme zamanı arttıkça Qc değeri düşmektedir.



Şekil 3.50. Adapazarı-Yalova Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi



Şekil 3.51. Adapazarı-Yalova Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı

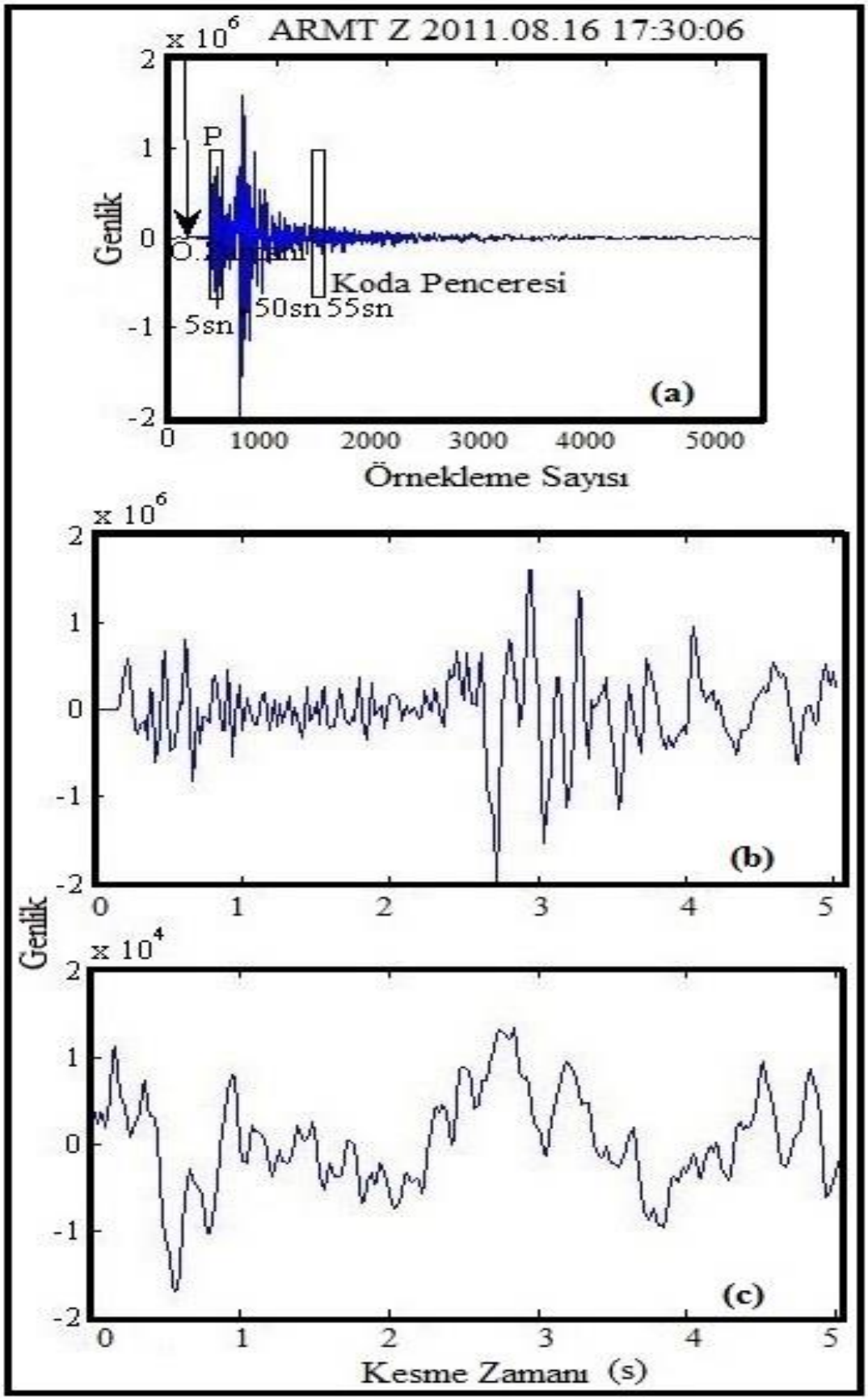


Şekil 3.52. Adapazarı-Yalova Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı

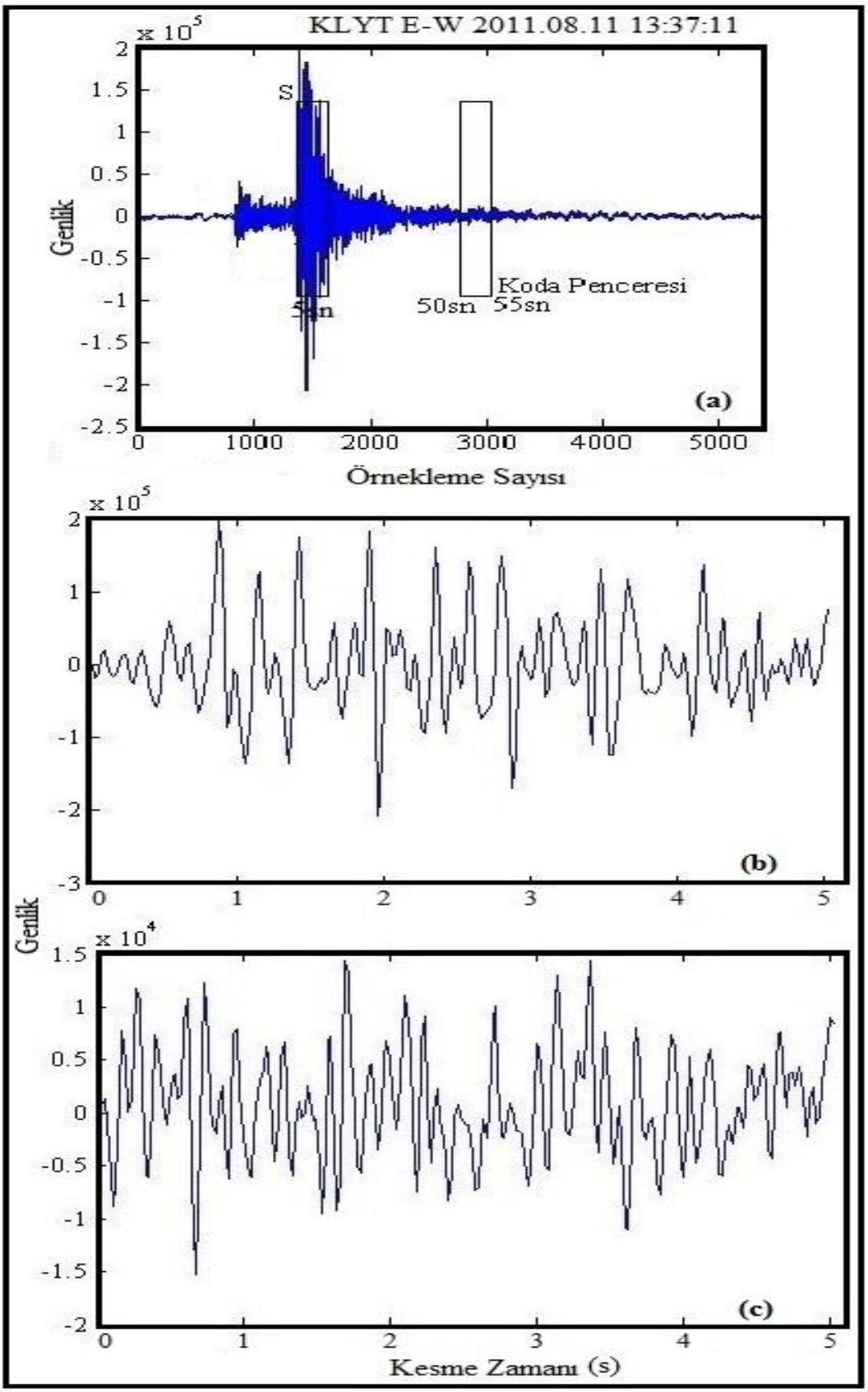
Şekil 3.51'de fayın kuzey kolunda Qo değerinde artış gözlenirken, Şekil 3.52'de n değerinde ise azalış gözlenmektedir. En yüksek Qo ve n değerini bu bölgededir.

3.5.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi

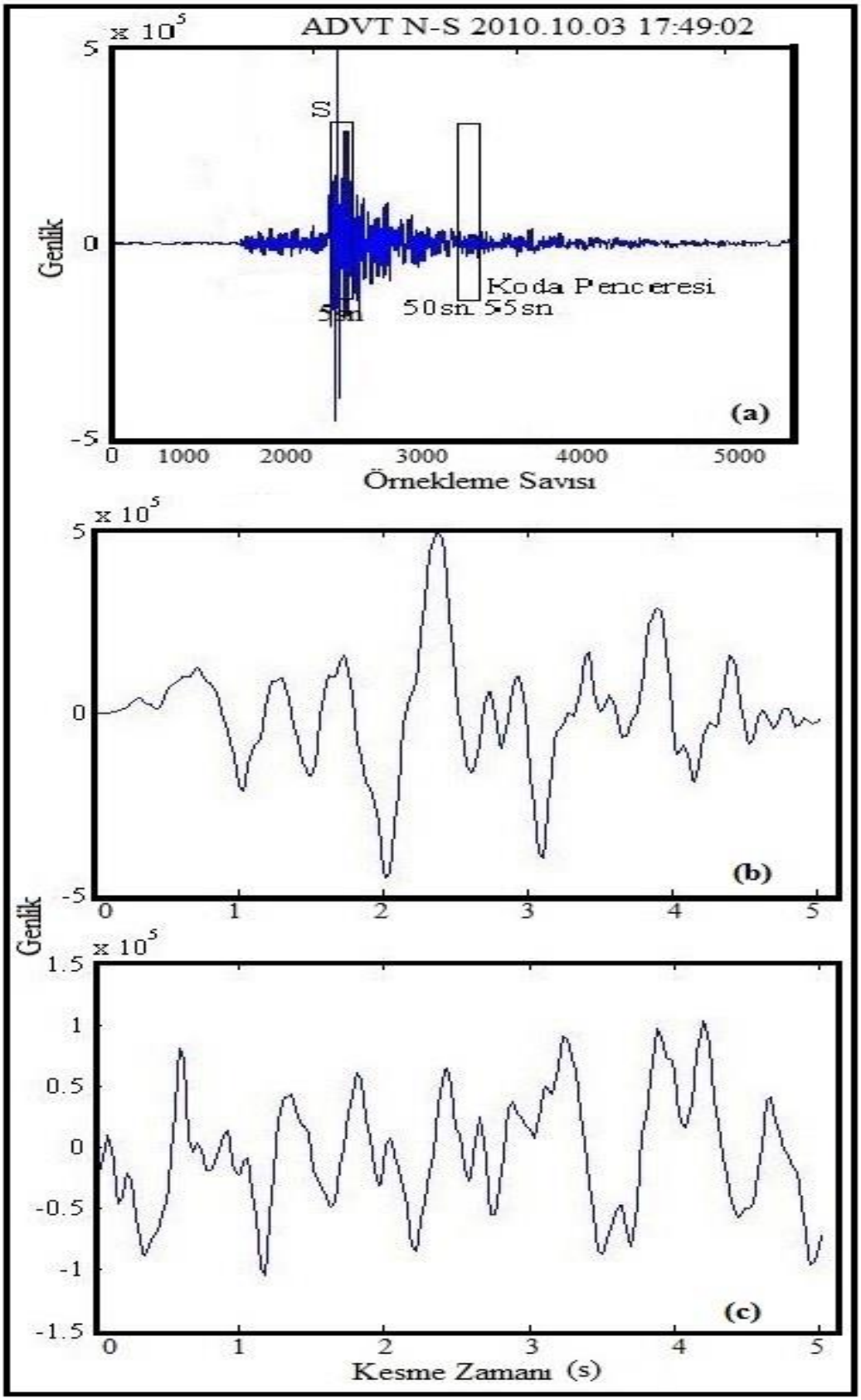
Koda normalizasyon yönteminde P dalgasını hesaplamak için (Qp) düşey bileşen, S dalgası için (Qs), E-W ve N-S bileşenli kayıtlar kullanılmıştır. E-W bileşeni için 59, N-S bileşeni için 75, Z bileşeni için 57 veri analizi yapılmıştır. Bazı depremlerde, değerlendirmeye alınan örnek kayıtlar üzerinde; 16.08.2011'de 17:30:06'da meydana gelen depremin ARMT istasyonuna ait Z kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan P dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı Şekil 3.53'te görülmektedir. Şekil 3.54'te 11.08.2011, 13:37:11'e ait depremin KLYT istasyonuna ait E-W kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Şekil 3.55'te 03.10.2010, 17:49:02'e ait depremin ADVT istasyonuna ait N-S kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının 5 sn'lik ve Koda dalgasının kısmı görülmektedir. Denklem (2.25) ve Denklem (2.26)'da verilen formül yardımıyla Ap ve As hesaplanmıştır. P ve S dalgalarının Ap/Ac ve As/Ac'ye oranlanmış halleri Şekil 3.56'da verilmektedir.



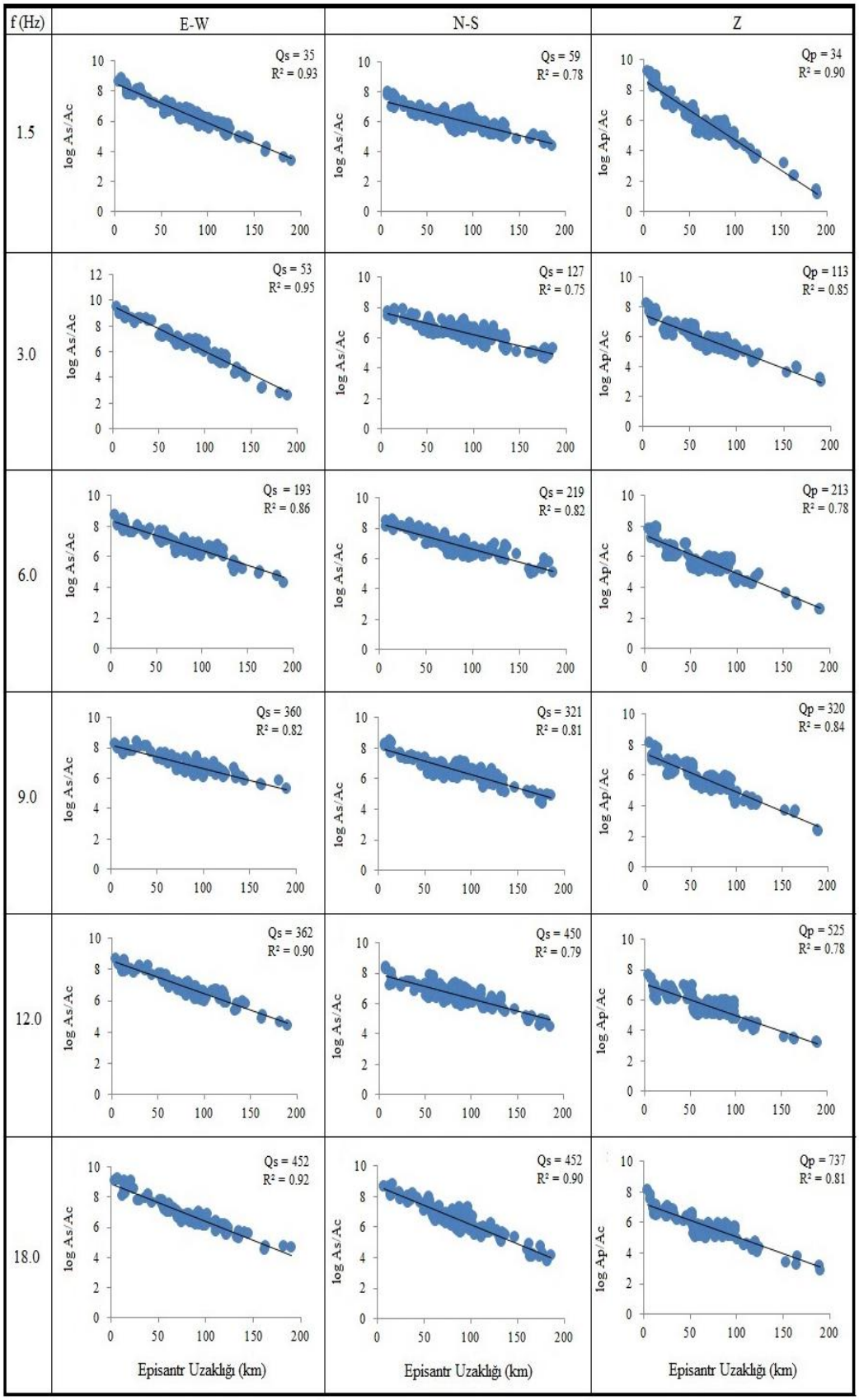
Şekil 3.53. 16.08.2011,17:30:06'a ait depremin ARMT istasyonunun Z kaydı (a) Ham veri, (b) P Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.54. 11.08.2011, 13:37:11'e ait depremin KLYT istasyonuna ait E-W kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.55. 03.10.2010, 17:49:02'e ait depremin ADVT istasyonuna ait N-S kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



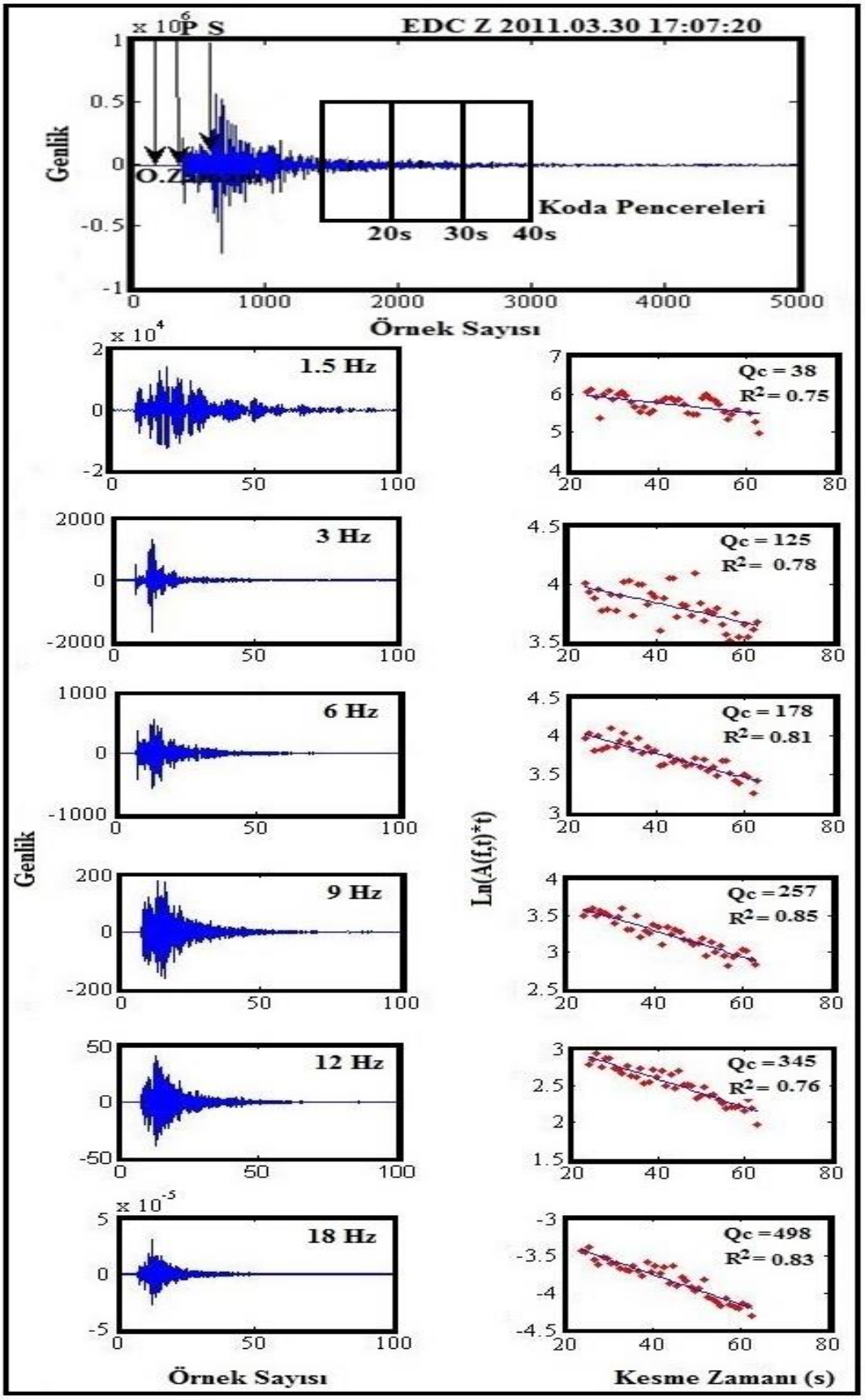
Şekil 3.56. Adapazarı-Yalova Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi

N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs değerleri bileşenlerine göre değişiklik göstermekle birlikte 18 Hz'de aynı değerler hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeninde 0,88-2,13, N-S bileşeninde 0,57-1,63 arasında değişen değerler almaktadır. Bölgenin akışkan bir kabuk yapısına sahip olması, bölgede jeotermal alanlarının bulunduğuna işaret etmektedir. Bölgede Yalova civarında Armutlu, Termal gibi kaplıca merkezleri bu sonuçları doğrular niteliktedir.

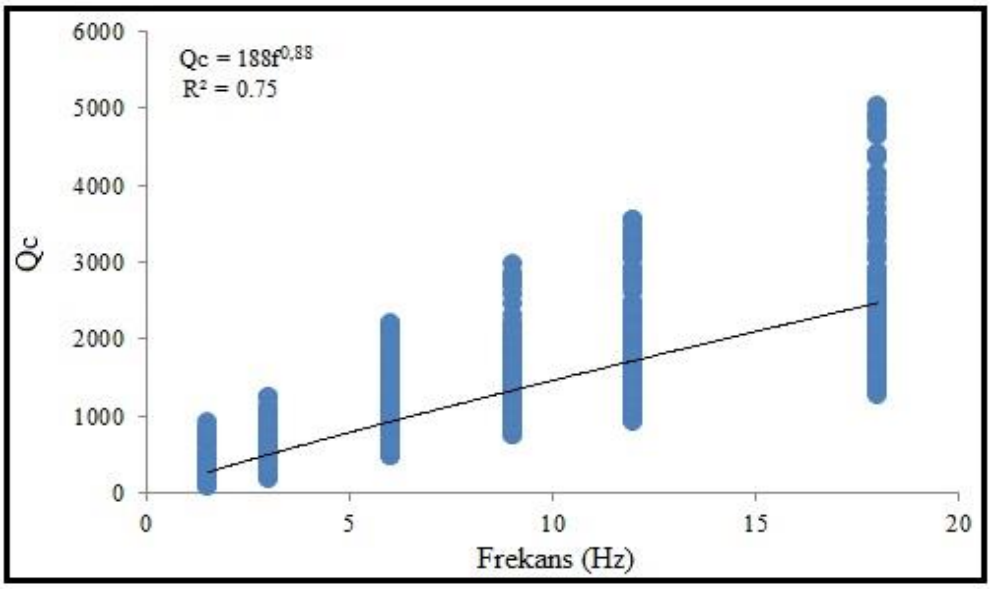
3.6. 5.Bölge-Yalova-Saros Körfezi Arası Soğurma Çalışması

3.6.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi

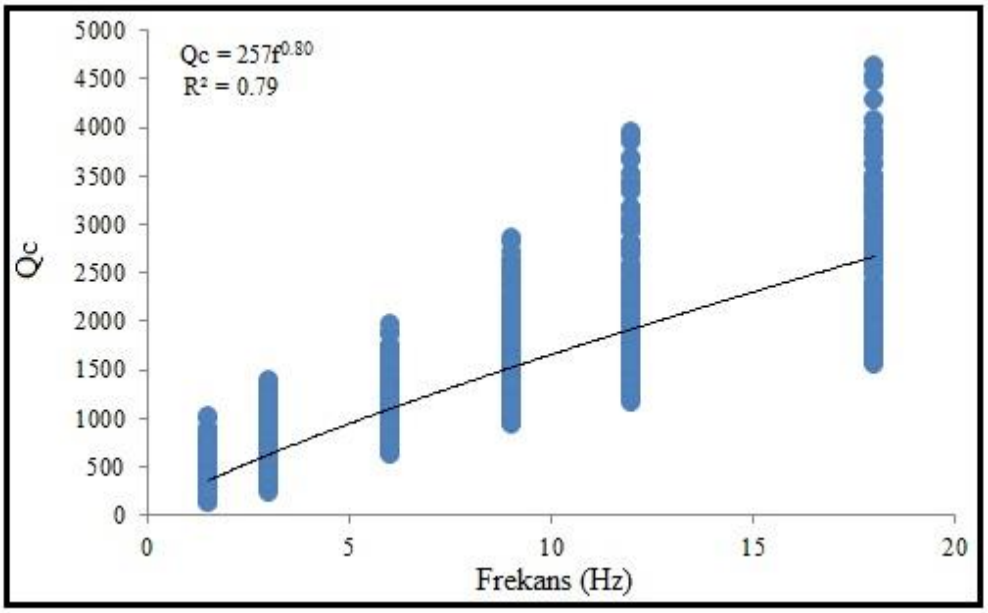
Bölgede Tablo 3.5'te verilen 12 istasyon tarafından kaydedilmiş, Şekil 3.6'da gösterilen 81 adet depreme ait, 214 düşey bileşen kaydı kullanılmıştır. Kesme zamanı pencere uzunlukları 20-30-40 sn olarak alınmıştır. Şekil 3.57'de 30.03.2011, 17:07:20'de meydana gelen depremin EDC istasyonunun Z kaydının 40 sn kesme zamanı için merkez frekansları 1.5, 3.0, 6.0, 9.0, 12 ve 18.0 Hz olan 6 adet, sırayla 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-24 Hz bant genişliğinde 8 kutuplu ardışık Butterworth süzgeç kullanılarak filtrelenmiştir.



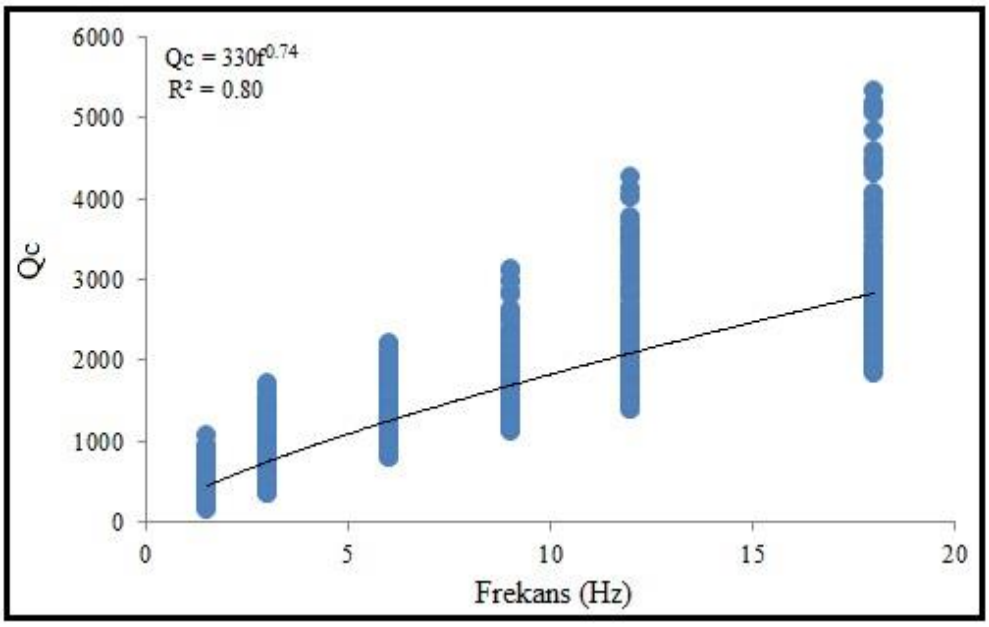
Şekil 3.57. 30.03.2011, 17:07:20'de meydana gelen depremin EDC istasyonunun Z kaydının 40 sn kesme zamanı için frekanslara göre değişimi



Şekil 3.58. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için 20 sn kesme zamanında frekanslara göre Qc değişimi



Şekil 3.59. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için 30 sn kesme zamanında frekanslara göre Qc değişimi

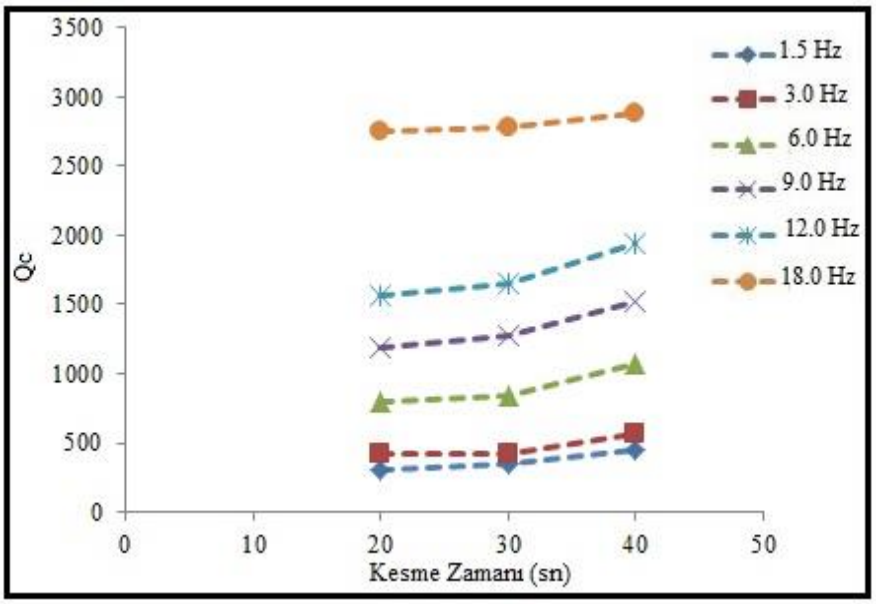


Şekil 3.60. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için 40 sn kesme zamanında frekanslara göre Qc değişimi

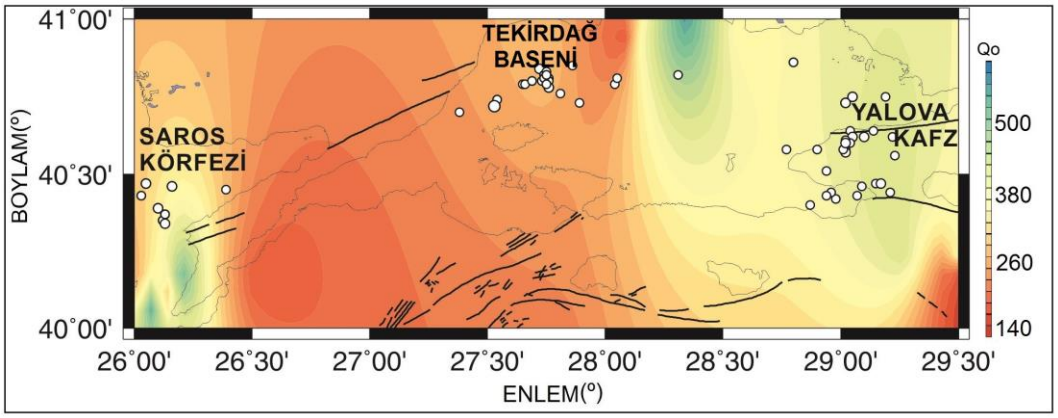
Tablo 3.10. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için elde edilen Qc değerleri

Frekanslar (Hz)	20 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	30 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	40 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri
1,5	304	352	451
3	418	419	564
6	799	838	1076
9	1191	1275	1520
12	1563	1651	1941
18	2757	2786	2876

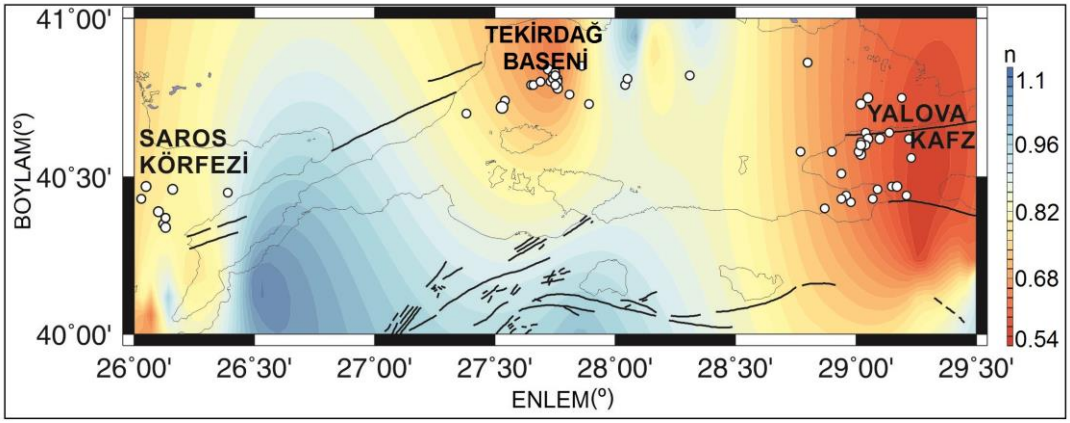
Şekil 3.58'de bölge için yapılan değerlendirmede, 20 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 188, frekans bağımlılığı (n) 0,88 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.59'da 30 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 257, frekans bağımlılığı (n) 0,80, Şekil 3.60'de 40 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 330, frekans bağımlılığı (n) 0,74 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.10'da ve Şekil 3.61'de Qc kesme zamanı ile artış gösterirken yüksek frekanslarda bu artış gözlenememektedir.



Şekil 3.61. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi



Şekil 3.62. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qc dağılımı

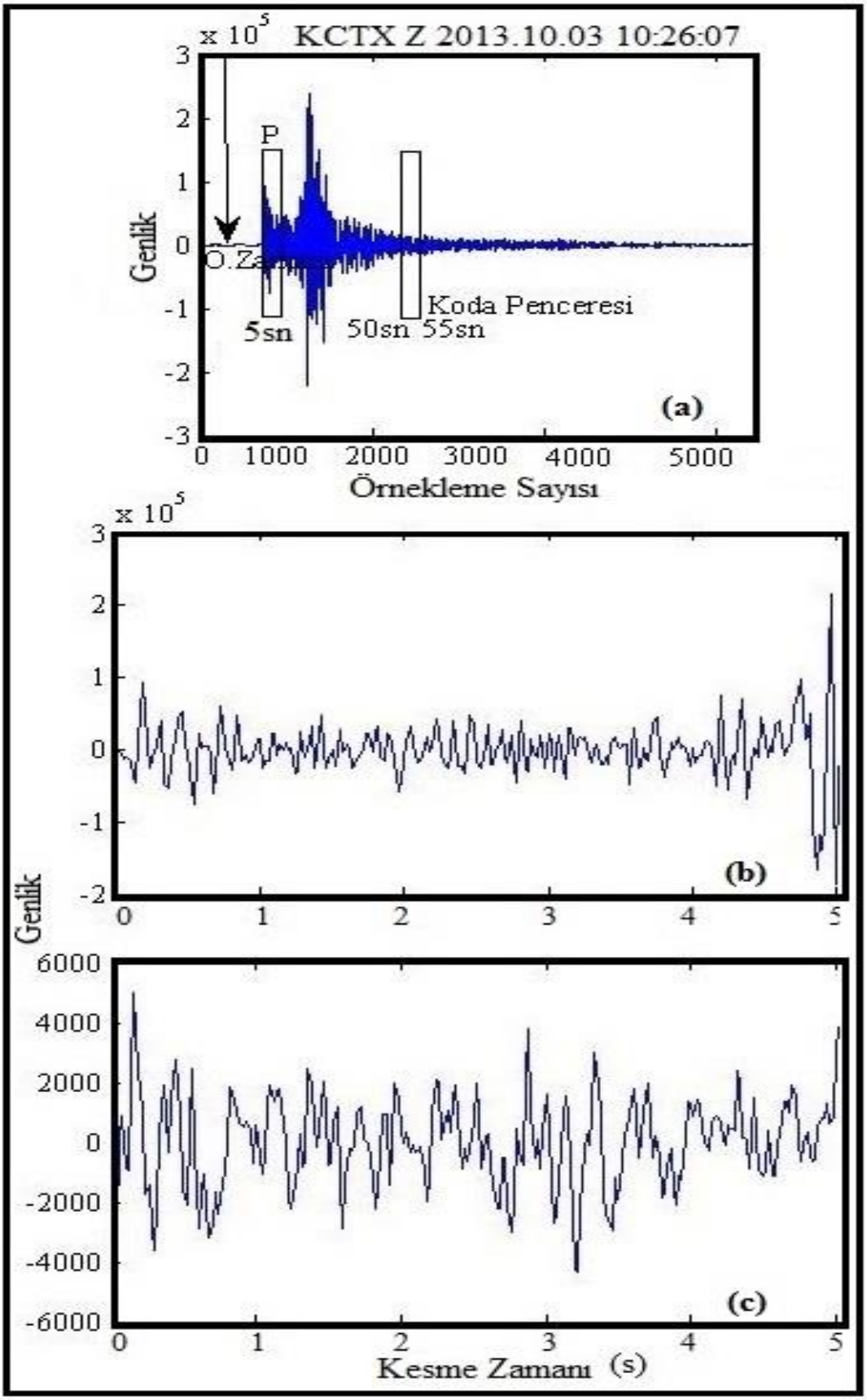


Şekil 3.63. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı

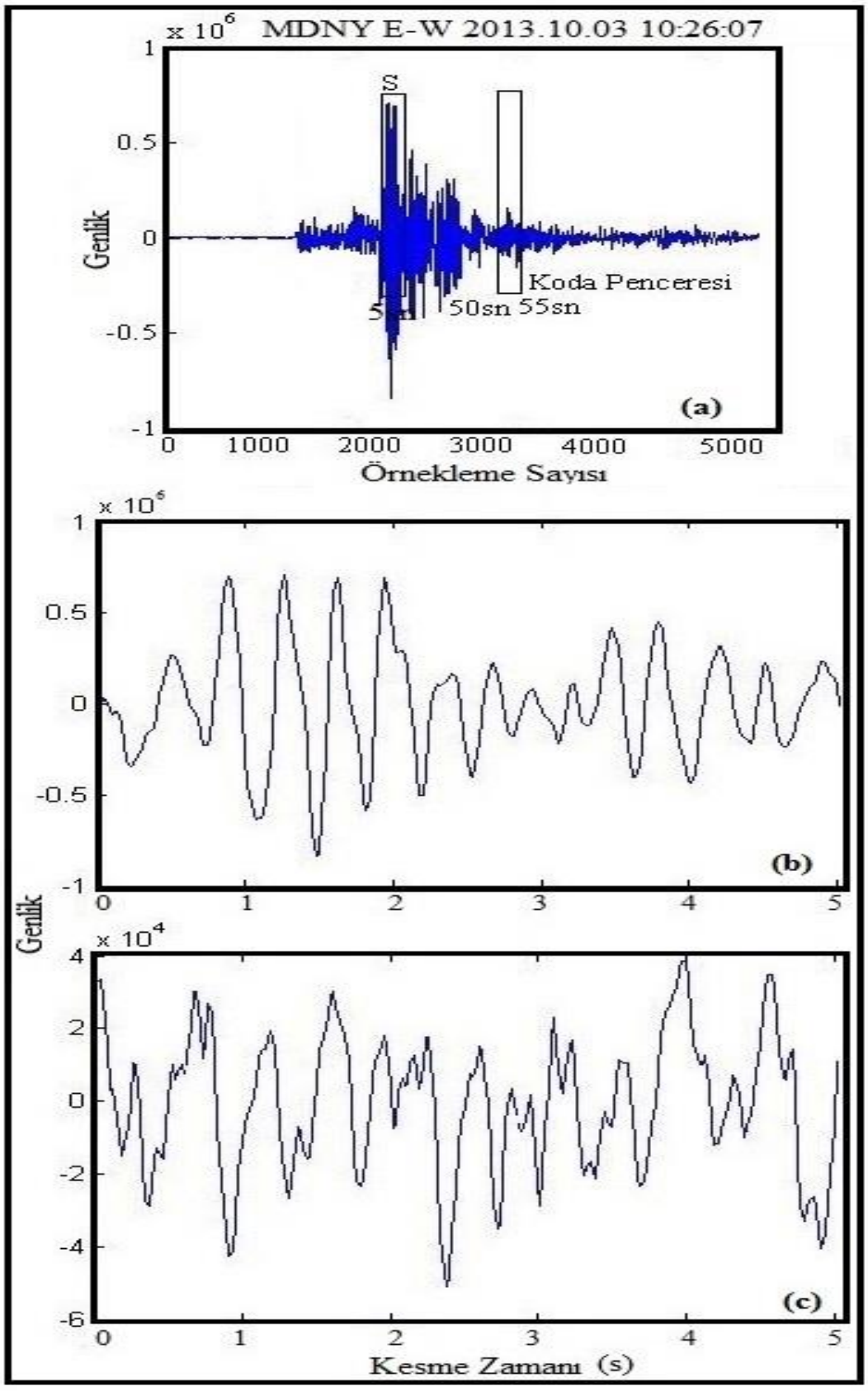
Şekil 3.62'de bölgenin genelinde Qo değerleri azalırken, Şekil 3.63'de n değerlerinde artış olduğu gözlenmektedir.

3.6.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi

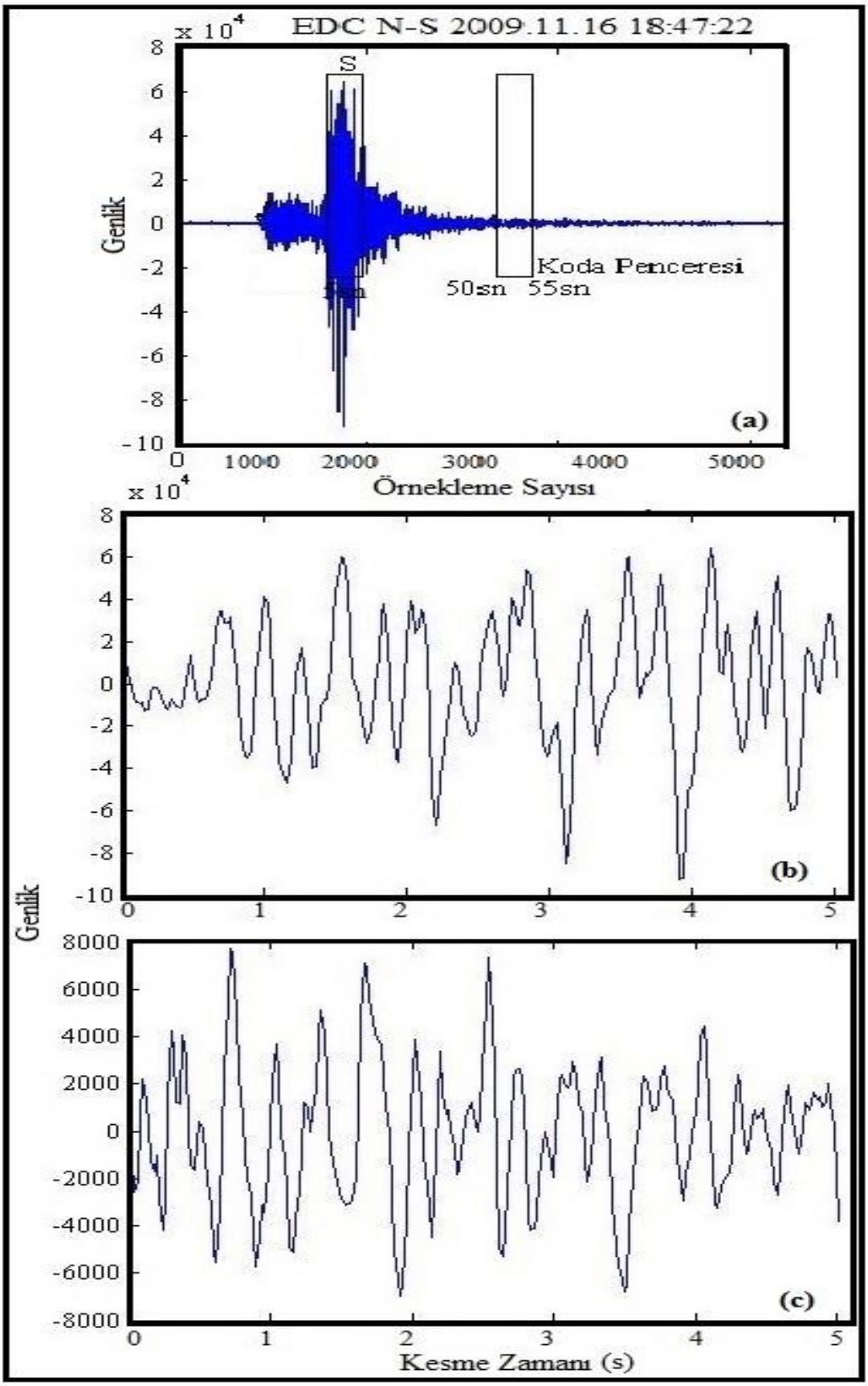
Koda normalizasyon yönteminde P dalgasını hesaplamak için (Qp) düşey bileşen, S dalgası için (Qs), E-W ve N-S bileşenli kayıtlar kullanılmıştır. E-W bileşeni için 65, N-S bileşeni için 58, Z bileşeni için 52 veri analizi yapılmıştır. Bazı depremlerde, değerlendirmeye alınan örnek kayıtlar üzerinde; 03.10.2013'te 10:26:07'de meydana gelen depremin KCTX istasyonuna ait Z kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan P dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı Şekil 3.64'te görülmektedir. Şekil 3.65'te 03.10.2013, 10:26:07'e ait depremin MDNY istasyonuna ait E-W kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Şekil 3.66'ta 16.11.2009, 18:47:22'e ait depremin EDC istasyonuna ait N-S kaydı ve veri işlem aşamasında kullanılan S dalgasının ve Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı görülmektedir. Denklem (2.25) ve Denklem (2.26)'da verilen formül yardımıyla Ap ve As hesaplanmıştır. P ve S dalgalarının Ap/Ac ve As/Ac'ye oranlanmış halleri Şekil 3.67'de verilmektedir.



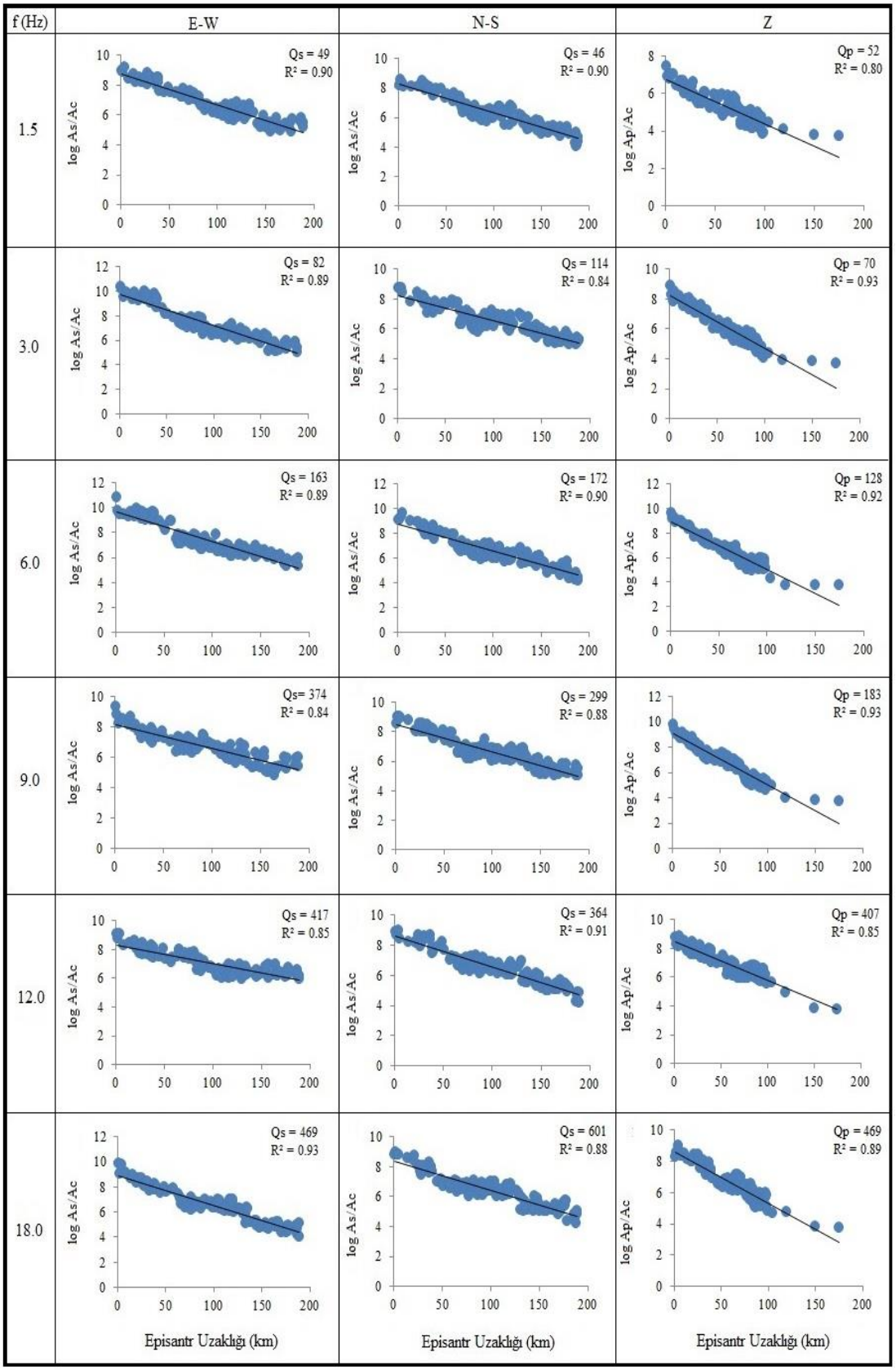
Şekil 3.64. 03.10.2013, 10:26:07'e ait depremin KCTX istasyonuna ait Z kaydı (a) Ham veri, (b) P Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.65. 03.10.2013, 10:26:07'e ait depremin MDNY istasyonuna ait E-W kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn'lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn'lik kısmı



Şekil 3.66. 16.11.2009, 18:47:22 ’e ait depremin EDC istasyonuna ait N-S kaydı (a) Ham veri, (b) S Dalgasının 5 sn’lik kısmı, (c) Koda dalgasının 5 sn’lik kısmı



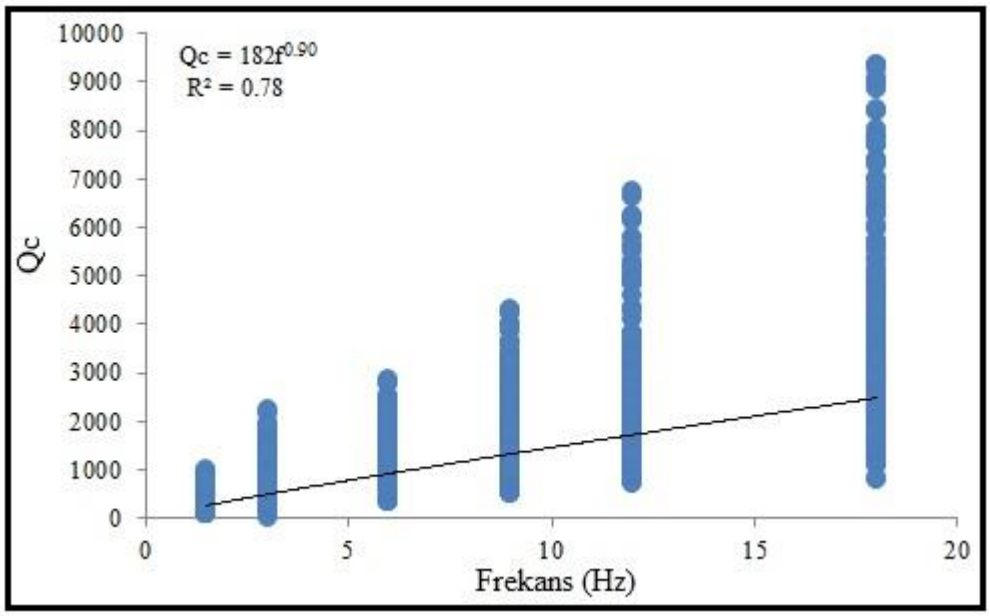
Şekil 3.67. Yalova-Saros Körfezi Bölgesi için E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi

E-W bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs değerleri bileşenlerine göre değişiklik göstermekle birlikte 1.5 Hz'de ve 18 Hz'de hemen hemen aynı değer hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeninde 0,48-1,06, N-S bileşeninde ise 0,61-1,13 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirme en küçük değer bu bölgede hesaplanmıştır.

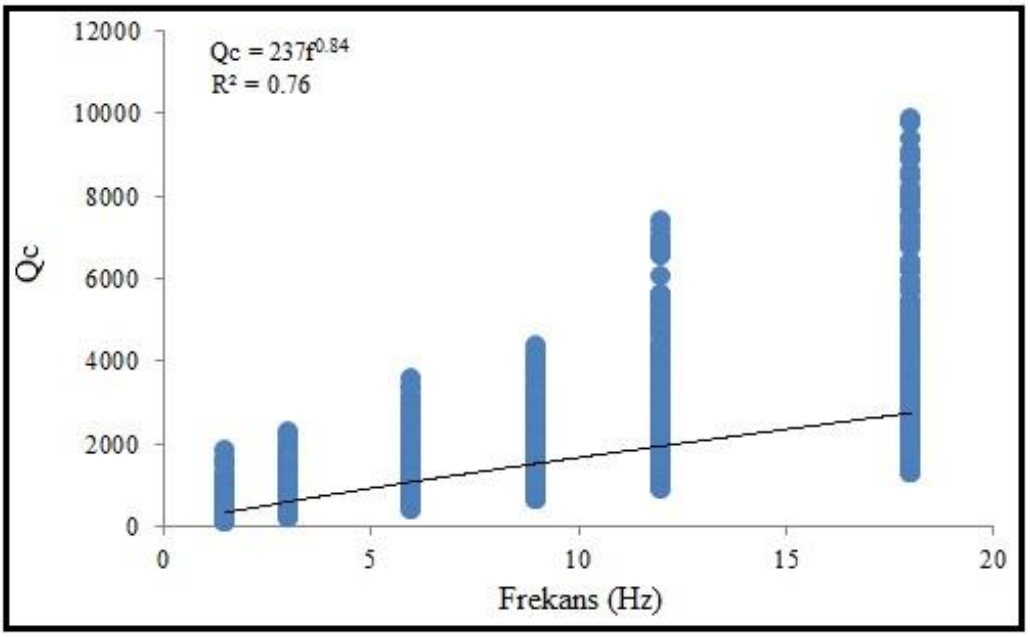
3.7. Kuzey Anadolu Fay Zonu Boyunca Soğurma Çalışması

3.7.1. Tek saçılma yöntemi ile koda dalga soğurulmasının (Qc) belirlenmesi

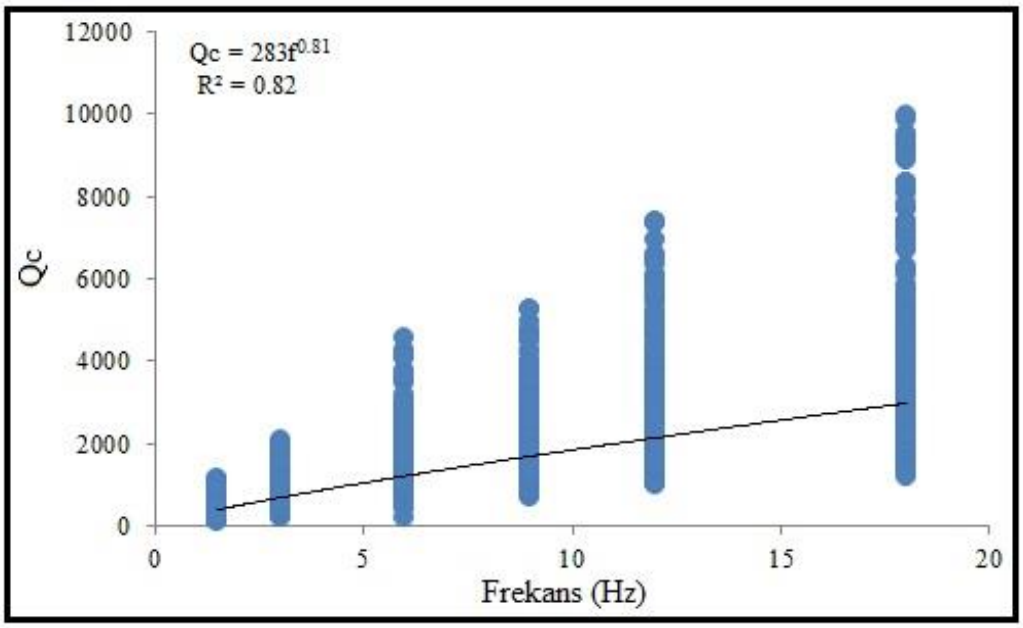
Kuzey Anadolu fay Zonu boyunca 37 istasyon tarafından kaydedilmiş, Şekil 3.7'de gösterilen 654 adet depreme ait, 978 düşey bileşen kaydı kullanılmıştır.



Şekil 3.68. Kuzey Anadolu Fay Zonu için 20 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi



Şekil 3.69. Kuzey Anadolu Fay Zonu için 30 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

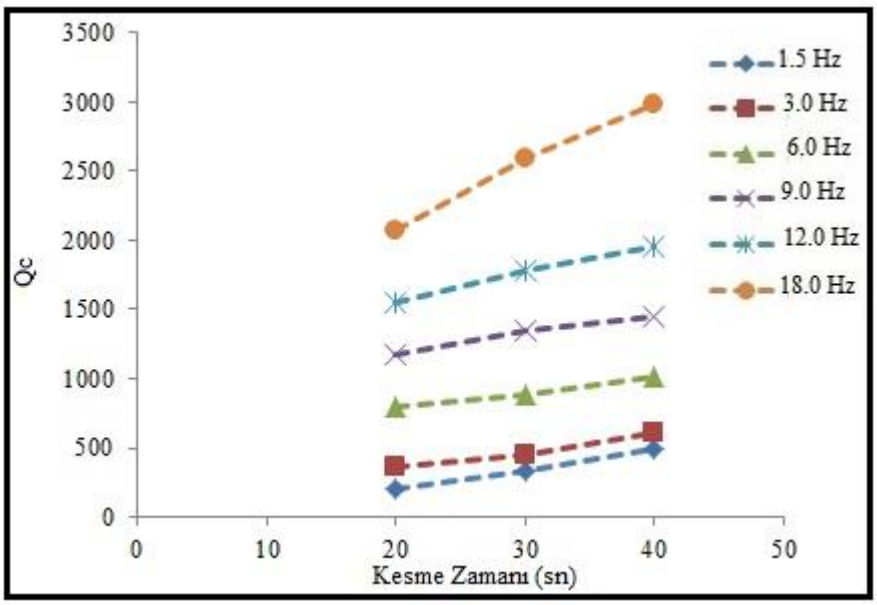


Şekil 3.70. Kuzey Anadolu Fay Zonu için 40 sn kesme zamanının frekanslara göre Qc değişimi

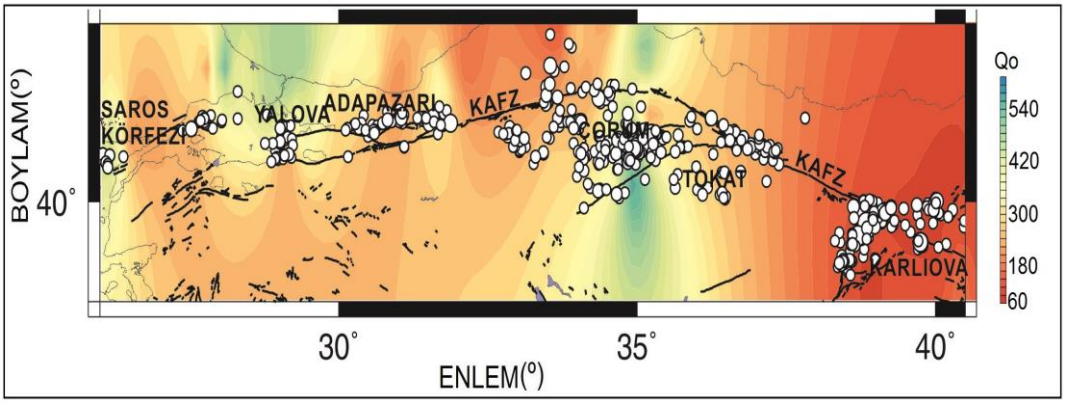
Tablo 3.11. Kuzey Anadolu Fay Zonu için elde edilen Qc değerleri

Frekanslar (Hz)	20 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	30 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri	40 sn Kesme Zamanı için Qc değerleri
1,5	205	338	490
3	366	456	606
6	799	889	1015
9	1171	1351	1449
12	1552	1782	1951
18	2071	2598	2988

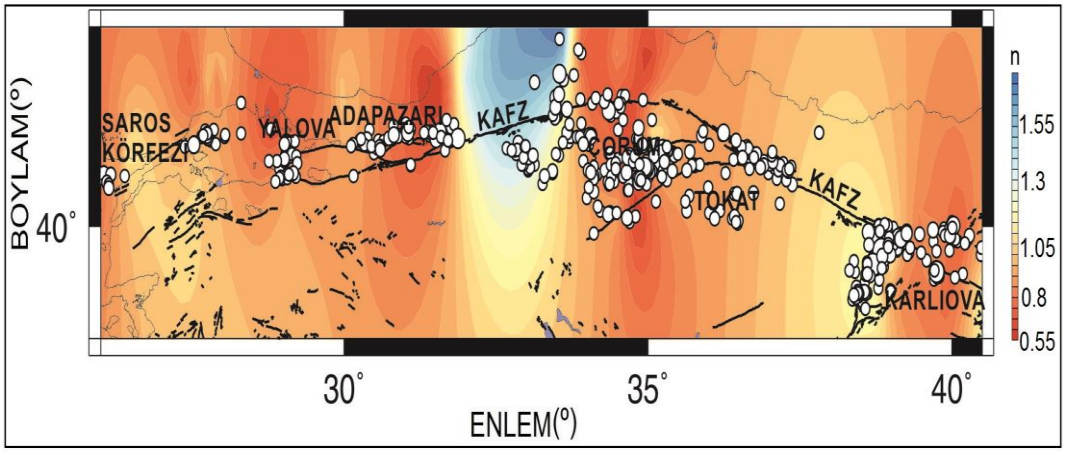
Şekil 3.68'de bölge için yapılan değerlendirmede, 20 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 182, frekans bağımlılığı (n) 0,90 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.69'da 30 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 237, frekans bağımlılığı (n) 0,84, Şekil 3.70'de 40 sn kesme zamanı için kalite faktörü (Qc) 283, frekans bağımlılığı (n) 0,81 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.11 ve Şekil 3.71'deki verilere göre hem frekansla hemde kesme zamanıyla Qc'de artış olduğı görülmektedir. Bu durum, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca derinlere gidildikçe homojen yapıya dönüşme varlığını göstermektedir.



Şekil 3.71. Kuzey Anadolu Fay Zonu için farklı merkez frekanslarının kesme zamanlarına göre değişimi



Şekil 3.72. Kuzey Anadolu Fay Zonu için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için Qo dağılımı

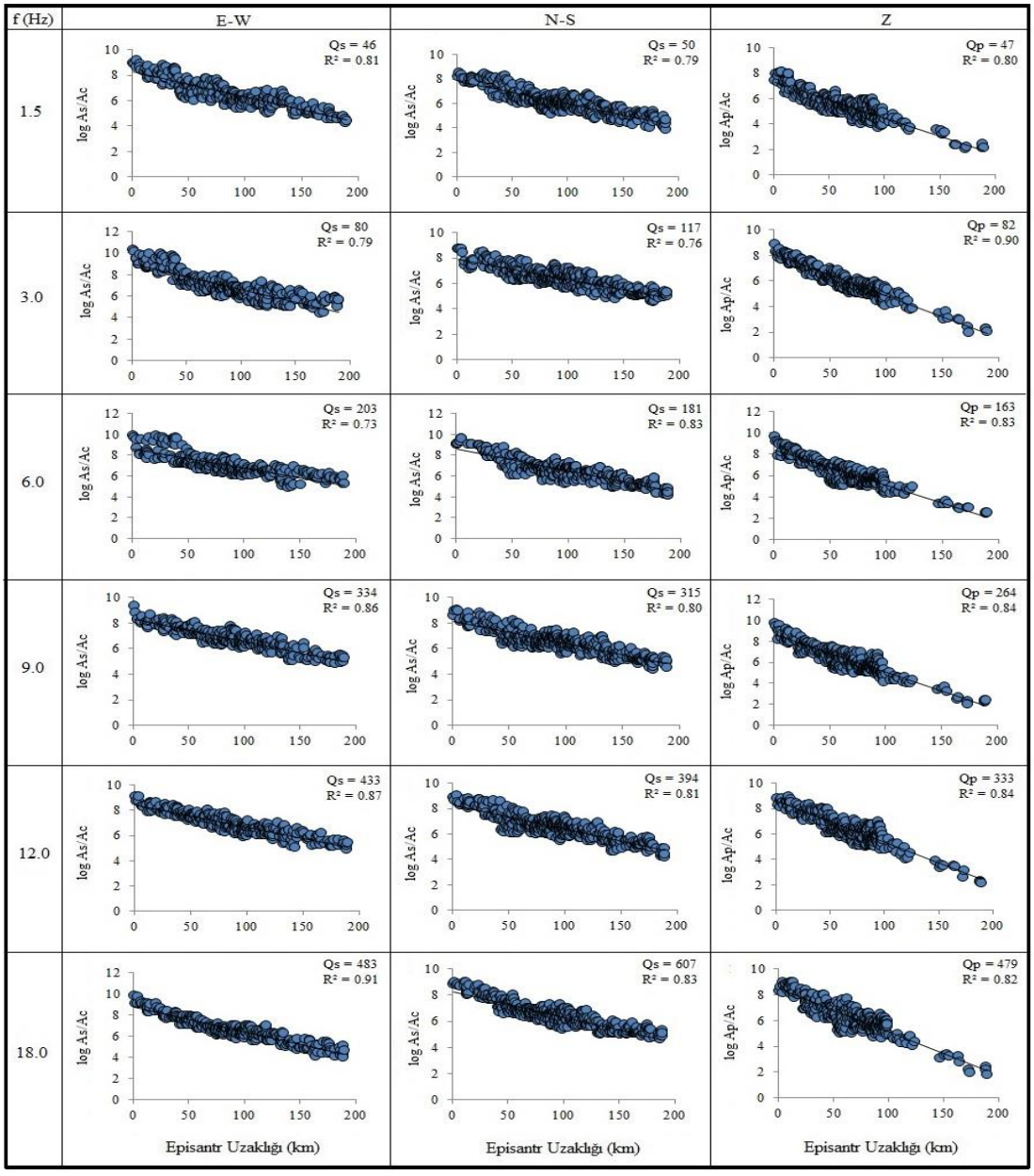


Şekil 3.73. Kuzey Anadolu Fay Zonu için kullanılan depremlerden elde edilen 20 sn kesme zamanı için n dağılımı

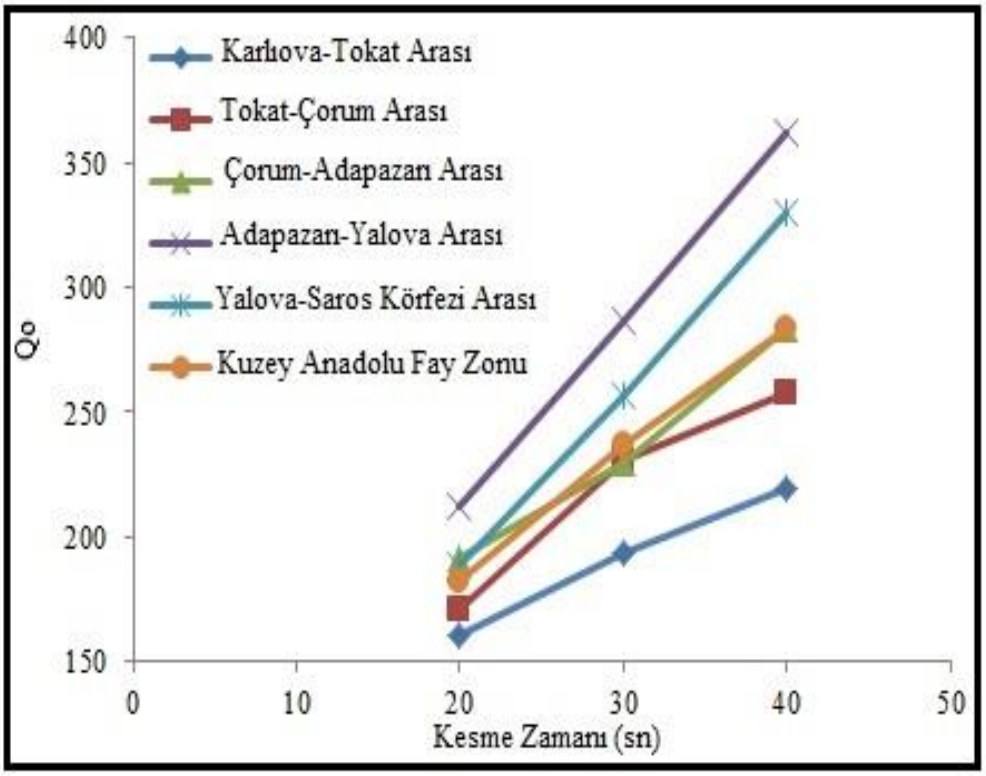
Şekil 3.72'de Qo değerleri Karlıova'dan Tokat'a kadar artış gösterirken, Tokat'tan Çorum'a kadar olan bölümde de artma göstermektedir. Çorum'dan Yalova'ya kadar olan bölümde fazla değişiklik olmamasına karşın Saros Körfezi'nde Qo değerlerinde düşüş mevcuttur. Şekil 3.73'te n değerlerinde ise Karlıova'dan Tokat'a kadar artış gözlenirken, Tokat'tan Çorum'a kadar olan bölümde azalış gözlenmektedir. Çorum'dan Adapazarı'na kadar n değeri artarken, Adapazarı-Yalova arasında azalma göstermektedir. Saros Körfezi'nde ise n değeri artmaktadır. Hesapladığımız sonuçlar bu tür faylar için yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla tutarlılık göstermektedir.

3.7.2. Koda normalizasyon yöntemi ile P ve S dalgaları soğurulmasının belirlenmesi

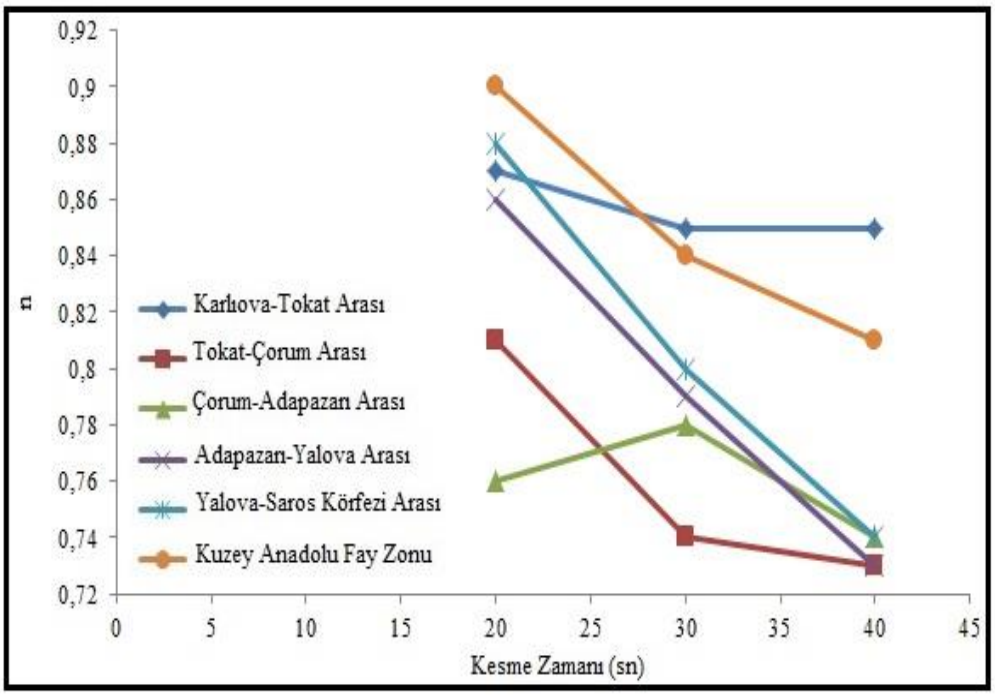
Koda Normalizasyon yönteminde P dalgasını hesaplamak için (Qp) düşey bileşen, S dalgası için (Qs) ise E-W ve N-S bileşenli kayıtlar kullanılmıştır. E-W bileşeni için 205, N-S bileşeni için 238, Z bileşeni için 212 veri analizi yapılmıştır. Denklem (2.25) ve Denklem (2.26)'da verilen formül yardımıyla Ap ve As hesaplanmıştır. P ve S dalgalarının Ap/Ac ve As/Ac'ye oranlanmış halleri Şekil 3.74'te verilmektedir.



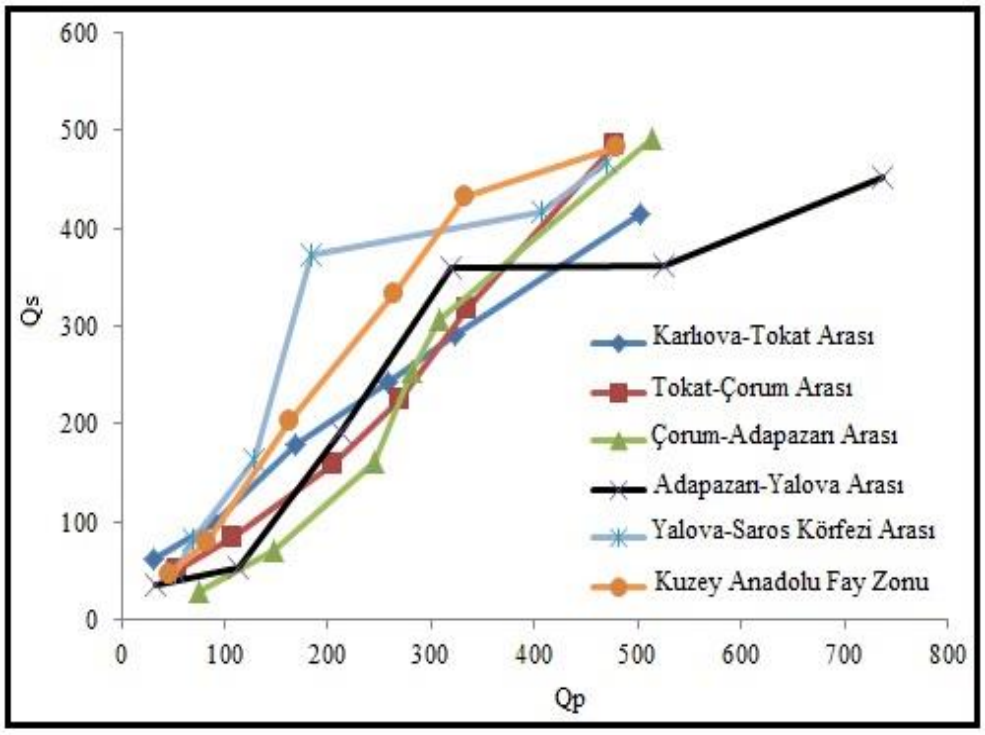
Şekil 3.74. Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca E-W, N-S ve Z bileşenlerinde frekanslara göre normalize dalga genliklerinin, koda dalgası genliklerine oranının episantr uzaklığına göre değişimi



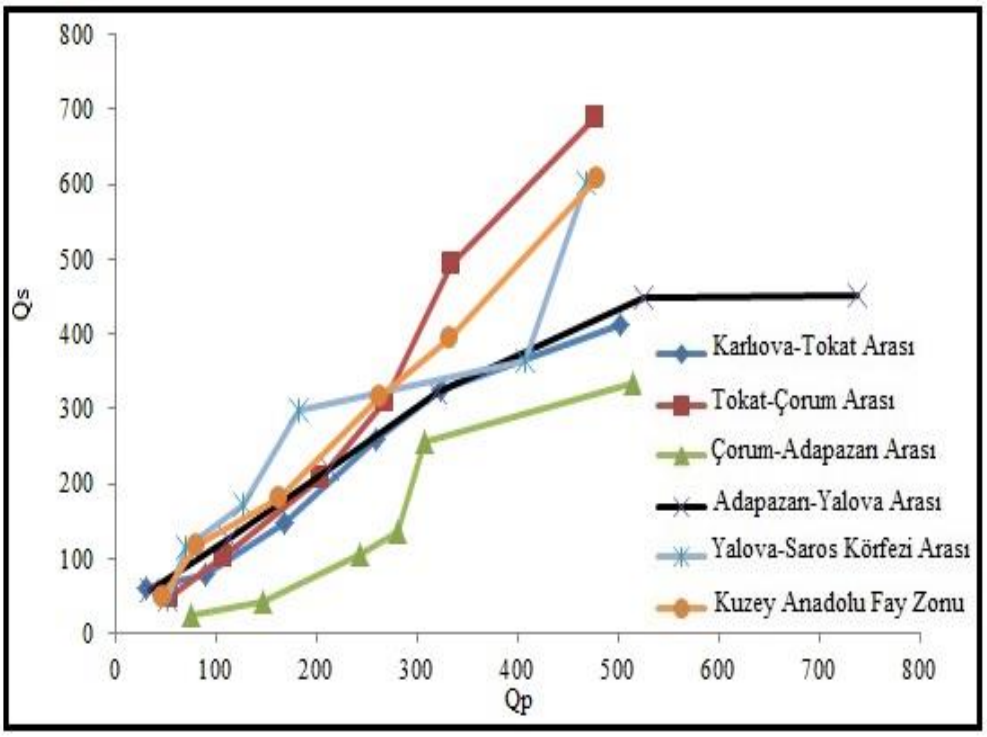
Şekil 3.75. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölgeden elde edilen ortalama Qo değerlerinin 20-30-40 sn kesme zamanları için karşılaştırılması



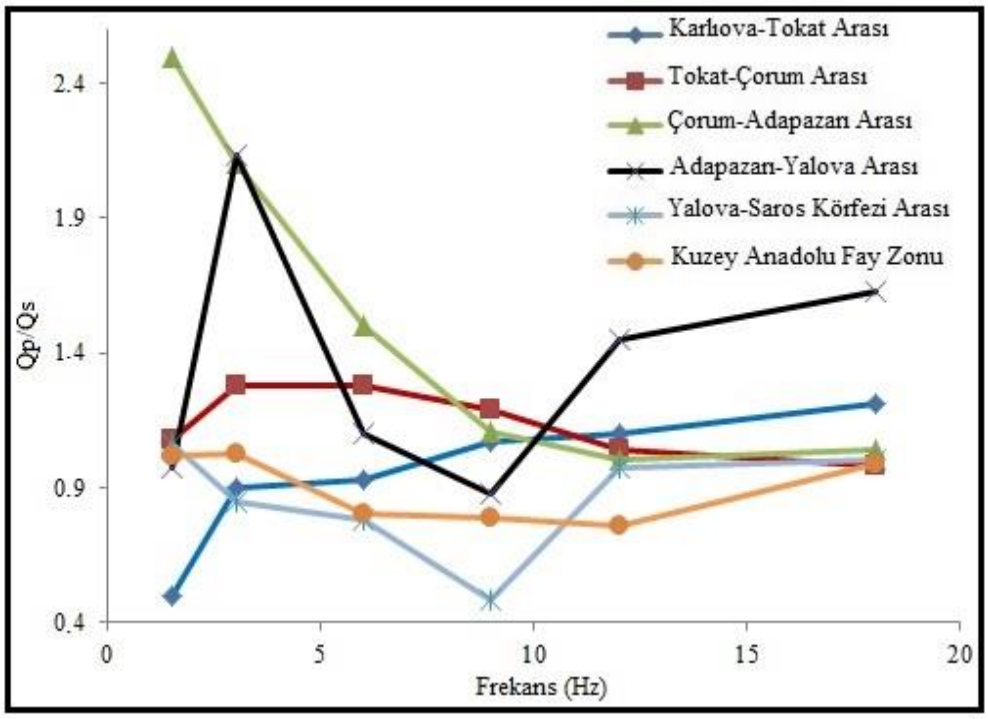
Şekil 3.76. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölgeden elde edilen ortalama n değerlerinin 20-30-40 sn kesme zamanı için karşılaştırılması



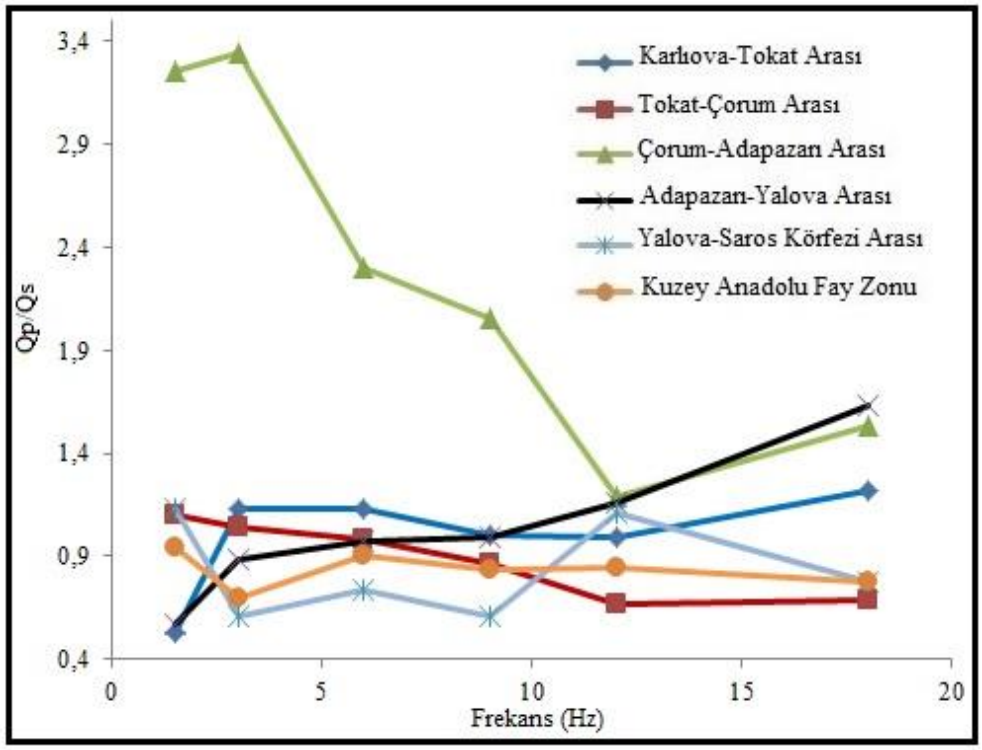
Şekil 3.77. E-W bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp, Qs değerlerinin karşılaştırılması



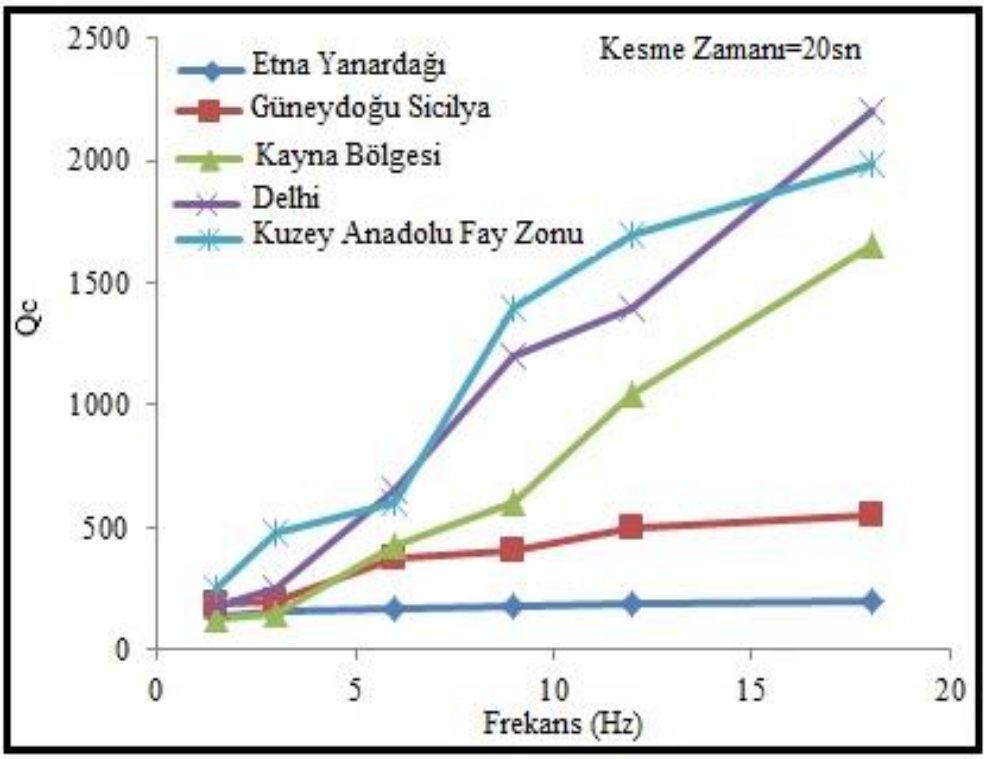
Şekil 3.78. N-S bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp, Qs değerlerinin karşılaştırılması



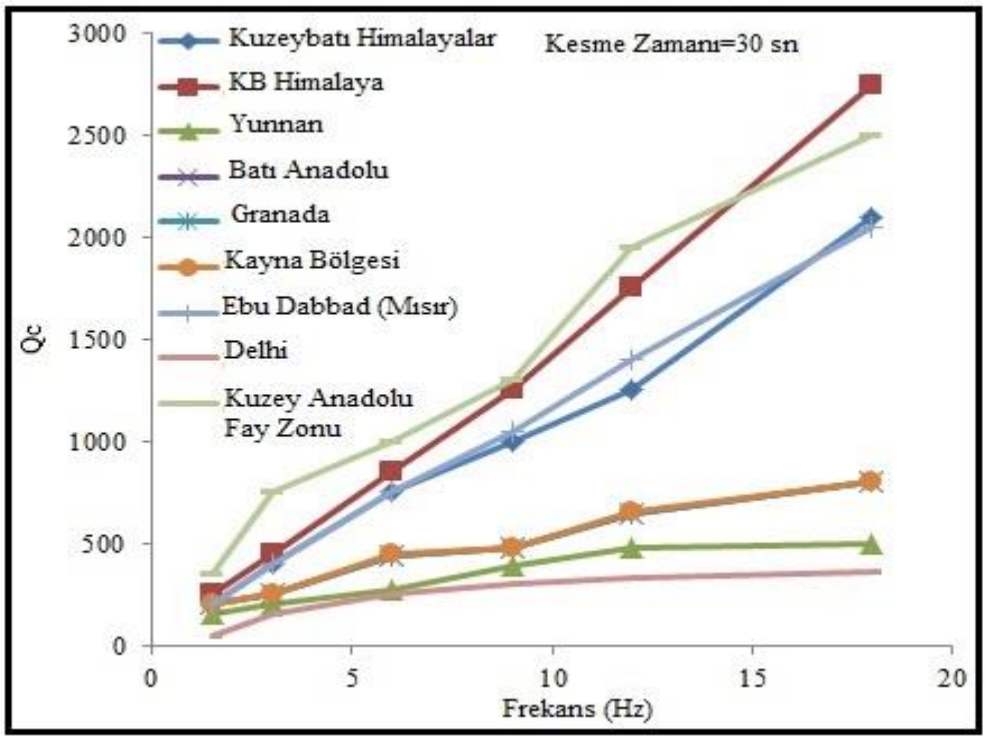
Şekil 3.79. E-W bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp/Qs oranının frekanslara göre değişimi



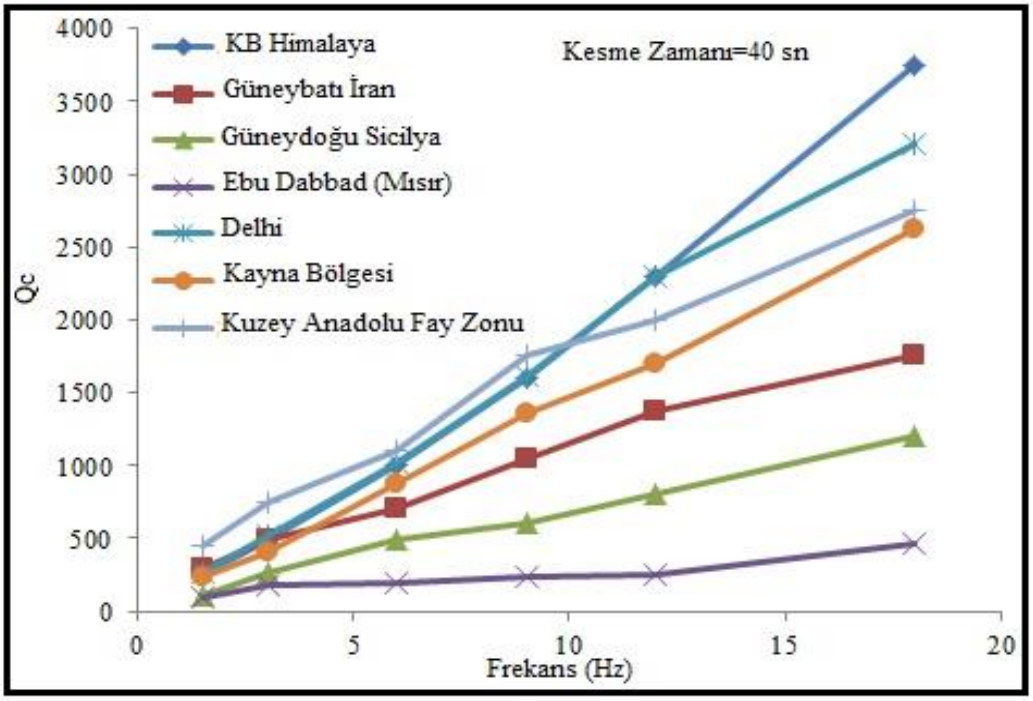
Şekil 3.80. N-S bileşeninde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve 5 bölge için hesaplanan Qp/Qs oranının frekanslara göre değişimi



Şekil 3.81. Dünya'daki tektonik yönden aktif bölgeler için 20 sn kesme zamanlı Qc'nin frekans bağımlılığı



Şekil 3.82. Dünya'daki tektonik yönden aktif bölgeler için 30 sn kesme zamanlı Qc'nin frekans bağımlılığı



Şekil 3.83. Dünya'daki tektonik yönden aktif bölgeler için 40 sn kesme zamanlı Qc'nin frekans bağımlılığı

Şekil 3.74'te Koda normalizasyon yöntemi ile yapılan çalışmada; hesaplanan değerler episantr ile istasyon arasındaki uzaklık arttıkça saçılmanın arttığı görülmektedir. N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Şekil 3.75'te en yüksek Qo değeri Adapazarı-Yalova arasında hesaplanırken, en düşük Qo değeri Karlıova-Tokat arasında hesaplanmıştır. Şekil 3.76'da en yüksek n değeri Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca hesaplanırken, en düşük n değeri Tokat-Çorum arasında hesaplanmıştır. Şekil 3.77'de E-W ve Şekil 3.78'de N-S bileşenlerinde Qp ve Qs değerleri değişiklik göstermekle birlikte 1,5 Hz'de hemen hemen aynı değerler hesaplanmıştır. Şekil 3.79'da Qp/Qs oranı E-W bileşeninde 0,5-2,5, Şekil 3.80'de N-S bileşeninde 0,53-3,34 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirmede Qs de yüksek değerler hesaplanması fay genelinin akışkan bir kabuk yapısına sahip olmadığı, manto malzemesinin yukarıya doğru fazla yükselmediği sonucuna işaret etmektedir. Şekil 3.81, 3.82 ve 3.83'te 20-30-40 sn kesme zamanları için, dünya üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile Kuzey Anadolu Fay Zonu için bulunan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmada tektonik yönden aktif bölgelerde elde edilen sonuçlarla, Kuzey Anadolu Fay Zonu için elde edilen sonuçlar tutarlılık göstermektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tektonik açıdan aktif olan Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca kabuğa üst mantoya ait soğurulma özellikleri, tek saçılma yöntemi ve normalize edilmiş koda dalgası yöntemi kullanılarak belirlenmektedir. İlk olarak (Aki ve Chouet, 1975) tarafından geliştirilen koda dalgası yöntemiyle Qc, ikinci olarak da P ve S dalgasının koda dalgasına genlik oranları, depremlerin istasyonlara olan uzaklığın fonksiyonu olarak görüntülenip, genlik oranlarının azalımından Qp ve Qs hesaplanmaktadır.

Bölüm 2'de tektonik özellikleri ayrıntılı olarak anlatılan Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde oluşan depremler ve kırıklara göre beş ana bölüme ayrılmaktadır. Fayın doğu ucunda Karlıova-Tokat arası bunu takiben Tokat-Çorum arası, Çorum-Adapazarı arası, Adapazarı-Yalova arası ve Yalova-Saros Körfezi arası belirlenerek soğurulma parametresinin değişimi incelenmiştir.

1.Bölge : Karlıova-Tokat Bölgesi; Karlıova üçlü ekleminden başlayarak, Tokat'ın Amasya ile sınırına kadar ki yer ele alınmaktadır. Bu bölgede 274 adet depreme ait 280 deprem verisi yer almaktadır. Kalite faktörü Qc kesme zamanları 20-30-40 sn için Qc değerleri 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre hesaplanmaktadır. Kesme zamanına ait Qc değerlerinin frekansa bağımlılığı, 20 sn kesme zamanı için Qc=160, n kat sayısı ise 0,87'dir. 30 sn kesme zamanı için Qc=194, n kat sayısı ise 0,85 olarak hesaplanmıştır. 40 sn kesme zamanı için ise Qc=219, n kat sayısı ile 0,85 olarak hesaplanmıştır. Koda normalizasyon yönteminde ise 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre, E-W,N-S bileşenleri için Qs, Z bileşeni için ise Qp değerleri hesaplanmaktadır. E-W bileşeni için 27, N-S bileşeni için 36, Z bileşeni için 32 veri analiz edilmiştir. E-W bileşeni için 1,5 Hz merkez frekansına göre Qs=63, N-S bileşeni için Qs=60, Z bileşeni için Qp=32 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 3 Hz merkez frekansına göre Qs=100, N-S bileşeni için Qs=79, Z bileşeni için Qp=90 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 9 Hz merkez frekansına göre Qs=242, N-S bileşeni için Qs=258, E-W bileşeni için 12 Hz merkez frekansına

göre Qs=292, N-S bileşeni için Qs=324, Z bileşeni için Qp=323 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 18 Hz merkez frekansına göre Qs=414, N-S bileşeni için Qs=412, Z bileşeni için Qp=503 olarak hesaplanmıştır. N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs değerleri bileşenlere göre değişiklik göstermekle birlikte 18 Hz'de hemen hemen aynı değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirmede Qs'de düşük değerler hesaplanmıştır. Bunun nedeni manto malzemesinin yukarıya doğru çıkmaması anlamına gelmektedir. Qp/Qs oranı E-W bileşeni için; 0,5-1,21, N-S bileşeni için; 0,53-1,21 arasında değişen değerler alması, ortamda jeotermal kaynak olduğunu işaret etmektedir. Refahiye civarındaki sıcak su kaynakları, elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. 1.Bölgede Qc değerleri 70-140 arasında değişmektedir. Bölgenin tamamında diğer çalışma alanlarına göre düşük Qc değerleri hesaplanmıştır. Bölge kendi içerisinde değerlendirildiğindeyse en yüksek Qc değerleri Çayırlı, Üzümlü, Tercan civarında hesaplanmıştır. 1.Bölge için n:0,5-1,3 arasında değişmektedir. Frekans bağımlılığını gösteren n değeri ise bölgede doğudan batıya doğru artış göstermektedir. Almus civarında n değerleri yüksek seyrederken, fay boyunca 0,8'den, 1,1'e doğru artan bir yükseliş göstermektedir. Akıncı ve Eyidoğan (1996)'da Erzincan bölgesi için yaptıkları çalışmada direk gelen S dalgası için Qs(f)= 35, n değeri ise 0,83, ve 30 sn'lik kesme zamanı için Qc(f)=47, n değeri ise 0,86 olarak hesaplamışlardır. Akıncı ve diğ. (2001)'de yaptıkları çalışmada 13.03.1992 Erzincan depreminin artçı şokları kullanılmış, kısa mesafeler için çok düşük Qc(f)=40, n ise 0,45 hesaplamışlardır. Daha önce yapılan çalışmalarda bulunan sonuçlarla bu çalışmada elde edilen sonuçlar uyum içerisinde olup aktif tektonizmanın varlığını temsil etmektedir.

2.Bölge : Tokat-Çorum Bölgesi; Tokat'ın Amasya ile sınırından başlayıp, Çorum'un Çankırı ile sınırına kadar ki alanı kapsamaktadır. Bu bölgede oluşmuş 141 adet depreme ait 154 adet deprem verisi yer almaktadır. Kesme zamanları 20-30-40 sn için Qc değerleri 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre hesaplanmıştır. Kesme zamanına ait Qc değerlerinin frekansa bağımlılığı, 20 sn kesme zamanı için Qc=171, n kat sayısı ise 0,81'dir. 30 sn kesme zamanı için Qc=231, n kat sayısı ise 0,74 olarak hesaplanmıştır. 40 sn kesme zamanı için ise Qc=258, n kat sayısı ile 0,73 elde edilmiştir. Koda normalizasyon yönteminde ise 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre, E-W, N-S bileşenleri için Qs, Z bileşeni için ise Qp değerleri

hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 15, N-S bileşeni için 30, Z bileşeni için 39 veri analizi yapılmıştır. E-W bileşeni için 1,5 Hz merkez frekansına göre Qs=50, N-S bileşeni için Qs=49, Z bileşeni için Qp=54 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 3 Hz merkez frekansına göre Qs=84, N-S bileşeni için Qs=103, Z bileşeni için Qp=108 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 6 Hz merkez frekansına göre Qs=159, N-S bileşeni için Qs=208, Z bileşeni için Qp=204 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 9 Hz merkez frekansına göre Qs=226, N-S bileşeni için Qs=310, Z bileşeni için Qp=269 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 12 Hz merkez frekansına göre Qs=319, N-S bileşeni için Qs=495, Z bileşeni için Qp=334 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 18 Hz merkez frekansına göre Qs=485, N-S bileşeni için Qs=689, Z bileşeni için Qp=477 olarak hesaplanmıştır. Z bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs ve Qp değerleri bileşenlere göre değişiklik göstermekle birlikte 1,5 Hz'de hemen hemen aynı değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirme de Qs'de yüksek değerler hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeni için; 0,98-1,28, N-S bileşeni için; 0,67-1,10 değerleri hesaplanmıştır. Qs'in yüksek olması bölgede akışkan, satüre bir kabuk yapısının olmadığına işaret etmektedir. Bölge doğudan batıya doğru gidildikçe Qc değerinde artış olmakla birlikte, n değerinde özellikle Mecitözü civarında frekans bağımlılığında artış gözlenmektedir. İki kol arasından orta ve üst kısımlara gelen yerlerde frekans bağımlılığı daha düşüktür. Qo değerlerinin tanımlanan bölgede yüksek olması ortamın daha homojen bir yapıda olduğunu göstermektedir.

3.Bölge : Çorum-Adapazarı arası; Çorum'un Çankırı ile sınırından başlayıp, Çankırı'dan Adapazarı'na kadar ki alanı kapsamaktadır. Bu bölge Kastamonu-Çankırı-Düzce-Bolu boyunca uzanmaktadır. Bu bölgede meydana gelmiş 97 adet depreme ait 132 adet deprem verisi yer almaktadır. Kesme zamanları 20-30-40 sn için Qc değerleri 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre hesaplanmıştır. Kesme zamanına ait Qc değerlerinin frekansa bağımlılığı, 20 sn kesme zamanı için Qc=191, n kat sayısı ise 0,76'dır. 30 sn kesme zamanı için Qc=230, n kat sayısı ise 0,78 olarak hesaplanmıştır. 40 sn kesme zamanı için ise Qc=283, n kat sayısı ile 0,74 elde edilmiştir. Koda Normalizasyon Yönteminde ise 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre, E-W, N-S bileşenleri için Qs, Z bileşeni için ise Qp değerleri hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 39, N-S bileşeni için 39, Z bileşeni için 32 veri

analizi yapılmıştır. E-W bileşeni için 1.5 Hz merkez frekansına göre Qs=30, N-S bileşeni için Qs=23, Z bileşeni için Qp=75 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 3 Hz merkez frekansına göre Qs=70, N-S bileşeni için Qs=44, Z bileşeni için Qp=147 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 6 Hz merkez frekansına göre Qs=162, N-S bileşeni için Qs=106, Z bileşeni için Qp=244 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 9 Hz merkez frekansına göre Qs=253, N-S bileşeni için Qs=137, Z bileşeni için Qp=281 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 12 Hz merkez frekansına göre Qs=306, N-S bileşeni için Qs=256, Z bileşeni için Qp=307 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 18 Hz merkez frekansına göre Qs=493, N-S bileşeni için Qs=335, Z bileşeni için Qp=514 olarak hesaplanmıştır. N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Genel değerlendirmede Qs'de düşük değerler hesaplanmıştır. Bunun nedeni de bölgedeki jeotermal kaynak olması olarak düşünülmektedir. Qp/Qs oranı E-W bileşeni için; 1-2,5, N-S bileşeni için ise 1,19-3,34 arasında değişen değerler almaktadır. Bölgede Bolu'ya bağlı Karacasu beldesi, Mudurnu'ya bağlı Gürçam köyü ve Taşkesti beldesi, Seben'e bağlı Kesenözü köyü ve Göynük ilçesine bağlı Himmetoğlu köyünde bulunan kaplıcalar göz önüne alındığında, elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. 1944 Çerkeş depreminin olduğu bölgede Qo değerleri oldukça düşük, frekans bağımlılığı oldukça yüksek olması bölgenin aktif tektonik yapısı ile uyum içindedir. 1999 Düzce depreminin olduğu bölgede, bölge geneli ile karşılaştırdığımızda yüksek Qo değerleri (~300) ve düşük frekans bağımlılığı (~0,6) hesaplanmış olup, büyük depremle boşalan sismik enerjinin ortamı rahatlattığının göstergesi olarak yorumlanmıştır. Bölge genellikle düşük Qo ve yüksek n değerleri ile temsil edilmekte olup, stresin ve heterojenitenin çok olduğu bir durum söz konusudur.

4.Bölge : Adapazarı-Yalova arası; Adapazarı'ndan başlayıp, İzmit Körfezi'nden Yalova'ya kadar ki alan yer almaktadır. Bu bölgede meydana gelmiş 61 adet depreme ait 198 adet deprem verisi bulunmaktadır. Kesme zamanları 20-30-40 sn için Qc değerleri 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre hesaplanmaktadır. Kesme zamanına ait Qc değerlerinin frekansa bağımlılığı, 20 sn kesme zamanı için Qc=212, n kat sayısı ise 0,86'dır. 30 sn kesme zamanı için Qc=287, n kat sayısı ise 0,79 olarak hesaplanmıştır. 40 sn kesme zamanı için ise Qc=362, n kat sayısı ile 0,73 olarak hesaplanmıştır. Koda normalizasyon yönteminde ise 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz

merkez frekanslarına göre, E-W, N-S bileşenleri için Qs, Z bileşeni için ise Qp değerleri hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 59, N-S bileşeni için 75, Z bileşeni için 57 veri analizi yapılmıştır. E-W bileşeni için 1.5 Hz merkez frekansına göre Qs=35, N-S bileşeni için Qs=59, Z bileşeni için Qp=34 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 3 Hz merkez frekansına göre Qs=53, N-S bileşeni için Qs=127, Z bileşeni için Qp=113 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 6 Hz merkez frekansına göre Qs=193, N-S bileşeni için Qs=219, Z bileşeni için Qp=213 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 9 Hz merkez frekansına göre Qs=360, N-S bileşeni için Qs=321, Z bileşeni için Qp=320 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 12 Hz merkez frekansına göre Qs=362, N-S bileşeni için Qs=450, Z bileşeni için Qp=525 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 18 Hz merkez frekansına göre Qs=452, N-S bileşeni için Qs=452, Z bileşeni için Qp=737 olarak hesaplanmıştır. N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs değerleri bileşenlerine göre değişiklik göstermekle birlikte 18 Hz'de aynı değerler hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeninde 0,88-2,13, N-S bileşeninde 0,57-1,63 arasında değişen değerler almaktadır. Bölgede Yalova civarındaki Armutlu, Termal gibi kaplıca merkezleri bu sonuçları doğrular niteliktedir. Kocaeli depreminin olduğu bölge göz önüne alındığında bölgenin her iki tarafında da n değerlerinde 1'e yakın değerler gözlenmekte olup, stresin boşalmış olduğu gözlenmektedir. Bu bölgede ise 1999 Kocaeli depremi kırığının bittiği yerden Yalova'ya doğru Qo ve n değerlerinde ani değişimler gözlenmiştir. Güney kol üzerinde deprem olmaması bu kol hakkında yorumların yapılmasını engellemiştir. Gemlik civarında ise Qo için gözlenen düşük değerler (~250), n içinde (~0,7) düşük değerlere karşılık gelmiştir. Bu bölgede uzun süreli depremin olmaması stresin bu bölgede arttığını gösteren düşük Qo değerleri ile temsil edildiği şeklinde yorumlanmıştır. Yalova civarında yüksek Qo değerleri, düşük n değerleri bölgenin tektonik yapısıyla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

5.Bölge : Yalova-Saros Körfezi arası; Yalova'dan başlayıp Saros Körfezine kadar ki alan ele alınmaktadır. Bu bölge Yalova-Gemlik Körfezi-Marmara Denizinden Saros Körfezi boyunca uzanmaktadır. Bu bölgede meydana gelmiş 81 adet depreme ait 214 adet deprem verisi yer almaktadır. Kesme zamanları 20-30-40 sn için Qc değerleri 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre hesaplanmıştır. Kesme zamanına ait

Qc değerlerinin frekansa bağımlılığı, 20 sn kesme zamanı için Qc=188, n kat sayısı ise 0,88'dir. 30 sn kesme zamanı için Qc=257, n kat sayısı ise 0,80 olarak hesaplanmıştır. 40 sn kesme zamanı için ise Qc=330, n kat sayısı ile 0,74 elde edilmiştir. Koda normalizasyon yönteminde ise 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre, E-W, N-S bileşenleri için Qs, Z bileşeni için ise Qp değerleri hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 65, N-S bileşeni için 58, Z bileşeni için 52 veri analizi yapılmıştır. E-W bileşeni için 1.5 Hz merkez frekansına göre Qs=49, N-S bileşeni için Qs=46, Z bileşeni için Qp=52 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 3 Hz merkez frekansına göre Qs=82, N-S bileşeni için Qs=114, Z bileşeni için Qp=70 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 6 Hz merkez frekansına göre Qs=163, N-S bileşeni için Qs=172, Z bileşeni için Qp=128 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 9 Hz merkez frekansına göre Qs=374, N-S bileşeni için Qs=299, Z bileşeni için Qp=183 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 12 Hz merkez frekansına göre Qs=417, N-S bileşeni için Qs=364, Z bileşeni için Qp=407 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 18 Hz merkez frekansına göre Qs=469, N-S bileşeni için Qs=601, Z bileşeni için Qp=469 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qs değerleri bileşenlerine göre değişiklik göstermekle birlikte 1.5 Hz'de ve 18 Hz'de hemen hemen aynı değer hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeninde 0,48-1,06, N-S bileşeninde ise 0,61-1,13 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirme en küçük değer bu bölgede hesaplanmıştır. Tekirdağ baseninde depremlerin analizi sonucunda düşük Qo (~140) ile düşük n değerleri (~0,6) hesaplanmıştır. Bu bölgede stresin arttığı düşük Qo değerleri ile kendini göstermektedir. Saros Körfezinde ise frekansa bağımlılık 0,82 civarında iken, düşük Qo değeri gözlenmiştir. Bölgenin batısında, doğusuna göre daha yüksek Qo değerleri gözlenirken, n değeri için ise batıda, doğuya göre daha düşük değerler hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelmiş toplam 654 depreme ait 978 adet deprem verisi incelenmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri (MI) 3,0 ile 5,8, odak derinlikleri 5 ile 16,1 km ve dış merkez uzaklıkları ise 2-200 km arasında değişmektedir. Kuzey Anadolu Fayında kesme zamanları 20-30-40 sn için Qc değerleri 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre hesaplanmıştır. Kesme zamanına ait Qc değerlerinin frekansa bağımlılığı, 20 sn kesme zamanı için

Qc=182, n kat sayısı ise 0,90'dır. 30 sn kesme zamanı için Qc=237, n kat sayısı ise 0,84 olarak hesaplanmıştır. 40 sn kesme zamanı için ise Qc=283, n kat sayısı ise 0,81 elde edilmiştir. Koda normalizasyon yönteminde ise 1,5, 3, 6, 9, 12, 18 Hz merkez frekanslarına göre, E-W, N-S bileşenleri için Qs, Z bileşeni için ise Qp değerleri hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 205, N-S bileşeni için 238, Z bileşeni için 212 veri analizi yapılmıştır. E-W bileşeni için 1.5 Hz merkez frekansına göre Qs=46, N-S bileşeni için Qs=50, Z bileşeni için Qp=47 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 3 Hz merkez frekansına göre Qs=80, N-S bileşeni için Qs=117, Z bileşeni için Qp=82 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 6 Hz merkez frekansına göre Qs=203, N-S bileşeni için Qs=181, Z bileşeni için Qp=163 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 9 Hz merkez frekansına göre Qs=334, N-S bileşeni için Qs=315, Z bileşeni için Qp=264 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 12 Hz merkez frekansına göre Qs=433, N-S bileşeni için Qs=394,Z bileşeni için Qp=333 olarak hesaplanmıştır. E-W bileşeni için 18 Hz merkez frekansına göre Qs=483, N-S bileşeni için Qs=607, Z bileşeni için Qp=479 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler episantr ile istasyon arasındaki uzaklık arttıkça saçılmanın arttığı görülmektedir. N-S bileşeninde daha fazla veri ile analiz imkanı bulunmuştur. Qp ve Qs değerleri bileşenlere göre değişiklik göstermekle birlikte 1,5 Hz'de hemen hemen aynı değerler hesaplanmıştır. Qp/Qs oranı E-W bileşeninde 0,76-1,02, N-S bileşeninde 0,7-0,94 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Genel değerlendirmede Qs de yüksek değerler hesaplanması fay genelinin akışkan bir kabuk yapısına sahip olmadığı, manto malzemesinin yukarıya doğru fazla yükselmediği sonucuna işaret etmektedir.

Kuzey Anadolu Fay Zonunda incelenen tüm bölgelerde Qc değerlerinin 160-362 aralığında, frekans bağımlılık derecelerinin ise 0,7-0,91 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kabuk ve mantoda heterojenitenin yüksek, dolayısıyla sismotektonik açıdan etkin olduğunu göstermektedir.

Q'nun frekansa bağımlılığı genel anlamda aynı kesme zamanları üzerinden yorumlanır ve farklı bölgelerin Qc değerleri aynı kesme zamanları için karşılaştırılsa, 20 sn kesme zamanı için; 160-212, 30 sn kesme zamanı için; 194-287, 40 sn kesme zamanı için; 219-362 arasında değişen değerler aldığı görülmektedir.

Bu da heterojen veya sismik etkinliği yüksek bölgelerde elde edilecek Qc değerleri ile karşılaştırılmış ve tektonik yönden uyum göstermektedir. Q'nun frekans bağımlılık katsayısı Qo, yani n (sabit bir kesme zamanında) bölgedeki heterojenitenin göstergesidir. Sığ ortamlarda, yani kabuğun üst kısımlarında heterojenite yüksek, Qc düşük ve frekansa bağımlılık derecesi yüksek, derinlere doğru ilerledikçe daha homojen bir ortam, Qc yüksek ve frekansa bağımlılık derecesi düşük olarak tespit edilmiştir. 20 sn kesme zamanlarında frekansa bağımlılık derecesi 0,74'e kadar düştüğü görülmüştür. 30 sn kesme zamanlarında ise 0,74, 40 sn kesme zamanlarında da 0,73'e kadar düştüğü görülmektedir. Kısa kesme zamanlarında elde edilen Qc değerlerinin frekans bağımlılık derecesi, uzun kesme zamanlarında elde edilen Qc'nin frekans bağımlılık derecesinden daha yüksektir. Bunun nedeni kısa kesme zamanlarında, koda dalgasının kabuğun derin kısımlarına göre, daha heterojen bir yapıya sahip olan kabuğun üst kısımlarında ilerlemesi ve daha çok soğurularak düşük Qc değeri vermesi şeklinde yorumlanmaktadır. Ortamdaki saçıcılardan saçınmış değişik frekanstaki sinyallerin toplamı şeklinde oluştuğu düşünülen koda dalgalarının frekans içeriği, doğal olarak yüzeye yakın ve oldukça heterojen bir ortamda, diğer bir deyişle kısa kesme zamanlarında yüksek olacaktır. Bir bölgede hesaplanan Qc değerlerinin yüksek derecede frekansa bağımlılık göstermesinin, bölgede var olan tektonik aktivite ve sismisite ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu için koda Q analizi ile farklı kesme zamanlarında, bulunan Qc, Qp ve Qs değerleri kesme zamanına ve frekansa bağlı olarak değişmektedir. Frekans arttıkça ortalama Qc değerlerinin kesme zamanına bağımlılığı artmaktadır. Farklı kesme zamanları için ortalama Qc değerlerinin frekans bağımlılığı bölgede üst kabuktaki heterojenliklerle ilişkilidir. Üst kabuğun bu özelliği bölgedeki tektonik yapı ile de yakından ilişkilidir. Tek saçınım modelinin teorisine göre, ortalama Qc ye karşılık gelen hacim, deprem odağı ile istasyonlar arasındaki alanı elipsoid şeklinde tanımlanır. Örneklenen alan kesme zamanı arttıkça artmakta ve tüm kabuğu kapsamaktadır. Bu nedenle kesme zamanları (Kuzey Anadolu Fay Zonu için hesaplanan 20-30-40 sn kesme zamanları) için hesaplanan ortalama Qc değerlerindeki farklar, esas olarak derin kabuktaki heterojeniteliklerden cisim dalgalarının geri saçınımı tarafından oluşmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu verilerinden hesaplanan Q değerlerinin frekansın fonksiyonu olarak grafiklenmesinde iki olay dikkati çekmektedir; birincisi Qc değerlerinin frekansa bağlı olarak artması,

Qc değerindeki büyük saçınımdır. Bu saçılma koda dalgalarının kesme zamanına göre değişik Qc değerlerinden elde edilmiştir. Bu saçılma kullanılan verilerin geniş bir alanı kapsaması nedeniyle oluşmaktadır.

İkinci yöntem olarak uygulanılan Koda normalizasyon yönteminde ise E-W, N-S bileşenlerinde belirgin bir fark gözlenmemek ile birlikte episantr-istasyon arasındaki uzaklık arttıkça Q(p) ve Q(s) değerlerinde, frekans arttıkça bu değerlerinden arttığı gözlemlenmiştir. N-S bileşeninde elde edilen Qs değerleri yorumlama açısından daha kolaylıklar sağlamaktadır. Çorum-Adapazarı arasında bütün frekanslarda düşük Qs değerleri hesaplanmıştır. Adapazarı-Yalova arasında ise hemen hemen en yüksek Qs değerleri hesaplanmıştır. Qs değerinin bütün frekanslarda yüksek olması bölgede manto malzemesinin yukarıya çıkması, ortamda jeotermal kaynak olması ve akışkan, satüre kabuk olan bir yapıyı göstermektedir. Qs değerlerinin bütün frekanslarda düşük olmasının nedeni derinlere gidildikçe daha homojen bir yapıya girilmesi şeklinde yorumlanmıştır. Qp değerleri ise kırıklı alan ve karmaşık yapıya duyarlı bir parametre olup bütün bölgelerde frekans arttıkça artış göstermektedir. Çorum-Adapazarı arasında bölge genelinde hemen hemen tüm frekanslarda yüksek değerlere sahiptir. Düşük frekanslarda Yalova-Saros Körfezi arasında düşük değerlere sahiptir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Kuzey Anadolu Fay Zonunda üst kabukta soğurulmanın oldukça etkin olduğu anlaşılmaktadır. Artan frekans ve kesme zamanına bağlı olarak soğurmanın, bölgenin tektonik aktivitesini destekleyen yönde olduğu sonucuna varılmıştır

KAYNAKLAR

Aki K., Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scaterred waves, *Journal of Geophysical Research*, 1969, **74**, 615-631.

Aki K., Chouet B., Origin of Coda waves: Source, attenuation and scattering effects, *Journal of Geophysical Research*, 1975, **80**, 3322-3342.

Aki K., Scattering and attenuation of shear waves in the litosphere, *Journal of Geophysical Research*, 1980, **85**, 6496-6504.

Akinci A., Taktak G., Ergintav S., Attenuation of coda waves in Western Anatolia, *Physcial Earth Planet Interiors*, 1994, **87**, 155–165.

Akinci A., Eyidogan H., Frequency dependent attenuation of sand coda waves in Erzincan region (Turkey), *Physcial Earth Planet Interiors*, 1996, **97**, 109–119.

Akinci A., Malagnini L., Pino A., Scognamiglio L,, Herrmann B., Eyidogan H., High-frequency ground motion in the Erzincan region, *Bulletin Seismological Society of America*, 2001, **91,** 1446-1455.

Allen R., Transcurrent faults in continental areas, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1965, **258,** 82-89.

Anderson L., Archembeau C., The anelasticity of the Earth, *Journal of Geophyscial Research*, 1964, **69,** 2071-2084.

Anderson L., Hart R., Attenuation models of the earth, *Physcial Earth Planet İnteriors*, 1978, **16**, 289-306.

Anderson L., Hart R., The Q of the earth, *Journal of Geophyscial Research*, 1978b, **83,** 5869-5882.

Arpat E., Şaroğlu F., Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, *MTA Enstitüsü Dergisi*, 1972, **78,** 44-50.

Ayhan E., Demir C., Kahveci M., Kaplan M., 1990-1993 Yılları GPS ölçümleri ile Gerede-Adapazarı bölgesindeki alanın belirlenmesi, *Türk Haritacılığının 100. Yılı Bilimsel Kongresi*, Ankara, Türkiye, 1995.

Barka A., The North Anatolian Fault Zone, *Annales Tecton*, 1992, **6,** 164–195.

Bozkurt E., Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodinamica Acta*, 2001, **14,** 3-30.

Canıtez N., Gravite anomalileri ve sismolojiye göre Kuzey Anadolu'da arz kabuğunun yapısı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul, 1962.

Dainty M., A scattering model to explain seismic Q observations in the lithosphere between 1 and 30 Hz, *Geophyscial Research Letters*, 1981, **8,** 1126-1128.

Del Pezzo E., Patanè D., Coda Q dependence on time, frequency and coda duration interval at Mt. Etna, Sicily, Editors: Gasparini P., Scarpa R., Aki K., *Volcanic Seismology*, 3nd ed, Springer-Verlag, New York, 109–119, 1992.

Erinç S., Türkiye'nin şekillenmesinde neotektoniğin rolü ve jeomorfoloji-jeodinamik ilişkileri, *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi*, Ankara, Türkiye, 17-19 Aralık 1973.

Frenkal A., Mcgarr A., Bicknell J., Mri J., Seeber L., and Cranswick E., Attenuation of high-frequency shear waves in the crust: measurements from New York State, South Africa and Southern California, *Journal of Geophysical Research*, 1990, **95,** 17441-17457.

Gholamzadeha A., Rahimi H., Yaminifard F., Spatial and Temporal Variation of Coda-Wave Attenuation in the Faryab Region, Southeast of the Sanandaj–Sirjan Zone, Using Aftershocks of the Tiab Earthquake of 28 February 2006, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2014, **104**, 529-539.

Giampiccola E., Gresta S., Rascona F., İntrinsic and scattering attenuation from observed seismic codas in southeastern Sicily (Italy), *Physics Earth Planet Intrior*, 2004, **145,** 55–66.

Gupta C., Teotia S., Rai S., Gautam N., Coda Q estimates in the Koyna region, *Pure Application Geophysics*, 1998, **153**,713–731.

Horasan G., Kaşlılar A., Boztepe A., Türkelli N., S- wave attenuation in the Marmara Region, *Geophysical Research Letters*, 1998, **25,** 2733-2736.

URL-1: http://deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014).

URL-2: http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm/, (Ziyaret tarihi: 12.10.2014).

Ketin İ., Uber die tektonisch-mechanischcan Folge rungen aus den grossen anatolischen Erdbeben desletzten Dezenniums, *Geologische Rundschau*, 1948, **36,** 76-83.

Ketin İ., Roesli F., Makroseismische Untersuchungen uber das nordwestanato-lische Beben vom 18 Marz 1953, *Eclogae Geologicale Helvetiae*, 1953, **46,** 187-208.

Ketin İ., Kuzey Anadolu Deprem Fayı, *İTÜ Dergisi,* 1957, **15,** 49-52.

Ketin İ., San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni,* 1976, **19,** 149-154.

Knopoff L., Q, *Reviews of Geophysics*, 1964, **2,** 625-660.

Kumar R., Gupta C., Attenuation characteristics of seismic body waves for the crust of Lower Siang region of Arunachal Himalaya, *İnternational Journal of Advanced Research,* 2014, **6,** 742-755.

Lundquist G., Cormier F., Constraints on the absorption band model of Q, *Journal of Geophysical Research,* 1980, **85,** 5244-5256.

Mandal P., Sediments thickness and Qs ve Qp relations in the Kachchh rift basin, Gujarat, India using Sp converted phases, *Pure Applied Geophysics,* 2007, **164,** 135-160.

Mc Clusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Gergiev I., Hamburger M., Kahle H., Kastens K., Kekelidse G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadaria M., Ouzounus A., Paradisissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanlı I., Seeger H., Teableb A., Toksoz N., Veis G., GPS constraints on crustal movements and deformations for plate dynamics, *Journal of Geophysical Research,* 2000, **105,** 5695–5720.

Mc Kenzie D., Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophyscial Journal Royal Astronomical Society,* 1972, **30,** 109–185.

Meirova T., Pinsky V., Seismic wave attenuation in Israel region estimated from the multiple lapse time window analysis and S-wave coda decay rate, *Geophyscial Journal International,* 2014, **197,** 581-590.

Mukhopadhyay S., Tyagi C., Rai S., The attenuation mechanism of seismic waves in northwestern Himalayas, *Geophyscial Journal International*, 2006, **167,** 354–360.

Novelo-Casanova A., Lee K., Comparison of techniques that use the single scattering model to compute the quality factor Q from coda waves, *Pure and Applied Geophysics,* 1991, **135,** 77-89.

Nowacks E., Die wichtigsten Ergebnisse meiner anatolischen Reisen, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft,* 1928, **80**, 304–312.

Oral B., Reilinger E., Toksöz N., Kong W., Barka A., Kınık I., Lenk O., Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean, *EOS Transac,* 1995, **76,** 9-11.

Pamir H., 1939-1944 yılları arasında Küçük Asya'da vukua gelen depremler ve Kuzey Anadolu becerisi, (La cicatrice Nord-Anatolienne), *18. Uluslararası Jeoloji Kongresi,* Londra, İngiltere, 22 Ağustos-3 Eylül 1948.

Parvez I., Yadav P., Nagaraj K., Attenuation of P, S and Coda Waves in the NW-Himalayas, India, *International Journal of Geosciences*, 2012, **3,** 179-191.

Pavoni N., Die nordanatolische Horizontalverschiebung, *Geologische Rundschau,* 1960, **51,** 122-139.

Pulli J., Attenuation of coda waves in New England, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1984, **74,** 1149–1166.

Rautian G., Khalturin I., The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1978, **680,** 923-948.

Reilinger E., McClusky C., Oral B., King W., Toksoz N., Barka A., Kınık I., Lenk O., Sanlı I., Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia–Africa-Eurasia plate collision zone, *Journal of Geophysical Research,* 1997, **102,** 9983–9999.

Sahin S., Lateral variations of coda Q and attenuation of seismic waves in Southwest Anatolia, *Journal of Seismology,* 2008, **12,** 367–376.

Salomon-Calvi W., Die Fortsetzung der Tonalelinie in Kleinasien, *Yüksek Ziraat Enstitüsü Çalışmalarından,* 1936, **9,** 11–13.

Salomon-Calvi W., Anadolu'nun tektonik tarzı teşekkülü hakkında kısa izahat, *MTA Mecmuası,* 1940, **18,** 35-74.

Sato H., Energy propagation including scattering effects: single isotropic scattering approximation, *Journal of Physics of the Earth,* 1977, **25,** 27-41.

Sato H., Fehler M., Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth, *Springer and Verlag*, 308, New York, 1998.

Sertçelik F., Sertçelik İ., Karlıova üçlü ekleminde koda dalga analizi, Editör: Kurtuluş C., *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi,* 2, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, İzmit, 31-37, 2008.

Sertçelik F., Estimation of coda wave attenuation in the East Anatolia Fault Zone Turkey, *Pure and Applied Geophysics,* 2012, **169,** 1189-1204.

Seymen İ., Aydın A., Bingöl deprem ayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi, *Mineral Research and Exploration of the Bulletin*, 1972, **79,** 1–8.

Seymen İ., Kelkit Vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun tektonik özelliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul, 1975.

Stein S., Barka A., Dieterich H., Progressive failure on the North Anatolian Fault since 1939 by earthquake stress triggering, *Geophyscial Journal International.*, 1997, **128,** 594-604.

Tatar Y., Tectonic structures along the North Anatolian Fault Zone, northeast of Refahiye (Erzincan), *Tectonophysics,* 1975, **29,** 401–410.

Taymaz T., Jackson A., Mc Kenzie D., Active tectonics of the north and central Aegean Sea, *Geophyscial Journal International*, 1991, **106,** 433-490.

Tokay M., Kuzey Anadolu Fay Zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, *Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 29-31 Mart 1972.

Yoshimoto K., Sato H., Iio Y., Ito H., Ohminato T.,Ohtake M., Frequency-dependent attenuation of high-frequency P ve S waves in the upper crust in Western Nagano, Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 1998, **153**, 489–502.

Westaway R., Evidence for dynamic coupling of surface processes with isostatic compensation in the lower crust during active extension of western Turkey, *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99,** 203–223.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Sertçelik F., **Güleroğlu M.,** Van ve çevresinde S ve Koda dalgalarının frekans bağımlı soğurulması, *20. Uluslararası Jeofizik Kongresi,* TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Antalya, 25-27 Kasım 2013.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Balıkesir'in Edremit ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Edremit'te tamamladı. 2007 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında Jeofizik Mühendisi olarak mezun oldu. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği AnaBilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında girdiği Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü'ne devam etmektedir. 2014 yılında da C sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı sertifika programını tamamlamış, sınavıda başarıyla geçerek ''C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı'' belgesini almıştır.