KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİSMİK KAYIT ÜNİTESİ TASARIMI VE VERİLERİN İŞLENMESİ

ÖZKAN KAFADAR

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİSMİK KAYIT ÜNİTESİ TASARIMI VE VERİLERİN İŞLENMESİ

ÖZKAN KAFADAR

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

Prof.Dr. Cengiz KURTULUŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Ömer Feyzi GÜRER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Davut AYDOĞAN
Jüri Üyesi, İstanbul Üniv. .....

Doç.Dr. Bülent ORUÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.06.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

1995 yılından bugüne, bilgisayar mühendisliğine duyduğum ilgi Fortran, Pascal, Delphi, Matlab, Visual Basic.Net, Visual C#.NET ve Java gibi programlama dillerini ve MS Access, SQL Server ve Oracle gibi veritabanı yönetim sistemlerini öğrenmeme ve birçok projede yer almama vesile oldu. Bu tez kapsamında, ilgi duyduğum diğer bir branş olan elektronik mühendisliğinin çalışma alanlarından birisi olan mikrodenetleyicileri de kullanarak, bilgisayar, elektronik ve jeofizik gibi üç farklı disiplini bir araya getirme fırsatı buldum.

Piyasada sismik sinyallerin kayıt edilebilmesi için ticari amaçla geliştirilmiş birçok cihaz olmasına karşın bu cihazların maliyetlerinin oldukça yüksek olması, jeofizik mühendisliği eğitimi alan genç jeofizikçilerin sismik yöntemler hakkında aldıkları teorik bilgilerin arazi uygulamaları ile pekiştirilmesi konusunda bir kısıtlama getirdiği düşüncesi, beni bu tez çalışmasına yöneltti. Bu amaçla düşük maliyetli ve emsallerine kıyasla kullanımı daha basite indirgenmiş, sismik kırılma, sürekli kayıt ve deprem izleme monitörü gibi özelliklere sahip bilgisayar destekli bir sismik kayıt ünitesi tasarlamak ve prototipini üretmek ana hedefimdi. Bu hedefe ulaşmak için elektronik konusundaki eksiklerimi tamamlamak bir miktar zamanımı almasına rağmen, hedefe adım adım ulaştığımı görmek, hem beni motive etti hem de büyük bir keyif verdi.

Öncelikle lisans eğitimimden itibaren bugüne dek desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. İbrahim Sertçelik' e şükranlarımı sunarım.

Doktora tez komitemde yer alarak beni değerli fikirleri ile yönlendiren ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Cengiz Kurtuluş ve Prof. Dr. Ömer Feyzi Gürer' e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmamda yanımda olarak desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Murat Güneş, Öğr. Gör. Yakup Kösem ve diğer akademisyen arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını 114Y270 no' lu araştırma projesi kapsamında destekleyen TÜBİTAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının ilk aşamalarında kafamdaki soru işaretlerinin giderilmesi konusundaki katkılarından dolayı, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Jeofizik Departmanı' nda araştırmacı olarak görev yapan Metin Zobu' ya teşekkürlerimi sunarım.

Bilgilerini benden esirgemeyen, değerli vaktini bu çalışmaya ayıran, harici donanımın test ve analizlerini yapan Yüksek Elektronik ve Haberleşme Müh. Süleyman Tunç' a özel olarak şükranlarımı sunarım.

Biricik eşim ve kızıma ayırmam gereken vakti kimi zaman bu tez için kullandım. Eşime ve kızıma gösterdikleri anlayıştan ve verdikleri desteklerden dolayı minnettarım. Ayrıca bu günlere gelmemi sağlayan canım anneme ve babama da sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Sizlere layık bir evlat, bir eş ve bir baba olmaya çalışıyorum. İyi ki varsınız.

Mayıs – 2015 Özkan KAFADAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER iii
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xi
ÖZET xiii
ABSTRACT xiv
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 4
1.1. Sismik Dalgalar 4
1.1.1. Cisim dalgaları 4
1.1.1.1. P dalgası (Boyuna dalgalar) 4
1.1.1.2. S dalgası (Enine dalgalar) 5
1.1.2. Yüzey dalgaları 7
1.1.3. Huygens prensibi 8
1.1.4. Snell kanunu 8
1.1.5. Fermat prensibi 9
1.1.6. Süreksizliklerde enerji dağılımı 10
1.2. Sismik Zemin Parametreleri 10
1.2.1. Yoğunluk (ρ) 10
1.2.2. Kayma modülü (μ) 11
1.2.3. Elastisite modülü (E) 11
1.2.4. Poisson oranı (σ) 11
1.2.5. Sıkışmazlık modülü (k) 12
1.2.6. Lame sabiti (λ) 12
1.2.7. Gözeneklilik ($\emptyset$) 13
1.2.8. Zemin hakim titreşim periyodu (T_0) 13
1.2.9. Zemin taşıma gücü (q_u) ve zemin emniyet gerilmesi (q_s) 14
1.2.10. Zemin oturması (S_z) 14
1.2.11. Zemin büyütmesi (A) 15
1.2.12. Basınç itki katsayısı (K_0) 15
1.2.13. Efektif içsel sürtünme açısı ($\emptyset_c$) 15
1.2.14. Toplam gerilmeler altında drenajsız içsel sürtünme açısı ($\emptyset_{cu}$) 15
1.2.15. Tek eksenli basınç dayanımı (σ_B) 16
1.2.16. Sismik hız oranı 16
1.3. Sismik Yöntemler 16
1.3.1. Sismik yansıma yöntemi 17
1.3.2. Sismik kırılma yöntemi 18
1.3.2.1. Öncü dalgalar (Baş dalgaları) 19
1.3.2.2. Tek tabakalı ortamda kırılma 19
1.3.2.3. Çok tabakalı ortamda kırılma 21
1.3.2.4. Eğimli bir ortamda kırılma 22

1.3.2.5. En küçük kareler yöntemi ... 23
2. SİSMİK KAYIT SİSTEMLERİ ... 25
2.1. Jeofonlar ... 26
2.2. Sensörler ve Analog Sinyal Karşılama Birimi ... 28
2.3. Preamplifikatörler ... 29
2.4. Analog Filtreler ... 29
2.5. Kazanç Kontrol Amplifikatörü ... 30
2.6. Çoklayıcı (Multiplexer) ... 30
2.7. Analog Dijital Dönüşüm ... 31
2.7.1. Örnekleme teoremi ... 31
2.8. Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) ... 33
2.9. Formatlayıcı ... 34
3. SİSTEM MİMARİSİ VE ELEKTRONİK DETAYLAR ... 35
3.1. Preamplifikatör ... 35
3.1.1. Genel amplifikatör özellikleri ... 36
3.1.1.1.Giriş empedansı ... 36
3.1.1.2.Çıkış empedansı ... 37
3.1.1.3.Diferansiyel amplifikatör ... 37
3.2. Alçak Geçişli Filtre ... 38
3.3. Kazanç Kontrolü ... 39
3.4. Yüksek Geçişli Filtre ... 40
3.5. DC Ofset ... 41
3.6. Kırpıcı Devre ... 42
4. TASARIM AÇIKLAMASI ... 44
4.1. Analog Tasarım ve Bilgisayar Destekli Simülasyon ... 44
4.1.1. Güç sistemi ... 44
4.1.2. Preamplifikatör ... 45
4.1.3. Alçak geçişli filtre ... 46
4.1.4. Kazanç kontrolü ... 47
4.1.5. Yüksek geçişli filtre ... 48
4.1.6. DC ofset devresi ... 48
4.1.7. Kırpıcı devre ... 50
4.2. Analog Tasarım ve Sistemin Testi ... 50
4.3. Dijital Tasarım ve Sistemin Teorik Olarak Testi ... 54
4.3.1. PIC18F4550 mikrodenetleyici ... 54
4.3.2. USB haberleşme yöntemi ... 56
4.3.3. Grafiksel kullanıcı arayüzü ve simülasyon ... 62
4.3.3.1.Ana program penceresi ... 62
4.3.3.2.Gerçek zamanlı izleme modu ... 63
4.3.3.3.Sismik kırılma modu ... 68
4.3.3.4.Veri yorumlama pencereleri ve teorik uygulama ... 71
4.3.3.5.Sürekli kayıt modu ... 82
5. ARAZİ UYGULAMALARI ... 85
5.1. Arazi Uygulaması-1 ... 85
5.2. Arazi Uygulaması-2 ... 90
5.3. Arazi Uygulaması-3 ... 95
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ... 101
KAYNAKLAR ... 102
EKLER ... 104

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 115
ÖZGEÇMİŞ 117

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. P dalgası yayınımı 4
Şekil 1.2. S dalgası yayınımı 6
Şekil 1.3. Yüzey dalgaları yayınımı 7
Şekil 1.4. Dalga cepheleri 8
Şekil 1.5. Snell Kanunu 8
Şekil 1.6. Fermat Prensibi 9
Şekil 1.7. Süreksizlik yüzeyine belirli bir açıyla gelen bir dalganın kırılması ve yansıması 10
Şekil 1.8. İki tabakalı bir ortam için ışın yolları ve zaman-uzaklık grafiği 20
Şekil 1.9. Çok tabakalı ortam için ışın yolları ve zaman-uzaklık grafiği 21
Şekil 1.10. Eğimli tabakalı ortam için zaman-uzaklık grafiği 22
Şekil 2.1. Bir sismik kayıt sisteminin özet niteliğindeki şematik gösterimi 25
Şekil 2.2. Elektromanyetik jeofonun şematik gösterimi 26
Şekil 2.3. Pasif bir yüksek geçişli filtrenin grup gecikmesi 29
Şekil 2.4. Çoklayıcı operasyon modu 30
Şekil 2.5. Çoklayıcı operasyonu öncesi ve sonrasındaki veri 31
Şekil 2.6. Örnek bir cihazın kontrol, giriş ve çıkış sinyali arasındaki ilişki 32
Şekil 3.1. Tasarlanan sismik kayıt ünitesinin şematik görüntüsü 36
Şekil 3.2. İki girişli bir diferansiyel amplifikatörün şematik görünümü 38
Şekil 3.3. Pasif ve aktif alçak geçişli filtrelerin şematik görünümü. a) Pasif alçak geçişli filtre b) 2. Dereceden aktif alçak geçişli filtre 38
Şekil 3.4. Alçak geçişli filtre karakteristikleri a) İdeal filtre b) Pratik filtre 39
Şekil 3.5. Evirmeyen bir kazanç amplifikatör devresinin şematik görünümü 40
Şekil 3.6. Pasif ve aktif yüksek geçişli filtrelerin şematik görünümü. a) Pasif yüksek geçişli filtre b) 2. dereceden yüksek geçişli filtre 41
Şekil 3.7. Yüksek geçişli filtre karakteristikleri a) İdeal filtre b) Pratik filtre 41
Şekil 3.8. Ofset öncesi ve sonrası sinüsoidal bir sinyal 41
Şekil 3.9. a) Gerilim bölücü kullanılarak b) Potansiyometre kullanılarak tasarlanmış ofset devresi 42
Şekil 3.10. a) Pozitif kırpıcı b) Negatif kırpıcı c) Pozitif DC gerilim seviyeli kırpıcı d) Negatif DC gerilim seviyeli kırpıcı 43
Şekil 4.1. Harici donanıma ait analog tasarımın Proteus şeması 44
Şekil 4.2. DC-DC dönüştürücülerin bağlantı şemaları a) ±15 V çıkış b) +5 V çıkış 45
Şekil 4.3. Preamplifikatör şeması ve NE5532 model amplifikatör pin bağlantıları 45
Şekil 4.4. Preamplifikatör çıkışı 46
Şekil 4.5. Alçak geçişli filtre devresi ve OP07c model amplifikatör pin bağlantıları 47
Şekil 4.6. Giriş sinyalinin ve alçak geçişli filtre sonrası sinyalin görünümü 47
Şekil 4.7. Giriş sinyalinin, alçak geçişli filtre sonrası sinyalin ve kazanç uygulanmış sinyalin görünümü 48

Şekil 4.8. Giriş sinyalinin, alçak geçişli filtre sonrası sinyalin, kazanç uygulanmış sinyalin ve yüksek geçişli filtre sonrası sinyalin görünümü 49
Şekil 4.9. Ofset öncesi ve sonrası sinyalin görünümü 49
Şekil 4.10. Kıpıcı devre öncesi ve sonrasında sinyalin görünümü 50
Şekil 4.11. Tasarlanan sistemin test aşamasına ait görüntü 51
Şekil 4.12. Masa üzerindeki 4,5 Hz' lik bir jeofonun, masa üzerine şiddetli bir darbe uygulanması sonucunda ürettiği sinyalin preamplifikatör çıkışındaki görüntüsü 51
Şekil 4.13. 1 kHz kesme frekanslı alçak geçişli filtre çıkışındaki görüntüsü 52
Şekil 4.14. Sinyalin 40 dB' lik kazanç devresi çıkışındaki görüntüsü 52
Şekil 4.15. 1,8 Hz kesme frekanslı yüksek geçişli filtre çıkışındaki görüntüsü 53
Şekil 4.16. 2,5 V ofset ekleme devresinin çıkışındaki sinyalin görüntüsü 53
Şekil 4.17. Kırpıcı devresinin çıkışındaki sinyalin görüntüsü 53
Şekil 4.18. PIC18F4550 bacak yapısı 55
Şekil 4.19. Sistemin dijital tasarımı, PIC18F4550 mikrodenetleyici ve çevre birimleri 56
Şekil 4.20. USB boruları ve son uç kavramı 57
Şekil 4.21. Sinyal işleme kartının arka yüz şeması 58
Şekil 4.22. Merkezi kontrol birimi ve akü şarj devresini içeren kartın ön yüz görünümü 59
Şekil 4.23. Merkezi kontrol birimi ve akü şarj devresini içeren kartın arka yüz görünümü 59
Şekil 4.24. Cihazın sol perspektif görünümü 60
Şekil 4.25. Cihazın ön panelinin görünümü 60
Şekil 4.26. Cihazın sağ perspektif görünümü 61
Şekil 4.27. Cihazın iç yapısının görünümü 61
Şekil 4.28. Yazılımın ana penceresi ve menüsünün ekran görüntüsü 62
Şekil 4.29. Gerçek zamanlı izleme penceresinin ekran görüntüsü 63
Şekil 4.30. Ofset sıfırlaması yapılmamış kanal çıkışı 64
Şekil 4.31. Ofset sıfırlaması yapılmış kanal çıkışı 65
Şekil 4.32. Tasarlanan sistemin bir kanalını içeren Proteus açık devre şeması 66
Şekil 4.33. Simülasyon esnasında Proteus yazılımındaki a) USB analiz ve b) dijital osiloskop pencerelerinin ekran görüntüsü 66
Şekil 4.34. Simülasyon esnasında Gerçek Zamanlı İzleme Modu penceresinin ekran görüntüsü 67
Şekil 4.35. Sistemde 1 nolu kanalda 4.5 Hz' lik bir jeofon takılı iken oluşturulan titreşimin Gerçek Zamanlı İzleme Modu penceresindeki görüntüsü 67
Şekil 4.36. Sismik kırılma modu penceresinin ekran görüntüsü 68
Şekil 4.37. Sismik kırılma modu penceresinde Proje Detayları panelinin ekran görüntüsü 69
Şekil 4.38. Kırılma modu penceresinde Menü panelinin ekran görüntüsü 69
Şekil 4.39. Kayıt işlemi sonrası Sismik Kırılma Modu penceresinin ekran görüntüsü 70
Şekil 4.40. Kayıt edilen sinyalin wiggle sismik iz stili modundaki görüntüsü 70
Şekil 4.41. Kayıt edilen sinyalin variable area sismik iz stili modundaki görüntüsü 71
Şekil 4.42. Kayıtlı projelere erişim penceresi 72

Şekil 4.43. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(P) sismogramı ve P dalgası ilk varışları 73
Şekil 4.44. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(P) sismogramı, P dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği 73
Şekil 4.45. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(P) sismogramı ve P dalgası ilk varışları 74
Şekil 4.46. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(P) sismogramı, P dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği 74
Şekil 4.47. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(S) sismogramı ve S dalgası ilk varışları 75
Şekil 4.48. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(S) sismogramı, S dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği 75
Şekil 4.49. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(S) sismogramı ve S dalgası ilk varışları 76
Şekil 4.50. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(S) sismogramı, S dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği 76
Şekil 4.51. Analizler penceresi içerisindeki Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinin ekran görüntüsü 77
Şekil 4.52. Analizler penceresi içerisindeki Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde her bir atış için varış zamanları ve zaman uzaklık grafikleri..... 77
Şekil 4.53. Analizler penceresi içerisindeki, Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde her bir atış için varış zamanları, zaman uzaklık grafikleri ve katman numaraları..... 78
Şekil 4.54. Analizler penceresi içerisindeki, Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde düz atış(P) ve ters atış(P) için zaman uzaklık grafikleri..... 79
Şekil 4.55. Analizler penceresi içerisindeki, Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde düz atış(S) ve ters atış(S) için zaman uzaklık grafikleri..... 79
Şekil 4.56. Analizler penceresi içerisindeki, Sismik Parametreler sekmesinin ekran görüntüsü 80
Şekil 4.57. Analizler penceresi içerisindeki, Sismik Parametreler sekmesinin ekran görüntüsü ve teorik uygulamaya ait sismik parametreler 80
Şekil 4.58. Analizler penceresi içerisindeki, Model sekmesinin ekran görüntüsü 81
Şekil 4.59. Analizler penceresi içerisindeki, Model sekmesinin ekran görüntüsü ve teorik uygulamaya ait 2 boyutlu kesitin görünümü 81
Şekil 4.60. Sürekli Kayıt Modu penceresinin ekran görüntüsü 82
Şekil 4.61. Sürekli Kayıt Modu penceresinde proje detayları panelinin ekran görüntüsü 83
Şekil 4.62. Sürekli Kayıt Modu penceresinde kayıt sonrası proje detayları panelinin ekran görüntüsü..... 83
Şekil 4.63. Sürekli Kayıt Modu-Sismogram penceresinin ekran görüntüsü..... 84
Şekil 4.64. Sürekli Kayıt Modu-Sismogram penceresinde genlik ve zaman eksenindeki büyütme sonrası sismogram görüntüsü 84
Şekil 5.1. 1 nolu arazi uygulamasına ait ölçü sahasının görüntüsü ve yer bulduru haritası 86
Şekil 5.2. 1 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar 87
Şekil 5.3. 1 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar..... 87

Şekil 5.4. 1 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar 88
Şekil 5.5. 1 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar..... 88
Şekil 5.6. 1 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası zaman-uzaklık grafiği..... 89
Şekil 5.7. 1 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası zaman-uzaklık grafiği..... 89
Şekil 5.8. 1 nolu arazi uygulamasına ait 2 boyutlu yeraltı kesiti..... 90
Şekil 5.9. 2 nolu arazi uygulamasına ait ölçü sahasının görüntüsü ve yer bulduru haritası 91
Şekil 5.10. 2 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar..... 92
Şekil 5.11. 2 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar..... 92
Şekil 5.12. 2 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar..... 93
Şekil 5.13. 2 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar..... 93
Şekil 5.14. 2 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası zaman-uzaklık grafiği..... 94
Şekil 5.15. 2 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası zaman-uzaklık grafiği..... 94
Şekil 5.16. 2 nolu arazi uygulamasına ait 2 boyutlu yeraltı kesiti 95
Şekil 5.17. 3 nolu arazi uygulamasına ait ölçü sahasının yer bulduru haritası 96
Şekil 5.18. 3 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar..... 97
Şekil 5.19. 3 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar..... 97
Şekil 5.20. 3 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar..... 98
Şekil 5.21. 3 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar..... 98
Şekil 5.22. 3 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası zaman-uzaklık grafiği..... 99
Şekil 5.23. 3 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası zaman-uzaklık grafiği..... 99
Şekil 5.24. 3 nolu arazi uygulamasına ait 2 boyutlu yeraltı kesiti 100

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Bazı ortamlar için P dalga hızları 5
Tablo 1.2. Bazı ortamlar için S dalga hızları 6
Tablo 1.3. Poisson oranı ile sıkılık arasındaki ilişki 12
Tablo 1.4. Bazı kayaçların gözeneklilik değerleri 13
Tablo 1.5. Sismik hız oranı ile sıkılık arasındaki ilişki..... 16
Tablo 4.1. Sandart B tipi USB konnektör ve bacak açıklamaları 57
Tablo 5.1. 1 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler..... 85
Tablo 5.2. 2 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler..... 90
Tablo 5.3. 3 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler..... 95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Zemin büyütmesi
A_v	: Voltaj genliği
B	: Temel genişliği, (m), manyetik akı yoğunluğu, (wb/m^2)
D	: Temel derinliği, (m)
d_v	: Enine birim değişme, (cm)
d_u	: Boyuna birim değişme, (cm)
E	: Elastisite modülü, (kg/cm^2)
E(t)	: Jeofonun çıkış voltajı, (mV)
f	: Frekans, (Hz)
f_s	: Örnekleme frekansı, (Hz)
f_c	: Kesme frekansı, (Hz)
G	: Kazanç, hakiki voltaj hassasiyeti, (mV)
GS	: P dalga hızının S dalga hızına oranı
H	: Tabaka kalınlığı, (m)
$H(a_1,a_2)$	: Hata fonksiyonu
k	: Sıkışmazlık modülü, (kg/cm^2), yayın sertlik katsayısı
K_0	: Basınç itki katsayısı
m	: Yayın kütlesi, (kg)
N	: Sarım sayısı
P	: Birimsiz bir sabit
q_s	: Zemin emniyet gerilmesi, (kg/cm^2)
q_u	: Zemin taşıma gücü, (kg/cm^2)
R	: Bobinin yarıçapı, (cm)
S_z	: Zemin oturması, (cm)
SH	: S dalgası yatay bileşeni, (m/sn)
SV	: S dalgası düşey bileşeni, (m/sn)
T	: Periyod, (sn)
T_i	: Sismik dalga seyehat zamanı, (sn)
T_0	: Zemin hakim titreşim periyodu, (sn)
V_p	: P dalgası hızı, (m/sn)
V_r	: Rayleigh dalgası hızı, (m/sn)
V_s	: S dalgası hızı, (m/sn)
x(t)	: Göreceli yer hareketi, (cm)
y(t)	: Gerçek yer hareketi, (cm)
*	: Konvolüsyon operatörü
ρ	: Yoğunluk, (gr/cm^3)
μ	: Kayma modülü, (kg/cm^2)
σ	: Poisson oranı
λ	: Lame sabiti, (kg/cm^2)
Ø	: Gözeneklilik, (%), eğim açısı, (°)
$Ø_c$	: Efektif içsel sürtünme açısı, (°)
$Ø_{cu}$	: Toplam gerilmeler altında drenajsız içsel sürtünme açısı, (°)

σ_B : Tek eksenli basınç dayanımı, (Mpa)
σ_{xy} : Makaslama gerilmesi, (kg/cm^2)
ε_{xy} : Makaslama deformasyonu
σ_{xx} : Gerilme, (kg/cm^2)
ε_{xx} : Deformasyon

Kısaltmalar

CASSR-GUI : Computer Aided Seismic Signal Recorder-Graphical User Interface (Bilgisayar Destekli Sismik Sinyal Kayıtçı-Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
EKG : Elektrokardiyogram
GPR : Ground Penetration Radar (Yer Radarı)
LED : Light Emitting Diyod (Işık Yayan Diyot)
OP-AMP : Operational Amplifier (Operasyonel Amplifikatör)
PID : Product ID (Ürün Kimliği)
SP : Self Potential (Doğal Potansiyel)
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
VID : Vendor ID (Satıcı Kimliği)

BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİSMİK KAYIT ÜNİTESİ TASARIMI VE VERİLERİN İŞLENMESİ

ÖZET

Jeofizik, fizik ilkelerini kullanarak yerküreyi, atmosferi, hidrosferi ve uzayı inceleyen bir bilim dalıdır. Jeofizik mühendisliği ise, petrol, maden ve benzeri doğal kaynakların aranması, rezerv tespiti, jeotermal enerji, çevre ve çevre sorunları, arkeolojik araştırmalar, mühendislik yapıların konumlarının belirlenmesi, zemin etütleri, deprem ve doğal afet gibi konularda eğitim ve araştırma etkinliklerinin yürütüldüğü, fizik, matematik, bilgisayar ve elektronik teknolojilerine dayalı bir mühendislik dalıdır. Bu amaçlarla gravite, manyetik, sismik, sismoloji, elektrik, elektromanyetik ve yer radarı gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için ticari amaçlarla geliştirilmiş birçok elektronik cihaz ve yazılım bulunmaktadır. Bu cihazların ve yazılımların maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu düşünüldüğünde, düşük maliyetli ve kullanışlı prototiplerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, düşük maliyetli, pratik kullanımlı ve gerçek zamanlı kayıt yapma ve görüntüleme özelliklerine sahip bilgisayar destekli bir sismik kayıt cihazı tasarlanmıştır. Bu kapsamda, temel elektronik elemanlar ve entegre devreler kullanılarak harici bir donanım tasarlanmış ve Windows işletim sistemi tabanlı bir grafiksel kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Harici donanım, jeofonlar kullanılarak algılanan analog sismik sinyallerin filtrelenmesi, genliklerinin yükseltilmesi, analog sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi ve USB iletişimi ile verilerin bilgisayara transferi gibi işlemleri yerine getirmektedir. Ayrıca geliştirilen yazılım sayesinde, sismik sinyaller gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, her bir kanal girişindeki jeofon test edilebilmekte, harici donanımdan kaynaklanan ofset giderilebilmekte, sismik kırılma modunda kayıtlar yapılabilmekte ve elde edilen verilerin yorumlanması ile yeraltına ait sismik parametreler hesaplanarak yeraltının iki boyutlu yapısı görüntülenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodenetleyici, Modelleme, Sismik Kırılma, Sismik Parametreler, Visual C#.Net.

DESIGNATION OF COMPUTER AIDED SEISMIC RECORDING MODULE AND DATA PROCESSING

ABSTRACT

Geophysics is a science that investigates the earth, atmosphere, hydrosphere and space using the physical principles. Geophysical engineering is based on physics, mathematics, computer and electronic technologies. Geophysical engineering also consists of educational and research activities such as the petroleum, mining and other natural resource exploration, reserve determination, geothermal energy, environment and environmental issues, archeological researches, determination of locations of engineering structures, soil surveys, earthquake and natural disasters. Many methods such as gravity, magnetic, seismic, seismology, electric, electromagnetic and ground penetrating radar (GPR) are used for these purposes. There are many electronic devices and software being developed for commercial purposes to apply these methods. As everybody knows that these devices and software are quite expensive; therefore, it is important to develop prototypes with low-cost and practical. In this study, it is designed a computer-aided seismic recorder with low-cost, practical, real-time recording and monitoring. In this scope, it is designed an external hardware with using basic electronic elements and integrated circuits, and developed a Windows operational system based graphical user interface. External hardware performs the operations such as filtering and amplifying of the amplitudes of detected analog seismic signals using geophones, converting the analog signals to digital signals and transfer data to computer using USB communication. Moreover, seismic signals can be monitored in real time with the aid of developed software, and each geophone connected to input channels can be tested, offset voltage can be calibrated due to external hardware. Data can be recorded on seismic refraction mode. Hence, two-dimensional structure of underground can be displayed calculating the seismic subsurface parameters with the interpretation of data obtained.

Keywords: Microcontroller, Modeling, Seismic Refraction, Seismic Parameters, Visual C#.Net.

GİRİŞ

Jeofizik mühendisliği, petrol, maden ve benzeri doğal kaynakların araştırılması, yer altı ve yerüstü suları, jeotermal enerji, çevre sorunları ve arkeolojik amaçlı araştırmalar, mühendislik yapıların yapı yeri ve güzergâh seçimi, zemin ve temel etütleri, deprem, doğal afet ve benzeri konularda eğitim ve araştırma etkinliklerinin yürütüldüğü bir mühendislik dalıdır. Bu amaçlarla fizik prensiplerinden yararlanarak çeşitli jeofizik yöntemler ile doğal ve yapay alanlarda meydana gelen değişimler incelenmektedir. Bu değişimler yer içinde fiziksel parametrelerin (yoğunluk, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik, ısıl iletkenlik, dalga hızı, elastik sabitler vb.) düşey ve yanal yönlerdeki değişimlerinden kaynaklanmaktadır.

Jeofizik yöntemler doğal ve yapay kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gravite, manyetik ve SP yöntemleri doğal kaynaklı, elektrik, elektromanyetik, sismik ve kuyu logları ise yapay kaynaklı yöntemlerdir. Yapay kaynaklı yöntemler, denetimin tamamen uygulayıcıya ait olmasından dolayı, doğal kaynaklı yöntemlere nazaran daha avantajlıdırlar.

Jeofizik mühendisliğinin diğer mühendislik disiplinler ile arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Elektronik mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, çevre mühendisliği ve inşaat mühendisliği bu disiplinler arasındadır. Elektronik mühendisliğinin çalışma alanlarından olan filtreleme teknikleri jeofizik veriler üzerinde uygulamasına sıkça başvurulan yöntemlerin başındadır. Bu yöntemlerden birisi olan Gabor filtresi, manyetik anomaliler üzerinde uygulanmış ve yeraltındaki süreksizlik sınırları belirlenmiştir [1]. Görüntü işleme tekniklerinden birisi olan yapı yönelimli tensör tekniği, manyetik ve gravite anomalileri üzerinde uygulanarak yanal süreksizlikler ve sismik görüntüler üzerinde uygulanarak faylar tespit edilmiştir [2, 3]. Bu çalışmalardaki dikkat çeken özellik, farklı disiplinlerde kullanılan yöntemler, bilgisayar teknolojisi sayesinde jeofizik mühendisliğinde uygulanabilmekte ve geliştirilebilmektedir.

Jeofizik araştırmalar için kullanılacak doğal ve yapay kaynaklı verilerin kayıt edilebilmesi amacıyla birçok elektronik cihaz ve yazılım kullanılmaktadır. Sismik cihazlar, elektrik (rezistivite) cihazları, yer radarı (GPR) cihazları, kuyu logu cihazları, manyetik ve gravite cihazları, mikrogravite cihazları, sismometreler, mikrotremor cihazları, ivme-ölçerler ve sonar cihazları kullanılan başlıca jeofizik cihazlar arasındadırlar. Bu cihazlardan bazıları yakın, bazıları ise uzak yüzey araştırmaları yapmak için ve zeminlerin farklı özelliklerini ve parametrelerini saptamak için kullanılır. Geliştirilen cihazların tamamına yakını ticari amaçlar için geliştirilmiş endüstriyel ürünlerdir. Bu cihazların ve yazılımların maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu düşünüldüğünde, akademik ve eğitim amaçlı kullanılacak alternatif prototiplerin ve yazılımların üretilmesi önem arz etmektedir.

Günümüzde hızlı bilgisayarların ve görsel yazılım geliştirme platformların desteği ile bu açığı kapatmaya yönelik akademik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bilgisayarın ses kartı kullanılarak sismik sinyallerin sayısallaştırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır [4]. Bu çalışmada harici bir donanım kullanılmamış, analog-sayısal dönüşüm ve sinyal yükseltme işlemleri için ses kartının özellikleri kullanılmıştır. Geliştirilen uygulamada stereo özellikli ses kartı kullanılarak eş zamanlı olarak iki kanal kullanımının mümkün olduğu gösterilmiştir. Kullanıcı arayüzü Visual Basic 6 programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

Literatürde biyolojik sinyallerin (EKG) bilgisayar tabanlı ve gerçek zamanlı izlenmesine yönelik bir çalışma da yeralmaktadır [5]. Bu çalışmada harici bir donanım tasarlanmış ve analog-sayısal çevrimi yapılan veriler yükseltildikten sonra RS232 iletişim protokolü kullanılarak seri port üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kullanıcı arayüzü Labview yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir.

Son zamanlarda sismik sinyaller kullanılarak güvenlik amaçlı projelerin geliştirilmesi de dikkat çekicidir. Bu çalışmalardan birisinde, bir jeofon ve veri toplama kartı kullanılarak sismik sinyaller kayıt edilmiş, Matlab kullanılarak bu sinyaller işlenmiş ve elde edilen sinyallerin analizi ile insan adımlarının tespit edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır [6].

Doğada bulunan bütün fiziksel değişiklikler analogdur ve sürekli verilerdir. Bahsi geçen bilimsel çalışmalarda temel amaç, doğadaki bu analog verilerin ayrık sayısal verilere dönüştürülmesi, bilgisayar ortamına taşınması ve sinyallerin işlenmesidir. Bunun için, bilgisayar ve tasarlanan sistem arasında senkronizasyonu sağlamak amacıyla yazılım desteğinin de sağlanması gerekmektedir. Bu tarz çalışmalar, elektronik, bilgisayar programlama ve ölçülecek fiziksel değişiklik ile ilgili mühendislik bilgisi gerektirmektedir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Sismik Dalgalar

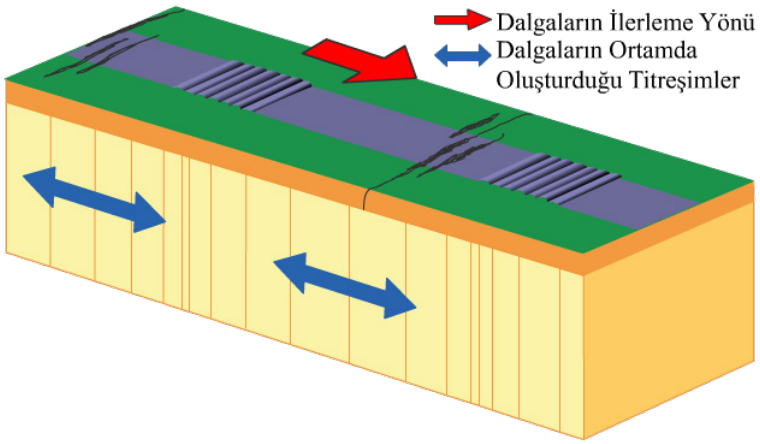
Sismik arama yöntemlerinin temeli sismik dalgalara dayanmaktadır. Sismik dalgaların yayınımı; dalgaların iletimi, sönümlenmesi, yutulması, yansıması, kırılması ve saçılması gibi temel fiziksel prensiplerle izah edilmektedir. Sismik dalgalar elastik dalgalardır ve yayıldıkları materyalde deformasyona neden olurlar. Sismik dalgalar genel olarak ikiye ayrılır. Bunlar cisim dalgaları ve yüzey dalgalarıdır.

1.1.1. Cisim dalgaları

Cisim dalgaları sınırsız homojen ortamlarda yayılır. Cisim dalgaları, P (boyuna) ve S (enine) dalgaları olmak üzere ikiye ayrılır.

1.1.1.1. P dalgası (Boyuna dalgalar)

Bu dalgalara boyuna, sıkışma veya birincil (primer) dalgalar denir ve kayıtçılara ilk ulaşan dalgalardır (Şekil 1.1). P dalgaları her türlü ortamda yayılır. Enerji kaynağından çıkan bir puls elastik ortam içerisinde küresel olarak yayılırken titreşim yapan bir karaktere sahiptir. Tanecik hareketleri yayılım doğrultusundadır. En hızlı seyahat eden dalgalar olduklarından dolayı sismogramlarda ilk görülen dalgalardır.



Şekil 1.1. P dalgası yayınımı

P dalgasının periyodu 1 sn' den azdır. P dalgasının yayılım hızı ile elastik parametreler arasındaki ilişkiler,

$$V_p=\sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}}=\sqrt{\frac{k+\frac{4}{3}\mu}{\rho}}=\sqrt{\frac{E}{\rho}\left(1+\frac{2\sigma^2}{1-\sigma-2\sigma^2}\right)}=\sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1-\sigma}{(1-2\sigma)(1+2\sigma)}} \quad (1.1)$$

şeklinde verilmektedir. Burada E, k, μ ve σ elastik sabitleri ve ρ ise yoğunluğu göstermektedir. Tablo 1.1' de bazı ortamlar için P dalga hızları verilmiştir.

Tablo 1.1. Bazı ortamlar için P dalga hızları [7]

Malzeme	Hız (m/sn)
Toprak	100-600
Kuru kum	200-1200
Islak kum	1500-4000
Buzul taşı	1500-2700
Kil	1000-2500
Şeyl	2000-4100
Gnays	3500-7600
Kumtaşı	1400-4500
Kireçtaşı	2800-7000
Kalsit	2300-2600
Kaya tuzu	4000-5500
Anhidrit	3500-5500
Dolomit	2500-6500
Granit	4500-6200
Bazalt	5000-6500
Kömür	2200-2700
Buz	3400-4000
Su	1450-1500
Hava	310-350

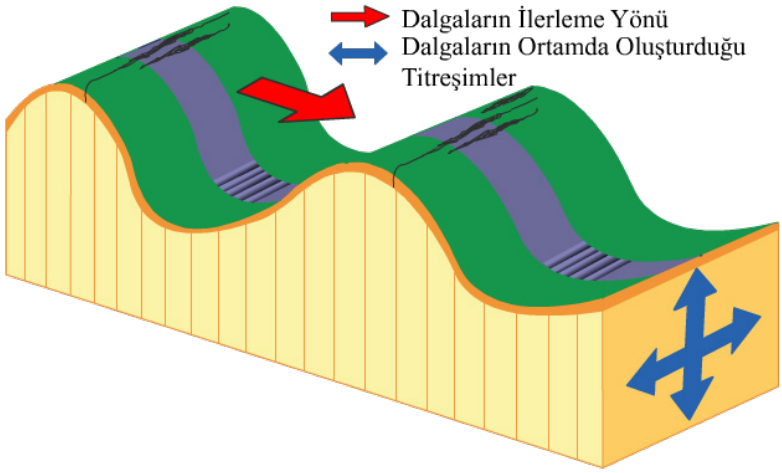
1.1.1.2. S dalgası (Enine dalgalar)

Bu dalgalara enine, ikincil (sekonder) veya makaslama dalgaları denir (Şekil 1.2). Tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik olan doğrultuda ve birbirlerine paraleldir.

S dalgasının hareketi düşey (SV) veya yatay (SH) bileşen olarak ikiye ayrılabilir. SH dalgalarının tanecik hareketi yatay, SV dalgalarınınki ise düşey düzlemde olur. S dalgaları P dalgalarından sonra kayıt edilir ve yayılım hızı ile elastik parametreler arasındaki ilişkiler,

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1}{2(1+\sigma)}} \quad (1.2)$$

şeklinde verilmektedir.



Şekil 1.2. S dalgası yayınımı

Sıvılarda μ=0 olduğundan, sıvı ortamlarda S dalgaları yayılmazlar.

Tablo 1.2. Bazı ortamlar için S dalga hızları [7]

Malzeme	Hız (m/sn)
Toprak	100-300
Kuru kum	100-500
Islak kum	400-1200
Buzul taşı	200-700
Kil	200-800
Şeyl	750-1500
Gnays	2200-3600
Kumtaşı	1200-2800
Kireçtaşı	2000-3300
Kalsit	1100-1300
Kaya tuzu	2500-3100
Anhidrit	2200-3100
Dolomit	1900-3600
Granit	2500-3300
Bazalt	2800-3400
Kömür	1000-1400
Buz	1700-1900
Su	-
Hava	-

P ve S dalga hızları ile elastik sabitler arasındaki ilişkiler Denklem (1.3), (1.4) ve (1.5) ile ifade edilir. Tablo 1.2' de bazı ortamlar için S dalga hızları verilmiştir.

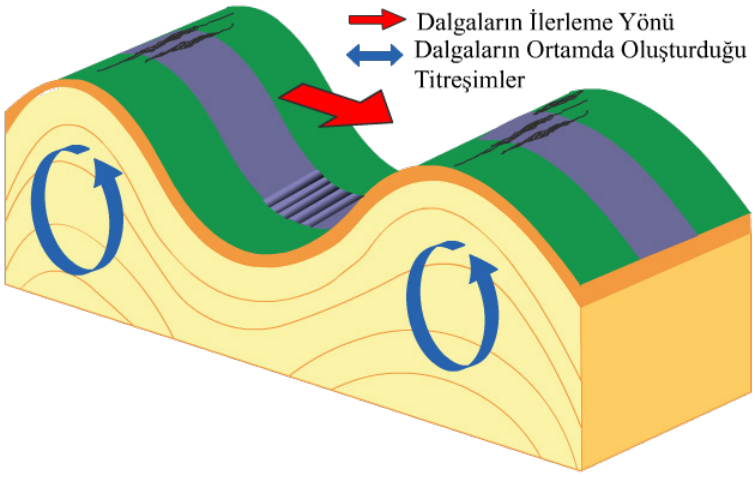
$$\sigma=\frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2-2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2-2} \tag{1.3}$$

$$E=\frac{V_p^2\rho(1-2\sigma)(1+\sigma)}{1-\sigma} \tag{1.4}$$

$$\frac{V_p}{V_s}=\sqrt{\frac{k}{\mu}+\frac{4}{3}}=\sqrt{\frac{1-\sigma}{\frac{1}{2}-\sigma}} \tag{1.5}$$

1.1.2. Yüzey dalgaları

Yüzey dalgaları kayaçları oluşturan tanecikleri dairesel olarak hareket ettirir (Şekil 1.3). Sismogramlar üzerinde yüzey dalgaları arasında en çok Rayleigh ve Love dalgaları görülmektedir. Bu dalgalar serbest yüzey ile onun altındaki tabaka sınırları boyunca yayılırlar. Yüzey dalgaları hareketleri sırasında yerin derinliklerine kadar inerler.



Şekil 1.3. Yüzey dalgaları yayınımı

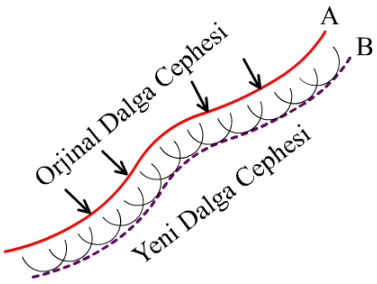
Rayleigh dalgaları, katı bir ortamın serbest yüzeyi boyunca yayılır ve partikül hareketi daima düşey düzlemde olmak üzere eliptiktir. Bu dalgalara Ground Roll' da denir. Love dalgaları, yayılım doğrultusunda dik salınan parçacık hareketinden meydana gelir ve daima dispersiyon gösterir. Love dalgalarının ortaya çıkması için

en azından serbest yüzeyin altında en az bir tane tabaka olması gerekir. Love dalgalarının hızı, Rayleigh dalgalarından büyüktür. Rayleigh dalga hızı (V_r) ile S dalga hızı (V_s) arasındaki ilişki Denklem (1.6) ile ifade edilir.

$$V_r=0,92V_s \tag{1.6}$$

1.1.3. Huygens prensibi

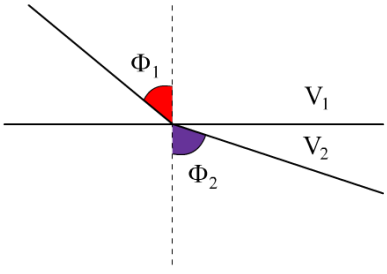
Huygens prensibine göre dalga yayılımı küreseldir ve Şekil 1.4' de gösterildiği gibi, belirli bir t zamanında bir A yüzeyi oluşuyor ise, onun Δt sonraki durumu için üstündeki her bir nokta yeni bir enerji kaynağı olarak kabul edilip onların dalga yüzeyleri çizilir ve zarfları işaretlenirse, yeni bir dalga yüzeyi elde edilir [8]. Homojen ve izotrop bir ortamda oluşan yeni dalga yüzeyi eski dalga yüzeyine paraleldir.



Şekil 1.4. Dalga cepheleri

1.1.4. Snell kanunu

Snell kanuna göre bir dalga iki ortamı ayıran bir sınırdan geçerse, yansıyan ve kırılan dalgalar meydana gelir. Gelen ışının normal ile yaptığı açının sinüsü ile kırılan ışının normal ile yaptığı açının sinüsünün oranı, gelen ışının hızı ile kırılan ışının hızının oranına eşittir ve Denklem (1.7) ile ifade edilir (Şekil 1.5).

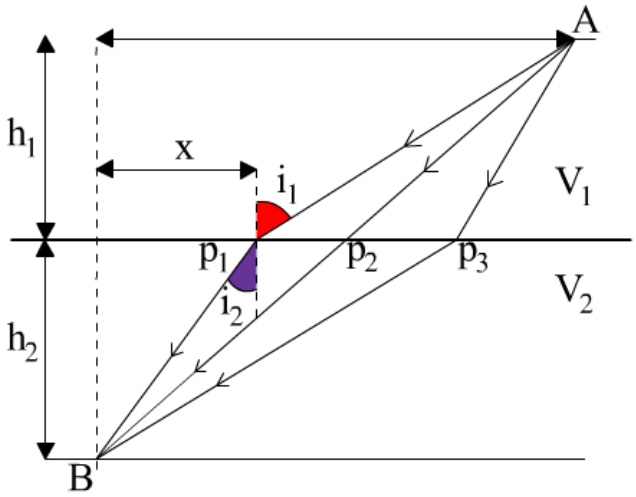


Şekil 1.5. Snell Kanunu

$$\frac{\mathrm{Sin}\phi_2}{\mathrm{Sin}\phi_1}=\frac{V_2}{V_1}=\mu \qquad (1.7)$$

1.1.5. Fermat prensibi

Fermat prensibine göre, bir ışın A ve B gibi iki nokta arasında en kısa varış zamanını tercih eder. Şekil 1.6' da görüldüğü gibi A' dan B' ye doğru hareket eden bir ışın düşünüldüğünde, enerji A' dan radyal olarak dağılır ve sınırda P_1, P_2, P_3, ... noktalarına çarpar. Huygens prensibine göre bu noktaların her birisi yeni bir enerji kaynağı gibi davranır ve 2. ortamda yeni ışınlar oluşturur. P_1, P_2, P_3, ... noktalarından enerji radyal olarak yayılacağından bunlardan bir kısmı B' den geçecektir. Enerjinin A' dan B' ye giderken takip ettiği yol için zaman ifadesi Denklem (1.8) ile ifade edilir.



Şekil 1.6. Fermat Prensibi

$$t=\frac{AP_1}{V_1}+\frac{BP_1}{V_2}=\frac{\left[h_1{}^2+(d-x)^2\right]^{1/2}}{V_1}+\frac{\left(x^2+h_2{}^2\right)^{1/2}}{V_2} \qquad (1.8)$$

t' nin minimum olması için dt/dx sıfıra eşit olmalıdır ve Denklem (1.9)' daki eşitlik sağlanmalıdır.

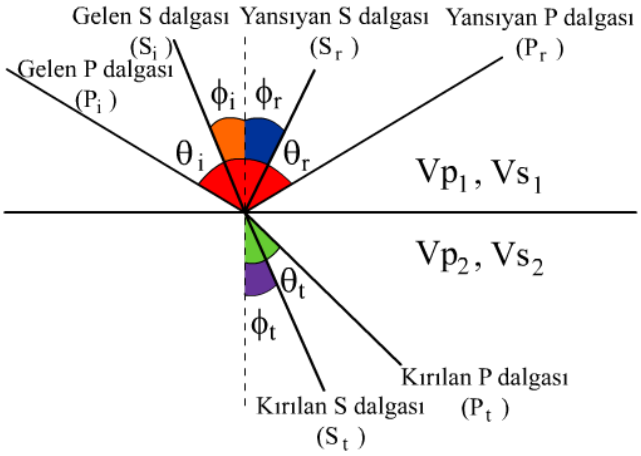
$$\frac{dt}{dx}=\frac{d-x}{V_1\left[h_1{}^2+(d-x)^2\right]^{1/2}}+\frac{x}{V_2\left(x^2+h_2{}^2\right)^{1/2}}=0 \qquad (1.9)$$

Denklem (1.9), $\sin i_1$ ve $\sin i_2$ türünden yazıldığında Denklem (1.10) ile verilen Snell kanunu elde edilir.

$$\frac{Sini_1}{V_1} = \frac{Sini_2}{V_2} \tag{1.10}$$

1.1.6. Süreksizliklerde enerji dağılımı

Bir dalga değişik yoğunluk ve hızlara sahip iki ortamın sınırına geldiğinde kırılan ve yansıyan ışınlar ortaya çıkar (Şekil 1.7). Katı cisimler içerisinde P ve S dalgaları yayılabildiğinden, bu yansıyan dalgalar P ve S dalgaları olacaktır.



Şekil 1.7. Süreksizlik yüzeyine belirli bir açıyla gelen bir dalganın kırılması ve yansıması

Bu bilgiler ışığında Snell kanuna göre Denklem (1.11) yazılabilir.

$$\frac{Sin\theta_i}{Vp_1} = \frac{Sin\theta_t}{Vp_2} = \frac{Sin\theta_r}{Vp_1} = \frac{Sin\phi_i}{Vs_1} = \frac{Sin\phi_t}{Vs_2} = \frac{Sin\phi_r}{Vs_1} \tag{1.11}$$

1.2. Sismik Zemin Parametreleri

1.2.1. Yoğunluk (ρ)

Yoğunluğun hesaplanabilmesi için P dalga hızının (V_p) bilinmesi yeterlidir ve P dalga hızı ile yoğunluk arasındaki ilişki Denklem (1.12) ile ifade edilmektedir. Burada P dalga hızı m/sn olarak alındığında, yoğunluk gr/cm^3 olarak elde edilir.

$$\rho = 0{,}31 V_p^{\,0{,}25} \tag{1.12}$$

1.2.2. Kayma modülü (μ)

Bir makaslama için gerilmenin deformasyona oranıdır ve rijidite veya makaslama modülü olarak da bilinir. Denklem (1.13) ile ifade edilir ve birimi kg/cm^2 dir.

$$\mu = \frac{\text{Makaslama gerilmesi}}{\text{Makaslama deformasyonu}} = \frac{\sigma_{xy}}{\varepsilon_{xy}} \tag{1.13}$$

Kayma modülü; yoğunluk ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanır ve Denklem (1.14) ile ifade edilir.

$$\mu = \frac{\rho V_s^2}{100} \tag{1.14}$$

1.2.3. Elastisite modülü (E)

Bir çekme veya sıkışma altında gerilmenin (stres) deformasyona (strain) oranıdır, Denklem (1.15) ile ifade edilir ve birimi kg/cm^2 dir. Burada gerilme (σ_{xx}) birim kesit alandaki kuvvet, deformasyon (ε_{xx}) ise birim uzunlukta meydana gelen uzama veya kısalmadır.

$$E = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Deformasyon}} = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{xx}} \tag{1.15}$$

Elastisite modülü; yoğunluk, P ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanır ve Denklem (1.16) ile ifade edilir.

$$E = \frac{\mu(3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \tag{1.16}$$

1.2.4. Poisson oranı (σ)

Enine birim değişmenin boyuna birim değişmeye oranıdır ve Denklem (1.17) ile ifade edilir. Poisson oranı 0 ile 0,5 arasında değerler alır. Çoğu elastik katı için değeri 0,25 civarındadır. Poisson oranı alüvyonlarda yüksek, volkanik ve magmatik kayaçlarda düşük değerler alır. Poisson oranı ile sıkılık arasındaki ilişki Tablo 1.3' de verilmiştir.

Tablo 1.3. Poisson oranı ile sıkılık arasındaki ilişki [9]

Poisson Oranı (σ)	Sıkılık
0-0,09	Sağlam Kaya
0,1-0,19	Katı
0,2-0,29	Sıkı-Katı
0,3-039	Gevşek
0,4-0,49	Çok Gevşek
0,5	Cıvık-sıvı

$$\sigma=\frac{\text{Enine birim değişme}}{\text{Boyuna birim değişme}}=\frac{-dv}{du} \tag{1.17}$$

Poisson oranı; P ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanır ve Denklem (1.18) ile ifade edilir.

$$\sigma=\frac{V_p^2-2V_s^2}{2(V_p^2-V_s^2)} \tag{1.18}$$

1.2.5. Sıkışmazlık modülü (k)

Bir hidrostatik basınç altında gerilmenin deformasyona oranıdır ve Bulk modülü olarak da bilinir. Denklem (1.19) ile ifade edilir ve birimi kg/cm^2 dir. Burada gerilme basınç, deformasyon ise hacimce değişme miktarıdır. Diğer bir deyişle sıkışmazlık modülü cismin hacim değişmesine karşı gösterdiği mukavemettir.

$$k=\frac{\text{Gerilme}}{\text{Deformasyon}}=\frac{\sigma_{xx}}{\boldsymbol{\varepsilon}_{xx}+\boldsymbol{\varepsilon}_{yy}+\boldsymbol{\varepsilon}_{zz}} \tag{1.19}$$

Sıkışmazlık modülü; yoğunluk, P ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanır ve Denklem (1.20) ile ifade edilir.

$$k=\frac{E}{3(1-2\sigma)} \tag{1.20}$$

1.2.6. Lame sabiti (λ)

X ekseni yönündeki gerilmenin z ekseni yönündeki deformasyona oranıdır ve Denklem (1.21) ile ifade edilir. Birimi kg/cm^2 dir.

$$\lambda=\frac{\sigma_{xx}}{\boldsymbol{\varepsilon}_{zz}} \tag{1.21}$$

Lame sabiti yoğunluk, P ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanır ve Denklem (1.22) ile ifade edilir.

$$\lambda=k-\frac{2\mu}{3} \tag{1.22}$$

1.2.7. Gözeneklilik (Ø)

Gözeneklilik kayaçların tane büyüklüğüne, şekline, tanelerin benzer boyutlarda oluşuna ve sıralanmasına, ara maddeyi oluşturan malzemenin çimentolanma derecesine bağlı olarak değişim gösteren bir özelliktir. Gözeneklilik, Denklem (1.23) kullanılarak hesaplanabilir [10].

$$\phi=-0{,}175 \ln V_p +1{,}56 \tag{1.23}$$

Gözeneklilik yüzde olarak ifade edilir ve bazı kayaçların gözeneklilik değerleri Tablo 1.4' de verilmiştir.

Tablo 1.4. Bazı kayaçların gözeneklilik değerleri [11]

Kayacın Cinsi	Gözeneklilik
Çakıl	30-40
Kaba ve İnce Kum Karışığı	30-40
Kalker	1-10
Kil	45-55
Killi Şist (Şeyl)	1-10
Kum ve Çakıl	20-35
Kumtaşı	10-20
Silt	40-50
Toprak	50-60

1.2.8. Zemin hakim titreşim periyodu (T_0)

Elastik bir ortamın rijit dairevi bir kısmının torsiyonal salınımında torsiyona uğrayan sütunun doğal frekansı Denklem (1.24) ile, periyotu ise Denklem (1.25) ile ifade edilir [12].

$$f_n=\frac{V_s}{4H} \tag{1.24}$$

$$T_0=\frac{4H}{V_s} \tag{1.25}$$

Denklem (1.25) tek tabakalı durum için geçerlidir. Zemin çok tabakadan oluşuyor ise Denklem (1.25), Denklem (1.26)' ya dönüşür [13]. Birimi saniyedir.

$$T_0 = \sum_{i=1}^{n} \frac{4H_i}{V_{s_i}} \tag{1.26}$$

1.2.9. Zemin taşıma gücü (q_u) ve zemin emniyet gerilmesi (q_s)

V_s dalga hızı ve bina temelinin özelliklerini kullanan ve Denklem (1.27) ile ifade edilen Krinitzsk bağıntısı esas alınarak, zeminin taşıma gücü için Denklem (1.28) ile ifade edilen yeni bir ampirik bağıntı elde edilmiştir [14].

$$P = 1 + 0{,}33\frac{D}{B} \tag{1.27}$$

Denklem (1.27)' de P, D ve B sırası ile birimsiz bir sabiti, temel derinliğini (m) ve temel genişliğini (m) göstermektedir.

$$q_u = \frac{PV_s}{200} \tag{1.28}$$

Zemin emniyet gerilmesi ise zemin taşıma gücü ve sismik hız oranı ile ilişkilidir ve Denklem (1.29) ile ifade edilir. Birimi kg/cm^2 dir.

$$q_s = \frac{q_u}{GS} \tag{1.29}$$

Denklem (1.29)' da GS, P dalgası hızının S dalgası hızına oranıdır.

1.2.10. Zemin oturması (S_z)

Zemin oturmalarının üç şekilde oluştuğu bilinmektedir. Bunlar ani oturma, konsolidasyon oturması ve plastik oturma olarak isimlendirilir. Ani oturma zeminde hacim değişmesi olmadan meydana gelen oturmadır. Konsolidasyon oturması, yük altında killi-siltli ve kumlu-taneli zemin içindeki suyun dışarı atılması ile meydana gelen düşey doğrultudaki deformasyondur. Plastik oturma ise iyi projelendirilmiş temellerde hesaba alınmaz [12].

Zemin oturması, zemin emniyet gerilmesi ve taşıma gücü parametreleri kullanılarak Denklem (1.30) ile hesaplanabilir. Yoğunluk, sismik hızlar ve elastisite modülüne

bağlı olarak Denklem (1.31) kullanılarak da hesaplanabilir. Denklem (1.31)' de sismik hızlar m/sn, yoğunluk gr/cm^3, elastisite modülü kg/cm^2 ve katman kalınlığı cm olarak alındığında zemin oturması cm olarak elde edilir.

$$S_z=H \cdot \left[\frac{q_u+q_s}{E}\right] \quad (1.30)$$

$$S_z=H \cdot \rho \left[\frac{V_p+V_s}{100E}\right] \quad (1.31)$$

1.2.11. Zemin büyütmesi (A)

Zemin büyütmesi yoğunluklar ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanabilir ve Denklem (1.32) ile ifade edilir.

$$A=\frac{2\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{s1}} \quad (1.32)$$

1.2.12. Basınç itki katsayısı (K_0)

Basınç itki katsayısı P dalga hızları ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanabilir. Basınç itki katsayısı ile poisson oranı arasındaki ilişki Denklem (1.33) kullanılarak hesaplanabilir.

$$K_0=\frac{\sigma}{1-\sigma} \quad (1.33)$$

1.2.13. Efektif içsel sürtünme açısı ($Ø_c$)

Efektif içsel sürtünme açısı P dalga hızları ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanabilir. Efektif içsel sürtünme açısı ile basınç itki katsayısı arasındaki ilişki Denklem (1.34) ile ifade edilir.

$$\phi_c=\sin^{-1}(1-K_0) \quad (1.34)$$

1.2.14. Toplam gerilmeler altında drenajsız içsel sürtünme açısı ($Ø_{cu}$)

Toplam gerilmeler altında drenajsız efektif içsel sürtünme açısı, P dalga hızları ve S dalga hızları kullanılarak hesaplanabilir. Toplam gerilmeler altında drenajsız efektif

içsel sürtünme açısı ile basınç itki katsayısı arasındaki ilişki Denklem (1.35) ile ifade edilir.

$$\phi_{cu} = \sin^{-1}\left(\frac{1-K_0}{1+K_0}\right) \quad (1.35)$$

1.2.15. Tek eksenli basınç dayanımı (σ_B)

Tek eksenli basınç dayanımı P dalga hızları kullanılarak Denklem (1.36) yardımıyla hesaplanabilir ve birimi Mpa' dır [9].

$$\sigma_B = 7{,}76 V_p^{\,3} 10^{-9} \quad (1.36)$$

1.2.16. Sismik hız oranı

Sismik hız oranı zeminin sıkılığının bir göstergesidir. Bu oran zeminin sıvılaşabilme potansiyeli ile ilgili bilgi vermektedir. Tablo 1.5' de sismik hız oranı ile sıkılık arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 1.5. Sismik hız oranı ile sıkılık arasındaki ilişki [9]

V_p / V_s	Sıkılık
1,41-1,50	Sağlam Kaya
1,50-1,71	Katı
1,71-1,87	Sıkı-Katı
1,87-2,49	Gevşek
2,49-∞	Çok Gevşek
∞	Cıvık-sıvı

1.3. Sismik Yöntemler

Sismik yöntemler, yüksek oranda doğruluk ve çözünürlüklü bilgi sunması ve oldukça derinden bilgi sağlaması nedeniyle çok önemli jeofizik yöntemlerden birisidir [15]. Sismik yöntemlerin başlıca uygulama alanlarından birisi petrol aramalarıdır ve sismik bilgi olmadan araştırma kuyularının açılmasına çok nadir rastlanır. Sismik yöntemler yeraltı suyu araştırmalarında da önemlidir. İnşaat mühendisliğinde özellikle büyük bina, köprü, karayolu ve limanların inşası ile bağlantı olarak temel kayanın derinliğinin ölçülmesinde tercih edilen yöntemlerin başında gelir. Sismik teknikler az da olsa yüksek ölçüde düzensiz farklı kayaç tipleri arasındaki arayüzlerde doğrudan mineral aramalarında uygulama alanına sahiptir. Ayrıca,

sismik yöntemler ağır minerallerin biriktiği gömülü kanallar gibi yapıları belirlemede faydalıdır.

Arama sismolojisi, deprem sismolojisinin bir ürünüdür. Bir deprem meydana geldiğinde yeraltı kırılır ve bu kırıkların her iki yanındaki kayaçlar birbiri ile göreceli olarak hareket eder. Bu tarz bir kırılma, kırık yüzeyinden dışarıya doğru yayılan sismik dalgaları oluşturur. Bu dalgalar sismograflar kullanılarak farklı yerlerde kayıt edilir. Sismologlar bu verileri kullanarak, içerisinden deprem dalgalarının yayıldığı kayaçların doğası hakkında bilgiler elde ederler.

Sismik arama yöntemleri, basitçe deprem sismolojisi ile aynı ölçüm tipini kullanır. Ancak, enerji kaynakları kontrol edilebilir ve konumu değiştirilebilir. Ayrıca kaynak ve kayıt noktaları arasındaki mesafe göreceli olarak daha küçüktür. Sismik dalgalar oluşturmak için patlayıcılar ve diğer enerji kaynakları kullanılır ve oluşan yer hareketini algılamak için sismometreler veya jeofonlar dizisi kullanılır. Bu veriler genellikle kayıt ünitelerine sayısal olarak kayıt edilir. Böylece önemli bilgileri ortaya çıkarmak, gürültü ile ilişkili olarak sinyalleri iyileştirmek ve yorumlama için verileri görüntülemek için bilgisayarlar kullanılabilir. Sismik aramanın temeli, kaynaktan bir dizi jeofona ulaşan dalgalar için gerekli zamanın ölçülmesine dayanır. Dalgaların hızı ve yolculuk zamanı bilgisinden, sismik dalgaların yolları yeniden oluşturulmaya çalışılır. Seyahat zamanı, tabakaların durumu ve kayaçların fiziksel özelliklerine bağlıdır. Sismik yöntemler, kaynaktan yayılan sismik dalgaların takip ettiği ışın yollarına göre Sismik Yansıma (refleksiyon) ve Sismik Kırılma (refraksiyon) olmak üzere ikiye ayrılır. Bunların haricinde son zamanlarda aynı fiziksel prensiplere dayalı olmak üzere Sismik Yüzey Dalgası Spektral Analiz Yöntemleri de kullanılmaktadır.

1.3.1. Sismik yansıma yöntemi

Sismik yansıma yöntemi, petrol ve doğal gaz araştırmalarında, kömür yatağı araştırmalarında, liman, karayolu, baraj ve büyük yapıların inşası ile ilgili temel kaya problemlerinin çözümünde, arkeolojik çalışmalarda ve kara ve denizde yer kabuğu araştırmalarında kullanılan bir yöntemdir.

Bir enerji kaynağından yayılan ışınlar yeraltındaki tabakalara ulaştığında yansır veya kırılır. Sismik yansıma yöntemi tabakalardan yansıyarak jeofonlara gelen dalgalar ile ilgilenir. Yani kaynaktan kritik açının dışında gelen dalgalar ile ilgilenir.

Arazi çalışmasındaki ilk adım, atış noktasında bir kuyu açılmasıdır. Bu kuyunun çapı 10 cm, derinliği ise 6 metre ile 30 metre arasında değişmektedir. 2-25 kg ağırlığındaki patlayıcı, bir elektrik patlatma başlığı (fünye) ile donatılır ve kuyunun tabanına yakın bir şekilde yerleştirilir. Yüzeyden başlığa iki kablo uzanır ve başlığa kablolar ile bir elektrik akımı göndermek için kullanılan bir patlayıcıya bağlıdırlar. Bu patlayıcı patlar ve ana patlayıcıyı patlatır. Kaynak noktaları genellikle, 50-400 metre arasında eşit aralıklarla dizilir. Kablolar kaynak noktasından uzağa doğru düz bir hat boyunca serilir. Sıklıkla 96 veya daha fazla jeofon grubu kullanılır. Patlayıcıdan gelen sismik dalgalar jeofonlara ulaştığında, her bir jeofon grubu yerin haraketine bağlı olarak bir sinyal üretir. Bu elektriksel sinyaller, istenmeyen sinyallerin filtrelenmesi ve genliklerinin yükseltilmesi için amplifikatörlere gider ve bu bilgi kaydedilir. Böylece çok sayıda izden oluşan bu kayıt, yerin hareketi hakkında bilgi sağlar [15]. Bu çalışma sismik yansıma yöntemine yönelik hazırlanmadığından dolayı yansıma yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmamıştır.

1.3.2. Sismik kırılma yöntemi

Sismik kırılma yöntemi, veri toplama ve değerlendirme süreci oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Yöntemin önemli özelliklerinden birisi, dalga yayınım hızının derinlik ile arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların hızları ve derinliklerinin yeterli bir doğrulukla bulunmasını sağlamasıdır. Sismik kırılma yöntemi, yeraltı suyu araştırmalarında, zemin etütlerinde, sismik tehlike araştırmalarında yatay ve düşey yöndeki her bir katman için sismik hızların saptanmasında, tabaka kalınlıklarının saptanmasında ve bu tabakalara ait dinamik özelliklerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Sismik kırılma yönteminde, araştırılmak istenen yapı ve derinlik göz önünde bulundurularak bir profil (sismik hat) boyunca jeofonlar yerleştirilir. Temel prensip, enerji kaynağından yayılan ve jeofonlara gelen dalgaların zamana karşı genliklerinin kayıt edilmesidir. Atış kaynağının profile uzaklığı (ofset), jeofon aralığı ve profil

boyu, yer altından alınacak bilgiyi doğrudan etkiler. Yeraltındaki tabakalar farklı elastik özelliklere sahiptir ve her bir tabakanın kendine özgü bir akustik empedansı vardır. Bu nedenle tabakalar içerisinde ilerleyen sismik dalgalar, bu tabaka sınırlarına ulaştıklarında kırılır ve yansırlar. Sismik kırılma yönteminde kayıt edilen dalgalar, bu tabaka sınırlarında kırılan dalgalardır. Sismik kırılma yönteminde, jeofonlara gelen sinyallerin ilk varış zamanları kullanılır. Dolayısı ile yöntemin başarısı, ilk varışların dikkatli ve doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. İlk varışlar belirlendikten sonraki aşama ise zaman-uzaklık grafiğinin çizilmesidir.

1.3.2.1. Öncü dalgalar (Baş dalgaları)

Yansıtıcı yüzeye kritik açı ile gelen dalgalar yüzey boyunca kırılarak yayılırlar ve bunlara öncü dalgalar denir. Şekil 1.8' de yansıtıcı yüzeye kritik açı ile gelen dalga ve kırılmadan sonra yüzey boyunca hareketi görülmektedir. Öncü dalgalar Şekil 1.8' deki AE' den küçük ofsetlerde gözlenemez. Bir başka deyişle öncü dalgalar, yansıtıcı yüzeye olan uzaklığın iki katından büyük ofsetlerde gözlenebilir.

1.3.2.2. Tek tabakalı ortamda kırılma

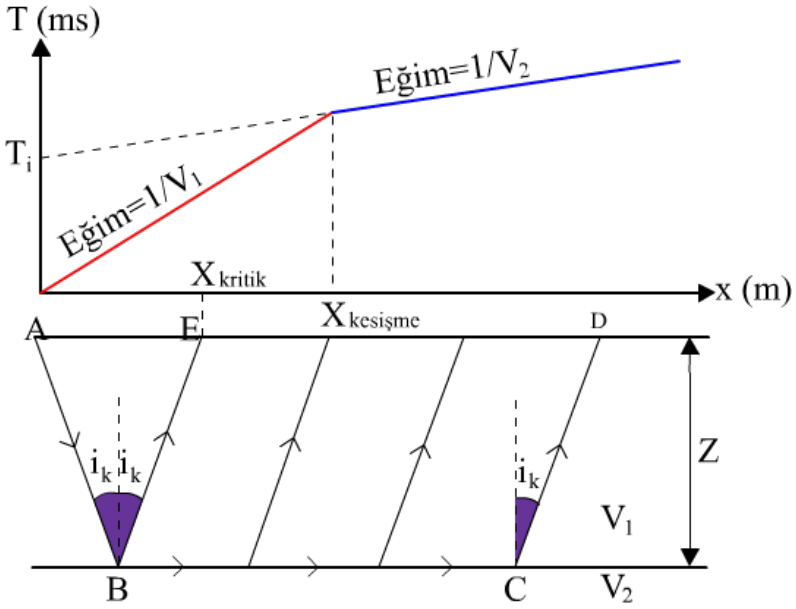
Atış noktasından yayılan dalganın çeşitli uzaklıklarda yerleştirilen jeofonlara varması ile, ilk dalgaların zamanlarına göre zaman-uzaklık grafikleri çizildiğinde, ilk doğru jeofonlara doğrudan gelen dalgaya aittir. İlk dalganın bir kısmı ikinci tabaka hızı ile hareket eder ve buda zaman uzaklık grafiğindeki ikinci doğru parçasıdır (Şekil 1.8).

Kırılan dalganın kat ettiği yol esnasındaki zaman T olmak üzere, ABCD kırılma yolu boyunca toplam zaman Denklem (1.37) ile ifade edilir.

$$T=\frac{AB}{V_1}+\frac{BC}{V_2}+\frac{CD}{V_1} \tag{1.37}$$

$$AB=CD=\frac{Z}{\cos i_k} \tag{1.38}$$

$$BC=X-2Z\tan i_k \tag{1.39}$$



Şekil 1.8. İki tabakalı bir ortam için ışın yolları ve zaman-uzaklık grafiği

$$\text{Sini}_k=\frac{V_1}{V_2},\ \cos i_k=\left[1-\frac{V_1^2}{V_2^2}\right]^{1/2},\ \tan i_k=\frac{V_1}{(V_2^2-V_1^2)^{1/2}} \tag{1.40}$$

Denklem (1.38), (1.39) ve (1.40) kullanıldığında, Denklem (1.37) Denklem (1.41)' e dönüşür.

$$T=\frac{X}{V_2}+\frac{2Z(V_2^2-V_1^2)^{1/2}}{V_1V_2} \tag{1.41}$$

Bu denlem zaman-uzaklık grafiğinde eğimi $1/V_2$ olan bir doğru denklemidir. Bu doğrunun T eksenini kestiği nokta Denklem (1.42) yardımıyla hesaplanabilir ve bu nokta kesme zamanı olarak isimlendirilir.

$$T_i=\frac{2Z(V_2^2-V_1^2)^{1/2}}{V_1V_2} \tag{1.42}$$

Derinlik kesme zamanı veya kesişme uzaklığı kullanılarak hesaplanabilir. Denklem (1.41) ve (1.42) yeniden düzenlendiğinde, Denklem (1.43) ve (1.44) elde edilir.

$$Z=\frac{X_{\text{kesişme}}}{2}\left[\frac{V_2-V_1}{V_2+V_1}\right]^{1/2} \tag{1.43}$$

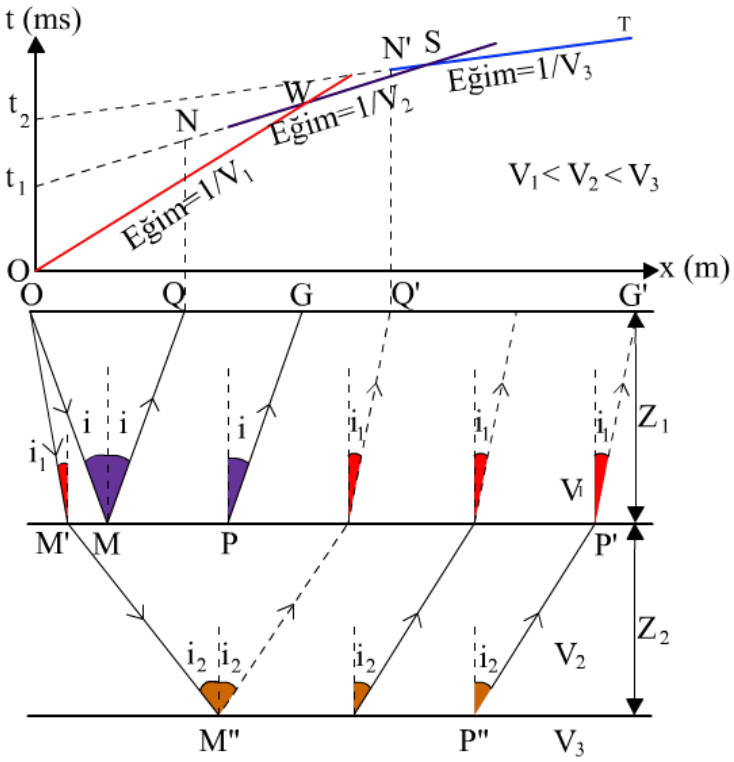
$$Z=\frac{T_i}{2}\frac{V_1V_2}{(V_2^2-V_1^2)^{1/2}} \tag{1.44}$$

1.3.2.3. Çok tabakalı ortamda kırılma

Şekil 1.9' da birbirine paralel uzanan hızları V_1, V_2 ve V_3 olan üç tabaka ve zaman-uzaklık grafikleri görülmektedir. Burada OMPG kırılması WS doğrusuna karşılık gelmektedir. Snell yasasına göre Denklem (1.45) elde edilir.

$$\frac{\sin i_1}{V_1}+\frac{\sin i_2}{V_2}+\frac{\sin i_3}{V_3} \tag{1.45}$$

ST için seyahat zamanı Denklem (1.46) ile ifade edilebilir.



Şekil 1.9. Çok tabakalı ortam için ışın yolları ve zaman-uzaklık grafiği

$$t=\frac{X}{V_3}+\frac{2Z_2}{V_2}\cos i_2+\frac{2Z_1}{V_1}\cos i_1 \tag{1.46}$$

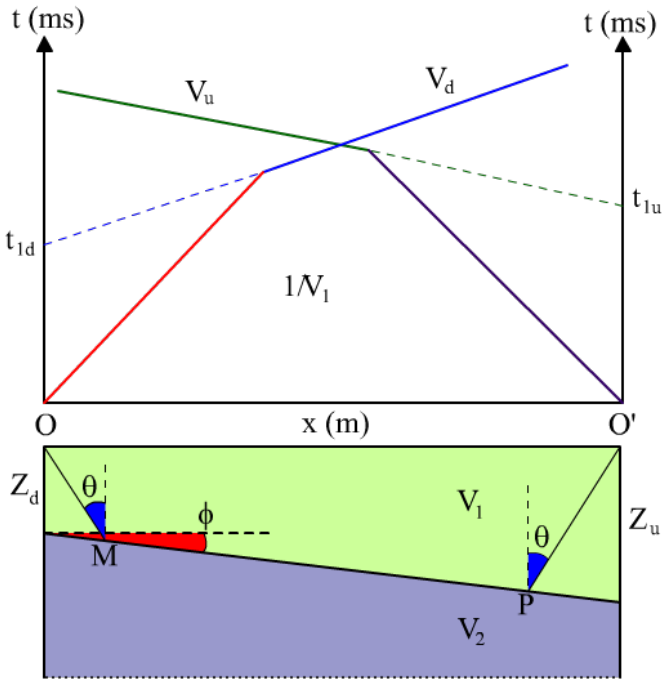
İki tabakalı durum n tabaka için genelleştirildiğinde ise Denklem (1.47) elde edilir. Denklem (1.47)' daki i_j açıları ise Denklem (1.48) kullanılarak hesaplanabilir.

$$t=\frac{X}{V_n}+\sum_{j=1}^{n}\frac{2Z_j}{V_j}\cos i_j \tag{1.47}$$

$$i_j = \sin^{-1}\left(\frac{V_j}{V_n}\right) \quad (1.48)$$

1.3.2.4. Eğimli bir ortamda kırılma

Şekil 1.10' da eğimli bir tabaka ve bu tabakadan kırılmış dalgaların zaman-uzaklık grafikleri görülmektedir. Dalganın OMPO' yolunu alması için geçen zaman (t) Denklem (1.49) kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 1.10. Eğimli tabakalı ortam için zaman-uzaklık grafiği

$$t = \frac{x\cos\phi}{V_2} + \frac{Z_d + Z_u}{V_1}\cos\theta \quad (1.49)$$

Denklem (1.49), aşağı eğim yönünde atış yapıldığında Denklem (1.50)' ye, yukarı eğim yönünde atış yapıldığında ise Denklem (1.51)' e dönüşür.

$$t_{1d} = \frac{2Z_d}{V_1}\cos\theta \quad (1.50)$$

$$t_{1u} = \frac{2Z_u}{V_1}\cos\theta \quad (1.51)$$

Kritik açı ve eğim açısı ise sırası ile Denklem (1.52) ve (1.53) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\theta=\frac{1}{2}\left[\sin^{-1}\frac{V_1}{V_d}+\sin^{-1}\frac{V_1}{V_u}\right] \quad (1.52)$$

$$\phi=\frac{1}{2}\left[\sin^{-1}\frac{V_1}{V_d}-\sin^{-1}\frac{V_1}{V_u}\right] \quad (1.53)$$

1.3.2.5. En küçük kareler yöntemi

Sismik kırılma yönteminde zaman-uzaklık grafiği çizilirken, jeofon ofsetlerine bağlı olarak P dalgası ilk varışları belirlenmesi gerekir. Bu verileri birleştiren doğru parçasının eğimi katmandaki P dalgası hızı ile orantılıdır. Sismogramda ilk varışların okunması esnasında meydana gelen hatalar nedeniyle, bu veriler her zaman anlamlı bir fonksiyon ile ifade edilemezler. Bu nedenle bu verileri içeren anlamlı fonksiyonların belirlenmesi gerekir. Bilinen değerlerden fonksiyonun kendisini veya kendisine en yakın fonksiyonun elde edilmesi işlemi eğri uydurma (curve fitting) olarak isimlendirilir. Eğri uydurma işlemi için kullanılan yöntemlerin başında en küçük kareler veya enterpolasyon yöntemleri gelmektedir.

En küçük kareler yönteminin esası, uydurulan yaklaşık fonksiyonun değerleri ile gerçek fonksiyonun değerlerinin farklarının kareleri toplamının minimum olmasıdır.

Bu tez kapsamında zaman-uzaklık grafikleri çizdirilirken, verileri en iyi temsil eden doğru parçalarını belirlemek amacıyla, birinci dereceden polinom uydurma yöntemi kullanılmıştır.

Sismogramdan elde edilen P dalgası ilk varışlarına bağlı olarak öncelikle kullanıcının katmanları belirlemesi beklenir. Belirlenen her bir katmanı temsil eden n adet nokta değeri (x_i, y_i) için en uygun birinci dereceden fonksiyon Denklem (1.54) ile verilmiştir.

$$g(x)=a_1+a_2x \quad (1.54)$$

Bu durumda hata fonksiyonu Denklem (1.55) ile ifade edilir.

$$H(a_1,a_2)=\sum_{i=1}^{n}\left[a_1+a_2x_i-y_i\right]^2 \quad (1.55)$$

Denklem (1.55)' deki fonksiyonun minimum olabilmesi için 1. dereceden türevinin sıfıra eşit olması gerekir ve bu durum Denklem (1.56) ile ifade edilir.

$$\frac{\partial H(a_1,a_2)}{\partial a_i}=0, \quad i=1,2 \tag{1.56}$$

Denklem (1.56)' da a_1 ve a_2 ye göre kısmi türevler alınıp sıfıra eşitlenir ve elde edilen denklemler yeniden düzenlenirse Denklem (1.57) elde edilir.

$$\left.\begin{aligned} na_1+a_2\textstyle\sum_{i=1}^{n} x_i&=\sum_{i=1}^{n} y_i \\ a_1\textstyle\sum_{i=1}^{n} x_i+a_2\sum_{i=1}^{n} x_i^2&=\sum_{i=1}^{n} x_i y_i \end{aligned}\right\} \tag{1.57}$$

Denklem (1.57) ile verilen sistemin Kramer yöntemi kullanılarak çözümlenmesiyle, Denklem (1.58)' de verilen X1, X2, XY ve Y1 olarak isimlendirilmiş katsayılar kullanılarak Denklem (1.59)' da verilen ve fonksiyonun katsayıları olan a_1 ve a_2 katsayıları hesaplanabilir.

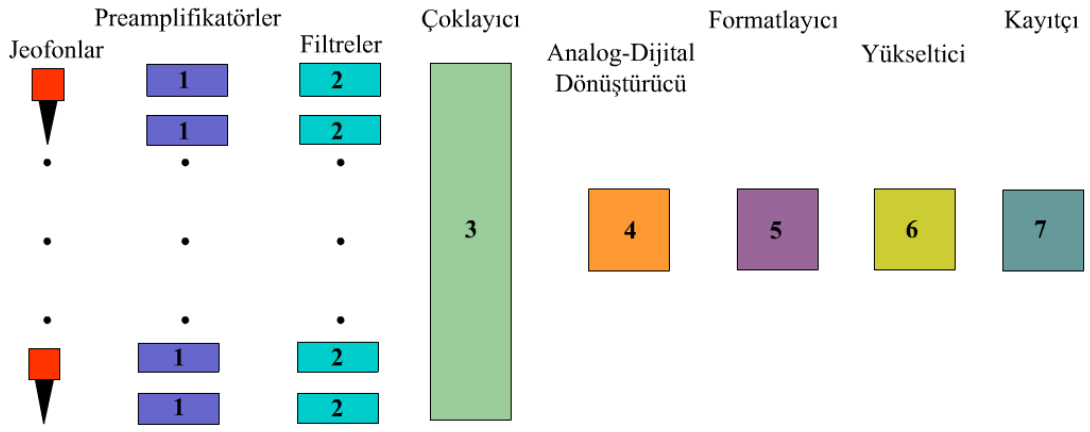
$$X1=\sum_{i=1}^{n} x_i \ , \ X2=\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \ , \ XY=\sum_{i=1}^{n} x_i y_i \ , \ Y1=\sum_{i=1}^{n} y_i \tag{1.58}$$

$$a_1=\frac{Y1.X2-X1.XY}{n.X2-X1^2} \ , \ a_2=\frac{N.XY-X1.Y1}{n.X2-X1^2} \tag{1.59}$$

2. SİSMİK KAYIT SİSTEMLERİ

Son 15 yılda eski analog cihazlar yerlerini tamamen dijital teknolojiye dayalı cihazlara bırakmıştır. Maliyetlerinin yüksek olması, sarf malzemeleri gerektirmeleri ve bilgisayar veri işlem ve analizleri ile uyumsuz olmaları analog cihazların dezavantajlarından bazıları olarak sayılmaktadır. Bu cihazlar bazı eski sismoloji istasyonlarında ve ağ merkezlerinde hala kullanılmalarına rağmen artık üretimleri yapılmamaktadır. Dijital sinyal işlemede, veri depolama tekniklerinde ve son derece entegre dijital devrelerdeki teknolojik ilerlemeler, gelişmiş özelliklerinin yanı sıra bir sismik kayıt cihazının temel fonksiyonlarını yerine getiren çok sayıda cihazın piyasada yerini almasını sağlamıştır.

Modern sismik kayıt sistemleri amplifikatörler, filtreler vb. gibi elektronik sistemlerin bir bileşimidir. Bu sistemlerde genel amaç, jeofonlar ile algılanan analog elektriksel sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi ve bir veri depolama birimine kayıt edilmesidir.



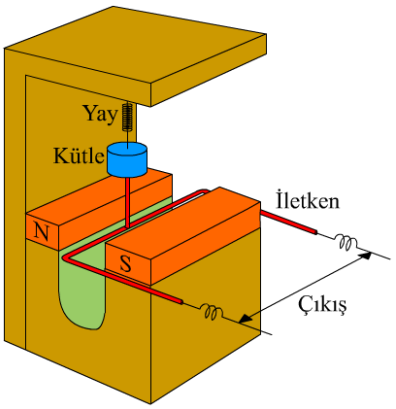
Şekil 2.1. Bir sismik kayıt sisteminin özet niteliğindeki şematik gösterimi

Bir kayıt sistemi genel olarak Şekil 2.1' de verilen bileşenlerden oluşur. Bu sistemlerde ilk aşama birçok kanal için tasarlanmış preamplifikatörler ve analog filtrelerdir. Sonraki aşama birden fazla analog veya sayısal veri kaynağından birini seçerek, o kaynağı çıktı olarak bir kanala ileten ve çoklayıcı (multiplexer) olarak bilinen sistemdir. Sonraki aşama verileri örneklemek için kullanılan analog dijital

dönüştürücüdür. Bu sayede analog veri belirlenen örnekleme aralığında bir diziye dönüştürülür. Son olarak elde edilen dijital verilere kazanç uygulandıktan sonra bir veri depolama birimine kayıt etme işlemi gelir.

2.1. Jeofonlar

Yeraltından yüzeye varan sismik dalgalar jeofonlar ile algılanır ve sıklıkla sismometre veya detektör olarak ta isimlendirilir. Geçmişte birçok tip jeofon kullanılmasına rağmen, günümüzde elektromanyetik tip jeofonlar kullanılmaktadır. Şekil 2.2' de bir elektromanyetik tip jeofonun şematik gösterimi görülmektedir. Bu yuva, merkez güney kutbu dış dairesel kuzey kutbundan ayırır. Kalıcı mıknatıs bir yay ile asılı durumdadır ve yerin hareketine karşı göreceli olarak hareket eder.



Şekil 2.2. Elektromanyetik jeofonun şematik gösterimi [16]

Jeofonların, kütle ve askı yayındaki geri çekme kuvvetine bağlı olarak bir doğal periyodu vardır. Bir elektromanyetik jeofonda doğal periyod (T) ve frekans (f), asılı mıknatısın veya yayın kütlesi (m) ve yayın sertlik katsayısına (k) bağlıdır ve sırası ile Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) ile ifade edilirler.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{2.1}$$

$$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \tag{2.2}$$

Gerçek yer hareketi y(t) ve bobin ile mıknatıs arasındaki göreceli yer hareketi ise x(t) olmak üzere, bir jeofonun çıkış voltajı Denklem (2.3) ile ifade edilir.

$$E(t)=G\frac{dx}{dt} \tag{2.3}$$

Denklem (2.3)' de, G hakiki voltaj hassasiyetini gösterir ve Denklem (2.4) ile ifade edilir.

$$G=2\pi RNB \tag{2.4}$$

Denklem (2.4)' de N sarım sayısı, R bobinin yarıçapı ve B manyetik akı yoğunluğudur.

Bir jeofon sisteminde sönüm çok küçük olduğunda herhangi bir hareket askı yayında ve bobinde salınıma neden olacaktır. Böylece çıkış sinyali belirli bir frekansta uzun zaman salınım yapacaktır. Bunun için uygun bir sönüm uygulanarak jeofon tepkisi rezonans frekansın üzerindeki bütün frekanslar için eşit yapılır.

Jeofon bobini ve askı yayları, yansıma çalışması için 4-15 Hz, kırılma çalışması için ise 1-10 Hz arasındaki doğal frekans bandında salınım yaparlar. Yer hareketi sona erdikten sonra bobinin salınım hareketi yapmaya devam etmemesi için, bobin bir metal üzerine sarılmıştır ve manyetik alanda hareketin aksi istikametinde Eddy akımları gönderilmektedir. Modern yüksek duyarlılıklı jeofonlar, yerin 1 cm/sn lik hızı için 0,5 V - 0,7 V luk bir çıkışa sahiptir.

Jeofon sisteminde asılı kütle m, yayın sertlik katsayısı k ve sönüm h olmak üzere, denge durumunda u kadar yer değiştirmenin diferansiyel denklemi Denklem (2.5) ile ifade edilir.

$$m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+R\frac{\partial u}{\partial t}+ku=F_0 \sin 2\pi ft \tag{2.5}$$

Denklem (2.5)' de R oran sabiti, F_0 dıştan uygulanan kuvvet ve f salınım frekansını göstermektedir. Denklem (2.5) ile verilen diferansiyel denklemin çözümü Denklem (2.6) ile ifade edilir.

$$U=\frac{F_0}{2\pi f\sqrt{R^2+(2\pi fm-\frac{k}{2\pi f})^2}}\sin(2\pi ft-Ø) \tag{2.6}$$

Denklem (2.6)' da Ø, f frekansı için giriş ve çıkış arasındaki faz farkıdır ve Denklem (2.7) ile ifade edilir.

$$Ø=\tan^{-1}\frac{2\pi fm-\frac{k}{2\pi f}}{R} \tag{2.7}$$

Elektromanyetik bir jeofonun çıkışı bobin hızı ile orantılıdır ve Denklem (2.8) ile ifade edilir.

$$V=\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{F_0}{\sqrt{R^2+\left(2\pi fm-\frac{k}{2\pi f}\right)^2}}\cos\left(2\pi ft-Ø\right) \tag{2.8}$$

S dalgaları almak için kullanılan S dalga jeofonu, yüzey gürültülerini ölçmek ve kuyularda ölçü almak için kullanılan 3 bileşenli jeofonlar, kuyu üstü (up-hole) zamanını ölçmek için kuyu üstüne veya yakınına yerleştirilen up-hole jeofonları gibi özel amaçlar için kullanılan jeofonlar mevcuttur.

2.2. Sensörler ve Analog Sinyal Karşılama Birimi

Bir sismik sensör, sismik kayıt ünitesinde ilk olarak analog sinyalleri karşılayan bir birime bağlıdır. Analog sinyalin doğru bir şekilde kayıt edilebilmesi yalnızca doğru kablolama ve polariteye bağlı değildir. Aynı zamanda kullanılan sensör tipinin gücüne de bağlıdır. Pasif elektrodinamik sensörler kullanıldığında, kayıt sisteminin empedansı, sensörün frekansını ve duyarlılığını etkiler. Sensörün yanıt fonksiyonu kullanılan kayıt cihazının giriş empedansı için doğru olmalıdır. Bu tip bir sensör kullanıldığında, uzun kablolama gereksiniminden dolayı kayıt cihazına sensörü bağlamak için kullanılan kablonun kapasitesi ve direnci hakkında da fikir sahibi olunması gerekmektedir. Geniş band sensörleri gibi aktif sensörler için, giriş empedansının etkisi ihmal edilebilir. Çünkü, bu tip sensörlerin karakteristiklerini etkilemez. Ancak, uzun kablolar, gürültünün artmasına neden olabilir. Genellikle, bu tip gürültüleri azaltmak için, kısa korumalı kablolar, tek ortak bir analog toprak ve yüksek kaliteli konnektörler kullanılır. Ayrıca bir kayıt cihazında analog sinyalleri

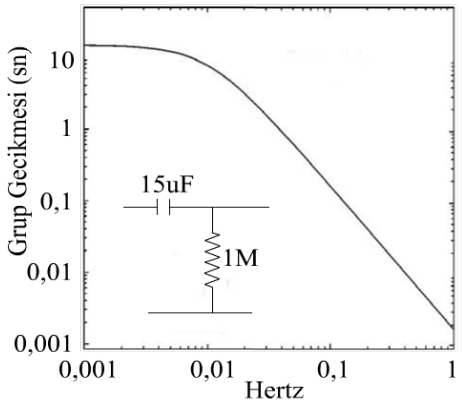
karşılayan birim, yüksek elektrostatik voltajlara karşı cihazın korunmasından da sorumludur.

2.3. Preamplifikatörler

Bir sismik kayıt cihazında, analog sinyal karşılama biriminden sonraki adım ön yükselticilerdir. Bir preamplifikatör, amplitüd ve lineerlik, düşük gürültü, aşırı yüklenmeden hızlı kurtulma, sinyali bastırma ve düşük güç tüketimi gibi özelliklere sahip olmalıdır. Gerçekte düşük gürültü ve düşük güç tüketimi arasında bir tercih söz konusu olmaktadır ve tasarımcı bu konuda bir karar vermek zorundadır. Her durumda, analog sinyal karşılama birimi tarafından oluşturulan gürültü, analog dijital dönüşüm aşamasındaki en az önemli bitten belirgin bir şekilde daha düşük olmalıdır. Diğer gereksinimler kritik rol oynamazlar fakat çok kanallı sistemlerde dikkat edilmesi gereklidir. Analog sinyal hazırlama bölümünün tamamı aynıdır. Böylece, aynı yanıt ve örnekleme, her bir kanal için eş zamanlı olarak yapılmalıdır.

2.4. Analog Filtreler

Bazı kayıtçılar, ölçülen sinyalden uzun süreli driftleri ve DC ofseti yok etmek için yüksek geçişli filtreleri tercih ederler. Bu filtreler aynı zamanda sistemin spesifik tasarımı ve elektronik bileşenler ile ilişkili sıcaklık ve yaşlanma problemlerini maskelemek için de tercih edilir. Kullanıcıların bu filtreleri etkinleştirmeyi isteyip istemediklerine karar verebilmeleri gerekmektedir. Şekil 2.3' de zaman sabiti yaklaşık olarak 15 saniye olan bir pasif yüksek geçişli filtrenin grup gecikmesi görülmektedir [17].



Şekil 2.3. Pasif bir yüksek geçişli filtrenin grup gecikmesi

Bu örnekte, örnekleme frekansı 100 Hz olarak kabul edildiğinde, yaklaşık 3 saniye periyotlu sinyaller yaklaşık 1 örnek kadar geciktirilir. Yüksek periyotlar için, durum daha da kötü olur ve geniş bant sensörlerinden sinyalleri kayıt etmek için yüksek geçişli filtrenin aktif edilmesi kabul edilemez.

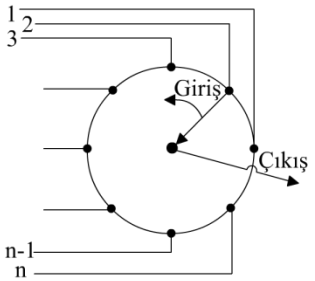
Analog sinyallerde kullanılan bir diğer filtre tipi alçak geçişli filtrelerdir. Analog sinyal sayısallaştırılmadan önce, anti-aliasing filtre olarak da hizmet veren alçak geçişli filtrelerden geçirilmelidir. Bu filtre yüksek frekanslara karşı sinyalin frekans içeriğini sınırlar.

2.5. Kazanç Kontrol Amplifikatörü

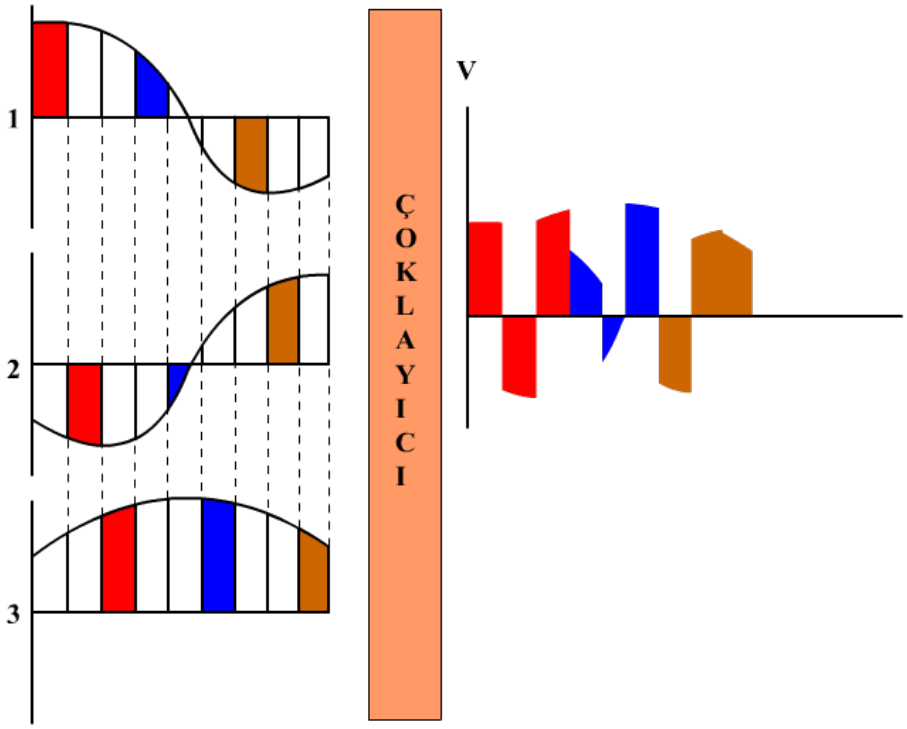
Amplifikatör olmaksızın bir jeofonun çıkışından elde edilen sinyallerin genlikleri çok zayıftır. Bir jeofon çıkışının işe yarar çıkış voltaj değeri, 1 Volt' un onda birinden 1 μV' a kadar uzanan bir aralık olarak kabul edilir. Zayıf sinyaller ise sistem gürültüsü içerisinde kayıp olurlar. İlk zamanlar, sabit kazançlı amplifikatörler kullanılmaktaydı ve günümüzde yüksek dinamik aralığa sahip olacak şekilde halen daha kullanılmaktadırlar.

2.6. Çoklayıcı (Multiplexer)

Bir çoklayıcı, çok sayıda girişi ve tek çıkışı olan bir elektronik cihazdır [18]. Diğer bir deyişle, birden fazla girişten tek bir çıkış sağlayan bir anahtar görevi görmektedir. Bu cihaz, uzun bir sismik izde her bir kanalın analog yanıtlarını yerleştirmek için kullanılır ve şematik gösterimi Şekil 2.4' de görülmektedir. Prensip olarak seçici sabit bir hızla dönerek, 1, 2, 3, ..., n-1, n girişlerini birbiri ardına çıkışa bağlar. Çoklayıcı öncesi ve sonrasında verinin durumu Şekil 2.5' de görülmektedir.



Şekil 2.4. Çoklayıcı operasyon modu [18]



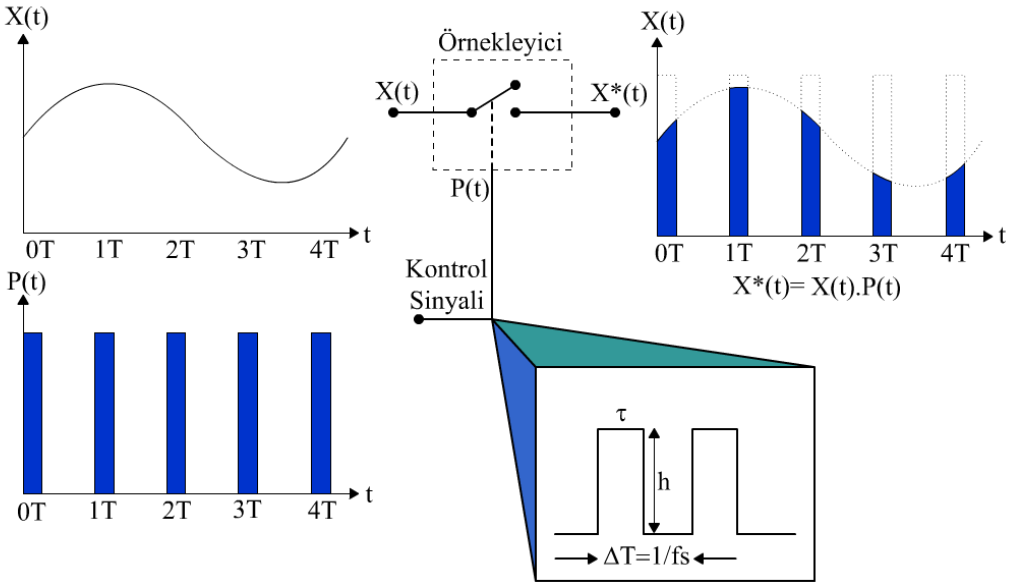
Şekil 2.5. Çoklayıcı operasyonu öncesi ve sonrasındaki veri [18]

2.7. Analog Dijital Dönüşüm

Sürekli bir analog sinyalin bir dijital zaman serisine dönüşümü zaman ve amplitüdle ilişkili bir nicelemeye dayanır. Bu nedenle, bu iki operasyon tarafından tanıtılan etkileri ve sınırlamaları anlamak gereklidir. Filtreleme sonrası, analog sinyal örneklenir ve dijital değerlere dönüştürülür. Dijital sinyal sonlu uzunluktaki dijital değerlerden oluştuğunda dolayı, sürekli bir sinyal temsil ederken, bu dönüşüm adımı niceleme hatalarına neden olabilir. Bu nedenle örnekleme aralığının seçimi konusuna dikkat edilmelidir.

2.7.1. Örnekleme teoremi

Örnekleme teoremi bir analog sinyal üzerinde ayrık zamanlarda nicelemenin etkisini tanımlar [17]. Şekil 2.6' da belirli bir zaman için periyodik olarak kapalı olan bir anahtar ile verilmiş basit bir model görülmektedir. Şekil 2.6' daki sistem ilk bakışta basit bir gösterim olarak görünse de, sistem aslında iki sinyali çarpma performansına sahip bir modülatördür.



Şekil 2.6. Örnek bir cihazın kontrol, giriş ve çıkış sinyali arasındaki ilişki [17]

Şekil 2.6' daki çıkış sinyali, giriş sinyali ile çarpılmış anahtarın kontrol sinyalidir. Kontrol sinyali impulsların bir katarıdır ve periyodiktir. Bu nedenle Denklem (2.9) ile verilen bir Fourier Serisi olarak ifade edilebilir.

$$P(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty} h\frac{\tau}{\Delta T}\frac{\sin(\pi n f_s \tau)}{\pi n f_s \tau} e^{i2\pi n f_s \tau} \qquad (2.9)$$

Denklem (2.9)' da $\sin(\pi n f_s \tau)/ \pi n f_s \tau$, n. katarın impuls yanıtının Fourier dönüşümüdür. Örnekleyiciye ideal bir cihaz olarak bakıldığında, τ sıfıra yaklaşır ve bu nedenle Denklem (2.10) ile verilen eşitlik gerçeklenir ve Dirac impulsu olarak isimlendirilir.

$$P(t)=\lim_{\tau\to 0}\frac{\sin(\pi n f_s \tau)}{\pi n f_s \tau}=1 \qquad (2.10)$$

Tek bir impulsun enerjisi A=h. τ ile verilir. Böylece çıkış sinyali Denklem (2.11) ile ifade edilir.

$$X^*(t)=X(t).P(t)=X(t).\frac{A}{\Delta T}\sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{i2\pi n f_s \tau} \qquad (2.11)$$

Kontrol sinyalinin periyodik karakterinden dolayı, f_s örnekleme frekansı ile her biri diğerinden ayrılmış sonsuz sayıda impuls yanıtları elde ederiz. Bu, ölçülmüş sinyalin frekans içeriğini değiştirir ve giriş ve çıkış sinyallerinin spektrumları artık aynı

değildir. X*(t)' nin Fourier dönüşümü Denklem (2.12), (2.13) veya (2.14) ile ifade edilir.

$$X^*(f)=\frac{A}{\Delta T}\int_{-\infty}^{\infty}(X(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty}e^{i2\pi nf_s t})e^{-i2\pi nf_s t}\,dt \tag{2.12}$$

$$X^*(f)=\frac{A}{\Delta T}\sum_{n=-\infty}^{\infty}X(f-nf_s) \tag{2.13}$$

$$X^*(f)=\frac{A}{\Delta T}\sum_{n=-\infty}^{\infty}X(f-\frac{n}{T_s}) \tag{2.14}$$

Denklem (2.14)' den görülebileceği gibi, örneklenmiş işaretin spektrumu, özgün işaretin spektrumunun 1/Ts ile periyodikleşmiş halidir. Burada Ts art arda gelen iki örneğin arasındaki süre, yani örnekleme periyodu, fs ise örnekleme frekansıdır. Örneklenen işaretin temel bant bir işaret olduğu düşünülürse, bant genişliği en yüksek frekanslı bileşeni tarafından belirlenir. Örneklenen işaretin en yüksek frekanslı bileşeni fc olmak üzere, periyodikleşmiş spektrumda art arda gelen 2 periyodun örtüşmemesi için örnekleme frekansının fc ' nin iki katından büyük olması gerekir. Bu kurala Nyquist Kriteri adı verilir ve Denklem (2.15) ile ifade edilir.

$$f_s \geq 2f_c \tag{2.15}$$

2.8. Analog Dijital Dönüştürücü (ADC)

Jeofonlar ile algılanan analog sismik sinyallerin, dijital kayıtçılara kayıt edilebilmesi için sayısallaştırma işleminin yapılması gerekir. Bu işlem için analog-dijital dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bir analog-dijital dönüştürücünün yaptığı iş aslında bir referans voltajı ile kapasitör voltajını karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırmanın sonucu bir dizi pulstur ve sonuçta örnekleme aralığında giriş sinyalinin voltaj değerini ve polaritesini verir.

Günümüzde kullanılan analog-dijital dönüştürücüler 8, 10, 12, 16 ve 24 bit gibi çözünürlüklere sahip olmasına karşın, sismik uygulamalar için yüksek çözünürlüklü analog-dijital dönüştürücüler tercih edilmektedir.

2.9. Formatlayıcı

Analog-dijital dönüşüm sonrası elde edilen bitlerin, bayt veya kelime gibi belirli bir formata dönüştürülmesi gerekir. Bu sayede veriler bir bilgisayarda anlamlı olacak şekilde görüntülenebilmektedir.

3. SİSTEM MİMARİSİ VE ELEKTRONİK DETAYLAR

Tez kapsamında tasarlanan sistem, harici donanım bölümü ve yazılım olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Sistem 13 kanallı bir sismik kayıt ünitesi özelliği taşımaktadır. Tasarlanan sistem bilgisayar destekli olarak tasarlanmış bir sistemdir ve farklı ölçüm tekniklerinin kullanılmasına olanak tanır. Harici donanım basit elektronik bileşenler ve entegreler kullanılarak dizayn edilmiştir. Donanım genel hatları ile, preamplifikatör, alçak geçişli filtre, kademeli kazanç kontrol ünitesi, yüksek geçişli filtre, ofset devresi, kırpıcı devre ve mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Şekil 3.1' de sistemin şematik görünümü görülmektedir.

Harici donanımı kontrol etmek ve analog sismik sinyalleri gerçek zamanlı kayıt etmek için Windows işletim sistemi tabanlı bir grafiksel kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir ve bu yazılım tasarlanan sistemin en önemli kısmını teşkil etmektedir. Harici donanım ile bilgisayar arasındaki veri transferi USB iletişim tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

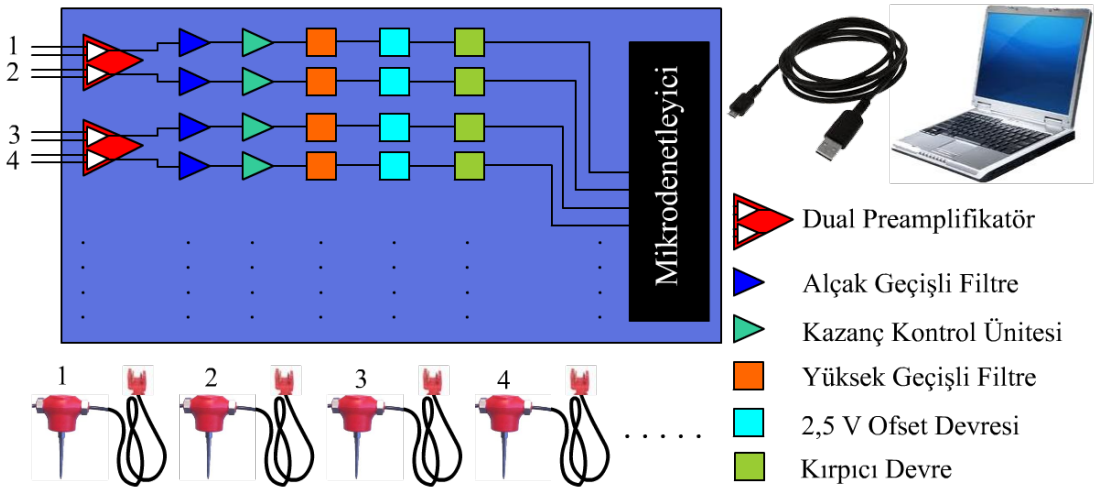
Sistem tasarlanırken, düşük maliyetli olması, bunun yanında çok fonksiyonlu ve pratik bir kullanıma sahip olması amaçlanmıştır.

Geliştirilen sistem ile kanal girişlerine bağlı olan jeofonların test işlemi yapılabilmekte ve sinyaller gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Deprem monitörü olarak kullanılabilmesi sistemin bir diğer özelliğidir. Sistem, sismik kırılma çalışması yapılmasına olanak sağlamakta ve aynı zamanda zaman-uzaklık grafiklerini otomatik olarak yorumlayabilmektedir. Son olarak sürekli kayıt desteği de sistemin bir diğer özelliğidir.

3.1. Preamplifikatör

Jeofonların çıkışı pozitif ve negatif olmak üzere iki kutuptan oluşmaktadır. Temel olarak ölçülmeye çalışılan değer, bu iki kutup arasındaki voltaj farkıdır. Bu işlem

için bir fark yükselteci kullanmak gerekir ki elektronikte bu işlem için operasyonel amplifikatörler kullanılır ve kısaca OPAMP olarak bilinirler.



Şekil 3.1. Tasarlanan sismik kayıt ünitesinin şematik görüntüsü

3.1.1. Genel amplifikatör özellikleri

Elektronik sistemlerde işlenecek sinyaller genellikle düşük genlikli zayıf sinyallerdir. Elektronik sistemlerde ise yeterli derecede yükseltilmiş sinyallere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu düşük genlikli sinyallerin kuvvetlendirilmesi amacıyla, amplifikatör devreler kullanılmaktadır. Bir amplifikatör, girişindeki küçük elektriksel sinyalleri, kaynaktan aldığı enerjiyi de kullanarak, devresindeki aktif devre elemanları yardımıyla, çıkışına yükseltilmiş olarak aktarır.

Amplifikatörler, çalışma şekillerine göre, kullanım şekillerine göre, bağlantı şekillerine göre, frekans durumuna göre, yükün rezonans durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Bu özellikler baz alınarak, amplifikatörler düşük frekans, ses frekans, ultrasonik, radyo frekans, geniş band, video, enstrümentasyon, küçük ve büyük sinyal amplifikatörleri olarak çeşitlendirilebilir.

3.1.1.1. Giriş empedansı

Birden fazla elektronik devre art arda bağlandığında, kaynak devrenin çıkışından, alıcı devrenin girişine doğru bir akım akışı olur. Bu akım, kaynak devrenin çıkış empedansı ve alıcı devrenin giriş empandansına bağlıdır. Giriş empedansı, bir devrenin kendinden önceki devrenin çıkış akımına karşı göstereceği dirençtir.

Düşük giriş empedansına sahip bir devre, kendisine sinyal sağlayan devreden fazla akım çekecektir. Bu durum önceki devrenin yeteri kadar akım verebilmesini gerektirir.

Yüksek giriş empedansına sahip bir devre, kendinden önceki devreden az miktarda akım çekecektir. Böylece önceki devrenin aşırı yüklenmesine ve sinyal bozulmalarına neden olmayacaktır.

3.1.1.2. Çıkış empedansı

Bir devrenin çıkış empedansı, devrenin çıkışından çekeceği akım miktarıdır. Çıkış empedansı aynı zamanda, bir devrenin çıkış terminali ile toprak arasındaki empedans olarak ta tarif edilebilir.

İdeal bir sistemde, kaynak devrenin çıkış empedansı ile yük devresinin giriş empedansının uyumlu olması istenir. Ancak bu sayede maksimum enerji çekilebilecektir. Aksi durumda, çalışma frekansında kayma, osilasyonun durması veya kazançta değişme gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

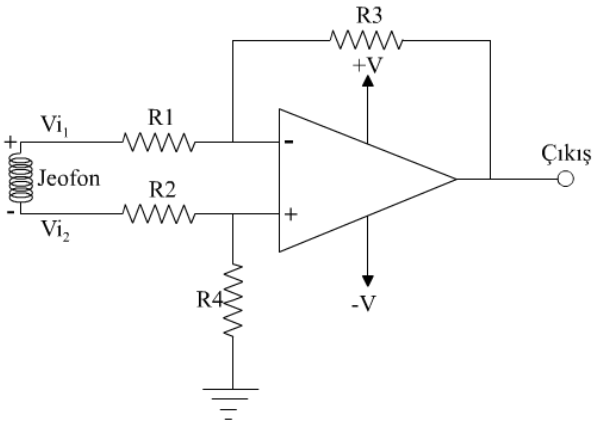
3.1.1.3. Diferansiyel amplifikatör

Diferansiyel amplifikatörler, operasyonel amplifikatörlerin giriş devresindeki en önemli parçasıdır ve çok çeşitli uygulamalarda kullanılan özel bir devre türüdür. Şekil 3.2' de simetrik beslemeli ve iki girişli bir diferansiyel amplifikatör devresi görülmektedir. Bu devrelere diferansiyel amplifikatörü denmesinin nedeni, girişlerine uygulanan iki sinyalin farkı ile orantılı olacak şekilde bir çıkış sinyali üretmesinden dolayıdır. Bu devreler, tek bir güç kaynağı ile beslenebileceği gibi, pozitif ve negatif gerilim sağlayabilen simetrik güç kaynakları ile de beslenebilir.

Şekil 3.2' de verilen devrede R1=R2 ve R3=R4 olarak seçildiğinde, devrenin kazancı Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Çıkış voltajı} = \frac{R3}{R1}(Vi_2 - Vi_1) \qquad (3.1)$$

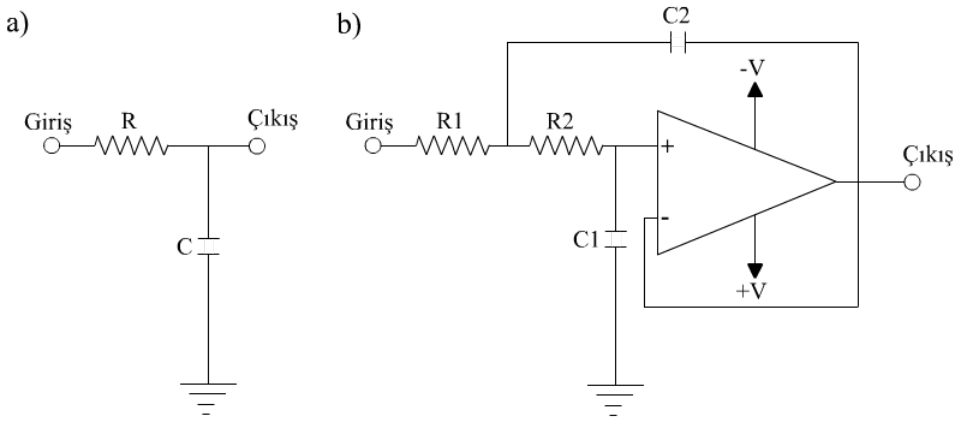
Burada R1=R2=R3=R4 olarak seçilirse, birim kazançlı bir diferansiyel amplifikatör elde edilmiş olur.



Şekil 3.2. İki girişli bir diferansiyel amplifikatörün şematik görünümü

3.2. Alçak Geçişli Filtre

Filtre devreleri, geniş uygulama alanına sahip devrelerdir. Belirli bir frekansın altındakileri geçiren, üstündekileri ise zayıflatan filtrelere alçak geçişli filtreler denir. Veri toplama sistemlerinde genellikle anti-aliasing alçak geçişli filtrelerin kullanımına gereksinim duyulur. Bu filtreler basit direnç ve kondansatör elemanları ile tasarlanabileceği gibi amplifikatörler kullanılarak ta tasarlanabilir. Bu aşamada basit direnç ve kondansatör gibi basit elektronik elemanlar kullanılarak tasarlanan filtreler pasif filtreler, operasyonel amplifikatörler kullanılarak tasarlanan filtreler ise aktif filtreler olarak isimlendirilmektedir. 1 Hz ile 1 Mhz arasındaki düşük frekanslarda, genellikle aktif filtreler tercih edilir. Şekil 3.3a ve 3.3b' de sırası ile pasif alçak geçişli filtre ve 2. dereceden evirmeyen ve birim kazançlı bir aktif Sallen-Key alçak geçişli filtre şeması görülmektedir.



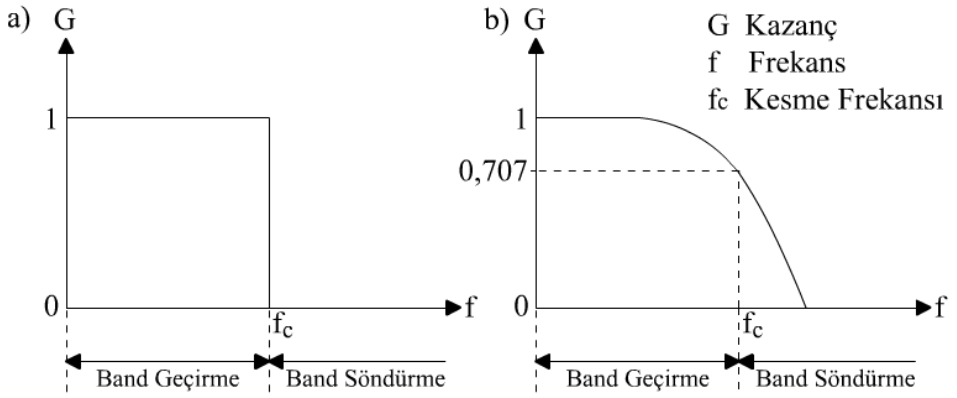
Şekil 3.3. Pasif ve aktif alçak geçişli filtrelerin şematik görünümü. a) Pasif alçak geçişli filtre b) 2. Dereceden aktif alçak geçişli filtre

Şekil 3.3a ve 3.3b' de verilen filtreler için kesme frekansları (f_c) sırası ile Denklem (3.2) ve (3.3) ile ifade edilir.

$$f_c=\frac{1}{2\pi RC} \tag{3.2}$$

$$f_c=\frac{1}{2\pi\sqrt{R1C1R2C2}} \tag{3.3}$$

Alçak geçişli filtre yapısında 0 Hz ile kesme frekansı arasında sabit bir kazanç vardır. Kesme frekansında, alçak frekans 3 dB azalır. 0 Hz ile kesme frekansı arasındaki frekanslar band geçirme frekansı, kesme frekansından büyük frekanslar ise söndürme frekansıdır. Band söndürme frekansında kazanç oldukça azalır. Şekil 3.4' de alçak geçişli filtre karakteristikleri görülmektedir.



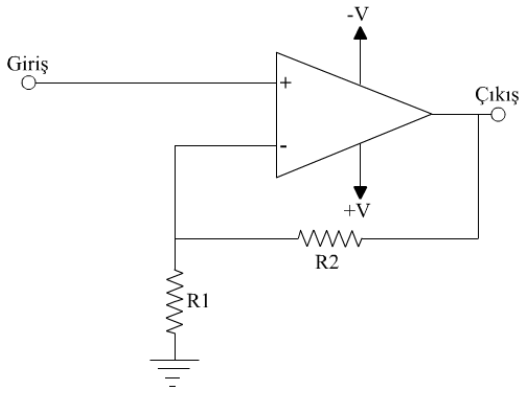
Şekil 3.4. Alçak geçişli filtre karakteristikleri a) İdeal filtre b) Pratik filtre

3.3. Kazanç Kontrolü

Bir amplifikatörün girişine uygulanan sinyalin, çıkışta ne kadar yükseltildiği kazanç katsayısı ile ifade edilir ve genellikle G (gain) veya Av (amplitude voltage) olarak ifade edilir. Bir sistemin kazancı Denklem (3.4) ile ifade edilir.

$$G=\frac{\text{Çıkış voltajı}}{\text{Giriş voltajı}} \tag{3.4}$$

Şekil 3.5’ de evirmeyen (sinyali terslemeyen) bir amplifikatör devresi görülmektedir. Bu devrede giriş sinyali amplifikatörün pozitif girişine uygulandığından dolayı sinyali evirmez. Dolayısıyla giriş sinyali ile çıkış sinyali arasında faz farkı bulunmaz.



Şekil 3.5. Evirmeyen bir kazanç amplifikatör devresinin şematik görünümü

Sistemin kazancı ise Denklem (3.5) ile ifade edilir.

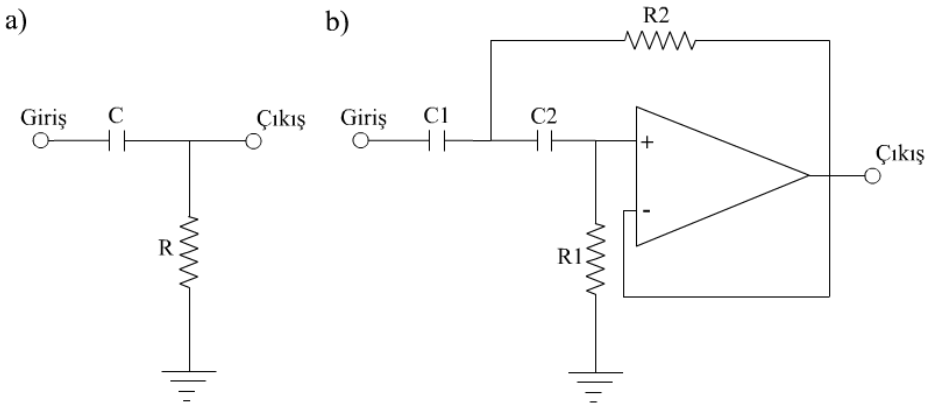
$$G=1+\frac{R2}{R1} \tag{3.5}$$

Şekil 3.5' de görülen evirmeyen amplifikatörün çıkış empedansı giriş empedansına eşittir ve kazancı evirenden 1 fazladır. Eviren amplifikatörün empedansı ise R1 direnci kadardır. Ayrıca evirmeyen amplifikatörde giriş ve çıkış sinyalleri aynı fazda iken, evirende 180° faz farkı vardır.

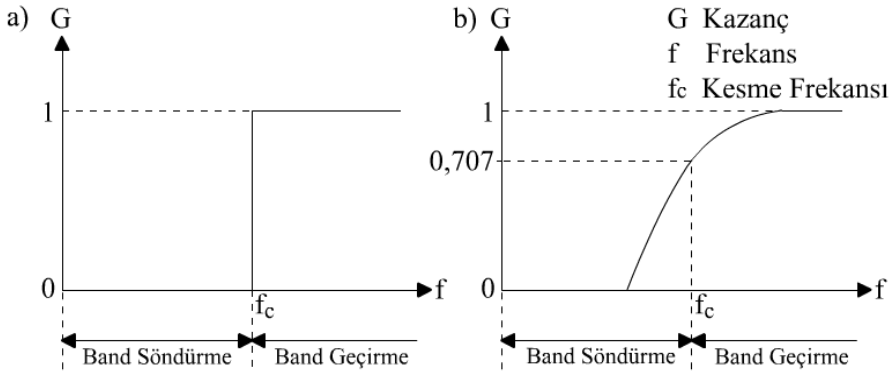
3.4. Yüksek Geçişli Filtre

Yüksek geçişli filtrelerde kesme frekansından daha büyük frekanslarda sabit bir kazanç vardır. Kesme frekansında, yüksek frekans kazancı 3 dB azalır. 0 Hz ile kesme frekansı arasındaki frekanslar band söndürme, kesme frekansının üzerindeki frekanslar ise band geçirme frekansıdır. Band söndürme frekansında kazanç oldukça azalır. Şekil 3.6a ve 3.6b' de sırası ile pasif yüksek geçişli filtre ve 2. dereceden evirmeyen ve birim kazançlı bir aktif Sallen-Key yüksek geçişli filtre şeması görülmektedir.

Şekil 3.6a ve 3.6b' de verilen filtreler için kesme frekansları (f_c) sırası ile Denklem (3.2) ve (3.3) ile ifade edilir. Şekil 3.7' de yüksek geçişli filtre karakteristikleri görülmektedir.



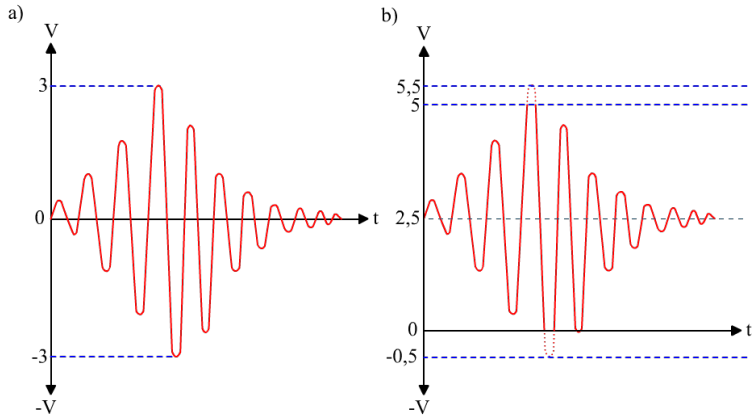
Şekil 3.6. Pasif ve aktif yüksek geçişli filtrelerin şematik görünümü. a) Pasif yüksek geçişli filtre b) 2. dereceden yüksek geçişli filtre



Şekil 3.7. Yüksek geçişli filtre karakteristikleri a) İdeal filtre b) Pratik filtre

3.5. DC Ofset

Bir jeofonun çıkış sinyali pozitif ve negatif sinyallerden oluşan sinüsoidal bir dalgadır. Bu sinyale bir osiloskop ile bakıldığında Şekil 3.8a' daki sinyale benzer bir sinyal elde edilecektir.

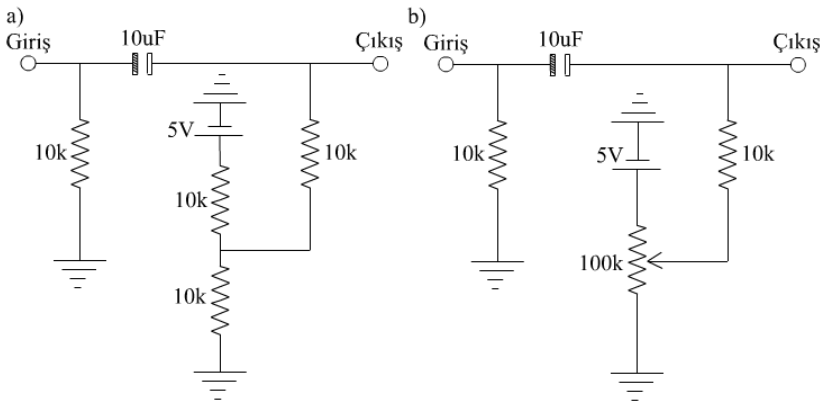


Şekil 3.8. Ofset öncesi ve sonrası sinüsoidal bir sinyal

Yani sinyal 0 V' luk bir merkez voltajın altında ve üstünde salınır. Bir sismik sinyalin amplitüdü, merkez voltajı ile yüksek veya düşük pikler arasındaki mesafedir. Şekil 3.8a' da ±3 V civarında salınan sinüsoidal bir sinyal görülmektedir.

Mikrodenetleyicilerin analog girişleri ile bu sinyal ölçülmeye çalışıldığında yalnızca merkez voltajın üzerindeki sinyallerin algılandığı görülür. Bunun nedeni mikronetleyicilerin yalnızca 0 ile 5 V'luk bir aralıktaki sinyalleri anlamlı kabul etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu problemi çözebilmek için iki yol mevcuttur. Birincisi kenetleyici devreler kullanılarak sinyalin 2,5 V merkez voltajının altında ve üstünde salınmasını sağlayarak, sinyalin 0 ile 5 V arasına indirgenmesidir ki, sinyal bastırılacağından dolayı sinyaldeki mV' luk değişimlerin gözlenememesi anlamına gelecektir. İkinci yöntem ise çıkış sinyaline 2,5 V' luk bir ofset verilerek, sinyalin 2,5 V pozitif kısma kaydırılmasıdır (Şekil 3.8b).

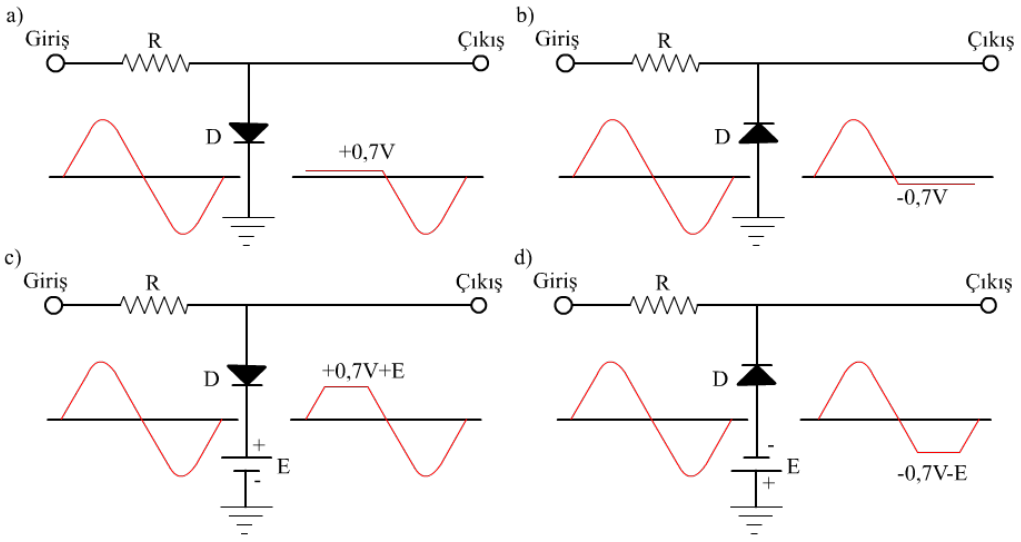
Ofset devresi direnç ve kondansatör gibi basit elektronik komponentlerden meydana gelir ve 5 V' tan 2,5 V elde etmek için ise gerilim bölücü veya ayarlı dirençler (potansiyometreler) kullanılır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. a) Gerilim bölücü kullanılarak b) Potansiyometre kullanılarak tasarlanmış ofset devresi

3.6. Kırpıcı Devre

Zamana göre değişen bir elektriksel işaretin, istenilen bir referans seviyesinin üstünde veya altında bulunan kısmını kesen devrelere kırpıcı devre adı verilir. Bir kırpıcı devresi, direnç ve diyot gibi temel elektronik komponentler kullanılarak tasarlanır. Bu devreler diyotun yönüne göre, pozitif veya negatif sinyalleri kırparlar.



Şekil 3.10. a) Pozitif kırpıcı b) Negatif kırpıcı c) Pozitif DC gerilim seviyeli kırpıcı d) Negatif DC gerilim seviyeli kırpıcı

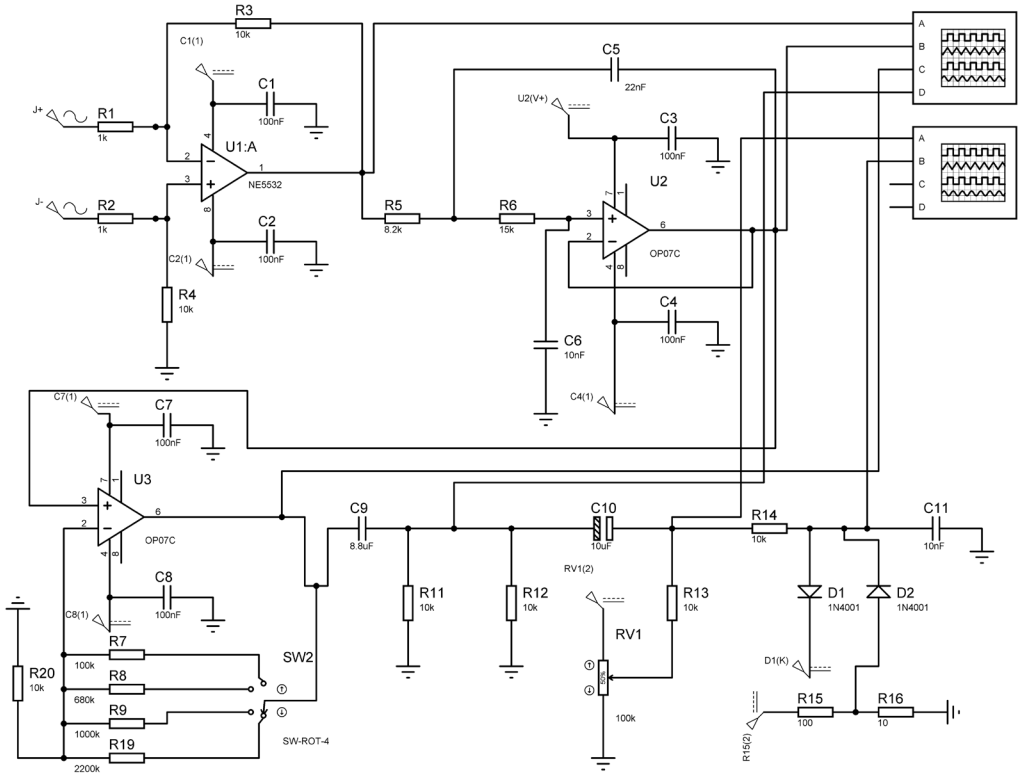
Bazı elektronik devrelerin girişlerine yalnızca pozitif ya da yalnızca negatif sinyaller verilmesi veya belirli bir voltaj değerinin altındaki sinyaller verilmesi gerekebilir. Bu gibi durumlarda kırpıcı devreler kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında mikrodenetleyicinin analog girişini aşırı gerilimden korumak amacı ile bu devreye ihtiyaç duyulmuştur. Kırpıcılar, pozitif, negatif ve DC gerilim seviyeli kırpıcılar olarak çeşitlendirilebilir (Şekil 3.10).

Örneğin Şekil 3.10a' daki kırpıcı devresinin çalışma prensibine bakarsak, giriş işaretinin pozitif alternansında diyot doğru yönde polarmalanır ve diyot iletimdedir. Diyot üzerinde 0,7 V ön gerilim görülür. Giriş işaretinin negatif alternansında ise diyot ters yönde polarmalanır ve diyot kesimdedir. Dolayısı ile negatif alternans olduğu gibi çıkışa iletilir.

4. TASARIM AÇIKLAMASI

4.1. Analog Tasarım ve Bilgisayar Destekli Simülasyon

Bu tez kapsamında tasarlanan sistem 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm analog tasarım sürecidir. Analog tasarım, Sistem Mimarisi ve Elektronik Detaylar başlıklı bölümde elektronik altyapıları verilen preamplifikatör, alçak geçişli filtre, kademeli kazanç ünitesi, yüksek geçişli filtre, DC ofset ve kırpıcı devrelerinden oluşmaktadır. Tasarlanan sistemin tek kanallı modeline ait Proteus şeması Şekil 4.1' de görülmektedir.

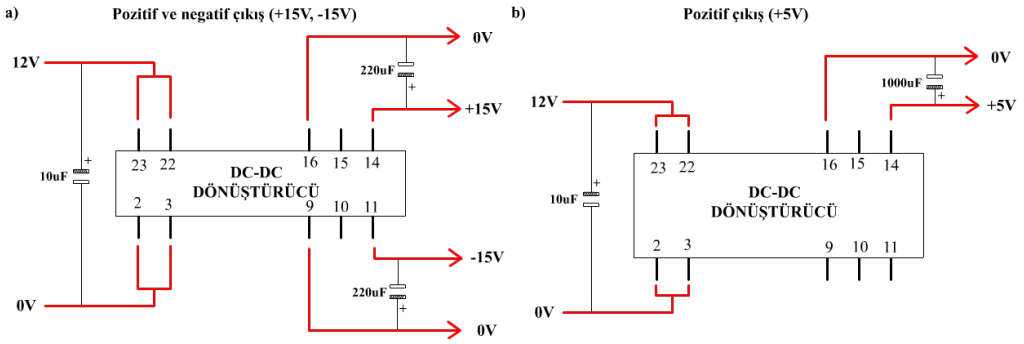


Şekil 4.1. Harici donanıma ait analog tasarımın Proteus şeması

4.1.1. Güç sistemi

Tasarlanan sistem 12 V' luk bir pil ile beslenmektedir. Devre elemanlarının ihtiyacı olan ±15 V ve 5 V' luk gerilimler, DC-DC dönüştürücüler kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen ±15 V' luk gerilimler amplifikatörleri simetrik olarak

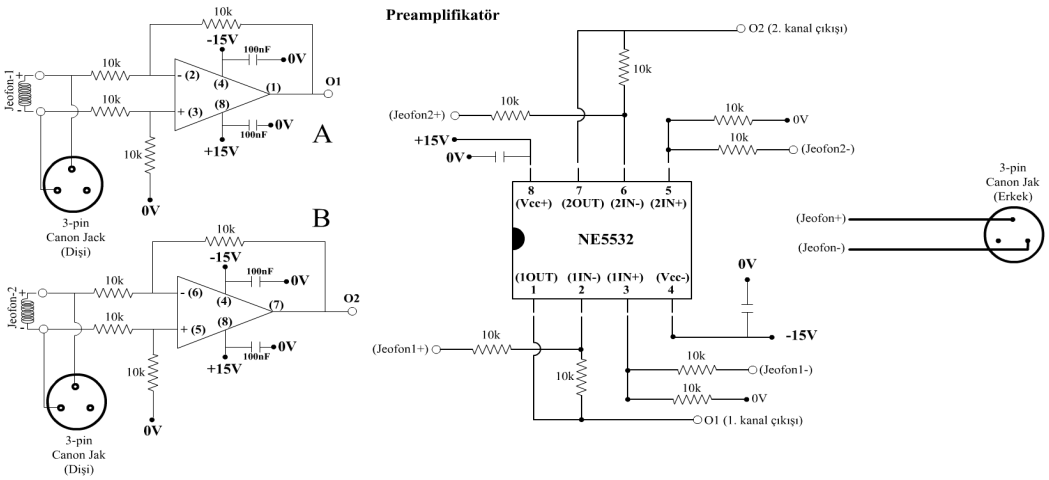
beslemek için kullanılmıştır. 5 V' luk gerilim ise DC ofset devresinin ihtiyacı olan 2,5 V' luk gerilimi elde etmek, Kırpıcı devresinde DC seviyesini belirlemek ve mikrodenetleyiciyi beslemek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 4.2' de kullanılan DC-DC dönüştürücülerin pinleri ve bağlantı şeması görülmektedir. DC-DC dönüştürücü olarak PWA2415MD-3W ve PWA2405MD-3W entegreler tercih edilmiştir.



Şekil 4.2. DC-DC dönüştürücülerin bağlantı şemaları a) ±15 V çıkış b) +5 V çıkış

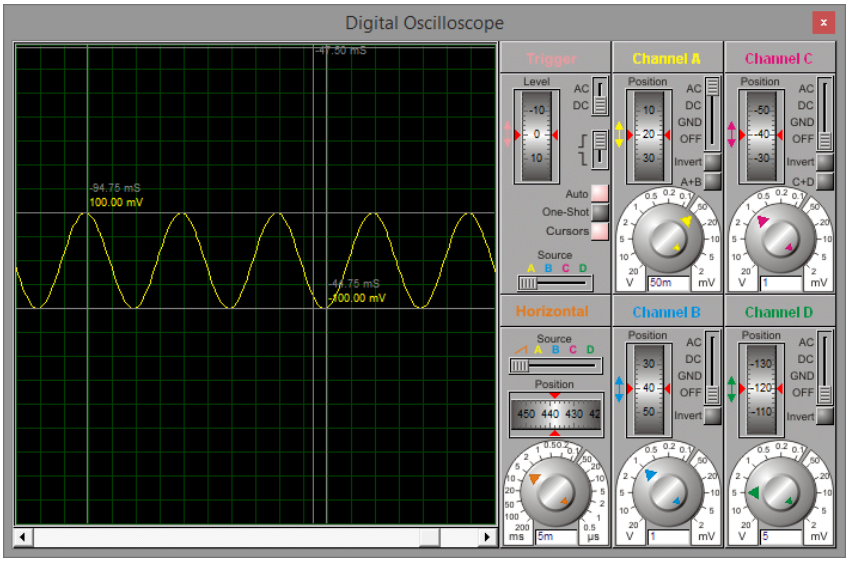
4.1.2. Preamplifikatör

Sistemin giriş bölümünü temsil etmektedir ve jeofon çıkışlarının bağlandığı bölümdür. Diferansiyel amplifikatör olarak tasarlanmıştır. Dolayısı ile girişteki pozitif ve negatif uçlar arasındaki gerilim farkını ölçmektedir. Preamplifikatör için dual özellikli, düşük gürültülü ve diferansiyel girişli olmasından dolayı NE5532 model amplifikatör entegresi kullanılmıştır. Şekil 4.3' de preamplifikatör devresi ve entegrenin pin bağlantıları görülmektedir.



Şekil 4.3. Preamplifikatör şeması ve NE5532 model amplifikatör pin bağlantıları

Şekil 4.1' deki devrede pozitif (J+) ve negatif (J-) sinyal girişlerine sırasıyla frekansları 50 Hz ve genlikleri +50 mV ve -50mV olan sinüs dalgaları verilmiştir. Preamplifikatör çıkışında ise +100 ile -100 mV' luk bir genlik arasında salınan bir sinüs dalgası elde edilmiştir (Şekil 4.4).



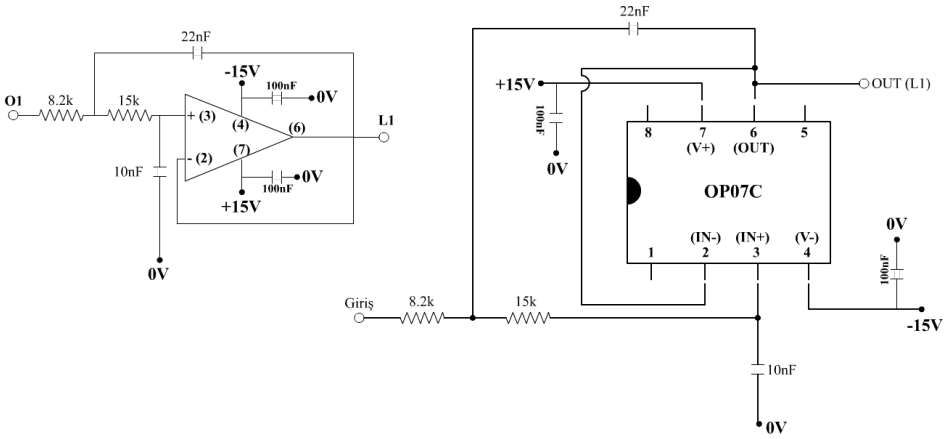
Şekil 4.4. Preamplifikatör çıkışı

Preamplifikatörde birim kazanç olmasına rağmen, çıkış sinyali giriş sinyalinin 2 katı gibi görünmektedir. Bu durum girişteki pozitif ve negatif sinyallerin farkından kaynaklanmaktadır.

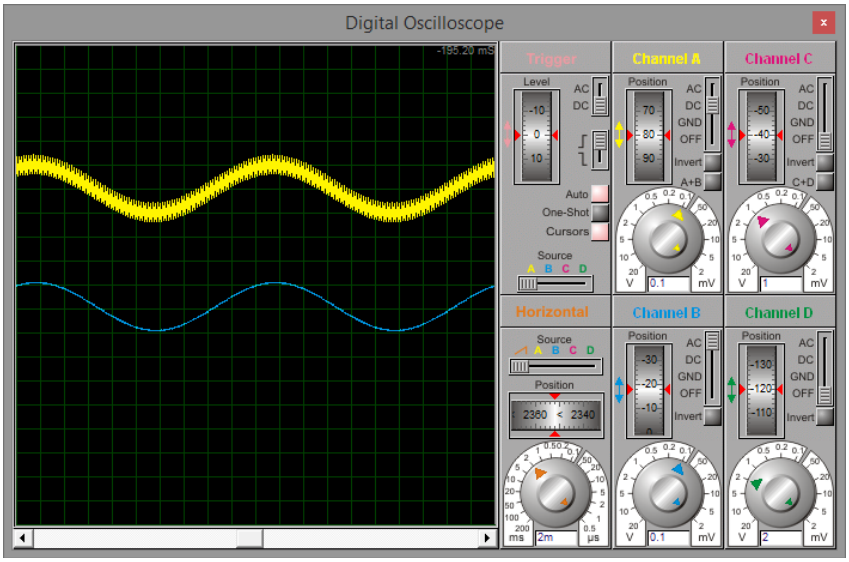
4.1.3. Alçak geçişli filtre

Preamplifikatörü yüksek frekanslı sinyalleri süzmek amacı ile alçak geçişli filtre devresi takip etmektedir. Yüksek verim için aktif filtre tasarımı kullanılmıştır. Filtre 2. dereceden Butterworth filtresini ve Sallen-Key topolojisini kullanmaktadır. Tasarlanan alçak geçişli filtrenin kesme frekansı 1 kHz olarak ayarlanmıştır. Tasarımında ultra düşük gürültülü OP07c model amplifikatör kullanılmıştır. Entegrenin pin bağlantıları ve devre şeması Şekil 4.5' de görülmektedir.

Giriş sinyaline 2 kHz frekansında ve 20 mV genlikli bir gürültü sinyali eklenerek alçak geçişli filtrenin çıkışı gözlenmiş, çıkış sinyalinde 1kHz üzerindeki yüksek frekanslı sinyalin bastırıldığı görülmüştür (Şekil 4.6). Osiloskop ekranında görülen A kanalı gürültü eklenmiş giriş sinyalini, B kanalı ise alçak geçişli filtre sonrası sinyali göstermektedir.



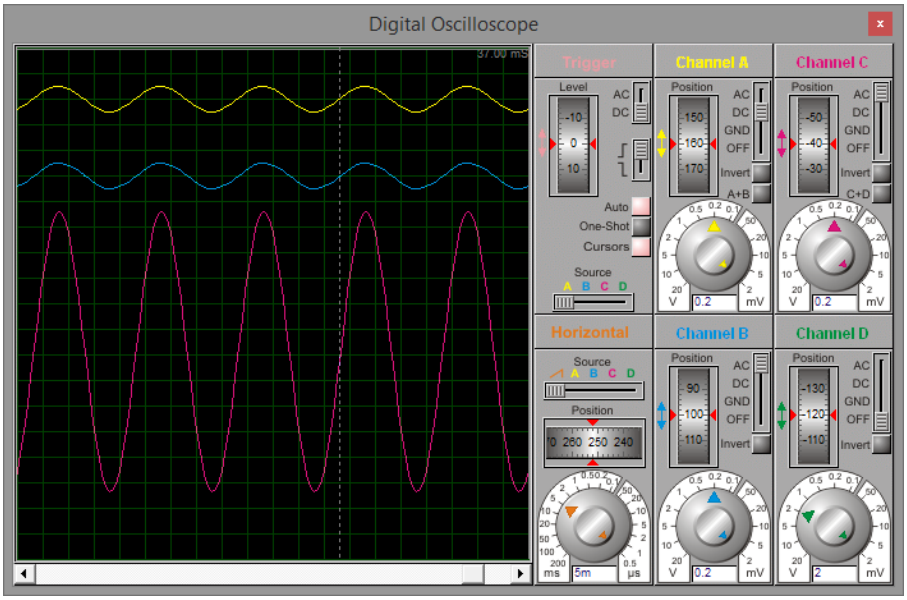
Şekil 4.5. Alçak geçişli filtre devresi ve OP07c model amplifikatör pin bağlantıları



Şekil 4.6. Giriş sinyalinin ve alçak geçişli filtre sonrası sinyalin görünümü

4.1.4. Kazanç kontrolü

Alçak geçişli filtre devresini takiben, sinyale kazanç uygulamak amacı ile kademeli kazanç özellikli bir devre tasarlanmıştır. Kazanç devresi de OP07c model amplifikatör kullanılarak tasarlanmıştır. Kazanç devresinin kademeleri 20, 36, 40 ve 46 dB olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.7' de 50 Hz frekanslı ve 50mV genlikli bir giriş sinyali (Kanal A), alçak geçişli filtre çıktısı (Kanal B) ve 20 dB' lik bir kazanç uygulandıktan sonraki sinyalin görüntüsü (Kanal C) görülmektedir. Böylece kazanç uygulanmış sinyal ±1 V' luk bir genliğe sahip olmuştur.



Şekil 4.7. Giriş sinyalinin, alçak geçişli filtre sonrası sinyalin ve kazanç uygulanmış sinyalin görünümü

4.1.5. Yüksek geçişli filtre

Giriş sinyalindeki düşük frekanslı sinyalleri süzmek ve DC ofseti yok etmek amacıyla yaklaşık 2 Hz' lik bir kesme frekansına sahip pasif yüksek geçişli filtre tasarlanmıştır. Devrede kullanılan direnç (R) ve kondansatör (C) değerleri sırası ile 10k ve 8.8µF olarak seçilmiştir. Filtrenin kesme frekansı Denklem (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

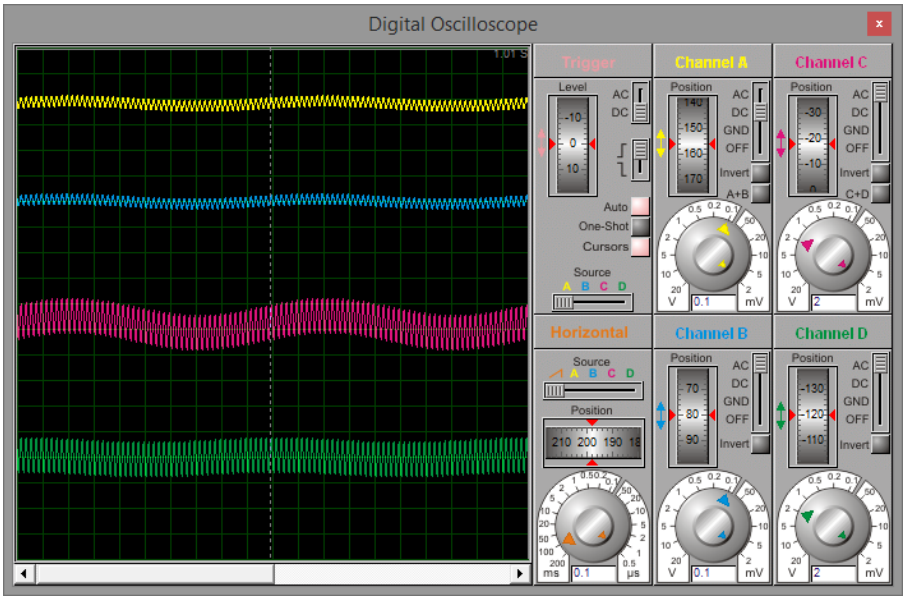
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi.10.10^{-9}.8{,}8.10^{-6}} = 1{,}81 \text{ Hz} \qquad (4.1)$$

50 Hz frekanslı ve 10 mV genlikli giriş sinyaline 1 Hz frekansında ve 5 mV genlikli bir gürültü sinyali eklenerek yüksek geçişli filtrenin çıkışı gözlenmiş, çıkış sinyalinde 1 Hz' lik sinyalin bastırıldığı görülmüştür (Şekil 4.8). Osiloskop ekranında görülen A kanalı gürültü eklenmiş giriş sinyalini, B kanalı alçak geçişli filtre sonrası sinyali, C kanalı kazanç sonrası sinyali ve D kanalı yüksek geçişli filtre sonrası sinyali göstermektedir.

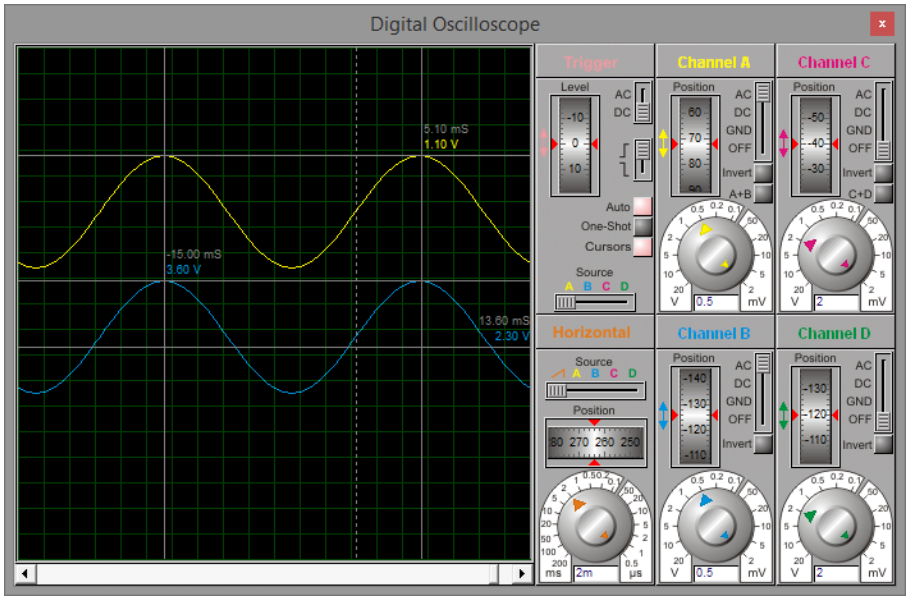
4.1.6. DC ofset devresi

Tasarlanan sistem 2,5 V DC ofset ekleyen bir devre ile devam etmektedir. Bölüm 3.5 de anlatıldığı üzere, mikronetleyicinin anlamlı olarak kabul ettiği 0-5 V aralığında,

negatif sinyallerinde algılanabilmesi için filtrelerden geçen ve kazanç uygulanan sinyale 2,5 V' luk bir ofset verilerek, sinyal 2.5 V pozitif kısma kaydırılmıştır. Şekil 4.9' da görüldüğü üzere, ofset öncesi sinyalin genliği 1,10 V iken, 2,5 V ofset sonrası sinyal 3,60 V olarak izlenmektedir.



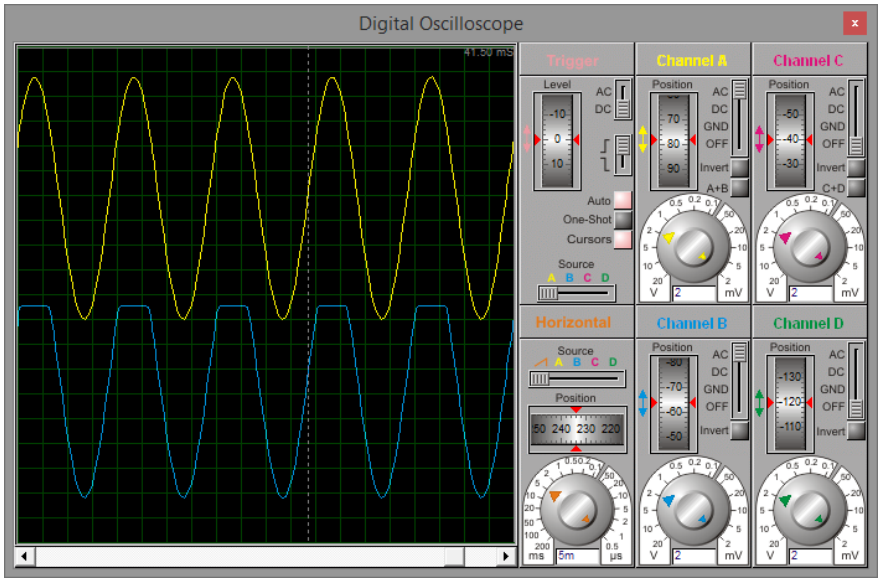
Şekil 4.8. Giriş sinyalinin, alçak geçişli filtre sonrası sinyalin, kazanç uygulanmış sinyalin ve yüksek geçişli filtre sonrası sinyalin görünümü



Şekil 4.9. Ofset öncesi ve sonrası sinyalin görünümü

4.1.7. Kırpıcı devre

Kırpıcı devre analog tasarımın son aşamasıdır. Mikrodenetleyicinin analog girişini yüksek gerilimden korumak amacıyla tasarlanmıştır. Aksi takdirde, yüksek gerilim mikrodenetleyicinin zarar görmesine ve USB bağlantısının kopmasına neden olur. Şekil 4.10' da kırpıcı devre öncesi ve sonrası sinyalin durumu görülmektedir. Kullanılan kırpıcı devre, 5 V DC seviyeli bir kıpıcıdır. DC ofset eklenmiş sinyalde negatif voltajı kırpmak için veya belirli bir voltajın altındaki sinyali kırpmak için ayrıca bir kırpma devresi kullanılabilir.



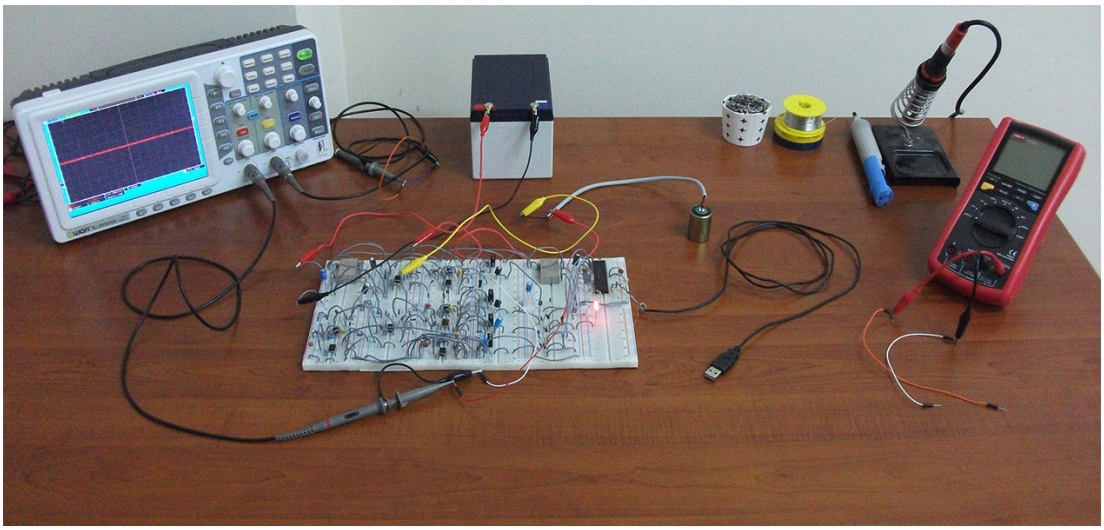
Şekil 4.10. Kıpıcı devre öncesi ve sonrasında sinyalin görünümü

4.2. Analog Tasarım ve Sistemin Testi

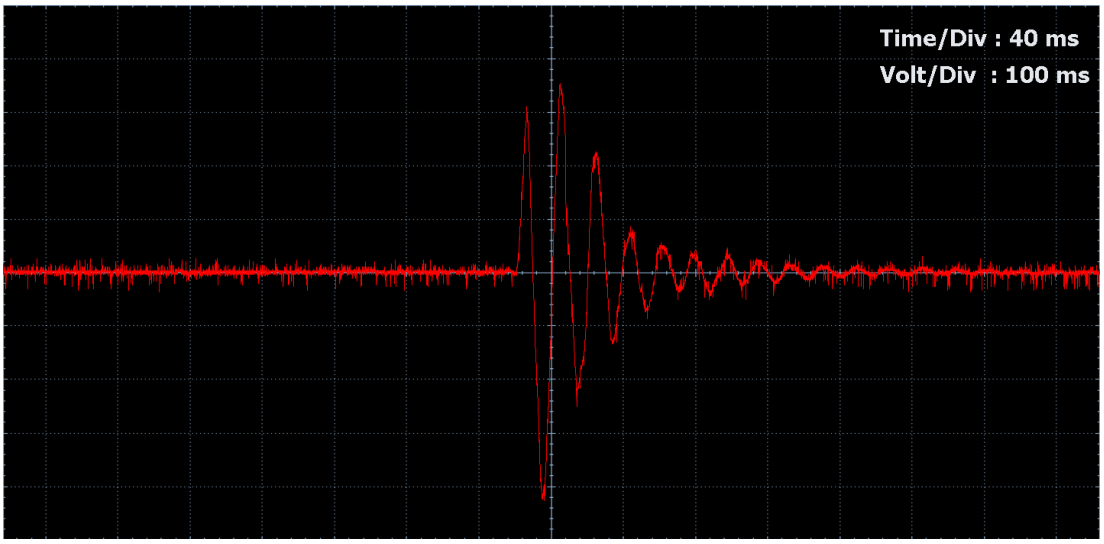
Masa üzerindeki 4,5 Hz' lik bir jeofon kullanılarak elde edilen sinyallerin tasarlanan analog sistemdeki preamplifikatör çıkışı, osiloskop ekranında izlenmiştir. Çalışma alanının görüntüsü Şekil 4.11' de verilmiştir. Masa üzerine güçlü bir darbe uygulanarak elde edilen bu sinyalin pikten pike genliği 936 mV, frekansı 31.5 Hz ve periyodu 26,67 ms olarak saptanmıştır (Şekil 4.12).

Bu denli yüksek bir titreşimde elde edilen bu voltaj değeri göz önüne alınırsa, jeofonun arazide üreteceği voltaj değerinin çok daha küçük olacağı aşikardır. Bu nedenle kazanç uygulamaksızın bu sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi imkansız olacaktır.

Preamplifikatör devresinin ardından gelen alçak geçişli filtrenin etkisini gözlemlemek amacıyla masa üzerine yeni bir darbe uygulanmış, girişteki sinyalin alçak geçişli filtre sonrası çıktısı osiloskop ekranında izlenmiştir (Şekil 4.13). 1 kHz kesme frekanslı alçak geçişli filtre çıktısındaki sinyalin pikten pike genliği 972 mV, frekansı 31,447 Hz ve periyodu 31,8 ms' dir.



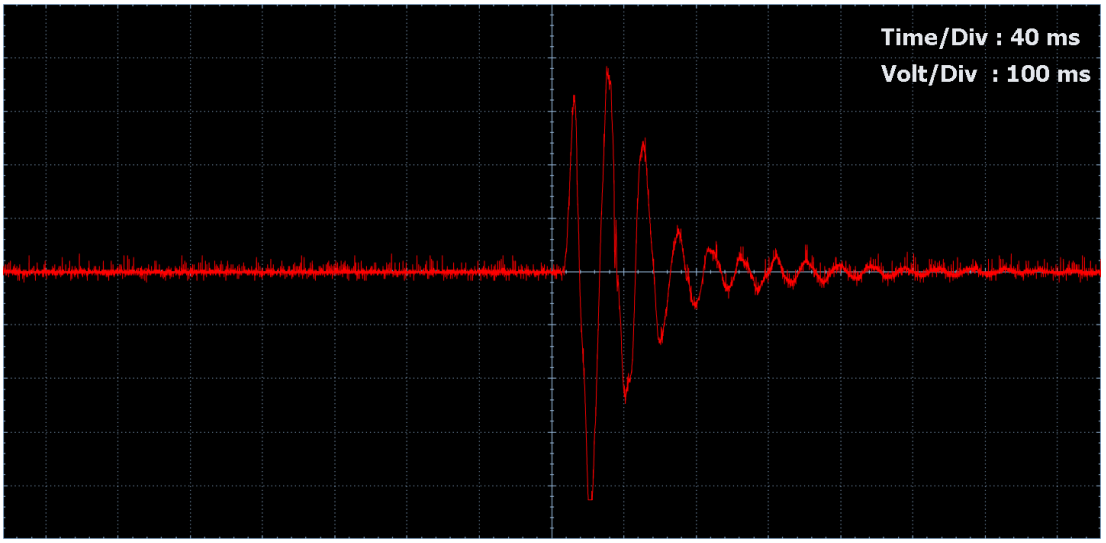
Şekil 4.11. Tasarlanan sistemin test aşamasına ait görüntü



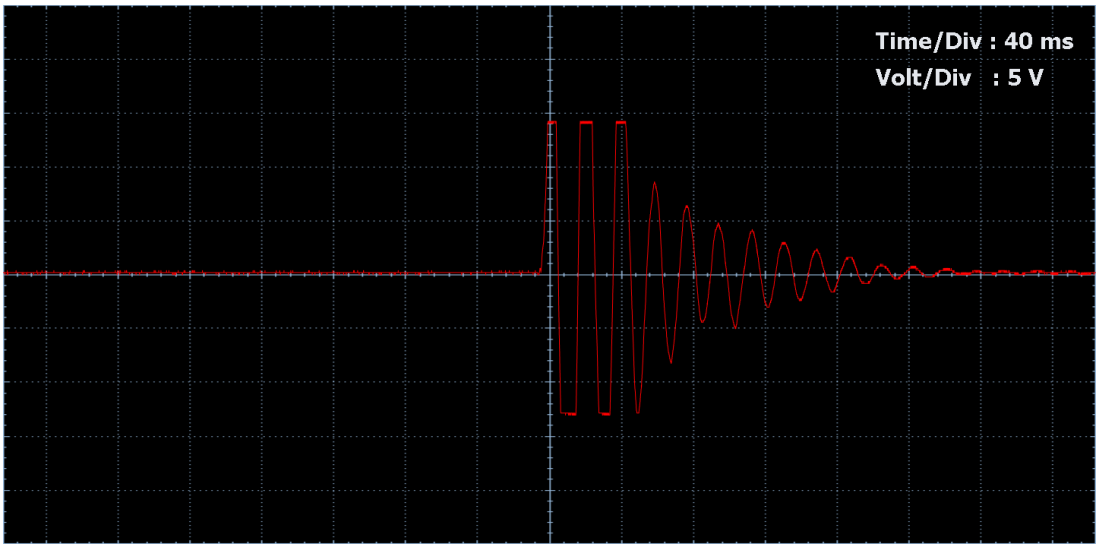
Şekil 4.12. Masa üzerindeki 4,5 Hz' lik bir jeofonun, masa üzerine şiddetli bir darbe uygulanması sonucunda ürettiği sinyalin preamplifikatör çıkışındaki görüntüsü

Kazanç devresinin etkisini gözlemlemek amacıyla masa üzerine yeni bir darbe uygulanmış, girişteki sinyalin 40 dB' lik kazanç sonrası çıktısı osiloskop ekranında izlenmiştir (Şekil 4.14). Kazanç devresi çıktısındaki sinyalin pikten pike genliği 27,2

V, frekansı 40,486 Hz ve periyodu 24,7 ms' dir. Kazanç devresi çıktısında sinyale 200 mV' luk bir ofset eklendiği görülmektedir.



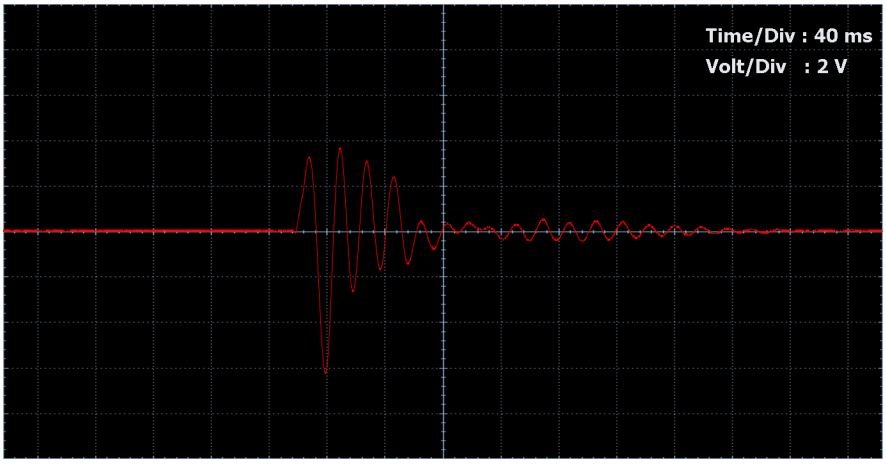
Şekil 4.13. 1 kHz kesme frekanslı alçak geçişli filtre çıkışındaki görüntüsü



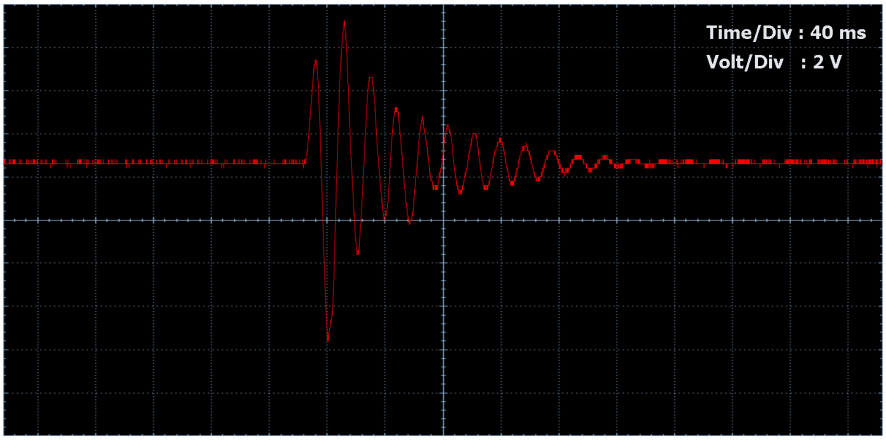
Şekil 4.14. Sinyalin 40 dB' lik kazanç devresi çıkışındaki görüntüsü

1,5 Hz' lik yüksek geçişli filtrenin etkisini gözlemlemek amacıyla masa üzerine yeni bir darbe uygulanmış, girişteki sinyalin yüksek geçişli filtre sonrası çıktısı osiloskop ekranında izlenmiştir (Şekil 4.15). 1,8 Hz kesme frekanslı yüksek geçişli filtre çıktısındaki sinyalin pikten pike genliği 9,92 V, frekansı 34,722 Hz ve periyodu 28,8 ms' dir.

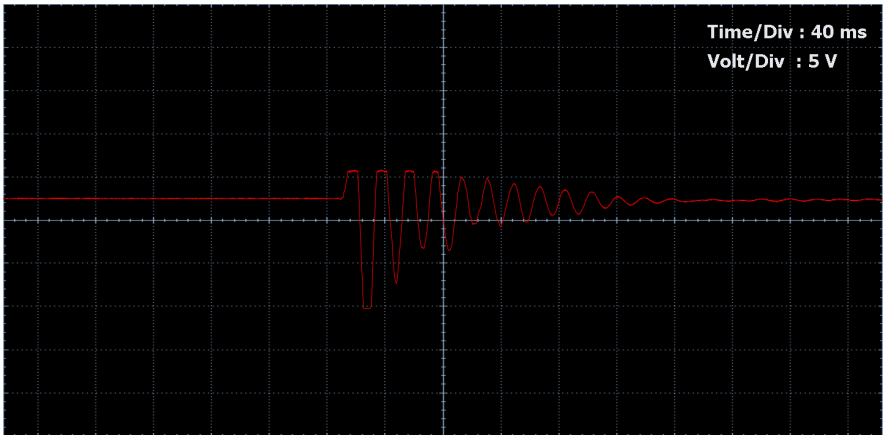
Şekil 4.16' da 2,5 V ofset eklendikten sonraki sinyal, Şekil 4.17' de ise kırpıcı devre sonrası elde edilen sinyal görülmektedir.



Şekil 4.15. 1,8 Hz kesme frekanslı yüksek geçişli filtre çıkışındaki görüntüsü



Şekil 4.16. 2,5 V ofset ekleme devresinin çıkışındaki sinyalin görüntüsü



Şekil 4.17. Kırpıcı devresinin çıkışındaki sinyalin görüntüsü

4.3. Dijital Tasarım ve Sistemin Teorik Olarak Testi

Dijital tasarım mikrodenetleyici ve bütün destek devresini kapsamaktadır. Dijital tasarımda mikrodenetleyicinin ana fonksiyonları; devrenin kontrolünü sağlamak, grafiksel kullanıcı arayüzü ile iletişim kurmak, analog verileri örneklemek ve verilerin USB iletişim tekniği ile bilgisayara transferini sağlamaktır.

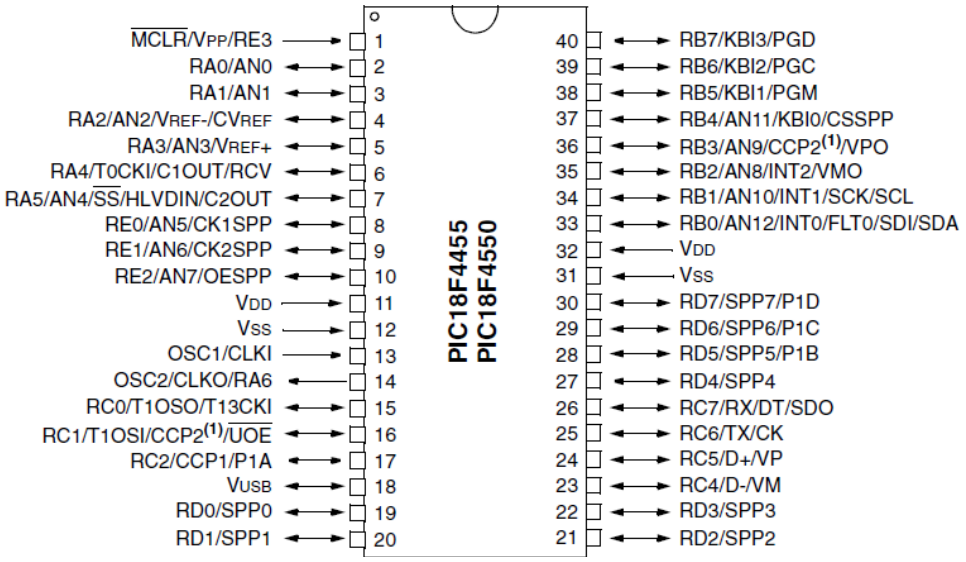
4.3.1. PIC18F4550 mikrodenetleyici

PIC18F4550 mikrodenetleyici Microchip Technology firması tarafından geliştirilmiş yeni kuşak mikrodenetleyicilerden biridir ve piyasada geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük maliyeti, yüksek hesaplama performansı, dayanıklılık, geliştirilmiş Flash program hafızası, USB iletişim desteği, çok sayıdaki analog ve dijital giriş ve çıkışları, dahili 10 bit analog dijital dönüştücüsü ve 48 Mhz' lik çalışma frekansı PIC18F4550' nin ayırt edici özellikleridir [19].

PIC18F4550 USB 2.0 düşük hız ve tam hız desteğine sahiptir. Senkronize, yığın ve kontrol veri transfer tiplerini destekler. Entegre üzerinde USB alıcı, verici ve voltaj regülatörü bulunur.

PIC18F4550; çalışma modu, boşta modu ve uyku modu olmak üzere 3 güç moduna sahiptir. Uyku modu ve boşta modunda iken çektiği akım sırası ile 0,1 μA ve 5,8 μA seviyelerindedir. Timer0, Timer1, Timer2 ve Timer3 olmak üzere dört zamanlayıcı modülü bulunur. Geliştirilmiş Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici modülü sayesinde Yerel Bağlantılı Ağ desteği vardır. 13 adet 10-bitlik analog girişe sahiptir. 100.000 yazma/silme kapasitesine sahip Flash program hafızasına ve 2,0V ile 5,5 V arasında geniş bir çalışma voltaj aralığına sahiptir.

Şekil 4.18' de PIC18F4550 bacak yapısı görülmektedir. PORTA, PORTB, PORTC, PORTD ve PORTE olmak üzere 5 adet giriş/çıkış portu mevcuttur. Bütün portlar hem giriş hem de çıkış olarak kullanılabilmektedir. Giriş veya çıkış olacak bitleri TRISA, TRISB, TRISC, TRISD ve TRISE kaydedicileri belirler. Bu kaydedicilerde "1" olarak tanımlanmış bit' lerin karşılığındaki port bacakları giriş, "0" olarak tanımlanmış bit' lerin karşılığındaki bacakları ise çıkış olarak belirlenir. PORTA, PORTB, PORTC ve PORTD 8-bit, PORTE ise 4 bit genişliğinde portlardır.



Şekil 4.18. PIC18F4550 bacak yapısı

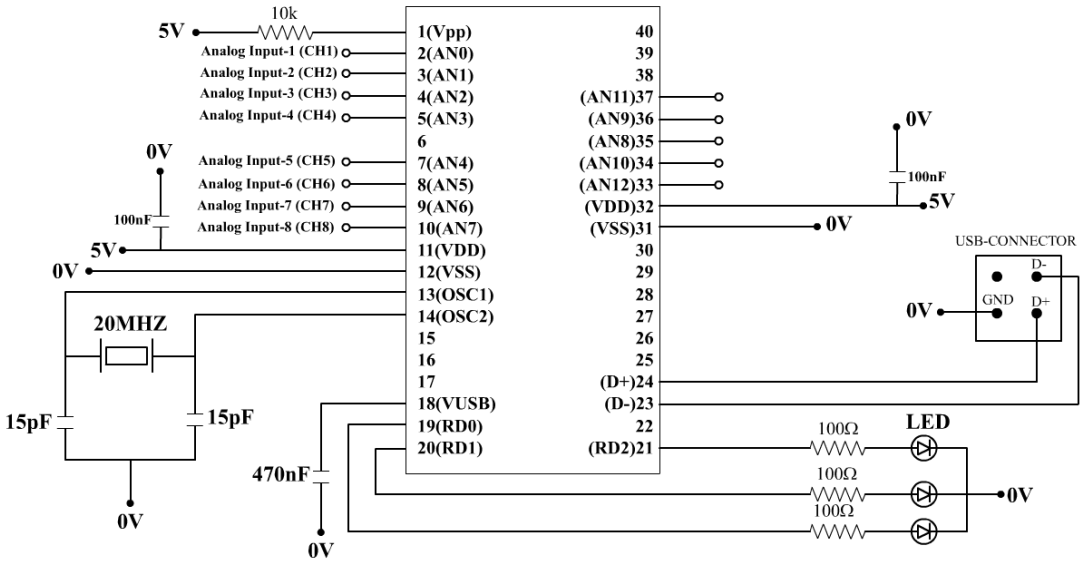
Şekil 4.18' de görüldüğü gibi, AN0' dan AN12' ye kadar isimlendirilmiş bacaklar analog girişlerdir. PIC18F4550 dahili analog-dijital dönüştürücüsü sayesinde, girişteki analog sinyalleri 10-bit dijital verilere dönüştürür.

Şekil 4.19' da sistemin dijital tasarımı, PIC18F4550 mikrodenetleyici ve çevre birimleri görülmektedir. Mikrodenetleyicinin 19 (RD0), 20 (RD1) ve 21 (RD2) nolu bacaklarındaki LED' ler cihazın çalışma aşamaları hakkında kullanıcıyı bilgilendirmek üzere dizayn edilmiştir. Cihaz ile bilgisayar arasında USB bağlantısı kurulduğunda RD0, grafiksel kullanıcı arayüzü ile cihaz arasındaki bağlantı sağlandığında RD1 ve analog dijital dönüşüm işlemi esnasında ise RD2 bacaklarındaki LED' ler yanmaktadır.

USB' den gelen +5V gerilimi sistemde kullanılmamış, mikrodenetleyici ile birlikte bütün devre 12 V' luk akü ile beslenmiştir. Mikrodenetleyicide 11 ve 32 nolu bacaklar +5 V ile beslenmiş, 11 ve 31 nolu bacaklar ise sistemin 0 V' una bağlanmıştır.

20 MHz' lik harici kristal osilatör, mikrodenetleyicinin 13 ve 14 nolu bacaklarına bağlanmış ve diğer çevre elemanları olan 15 pF' lık kondansatörler ile sistemin 0 V' una bağlanmıştır. USB iletişiminin sağlanabilmesi için kritik noktalardan biriside 18 nolu V_{USB} bacağıdır. Bu bacakta 470nF' lık bir kutupsuz kondansatör olması gerekmektedir.

Mikrodenetleyici CCS C dili kullanılarak programlanmıştır. Mikrodenetleyici programının ana kod bloğu EK-A' da verilmiştir. Ayrıca Proteus' un sanal USB sürücüsü özelliği kullanılarak, geliştirilen grafiksel kullanıcı arayüzü ile sistemin bilgisayar ortamında simülasyonları yapılmıştır.



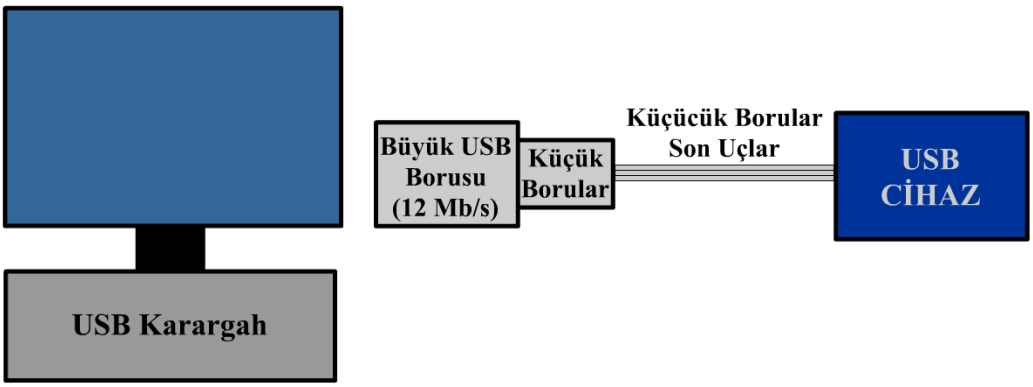
Şekil 4.19. Sistemin dijital tasarımı, PIC18F4550 mikrodenetleyici ve çevre birimleri

4.3.2. USB haberleşme yöntemi

USB iletişimi, günümüzün en popüler veri transfer yöntemlerinden birisidir. Kolay ve esnek kullanımı, güvenilirliği, düşük maliyeti, harici güç kaynağı gerektirmemesi ve yüksek veri iletişim hızı USB iletişiminin önemli özelliklerindendir. Kullanım kolaylığı ve avantajlarının yanında seri ve paralel gibi diğer arabirimlere göre daha karmaşık bir protokole sahiptir [20].

USB karargah (host), USB göbek (hub) ve USB cihaz (device) olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır. USB karargahı, karargah ile cihazlar arasında veri iletişimi ve kontrolünü, cihazların güç ihtiyacı ve daha birçok işlemi yürütmeyi sağlamaktadır. USB host, çok sayıdaki USB cihazın bir USB portu üzerinden karargah ile haberleşmesini sağlar. USB cihaz ise USB veri yolu üzerinden bilgi veren veya bilgi alan aygıtlardır.

Karargah ile cihaz arasındaki haberleşme USB protokolü sayesinde yerine getirilmektedir. Şekil 4.20' de karargah ile cihaz arasındaki bağlantı ve USB borularının yapısı görülmektedir.



Şekil 4.20. USB boruları ve son uç kavramı ([21]' den değiştirilerek)

Şekil 4.20' de gösterilen yapıya göre, USB cihaz ile USB karargah arasındaki haberleşme, cihaz üzerindeki son uç ile karargah üzerindeki hafıza tampon sayesinde gerçekleşir. Bu haberleşme, sistemin yapısına göre şekillendirilir. Haberleşme için eşzamanlı, kesme, yığın ve kontrol olarak isimlendirilmiş dört veri transfer yönteminden birisi kullanılır. Eşzamanlı transfer modelinde veri iletişimi periyodik ve sürekli bir şekilde sağlanır. Büyük miktardaki verilerin transferinde kullanılan veri transfer yöntemi ise yığın transfer modelidir. Bu model tam hız veya yüksek hız cihazlarda kullanılabilir. Kesme tipi transfer yöntemi, küçük miktardaki verinin, yüksek doğrulukta transferi için kullanılır ki bu çalışmada tercih edilen veri transfer yöntemi kesme tipi transferdir. Kontrol tipi transfer yöntemi ise, ilk değerlerin atanması ve yapılandırma bilgilerinin taşınması amacıyla kullanılır.

Tablo 4.1. Sandart B tipi USB konnektör ve bacak açıklamaları

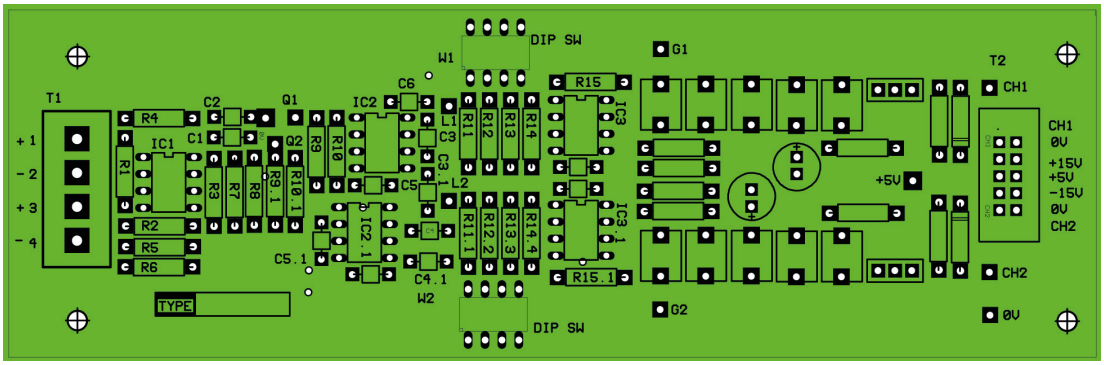
Bacak Numarası	Bacak Adı	Açıklama	Kablo Rengi
1	VCC	+5 V	Kırmızı
2	D-	Data -	Beyaz
3	D+	Data +	Yeşil
4	GND	Toprak	Siyah

Bir USB iletişimi başlatılmadan önce, cihazın yapılandırma ayarlarının yapılması gerekir. USB cihazların işlevleri tanımlayıcılar yardımıyla gerçekleştirilir. Cihaz

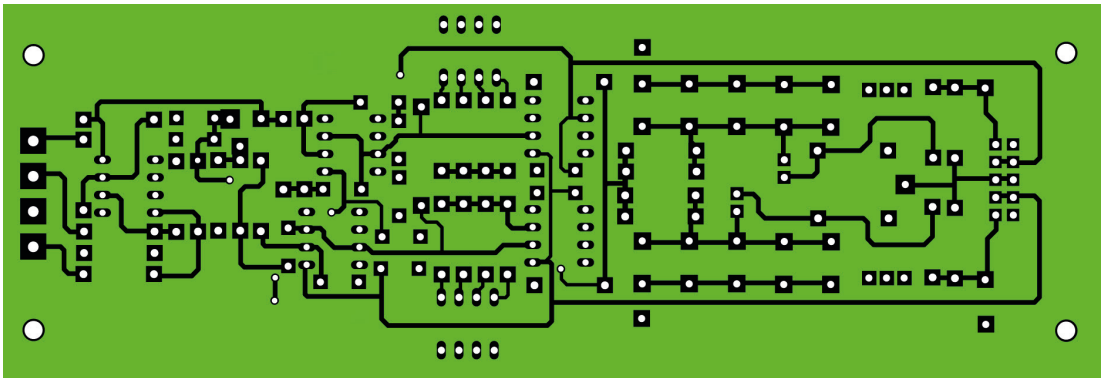
tanımlayıcısı, üretici kimliği (VID, Vendor Identity), ürün kimliği (PID, Product Identity), seri numarası vb. bilgiler sağlar.

Şekil 4.19' da görüldüğü üzere devrede standart B tipi USB konnektör kullanılmıştır. Konnektör VCC, GND, D+ ve D- bacaklarından oluşmaktadır. VCC ve GND güç, D+ ve D- bacakları ise veri iletişimi ile ilgili bacaklardır. Standart B tipi konnektör bacakları ve açıklamaları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Breadboard kullanılarak tasarlanan sistem çeşitli testlere tabi tutulduktan sonra nihai halinin son kullanıcıya hitap edecek bir versiyonu hazırlanmak suretiyle bir prototip çalışması yapılmıştır. Öncelikle tasarlanan devrelerin baskı devreleri hazırlanmıştır. Baskı devreler sinyal işleme kartı ve merkezi kontrol birimi olmak üzere iki bölüm halinde hazırlanmıştır. Şekil 4.20 ve 4.21' de sinyal işleme için tasarlanmış baskı devrenin ön yüz ve arka yüz şeması görülmektedir.

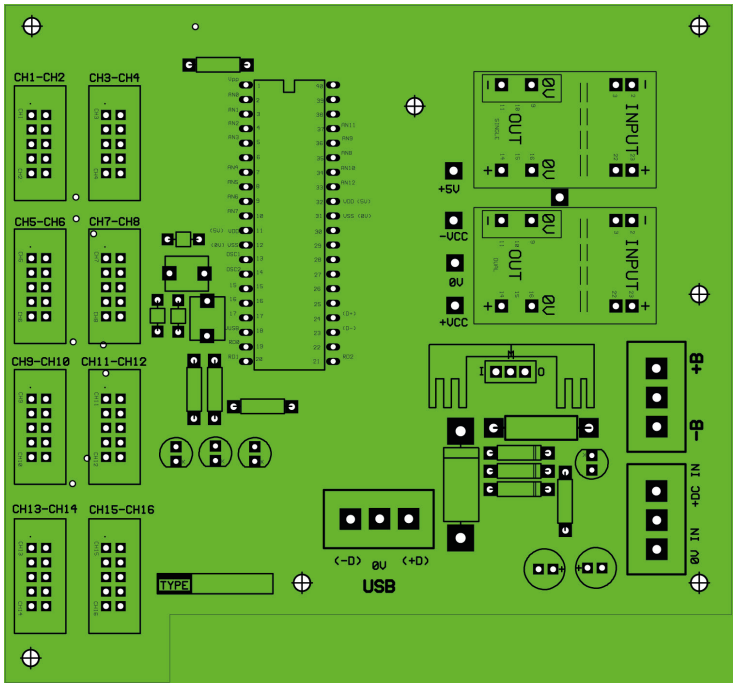


Şekil 4.20. Sinyal işleme kartının ön yüz şeması

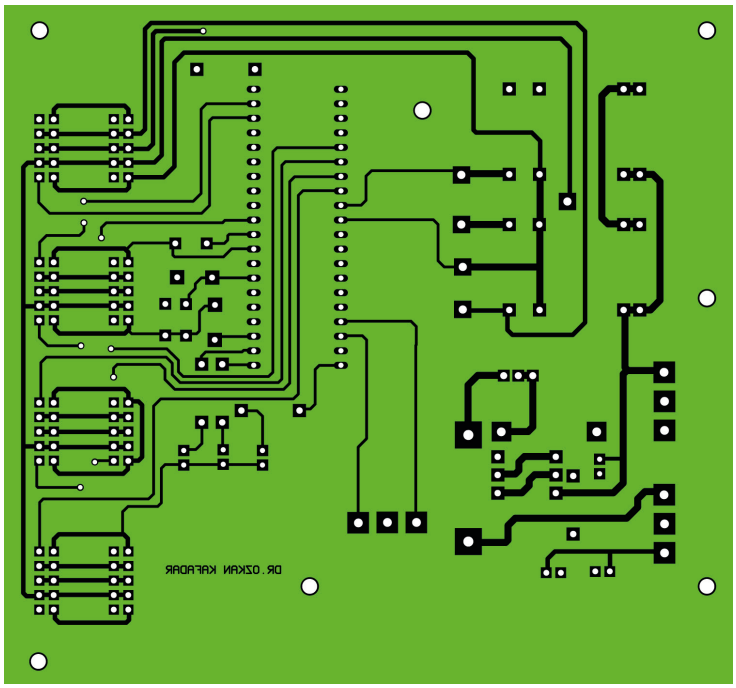

Şekil 4.21. Sinyal işleme kartının arka yüz şeması

Tasarlanan cihazın merkezi kontrol birimini ve akü şarj ünitesini içeren baskı devre şemasının ön yüz ve arka yüz şeması Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' de görülmektedir. Son

olarak cihazın kutulanması işlemi yapılmıştır. Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' da cihazın farklı açılardan dış görünümleri görülmektedir. Şekil 4.27' de ise cihazın iç yapısı görülmektedir.



Şekil 4.22. Merkezi kontrol birimi ve akü şarj devresini içeren kartın ön yüz görünümü



Şekil 4.23. Merkezi kontrol birimi ve akü şarj devresini içeren kartın arka yüz görünümü



Şekil 4.24. Cihazın sol perspektif görünümü



Şekil 4.25. Cihazın ön panelinin görünümü



Şekil 4.26. Cihazın sağ perspektif görünümü



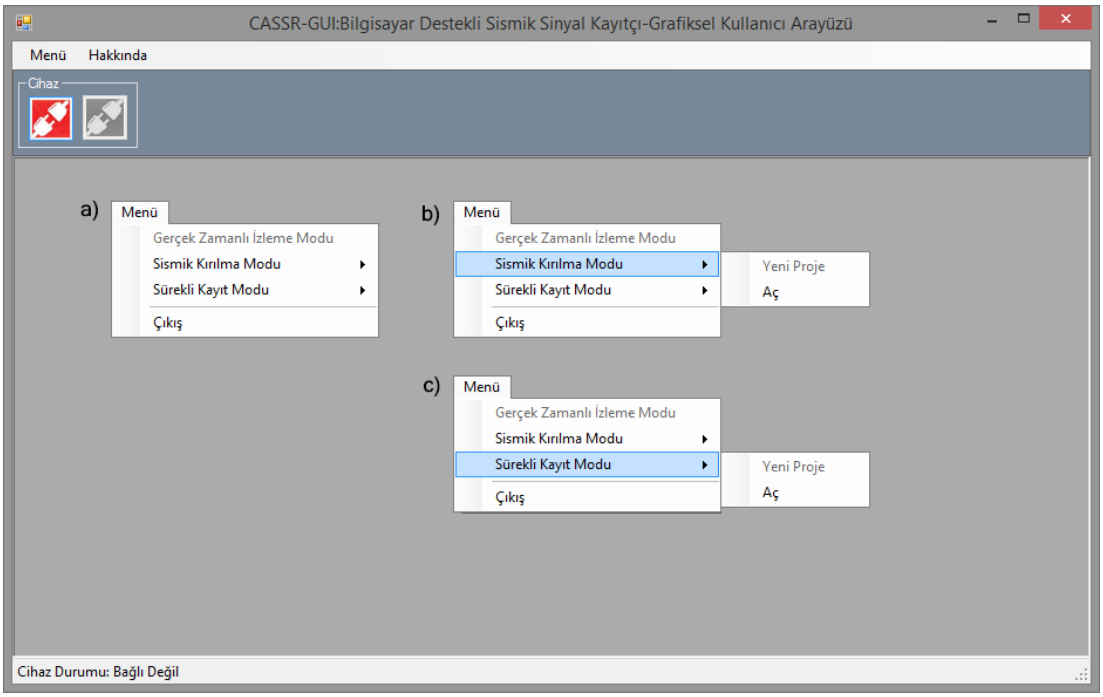
Şekil 4.27. Cihazın iç yapısının görünümü

4.3.3. Grafiksel kullanıcı arayüzü ve simülasyon

4.3.3.1. Ana program penceresi

Tasarlanan harici donanım ile bilgisayar arasında iletişimi sağlamak, cihazı kontrol etmek, verilerin transferi, kayıt ve analiz işlemlerini yapmak üzere, Visual C#.NET dili kullanılarak Windows işletim sistemi tabanlı bir grafiksel kullanıcı arayüzü CASSR-GUI (Computer Aided Seismic Signal Recorder-Graphical User Interface, Bilgisayar Destekli Sismik Sinyal Kayıtçı- Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) geliştirilmiştir. Yazılım grafiksel kullancı arayüzü ile ilgili binlerce satır kod içermektedir. Bu nedenle EK-B' de sadece veri iletimi ve verilerin kayıt edilmesi ile ilgili kod satırlarına yer verilmiştir. Yazılımın ana penceresi ve menüsü Şekil 4.28' de görülmektedir ve diğer pencerelerin kontrolü bu menü aracılığı ile yapılmaktadır.

Ana pencere üzerindeki Cihaz paneli kullanılarak harici donanıma bağlantı kurma veya bağlantıyı kesme işlemleri yapılabilmektedir. Cihaz ile bağlantı kurulması durumunda, program ana menüsündeki Gerçek Zamanlı İzleme Modu, Sismik Kırılma Modu > Yeni proje ve Sürekli Kayıt Modu > Yeni Proje alt menüleri aktif olacaktır. Ana program menüsünün alt menüleri Şekil 4.28a, Şekil 4.28b, Şekil 4.28c' de görülmektedir.



Şekil 4.28. Yazılımın ana penceresi ve menüsünün ekran görüntüsü

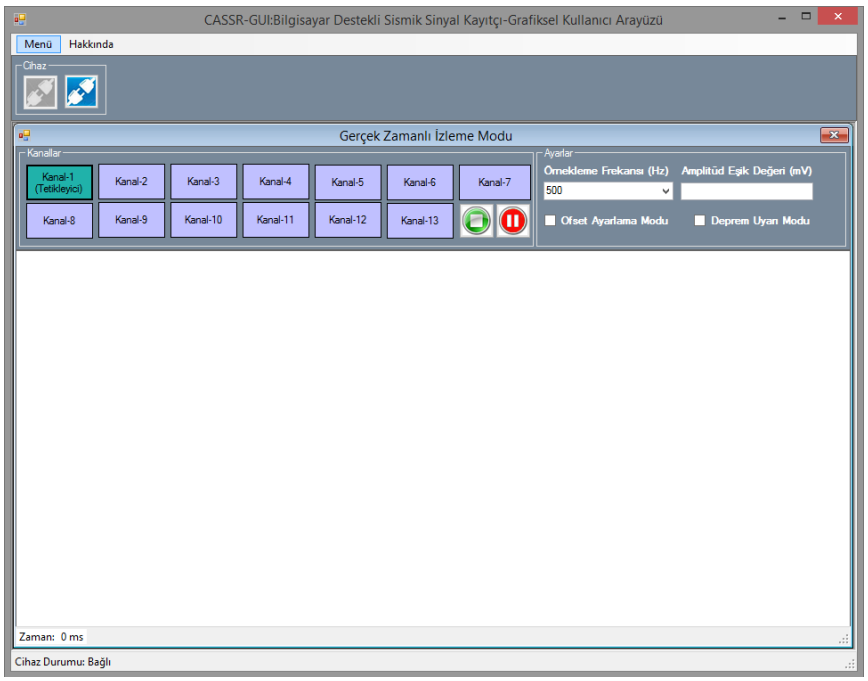
4.3.3.2. Gerçek zamanlı izleme modu

Gerçek zamanlı izleme penceresinin ekran görüntüsü Şekil 4.29' da görülmektedir. Bu pencere kanallar paneli, ayarlar paneli ve sinyallerin görüntülendiği bir panelden oluşmaktadır.

Kanallar panelinde Kanal-1' den Kanal-13' e kadar butonlar, durdur ve duraklat butonları yer almaktadır. Bu panel kullanılarak cihazın kanal girişlerine bağlı her bir sensörün çıkışı izlenebilir.

Gerçek zamanlı izleme modunda her bir kanaldaki sinyallerin gürültü analizleri de yapılabilmektedir. Özellikle 1. kanalın gürültü analizi önemlidir. Çünkü 1. kanal sismik kırılma modunda tetik jeofonu olarak kullanılmaktadır ve 1. kanalın analiz değerleri, tetik jeofonu için girilecek eşik değeri için önemlidir. Bunun haricinde diğer kanallar da kontrol edilerek, bağlantı problemi veya başka bir problemden kaynaklı bozuk kayıt alınması önlenebilir.

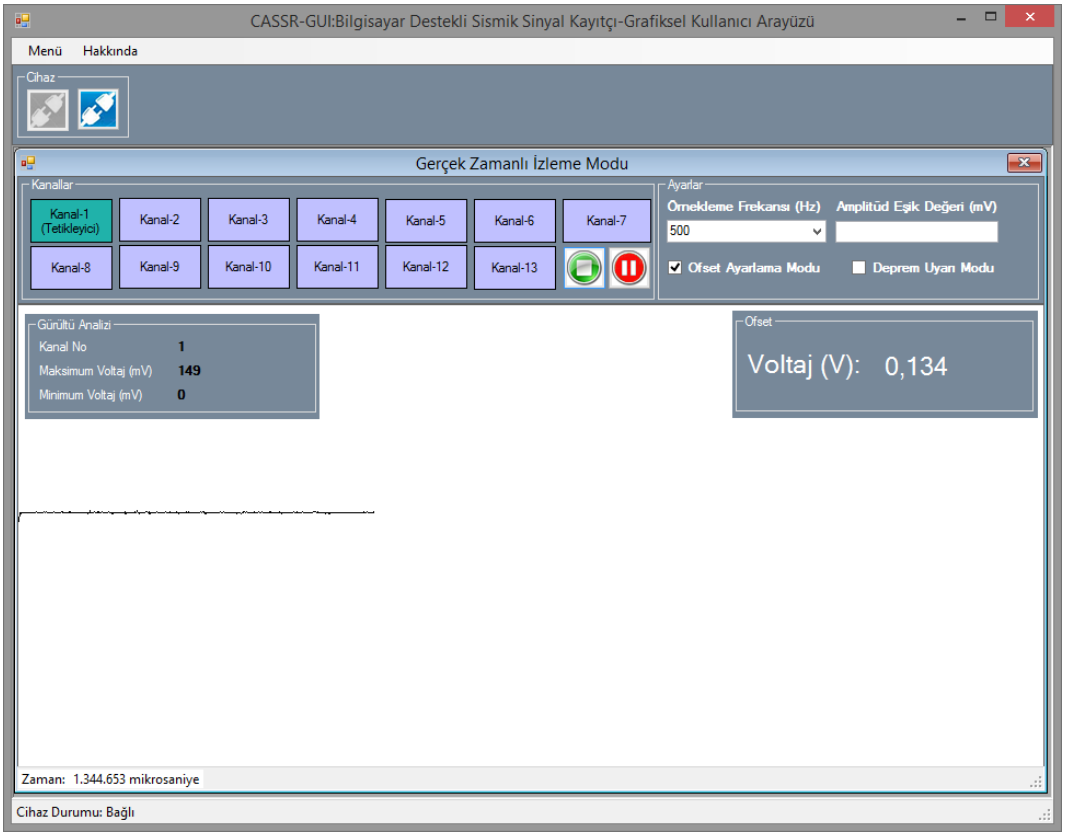
Kanallardaki sinyalleri görüntüleyebilmek için öncelikle örnekleme frekansının seçilmesi gerekmektedir. Örnekleme frekansları, kullanıcı tanımlı olarak 500, 250 ve 100 Hz olarak seçilebilmektedir.



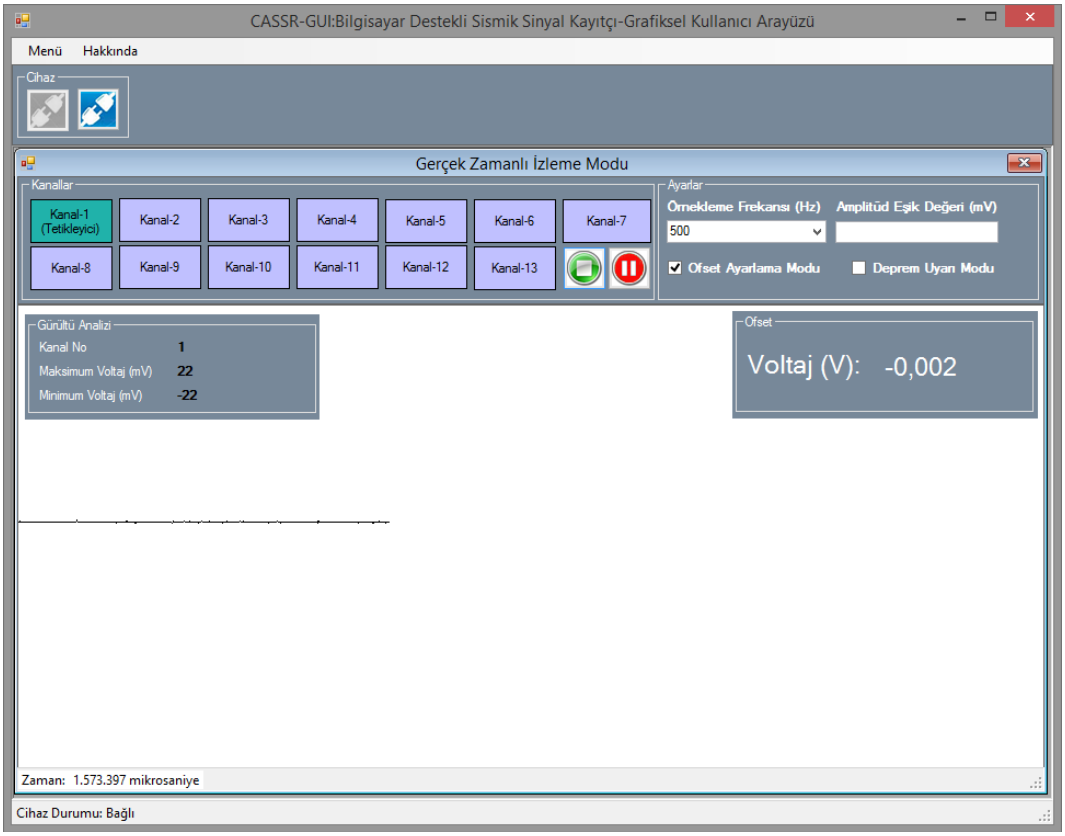
Şekil 4.29. Gerçek zamanlı izleme penceresinin ekran görüntüsü

Gerçek zamanlı izleme penceresi aynı zamanda deprem izleme modunda da kullanılabilmektedir. Bu işlem için amplitüd eşik değeri girilmesi ve deprem modu onay kutusunun işaretlenmesi gerekmektedir. Kanala bağlı sensörün çıkışındaki voltaj değeri, kullanıcı tarafından girilen eşik değerinin üzerine çıktığı anda alarm çalmaya başlar ve duraklat butonu tıklanıncaya kadar alarm çalmaya devam eder.

Ayarlar panelindeki ofset sıfırlama özelliği sayesinde her bir kanal için sistemden kaynaklanan ve giriş sinyalinin üzerine binen DC ofset yok edilebilmektedir. Ofset sıfırlama modunda 100 Hz örnekleme frekansı otomatik olarak seçilmektedir. Ofset sıfırlama esnasında kanal girişlerinde sensör takılı olmamasına dikkat edilmelidir. Şekil 4.30 ve Şekil 4.31' de ofset sıfırlaması yapılmamış ve ofset sıfırlaması yapılmış kanal çıkışları görülmektedir. Şekil 4.30' da görüldüğü üzere, ofset sıfırlaması yapılmamış kanaldaki çıkış voltajı -0,134 V seviyesindedir. Şekil 4.31' de ise ofset sıfırlaması yapılmış kanalın çıkış voltajının -0,002 V seviyesinde olduğu görülmektedir.



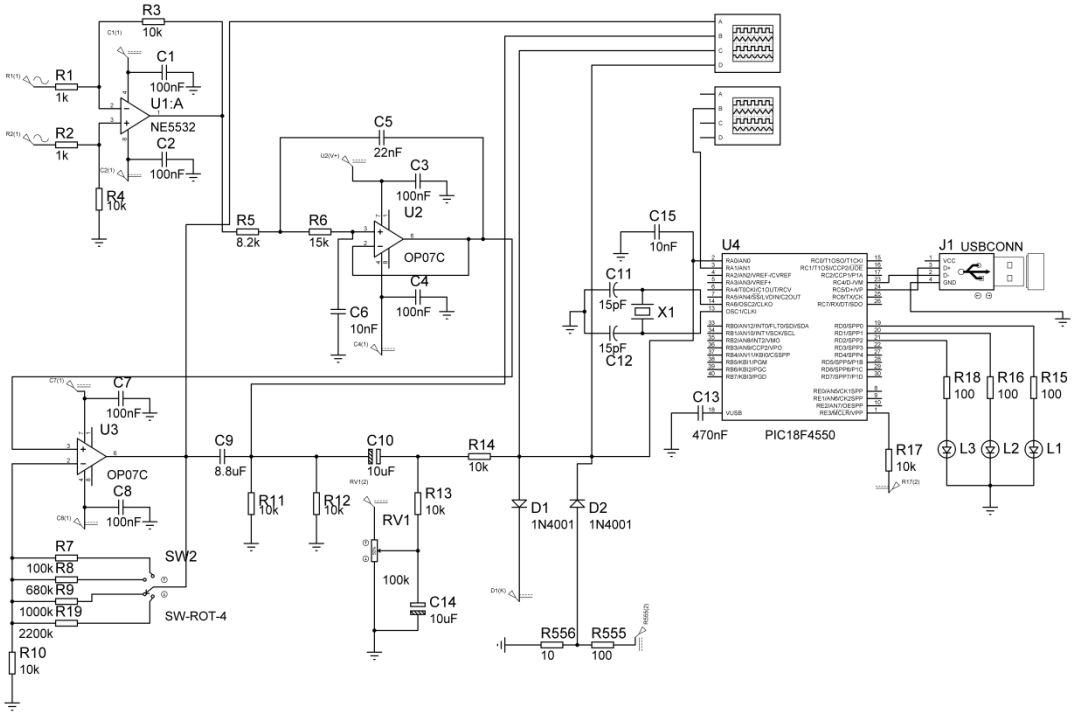
Şekil 4.30. Ofset sıfırlaması yapılmamış kanal çıkışı



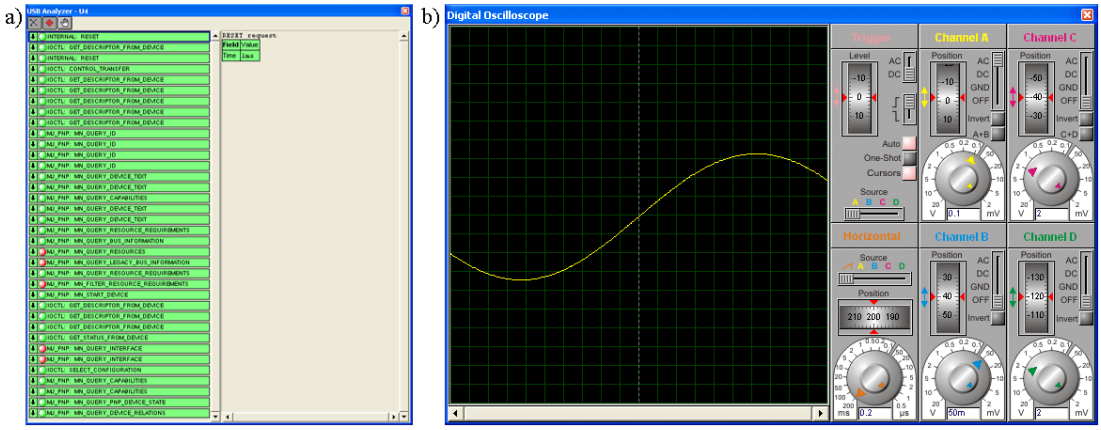
Şekil 4.31. Ofset sıfırlaması yapılmış kanal çıkışı

Sürekli kayıt modunu bilgisayar ortamında test etmek için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada Proteus kullanılarak tasarlanan sistemin bir kanalını içeren bir açık devre şeması hazırlanmıştır. Proteus' un Sanal USB Sürücü (Virtual USB Driver) özelliği kullanılarak Proteus ile üretilen ve işlenen sinüsoidal sinyallerin CASSR-GUI programına transferi sağlanmıştır. Şekil 4.32' de Proteus açık devre şeması görülmektedir. Şekil 4.34' de ise Proteus uygulaması ile üretilen sinyallerin eş zamanlı olarak CASSR-GUI uygulamasındaki ekran görüntüsü görülmektedir.

Proteus uygulaması için simülasyon başlatıldığında, bilgisayar ile USB bağlantısı kurulduğu anda D2 isimli LED, CASSR-GUI ile cihaz arasındaki veri iletişimi hazır olduğunda D3 isimli LED ve veri transferi esnasında ise D4 isimli LED yanarak kullanıcıya işlem hakkında bilgi vermektedir. Sistemin kanal girişine genlikleri +50 mV ve -50 mV olan iki sinüsoidal sinyal uygulanmıştır. Simülasyon esnasında Proteus USB analizci (USB analyzer) ve digital osiloskop (digital oscilloscope) ekran görüntüleri sırasıyla Şekil 4.33a ve Şekil 4.33b' de görülmektedir.

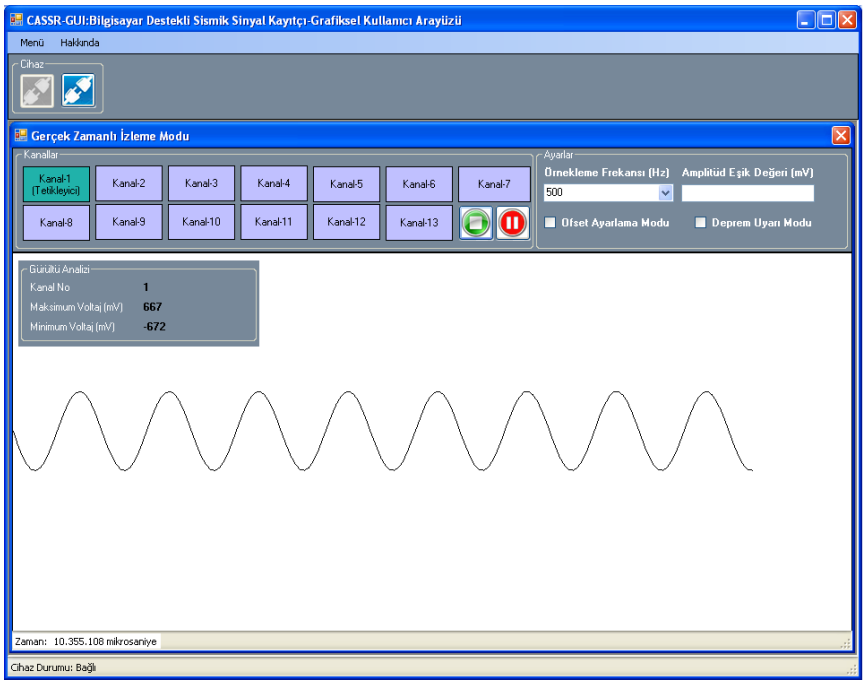


Şekil 4.32. Tasarlanan sistemin bir kanalını içeren Proteus açık devre şeması



Şekil 4.33. Simülasyon esnasında Proteus yazılımındaki a) USB analiz ve b) dijital osiloskop pencerelerinin ekran görüntüsü

Giriş sinyallerinin fark genliği ±10 mV iken çıkış sinyalinde 40 dB' lik bir kazanç uygulandığında normal şartlarda ±1 V' luk bir çıkış sinyali görülmesi gerekirken ±667 mV' luk bir genlik görülmüştür. Bunun nedeni seçilen sinyal frekansının 1 Hz' in altında olması ve yüksek geçişli filtrenin sinyali bastırma etkisidir. 4.5 Hz' lik bir jeofon takılı iken oluşturulan titreşimin Gerçek Zamanlı İzleme Modu penceresindeki görüntüsü ise Şekil 4.35' de görülmektedir.



Şekil 4.34. Simülasyon esnasında Gerçek Zamanlı İzleme Modu penceresinin ekran görüntüsü

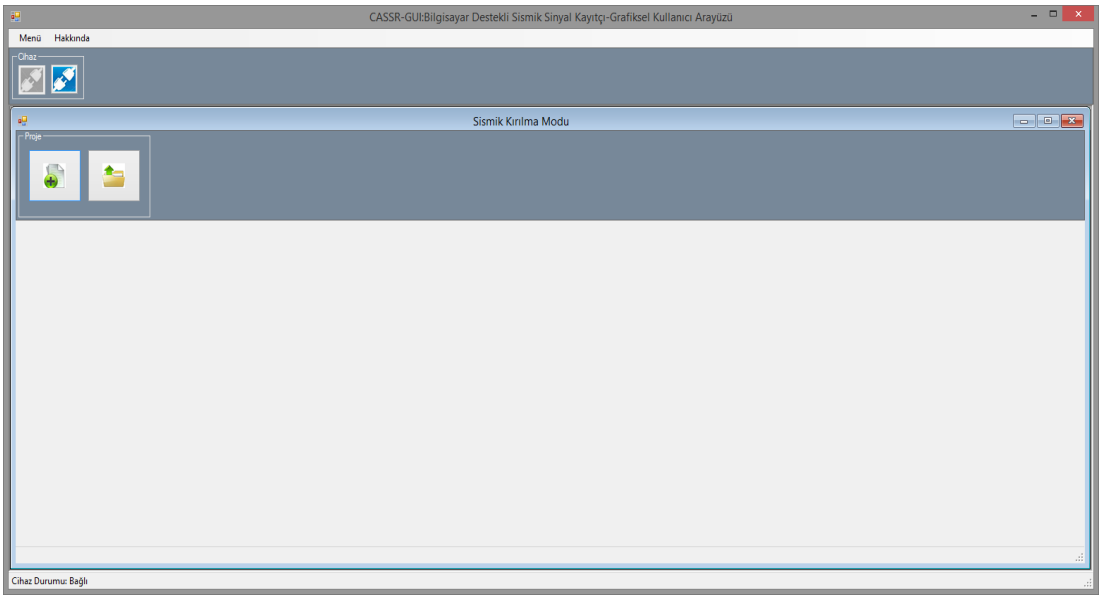


Şekil 4.35. Sistemde 1 nolu kanalda 4.5 Hz' lik bir jeofon takılı iken oluşturulan titreşimin Gerçek Zamanlı İzleme Modu penceresindeki görüntüsü

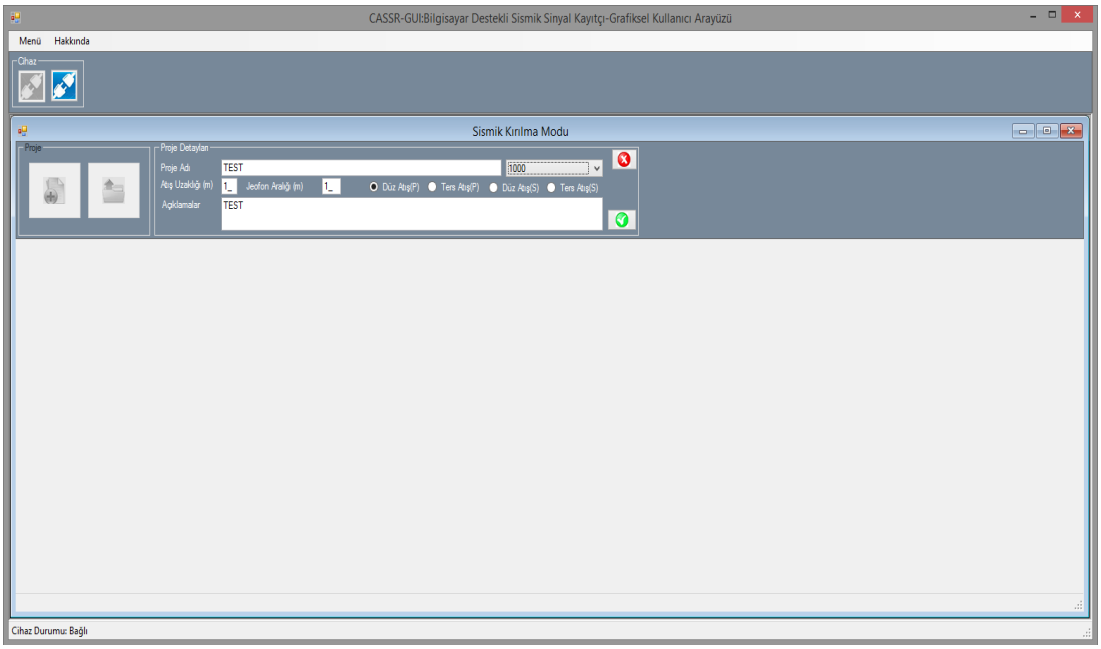
4.3.3.3. Sismik kırılma modu

Şekil 4.36' da sismik kırılma moduna ait ekran görüntüsü görülmektedir. Proje panelinde Yeni Proje ve Aç butonları yer almaktadır. Yeni Proje butonuna tıklandığında Proje Detayları paneli ekrana gelmektedir (Şekil 4.37). Proje Detayları panelinde proje adı, kayıt uzunluğu, atış ofseti, jeofon aralığı, atış tipleri: düz atış (P), ters atış (P), düz atış (S) ve ters atış (S) ve açıklama bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Kayıt uzunluğu; 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000 ms olarak seçilebilmektedir. Bilgi girişinin ardından OK butonuna tıklandığında sismik kırılma moduna ait Menü paneli ekrana gelmektedir (Şekil 4.38). Veriler gerçek zamanlı olarak doğrudan bilgisayara kayıt edilmektedir. Bu tez kapsamında Intel Core i7-4700MQ 2,40Ghz işlemcili ve 32 GB belleğe sahip bir bilgisayar kullanılarak, 350 mikrosaniyelik bir örnekleme aralığı ile veriler kayıt edilmiştir.

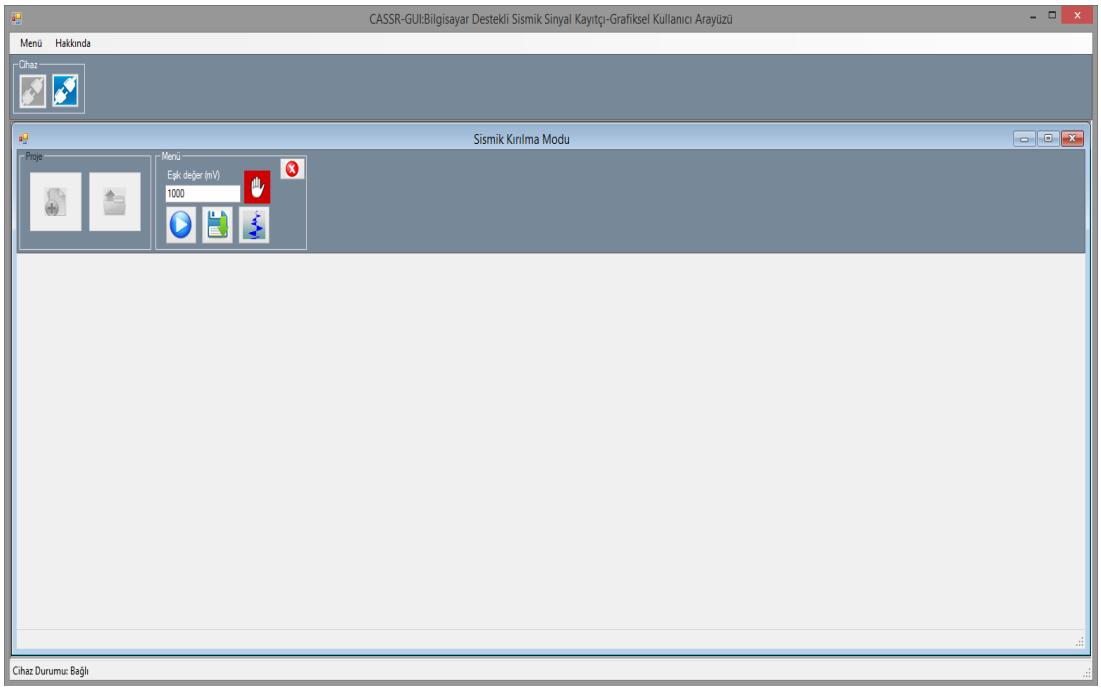
Menü panelinde tetik jeofonu için eşik değeri mV olarak girilerek, Başlat butonuna tıklanması gerekir. Tetik jeofonundaki voltaj değeri eşik değerini aştığında kırmızı el işaretli ikon yeşile dönüşür ve kayıt işleminin başladığını gösterir. Seçilen kayıt uzunluğuna bağlı olarak ön kayıt işlemi yapılır ve otomatik olarak sistem durur (Şekil 4.39). Bu işlemin ardından Kaydet butonuna tıklanarak veriler kayıt edilir ve Sismogram ikonu aktif olur. Böylece sismik kayıt proje olarak kayıt edilebilir ve sismogram modunda görüntülenebilir (Şekil 4.40).



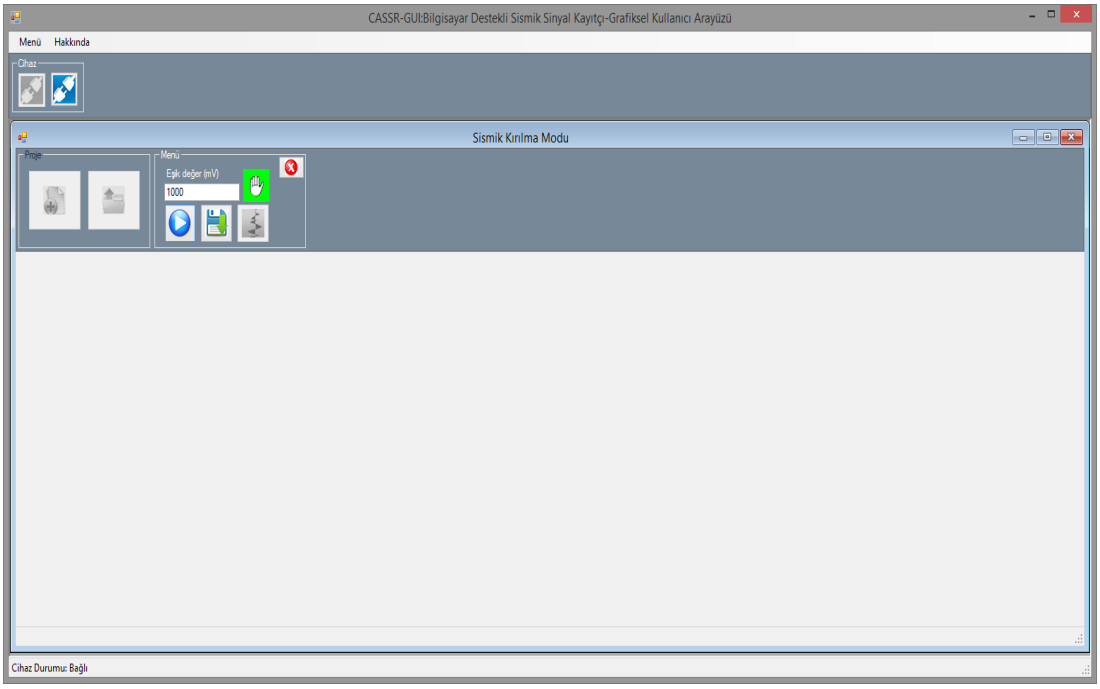
Şekil 4.36. Sismik kırılma modu penceresinin ekran görüntüsü



Şekil 4.37. Sismik kırılma modu penceresinde Proje Detayları panelinin ekran görüntüsü

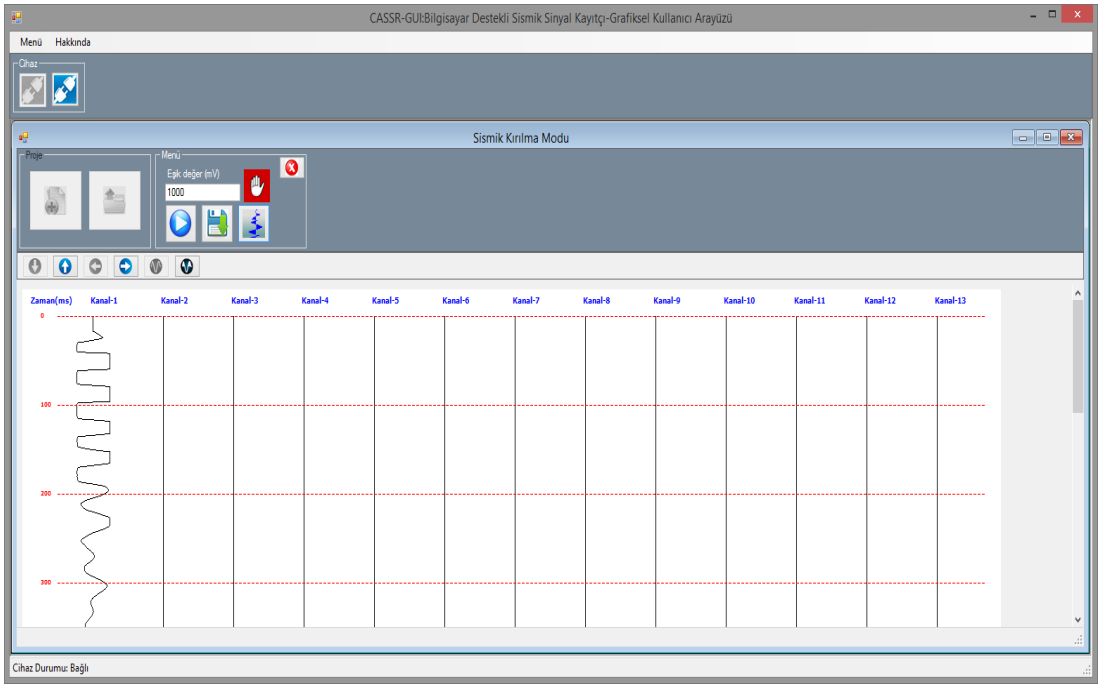


Şekil 4.38. Kırılma modu penceresinde Menü panelinin ekran görüntüsü

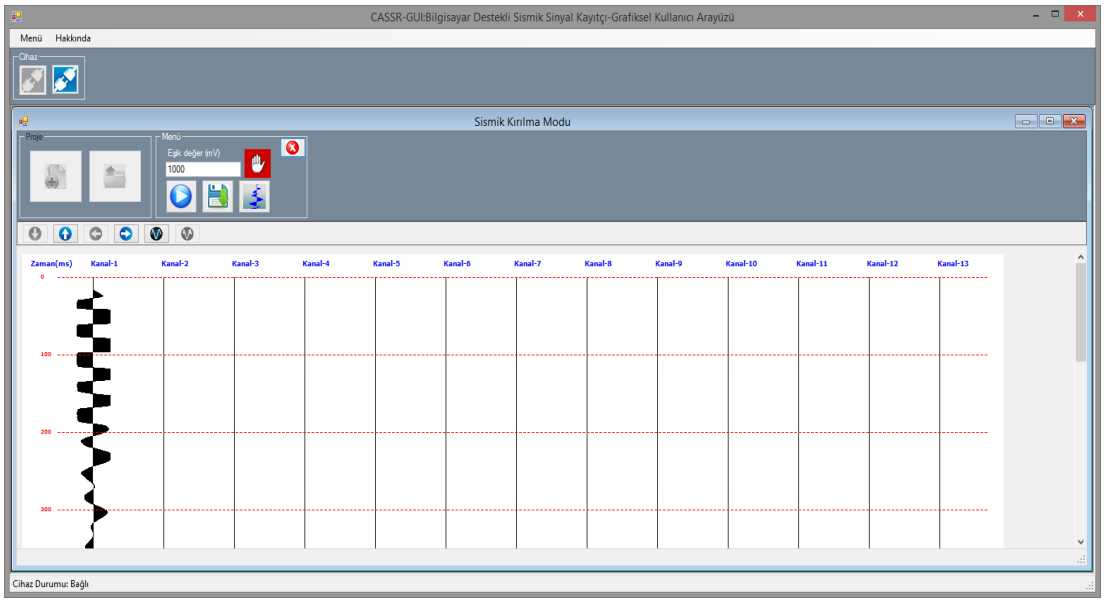


Şekil 4.39. Kayıt işlemi sonrası Sismik Kırılma Modu penceresinin ekran görüntüsü

Şekil 4.41' de görüldüğü üzere Variable Area butonuna tıklanarak sismogramın variable area sismik iz stili modunda görüntülenmesi sağlanabilir.



Şekil 4.40. Kayıt edilen sinyalin wiggle sismik iz stili modundaki görüntüsü

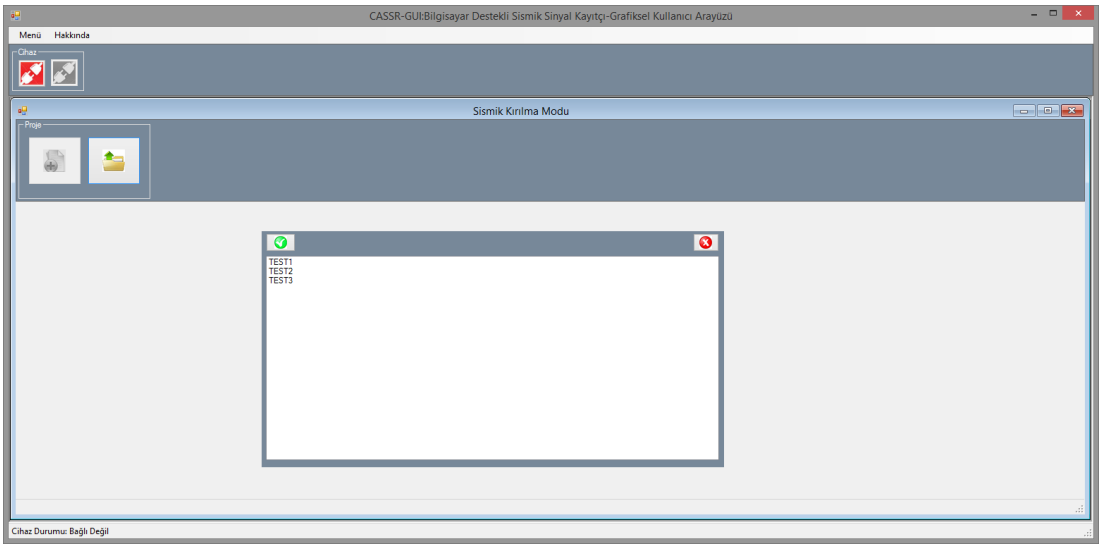


Şekil 4.41. Kayıt edilen sinyalin variable area sismik iz stili modundaki görüntüsü

4.3.3.4. Veri yorumlama pencereleri ve teorik uygulama

CASSR-GUI uygulamasında Menü > Sismik Kırılma Modu > Aç menüsü takip edilerek, kayıtlı sismik kırılma verilerinin görüntülenmesi ve yorumlanması mümkündür. Sistemin çalışma adımlarını izah etmek için teorik bir sismogram kullanılmıştır. Bu amaçla bir sismik dalgacık oluşturularak, üç katmanlı bir ortamı yansıtacak şekilde belirli ofsetler verilmiş ve 13 adet sismik iz oluşturulmuştur. Burada önemli olan nokta aynı projeye ait atışların aynı proje adı altında kayıt edilmesidir. Bunun nedeni CASSR-GUI' nin bir projeye ait bütün atışları birlikte yorumlayabilecek şekilde geliştirilmesinden dolayıdır. Şekil 4.42' de görüldüğü üzere Sismik Kırılma Modu penceresinde Aç butonuna tıklandığında, sistemde kayıtlı bütün projelerin listelendiği bir panel ekrana gelmektedir. Bu panelde proje adı seçildikten sonra onay butonuna tıklandığında Analizler penceresi ekrana gelmektedir (Şekil 4.43). Analizler penceresi Düz Atış(P)&Ters Atış(P) Sismogramları, Düz Atış(S) & Ters Atış(S) Sismogramları, Zaman Uzaklık Grafikleri, Sismik Parametreler ve Model sekmelerinden oluşmaktadır.

Pencere açıldığında projede kayıtlı bütün atışlar için sismogramlar otomatik olarak yüklü gelmektedir. Teorik uygulamada düz-P, ters-P, düz-S ve ters-S atışları mevcut olduğundan bütün sismogram pencereleri dolu olarak gelmiştir.

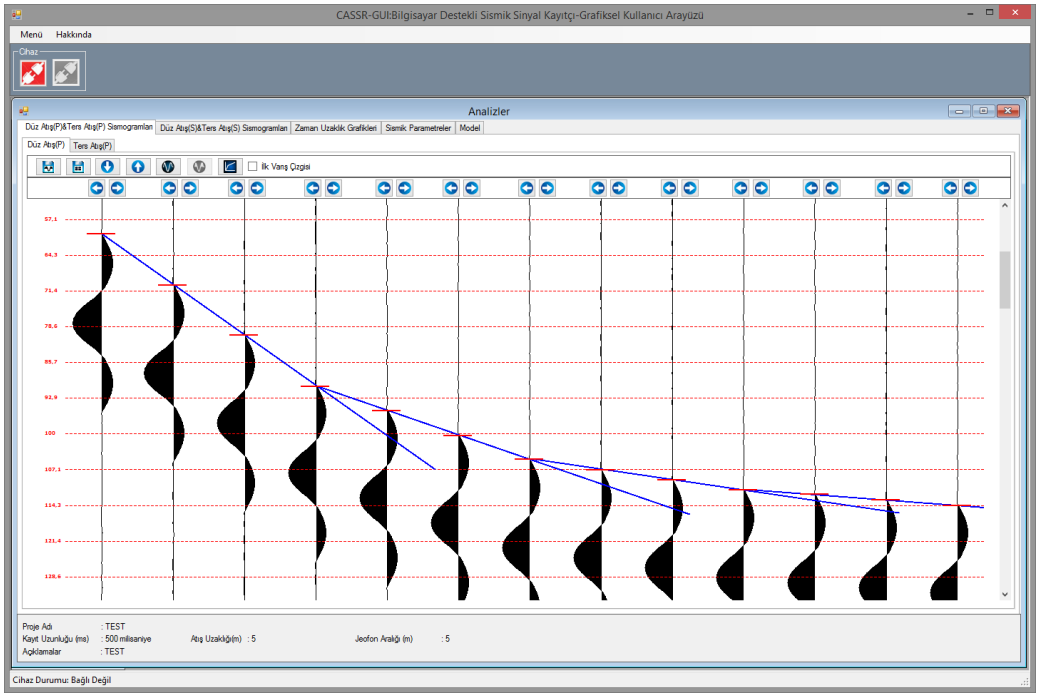


Şekil 4.42. Kayıtlı projelere erişim penceresi

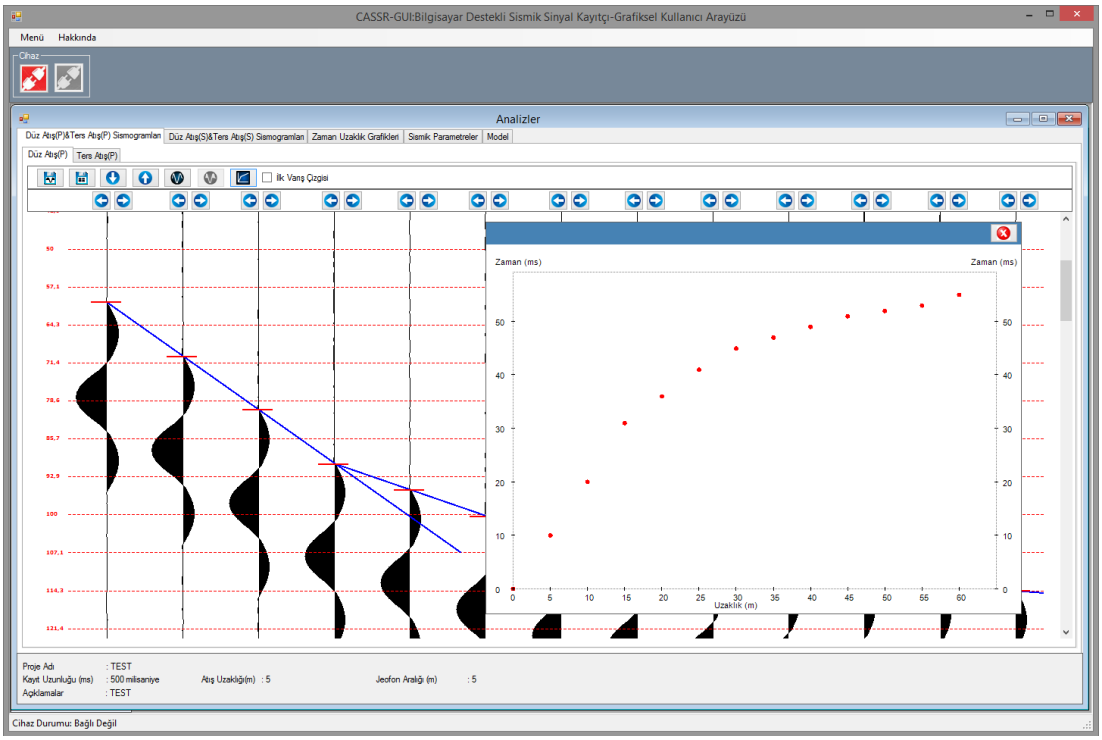
Düz atış(P) ve ters atış(P) sismogramları penceresinde iki atış tipine ait sismogramlar farklı pencerelerde görüntülenmektedir. Bu pencerelerde sismik izleri daha detaylı inceleyebilmek için zaman ekseni ve sinyal amplitüdlerinde kazanç işlemi yapılabilmekte, sismik izler variable area ve wiggle sismik iz stilleri kullanılarak görüntülenebilmekte ve ilk varışlar işaretlenebilmektedir (Şekil 4.43). İlk varış çizgisi modu kullanılarak, katmanları en iyi şekilde ifade edebilecek doğrular çizilebilmekte, bu sayede ilk varışların işaretlenmesi daha pratik bir şekilde yapılabilmektedir. Tetik jeofonu için ayrılan kanal da olmak üzere tüm kanallar için ilk varışların belirlenmesi sonrasında sismogram görüntüsü ve ilk varış verileri kaydet butonları kullanılarak kayıt edilmelidir. İlk varışlar kayıt edildikten sonra zaman-uzaklık grafiği butonu aktif hale gelmekte ve belirlenen ilk varışlar zaman-uzaklık grafiği üzerinde görüntülenmektedir (Şekil 4.44). Bu sayede belirlenen ilk varışlarda problem olup olmadığı tespit edilebilmekte, problem olan izler için yeniden ilk varış işaretleme işlemi yapıldıktan sonra kayıt etme işlemi tekrarlanabilmektedir. Aynı işlemler eğer ters atış(P), düz atış(S) ve ters atış(S) mevcut ise bu kayıtlar için de tekrarlanmalıdır (Şekil 4.45-Şekil 4.50).

İlk varışların kayıt edilmesi işleminin ardından zaman-uzaklık grafikleri sekmesine tıklanarak yorumlamanın ikinci aşamasına geçilebilir (Şekil 4.51). Veri yükle butonuna tıklanarak, her bir atış için uzaklıklar ve ilk varışların bir grid içerisinde görüntülenmesi sağlanabilir (Şekil 4.52). Ayrıca tüm atışlara ait veriler aynı zaman-uzaklık grafiğinde görüntülenebilir. Arzu edildiğinde zaman-uzaklık grafiği

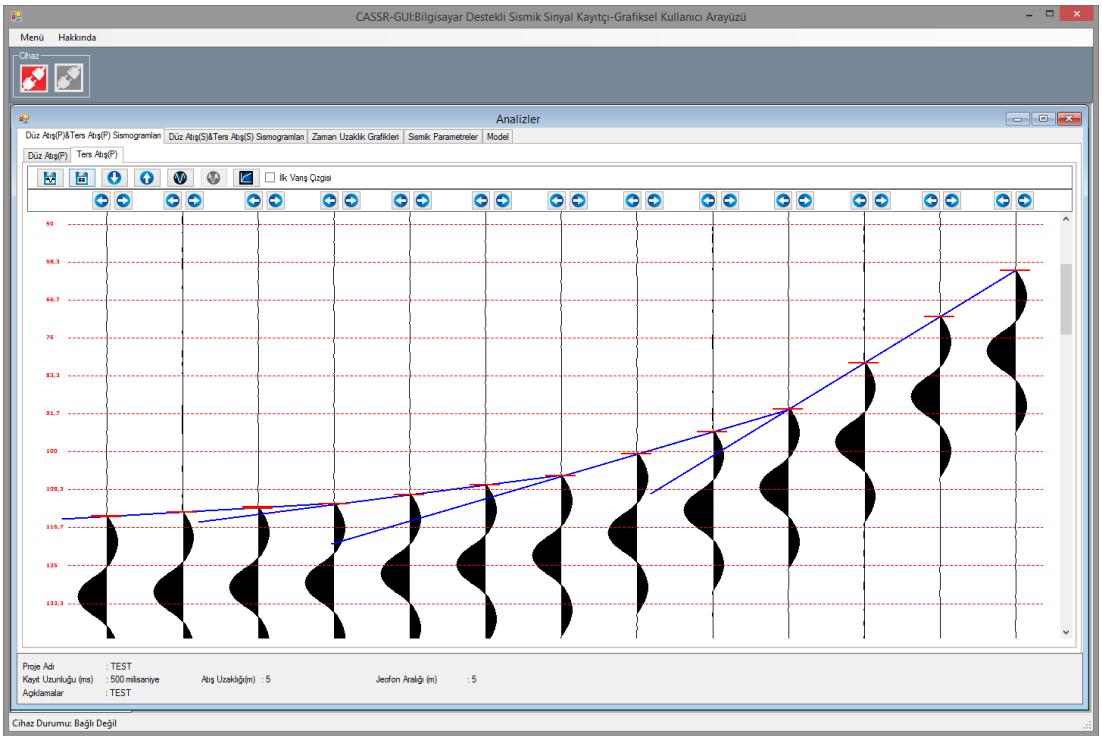
panelindeki butonlar kullanılarak her bir atışa ait zaman-uzaklık grafiği de ayrı ayrı görüntülenebilir.



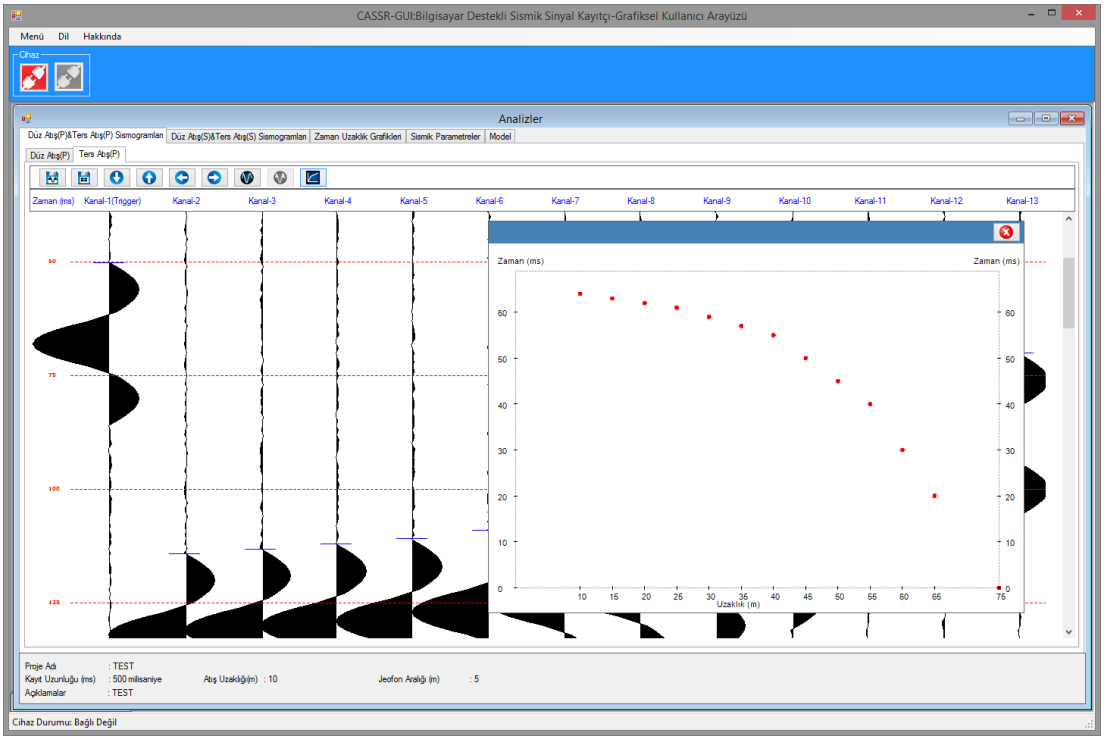
Şekil 4.43. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(P) sismogramı ve P dalgası ilk varışları



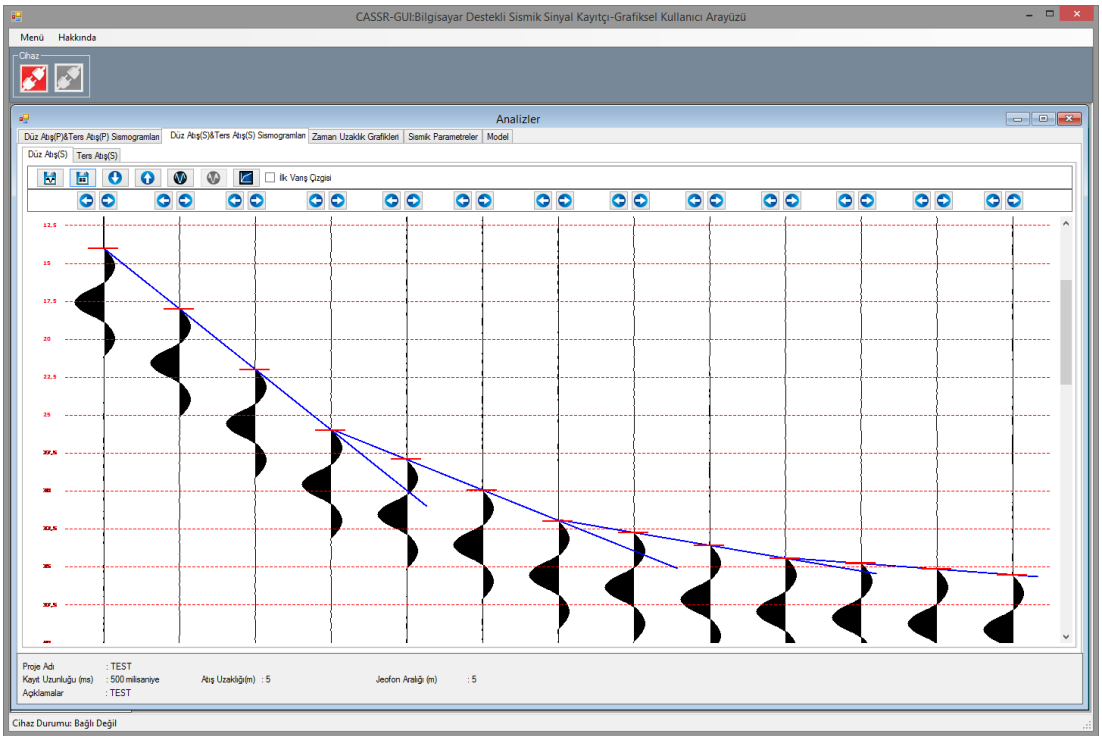
Şekil 4.44. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(P) sismogramı, P dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği



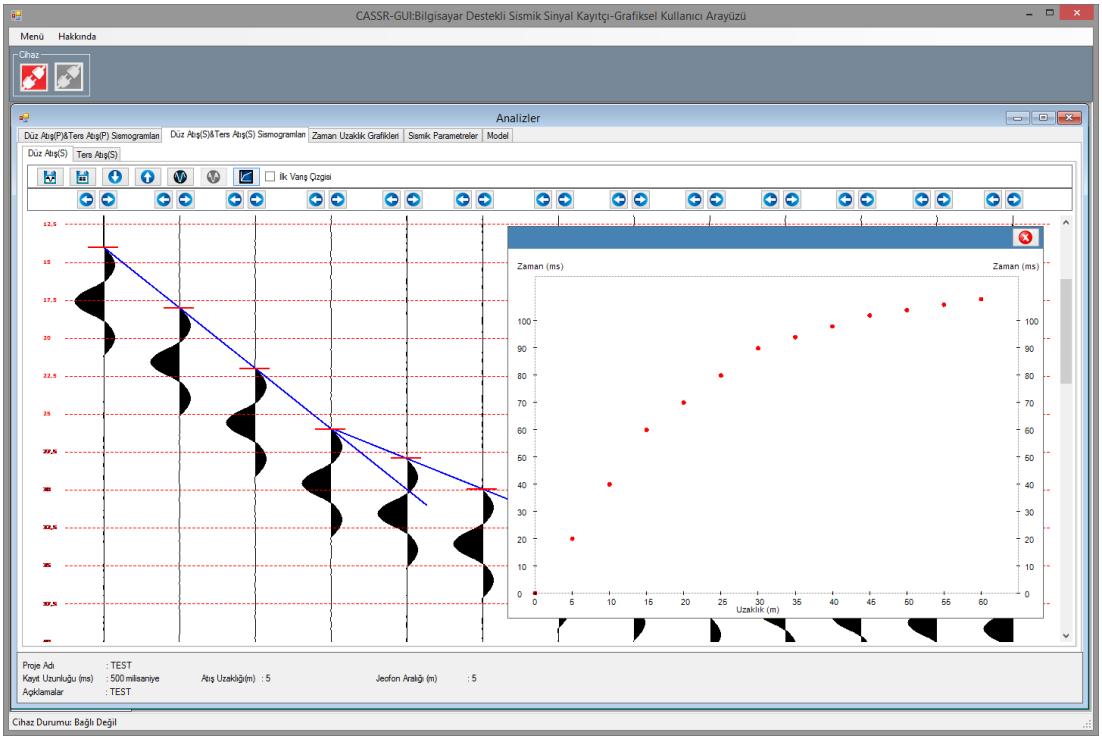
Şekil 4.45. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(P) sismogramı ve P dalgası ilk varışları



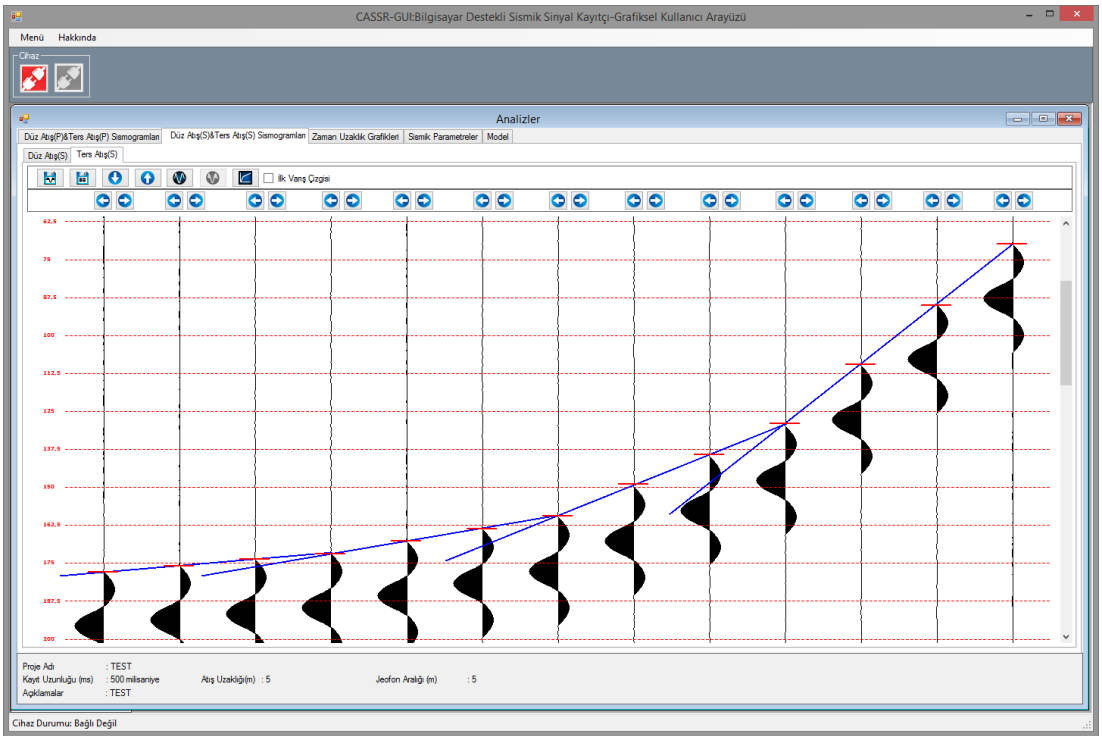
Şekil 4.46. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(P) sismogramı, P dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği



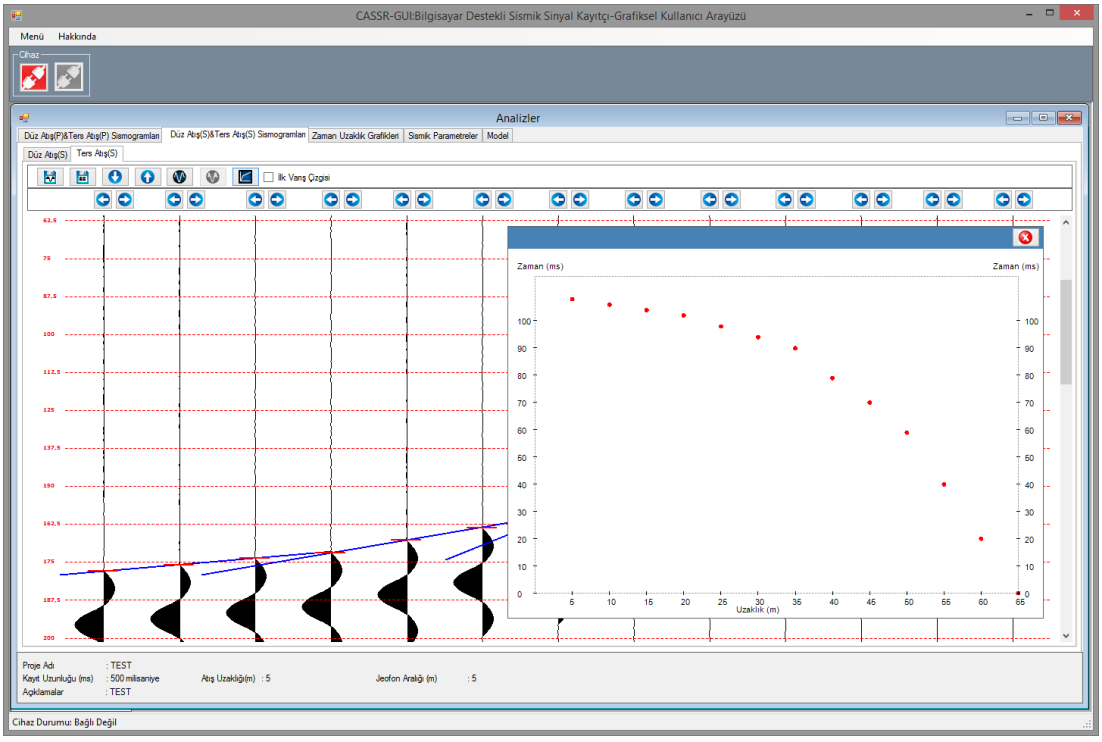
Şekil 4.47. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(S) sismogramı ve S dalgası ilk varışları



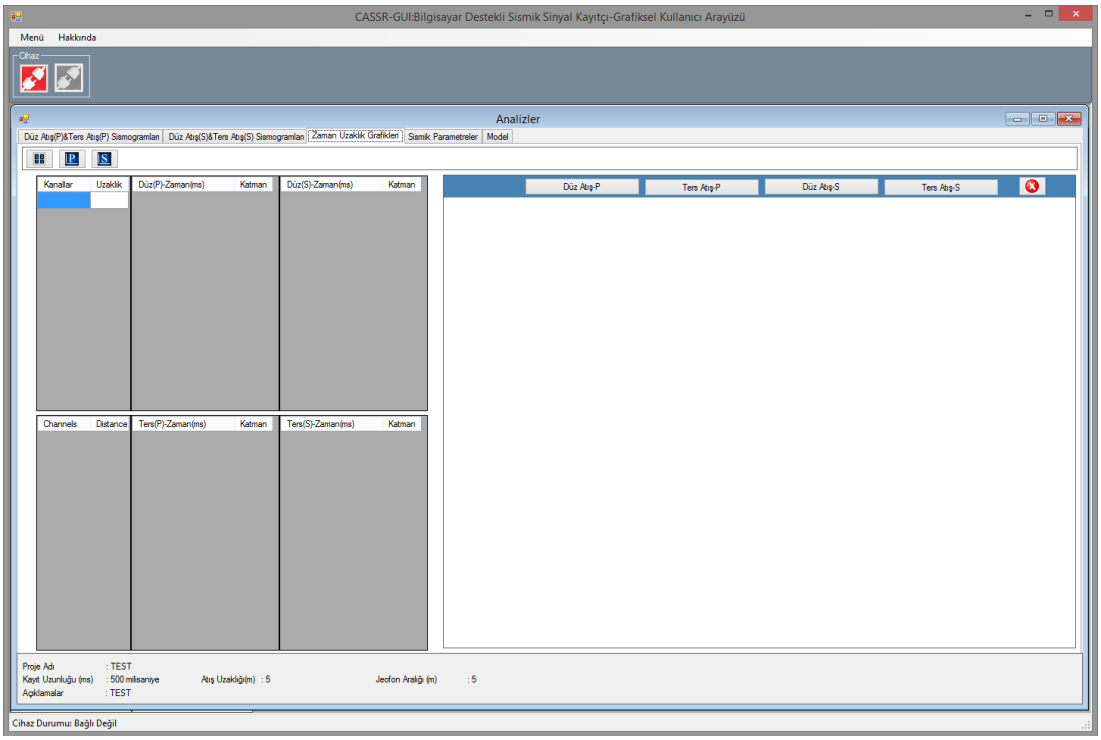
Şekil 4.48. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait düz atış(S) sismogramı, S dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği



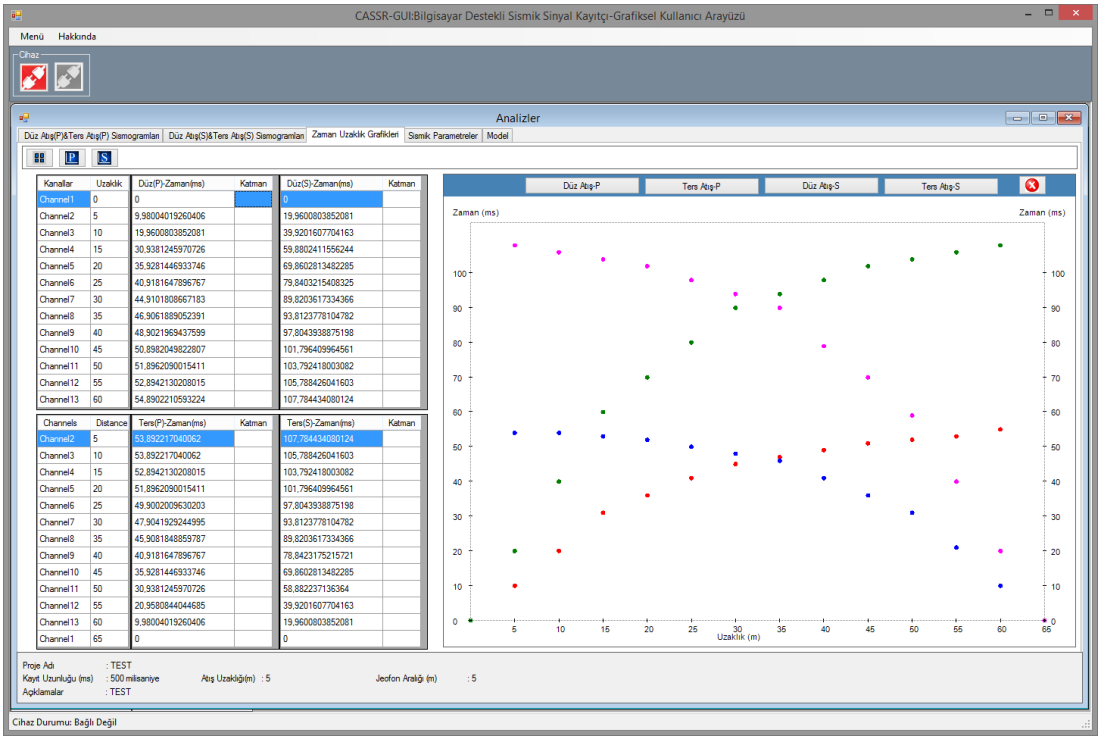
Şekil 4.49. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(S) sismogramı ve S dalgası ilk varışları



Şekil 4.50. Analizler penceresi, teorik uygulamaya ait ters atış(S) sismogramı, S dalgası ilk varışları ve zaman uzaklık grafiği



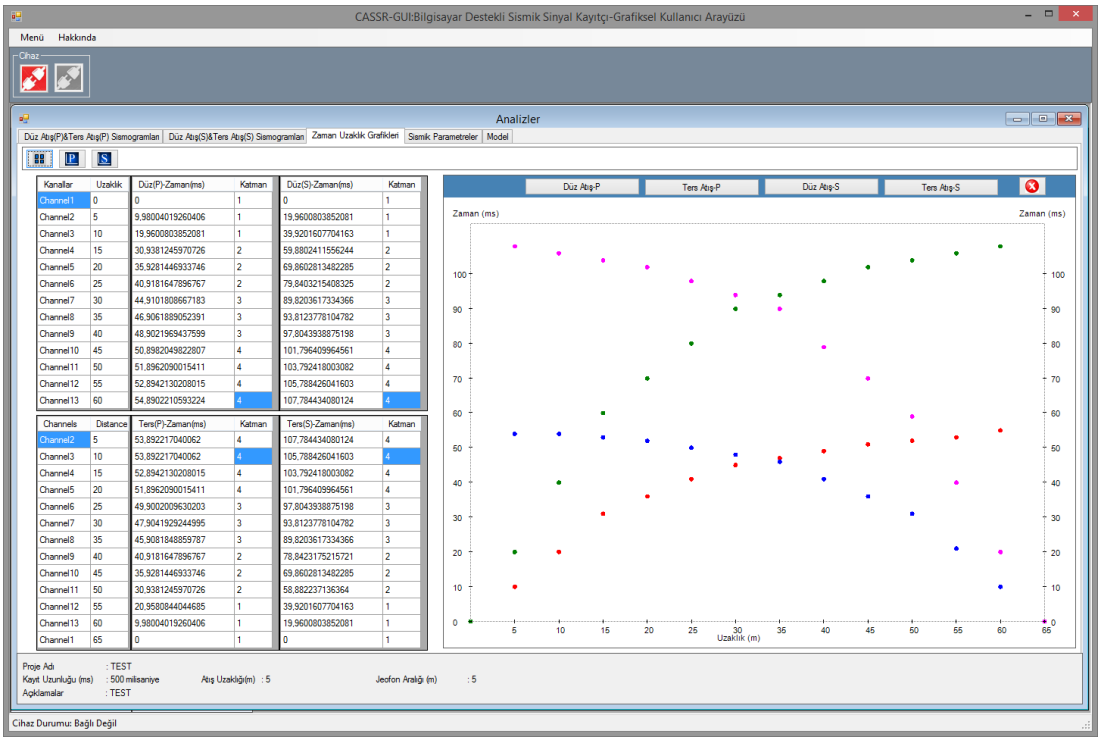
Şekil 4.51. Analizler penceresi içerisindeki Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinin ekran görüntüsü



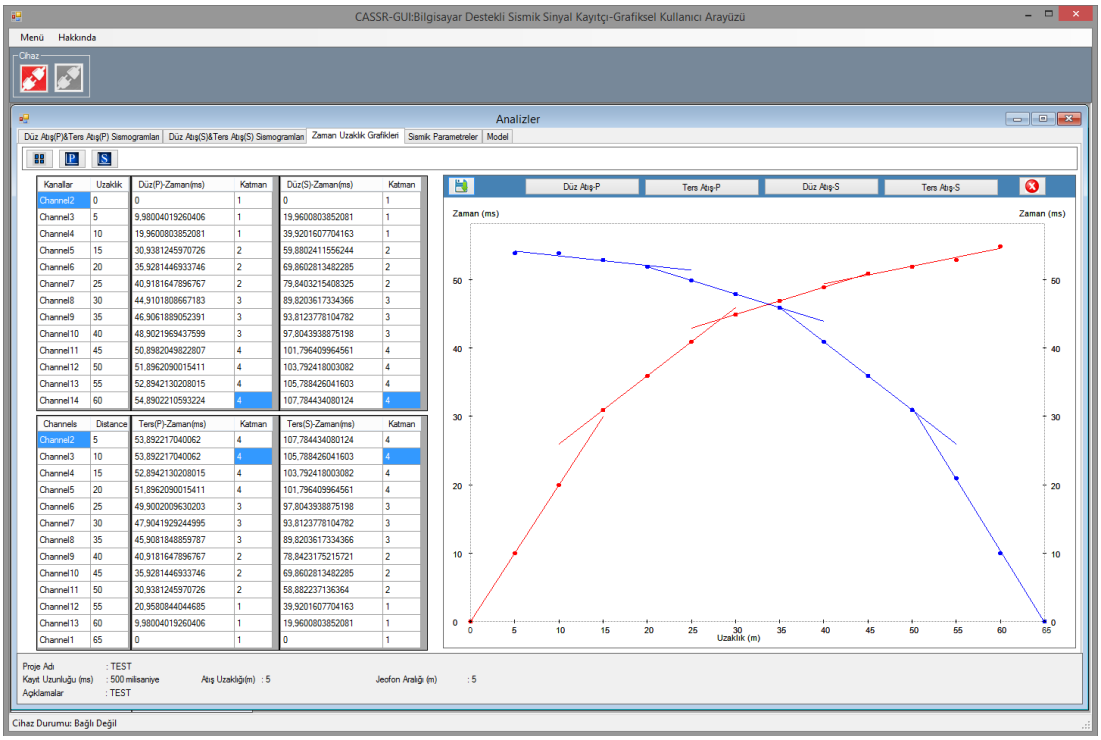
Şekil 4.52. Analizler penceresi içerisindeki Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde her bir atış için varış zamanları ve zaman uzaklık grafikleri

Bu aşamada zaman-uzaklık grafiğindeki gecikme zamanları takip edilerek her bir atış için katman numaralandırması yapılarak katmanlar belirlenmelidir (Şekil 4.53). Katman numaraları düz atışlarda 1' den başlayarak, ters atışlarda ise son katman numarasından başlayarak girilmelidir. Bütün atışlar için katman numaralandırma işleminin ardından, P ve S harfleri ile simgelendirilmiş butonlar kullanılarak, her bir katmanı en iyi temsil eden doğrular çizdirilmelidir (Şekil 4.54 ve Şekil 4.55). Bu doğruları elde etmek için teorisi bölüm 1.3.2.5' de verilen en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Bu işlemlerin ardından zaman-uzaklık grafiği panelindeki kaydet butonu kullanılarak her bir katman için kesme zamanları, kritik açılar, hızlar, kalınlıklar ve diğer parametreler hesaplanarak kayıt edilir. Bu aşamanın ardından sismik parametreler sekmesine tıklanır (Şekil 4.56). Bu sekmede veri yükle butonuna tıklanarak yorumlama sonucunda elde edilen bütün sismik parametreler görüntülenebilir (Şekil 4.57).

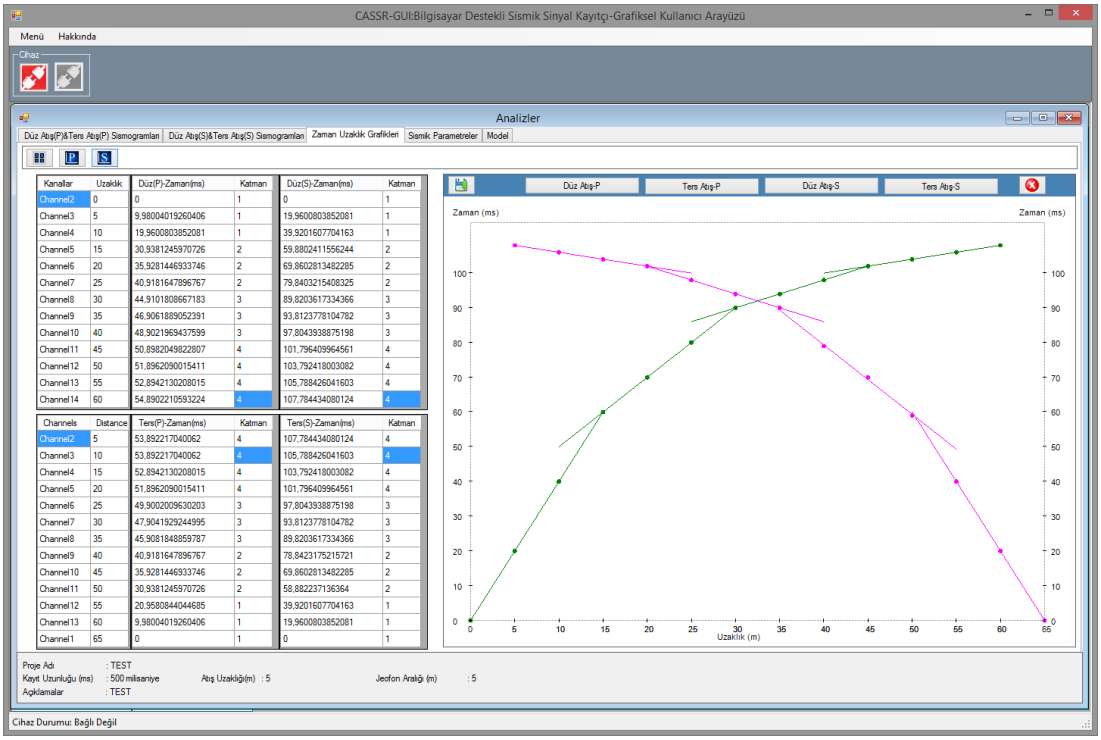
Son adımda ise model sekmesine tıklanarak yeraltının 2 boyutlu görüntüsü ve özetlenmiş sismik parametreler görüntülenir (Şekil 4.58 ve Şekil 4.59).



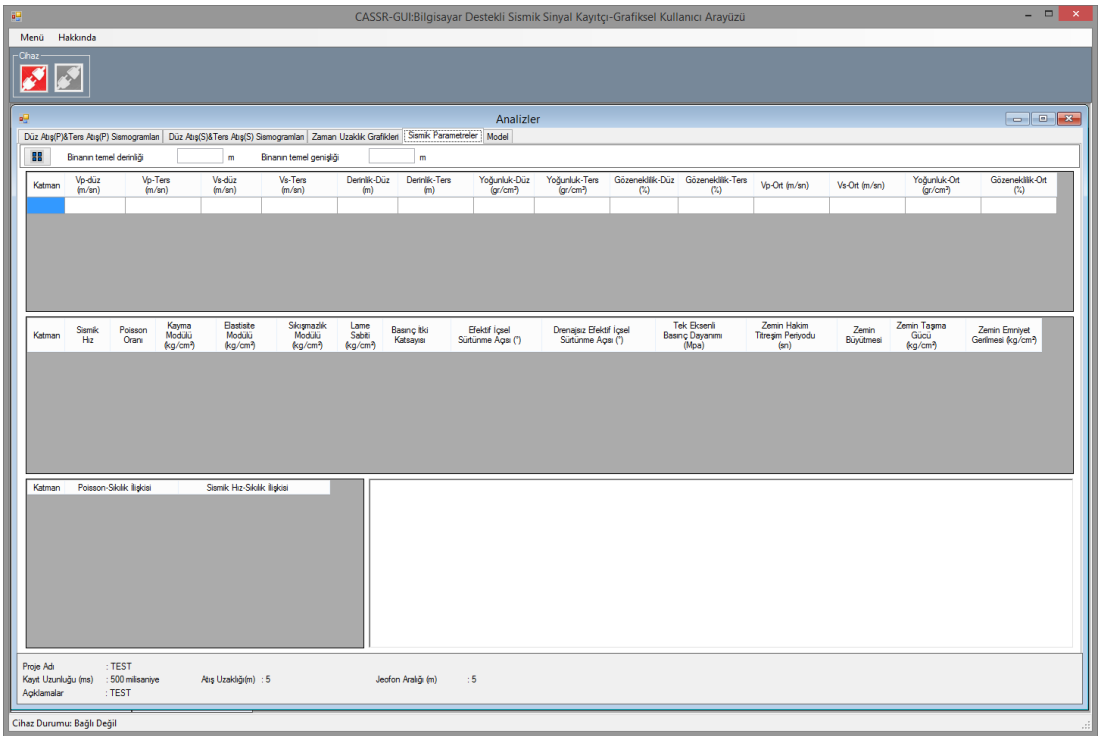
Şekil 4.53. Analizler penceresi içerisindeki, Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde her bir atış için varış zamanları, zaman uzaklık grafikleri ve katman numaraları



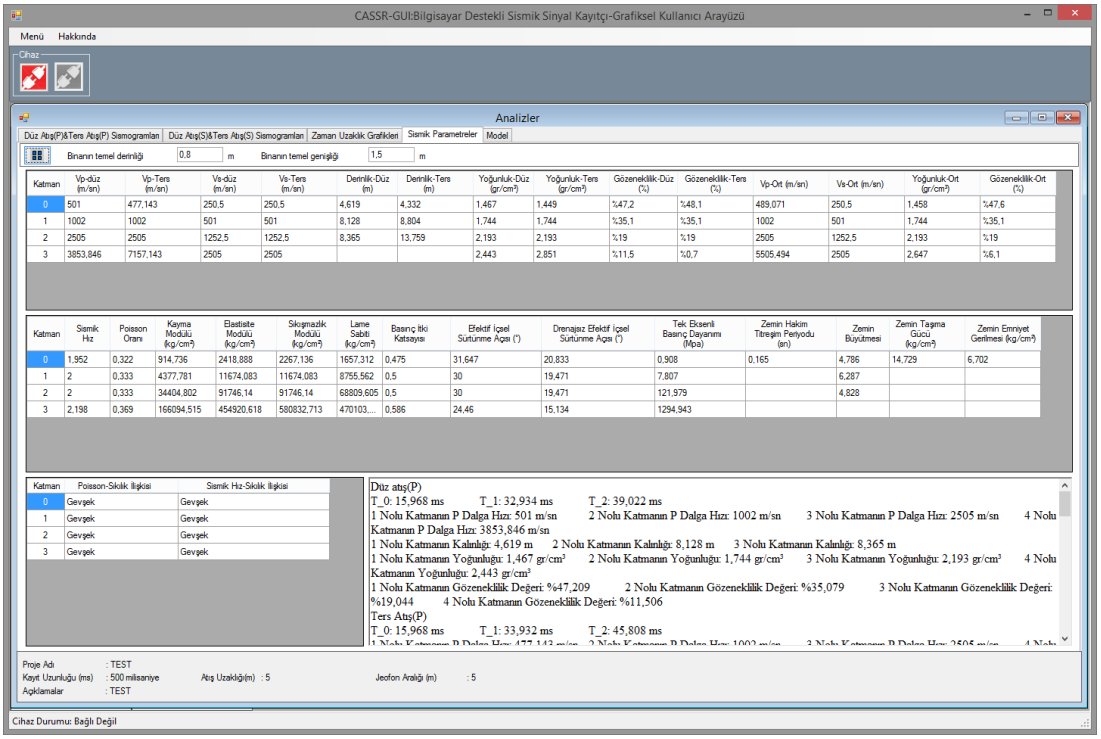
Şekil 4.54. Analizler penceresi içerisindeki, Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde düz atış(P) ve ters atış(P) için zaman uzaklık grafikleri



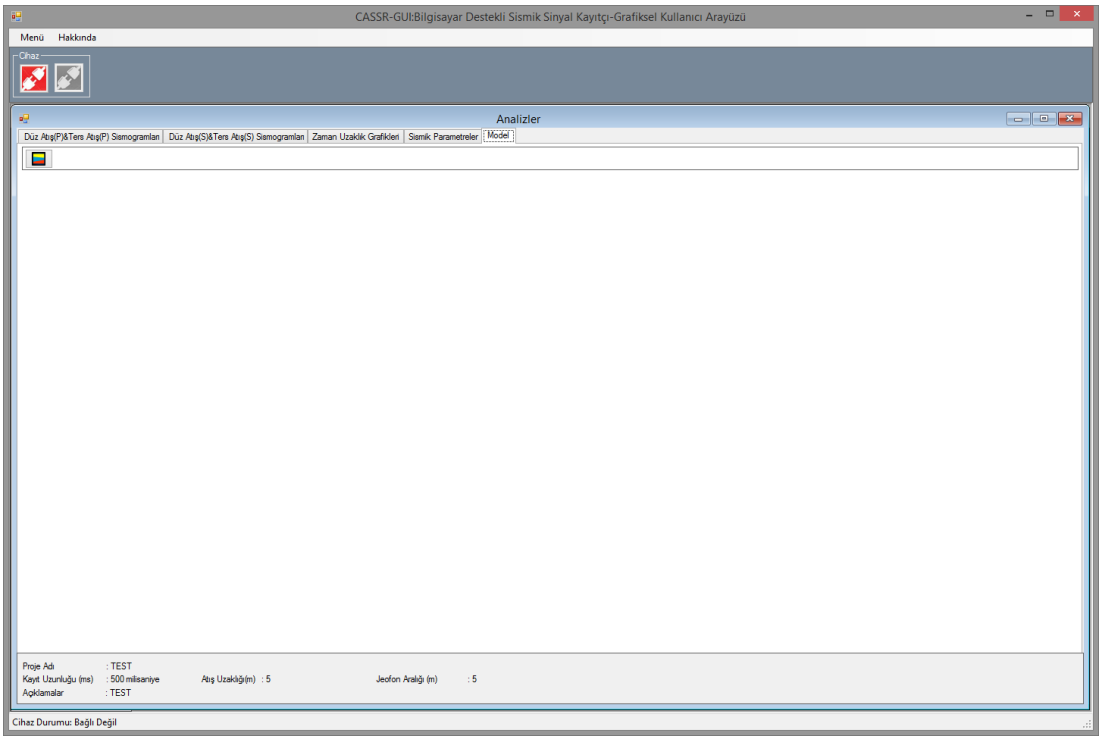
Şekil 4.55. Analizler penceresi içerisindeki, Zaman Uzaklık Grafikleri sekmesinde düz atış(S) ve ters atış(S) için zaman uzaklık grafikleri



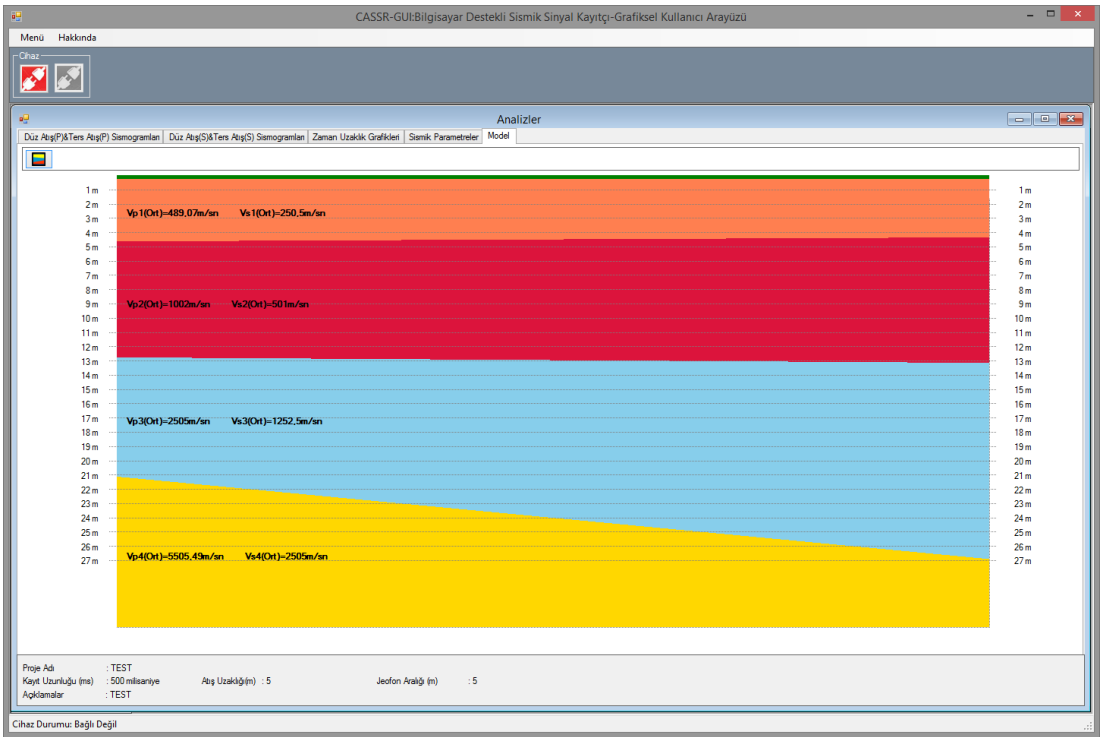
Şekil 4.56. Analizler penceresi içerisindeki, Sismik Parametreler sekmesinin ekran görüntüsü



Şekil 4.57. Analizler penceresi içerisindeki, Sismik Parametreler sekmesinin ekran görüntüsü ve teorik uygulamaya ait sismik parametreler



Şekil 4.58. Analizler penceresi içerisindeki, Model sekmesinin ekran görüntüsü

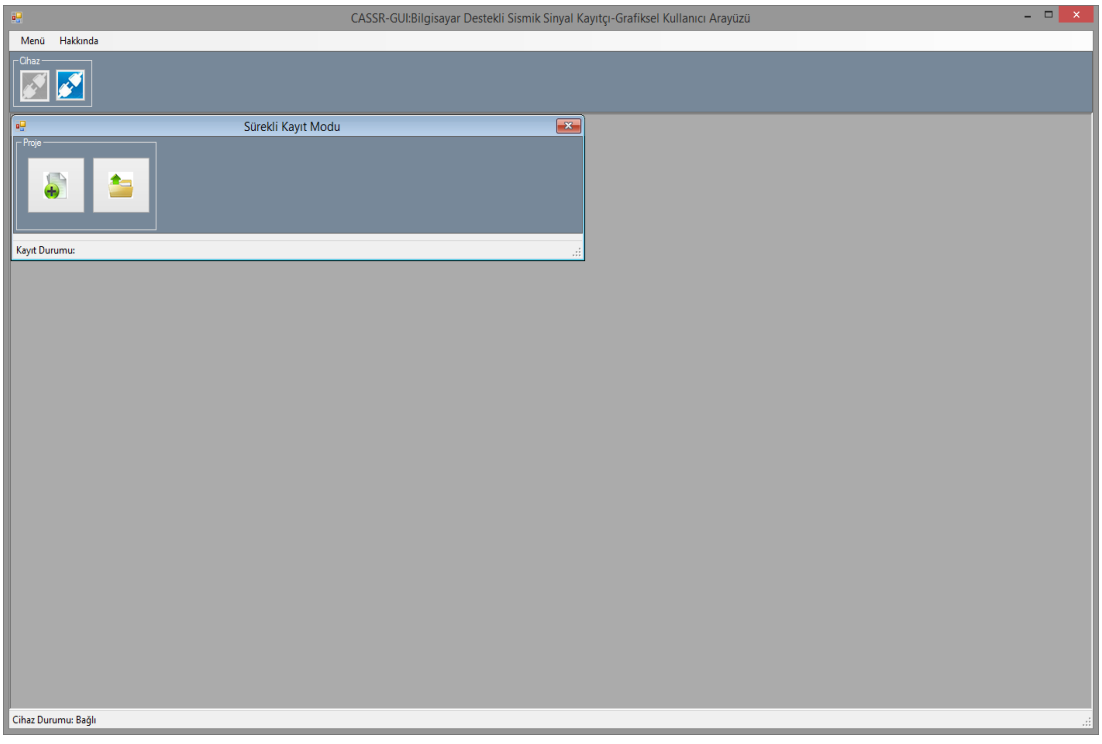


Şekil 4.59. Analizler penceresi içerisindeki, Model sekmesinin ekran görüntüsü ve teorik uygulamaya ait 2 boyutlu kesitin görünümü

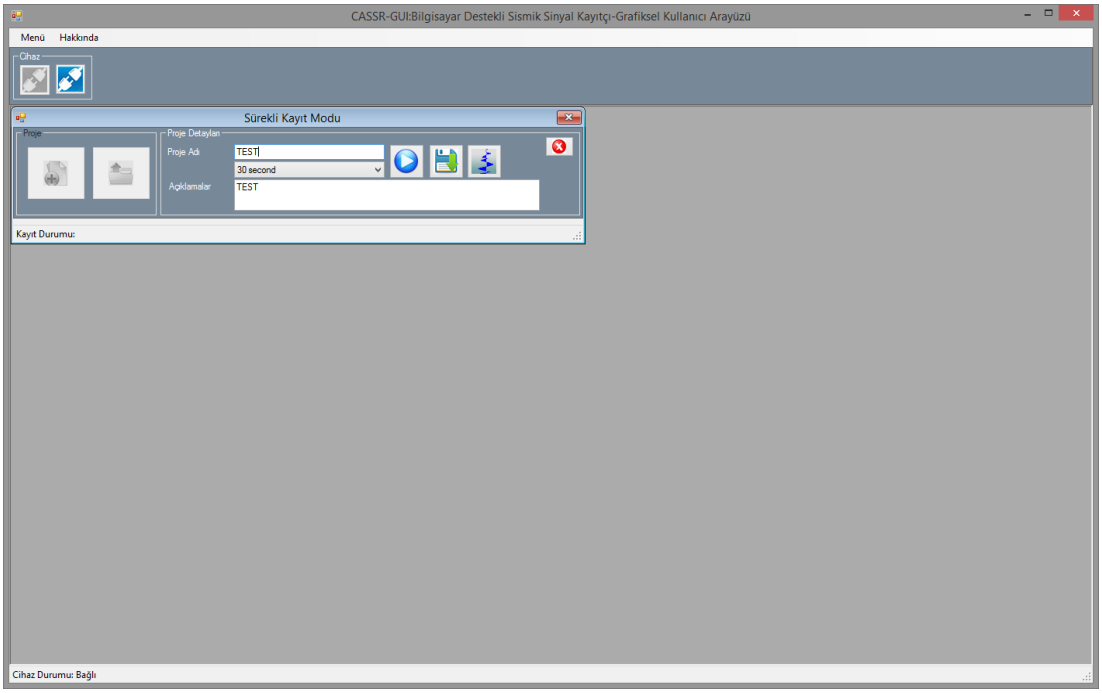
4.3.3.5. Sürekli kayıt modu

CASSR-GUI yazılımının kayıt modlarından bir diğeri sürekli kayıt modudur. Bu modda kullanıcı belirlenmiş periyodlarda sürekli kayıtlar alabilmekte ve görüntüleyebilmektedir. Harici donanımda bir miktar değişiklik yapılarak bu modda mikrotremör kayıtları almak mümkündür.

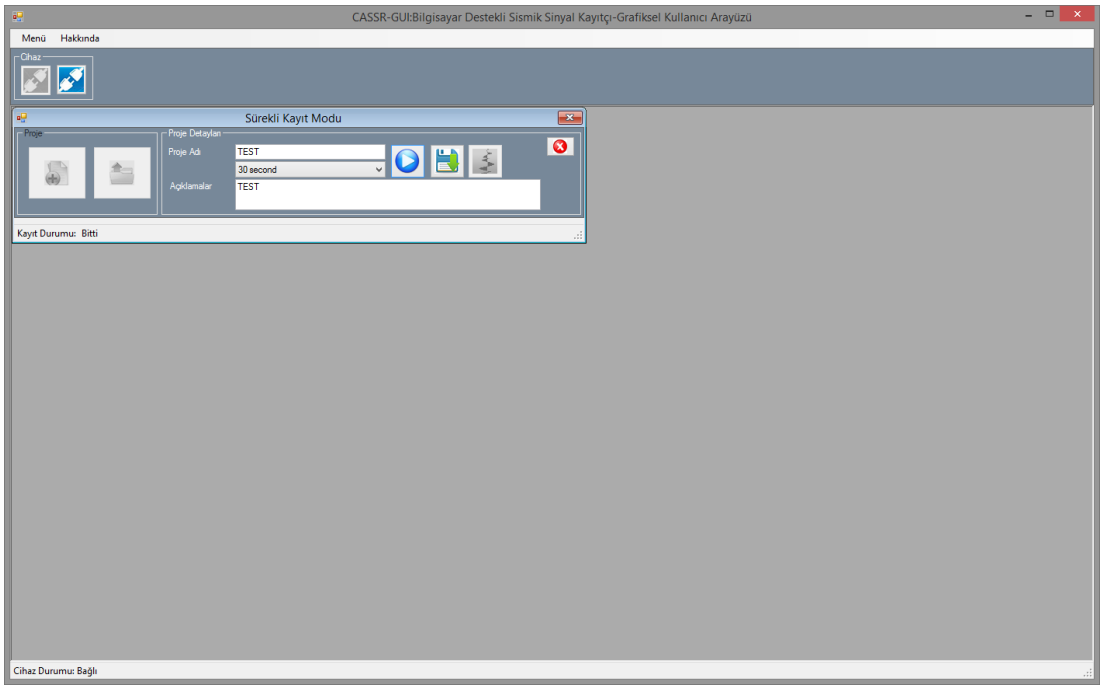
Menü > Sürekli Kayıt Modu > Yeni Proje menüsü takip edildiğinde Şekil 4.60' da görülen pencere ekrana gelir. Bu pencerede Yeni Proje butonuna tıklandığında Proje Detayları paneli aktif hale gelir (Şekil 4.61). Proje adı, kayıt uzunluğu ve açıklamalar girildikten sonra Başlat butonuna tıklandığında kayıt işlemi başlar. Kayıt süresinin sona ermesi ile birlikte kaydetme işlemi sonlanır ve Kaydet butonu aktif olur (Şekil 4.62). Kaydet butonuna tıklanarak veriler kayıt edildikten sonra sismogram butonu aktif olur ve bu butona tıklanarak kayıt edilmiş veriler 1 dakikalık periyotlar halinde görüntülenebilir (Şekil 4.63). Sinyal genlikleri ve zaman ekseninde büyütme işlemi yapılarak sinyaller daha detaylı bir şekilde incelenebilir (Şekil 4.64).



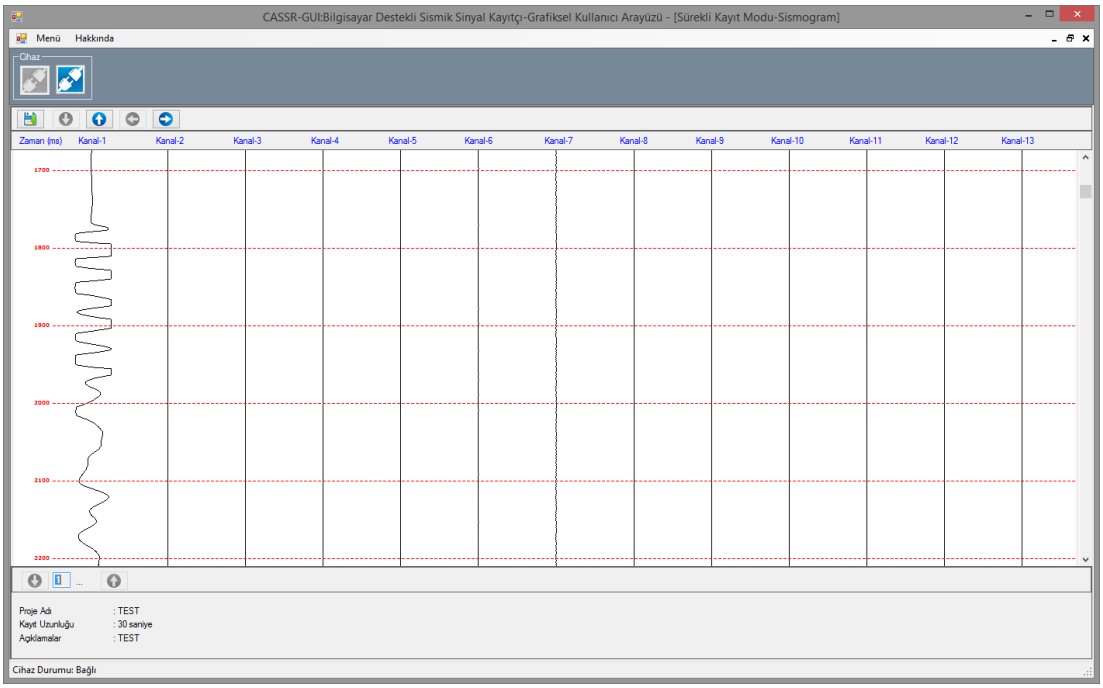
Şekil 4.60. Sürekli Kayıt Modu penceresinin ekran görüntüsü



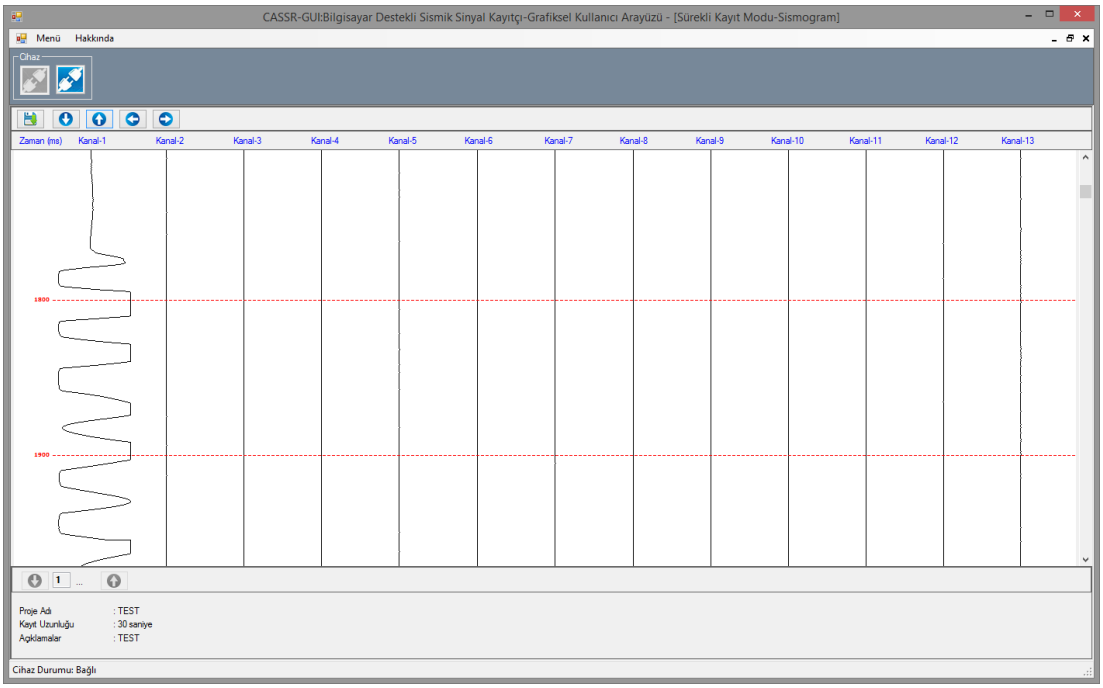
Şekil 4.61. Sürekli Kayıt Modu penceresinde proje detayları panelinin ekran görüntüsü



Şekil 4.62. Sürekli Kayıt Modu penceresinde kayıt sonrası proje detayları panelinin ekran görüntüsü



Şekil 4.63. Sürekli Kayıt Modu-Sismogram penceresinin ekran görüntüsü



Şekil 4.64. Sürekli Kayıt Modu-Sismogram penceresinde genlik ve zaman eksenindeki büyütme sonrası sismogram görüntüsü

5. ARAZİ UYGULAMALARI

Tasarlanan sistem iki farklı zemin türü için test edilmiştir. Sismik kırılma çalışmalarının birincisi sert bir zeminde diğerleri ise yumuşak bir zeminde yapılmıştır. Uygulamalar farklı atış ofseti ve jeofon aralıkları kullanılarak yapılmıştır. Enerji kaynağı olarak 8 kg ağırlığında bir balyoz kullanılmıştır. Sinyallerin tabakalar arasında daha iyi iletilebilmesi için çelik bir plaka üzerine vurularak ölçüler alınmıştır. S dalga kaydı için 30x30x500 cm boyutlarında ahşap bir kalasa yandan vurularak S dalgaları üretilmiştir.

5.1. Arazi Uygulaması-1

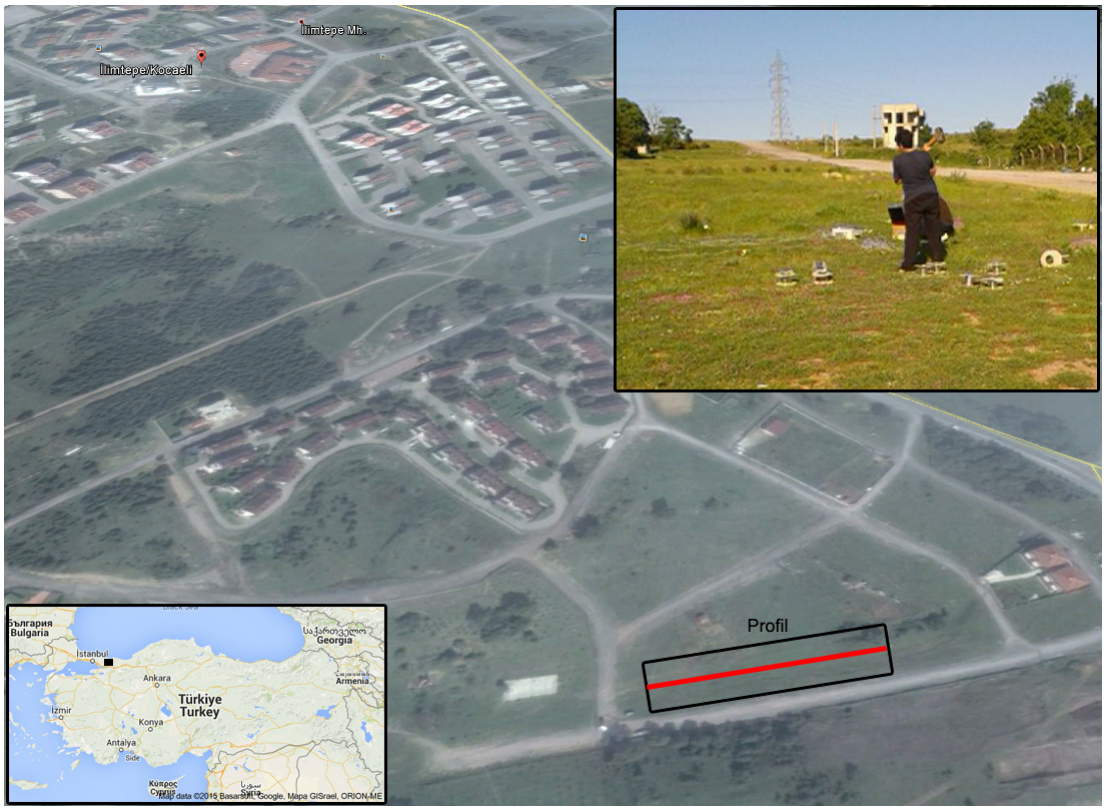
Bu sismik kırılma çalışmasında jeofon aralığı ve ofset 2 m olarak ayarlanmıştır. Ölçü sahasının görüntüsü ve yer bulduru haritası Şekil 5.1' de görülmektedir. Ölçü alınan bölgede alt katmanların sert özellikli olduğu civardaki kazı çalışmalarından bilinmektedir. Sismik kırılma çalışması sonucunda çalışma alanında 3 katman tespit edilmiştir. P ve S dalgası için düz ve ters atışlar sırası ile Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' de görülmektedir. Zaman uzaklık grafikleri ise Şekil 5.6 ve Şekil 5.7' de görülmektedir. Katmanlara ait fiziksel ve mühendislik parametreler geliştirilen yazılım ile otomatik olarak hesaplanmış ve Tablo 5.1' de verilmiştir. Yeraltının 2 boyutlu modeli ise Şekil 5.8’ de görülmektedir.

Tablo 5.1. 1 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler

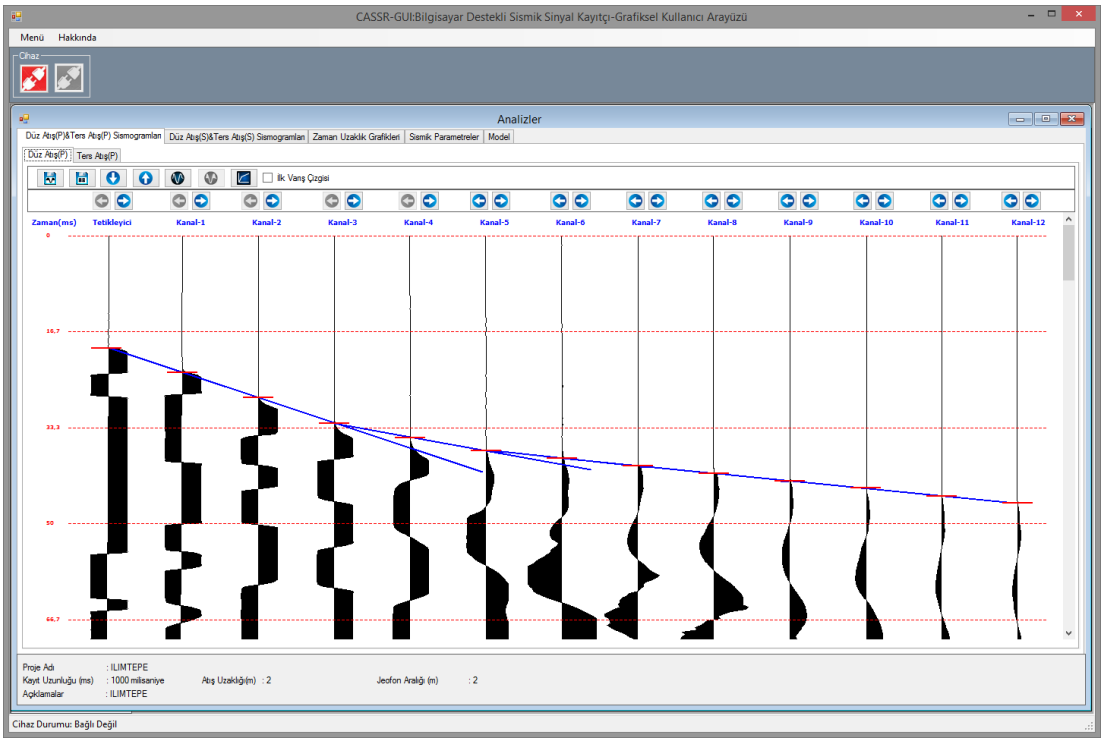
Katman	1	2	3
Vp-düz (m/sn)	459,636	722,286	1406,305
Vp-ters (m/sn)	421	842	1322,019
Vs-düz (m/sn)	214,348	530,108	824,208
Vs-ters (m/sn)	205,872	493,673	821,99
Derinlik-düz (m)	1,414	2,079	-
Derinlik-ters (m)	1,115	2,164	-
Yoğunluk-düz (gr/cm^3)	1,435	1,607	1,898
Yoğunluk-ters (gr/cm^3)	1,404	1,67	1,869
Gözeneklilik-düz (%)	48,7	40,8	29,1
Gözeneklilik-ters (%)	50,3	38,1	30,2
Vp (ortalama) (m/sn)	440,318	782,143	1364,162

Tablo 5.1.(Devam) 1 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler

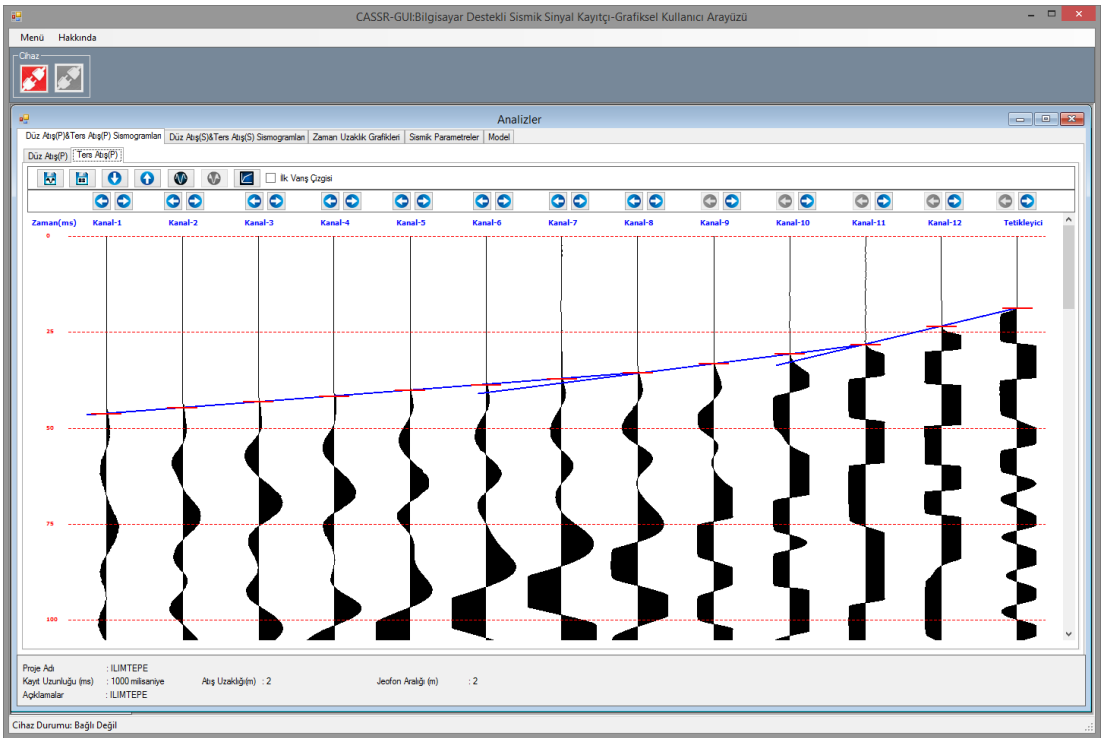
Katman	1	2	3
Vs (ortalama) (m/sn)	210,318	511,89	838,099
Yoğunluk (ortalama) (gr/cm^3)	1,42	1,638	1,884
Gözeneklilik (ortalama) (%)	49,5	39,5	29,7
Sismik hız oranı	2,096	1,528	1,628
Poisson oranı	0,353	0,125	0,197
Kayma modülü (kg/cm^2)	626,785	4293,369	13232,138
Elastisite modülü (kg/cm^2)	1695,559	9663,209	31673,823
Sıkışmazlık modülü (kg/cm^2)	1916,982	4298,936	17413,844
Lame sabiti (kg/cm^2)	1499,125	1436,69	8592,419
Basınç itki katsayısı	0,545	0,143	0,245
Efektif içsel sürtünme açısı (˚)	27,091	58,944	49,017
Drenajsız efektif içsel sürtünme açısı (˚)	17,147	48,527	37,322
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	0,662	3,713	19,7
Zemin hakim titreşim periyodu (sn)		0,043	
Zemin büyütmesi	5,623	3,765	-
Zemin taşıma gücü (kg/cm^2)		4,928	
Zemin emniyet gerilmesi (kg/cm^2)		3,028	



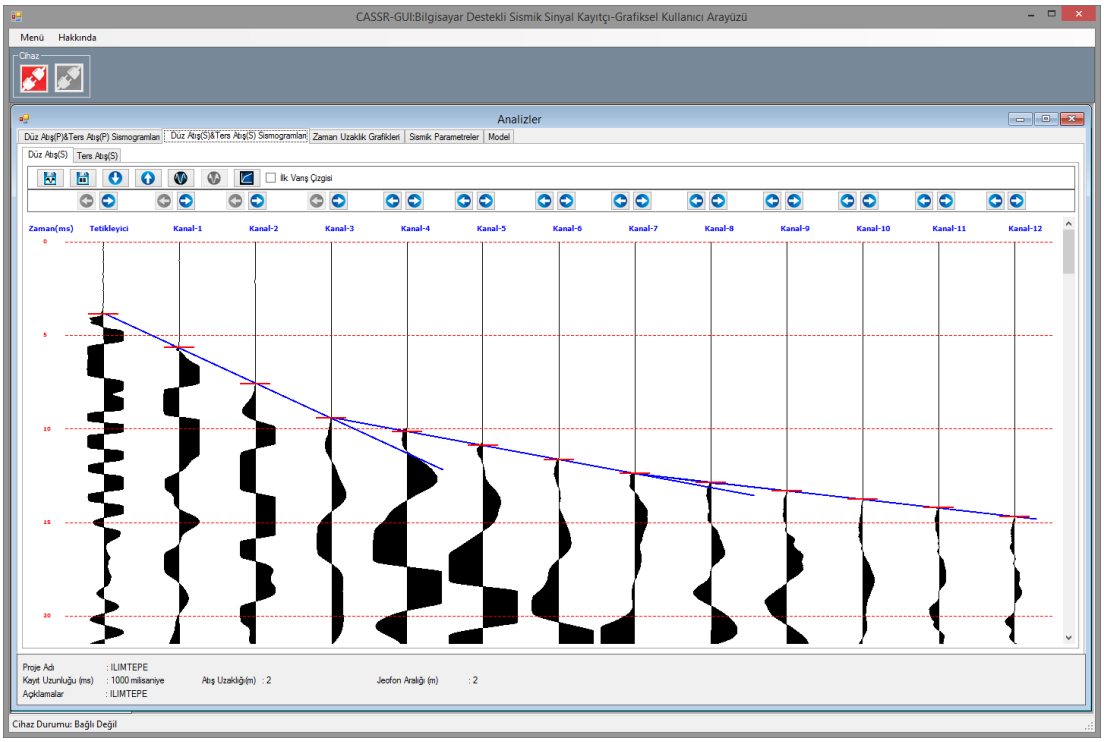
Şekil 5.1. 1 nolu arazi uygulamasına ait ölçü sahasının görüntüsü ve yer bulduru haritası



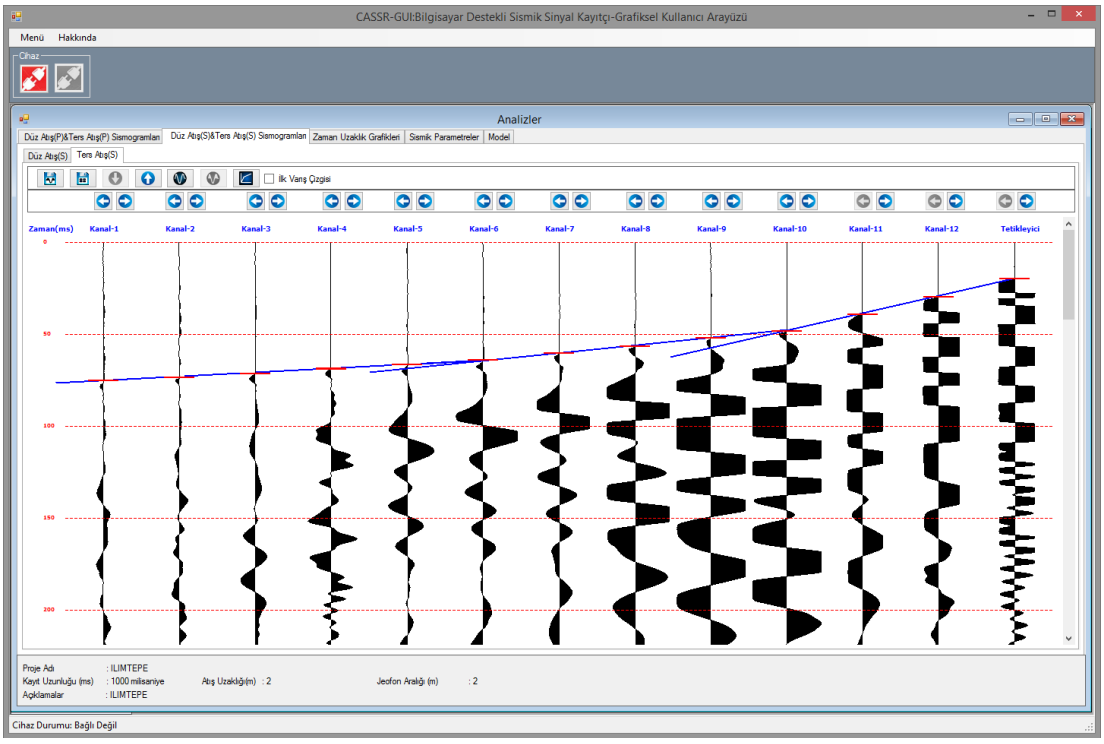
Şekil 5.2. 1 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar



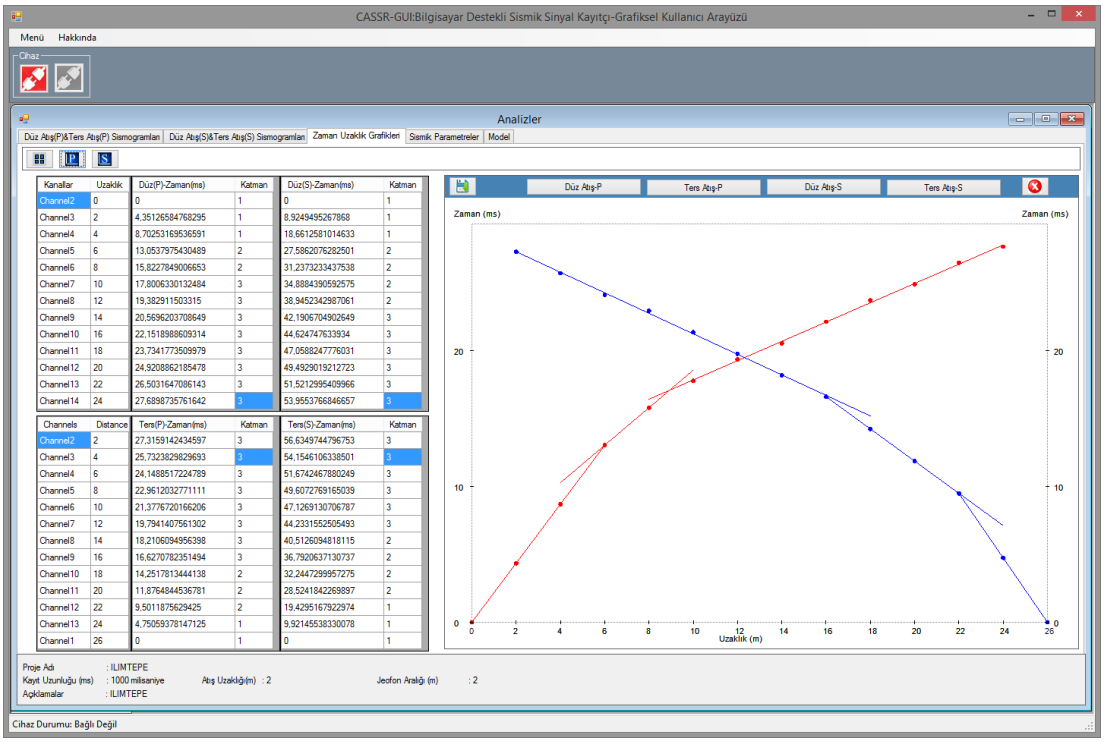
Şekil 5.3. 1 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar



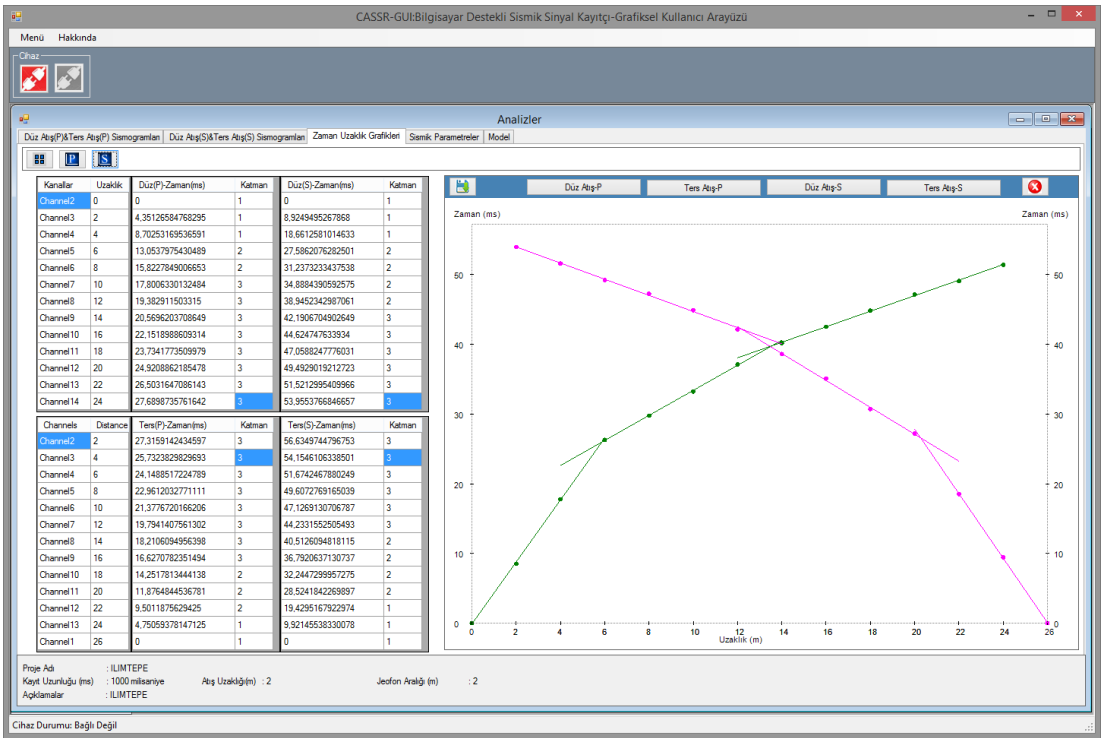
Şekil 5.4. 1 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar



Şekil 5.5. 1 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar



Şekil 5.6. 1 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası zaman-uzaklık grafiği



Şekil 5.7. 1 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası zaman-uzaklık grafiği



Şekil 5.8. 1 nolu arazi uygulamasına ait 2 boyutlu yeraltı kesiti

5.2. Arazi Uygulaması-2

Bu sismik kırılma çalışmasında jeofon aralığı ve ofset 1 m olarak ayarlanmıştır. Ölçü sahasının görüntüsü ve yer bulduru haritası Şekil 5.9' da görülmektedir. Bölgenin daha önce sazlık olduğu ve yaklaşık 1 metre civarında bir dolgu malzemesi ile doldurulduğu bilinmektedir. Sismik kırılma çalışması sonucunda çalışma alanında 2 katman tespit edilmiştir. P ve S dalgası için düz ve ters atışlar sırası ile Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' de görülmektedir. Zaman uzaklık grafikleri ise Şekil 5.14 ve Şekil 5.15' de görülmektedir. Katmanlara ait fiziksel ve mühendislik parametreler geliştirilen yazılım ile otomatik olarak hesaplanmış ve Tablo 5.2' de verilmiştir. Yeraltının 2 boyutlu modeli ise Şekil 5.16' da görülmektedir.

Tablo 5.2. 2 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler

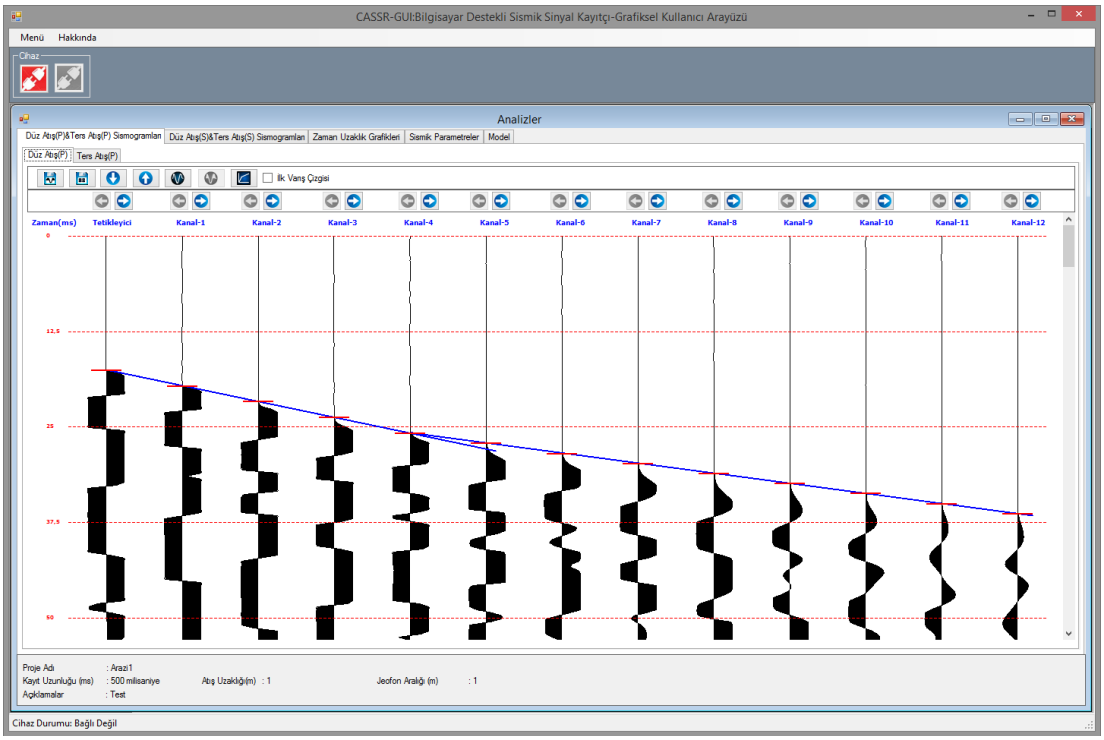
Katman	1	2
Vp-düz (m/sn)	483,462	750,448
Vp-ters (m/sn)	474,34	765,685
Vs-düz (m/sn)	245,315	319,928
Vs-ters (m/sn)	259,30	327,532
Derinlik-düz (m)	0,947	-
Derinlik-ters (m)	0,903	-
Yoğunluk-düz (gr/cm^3)	1,454	1,623

Tablo 5.2.(Devam) 2 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler

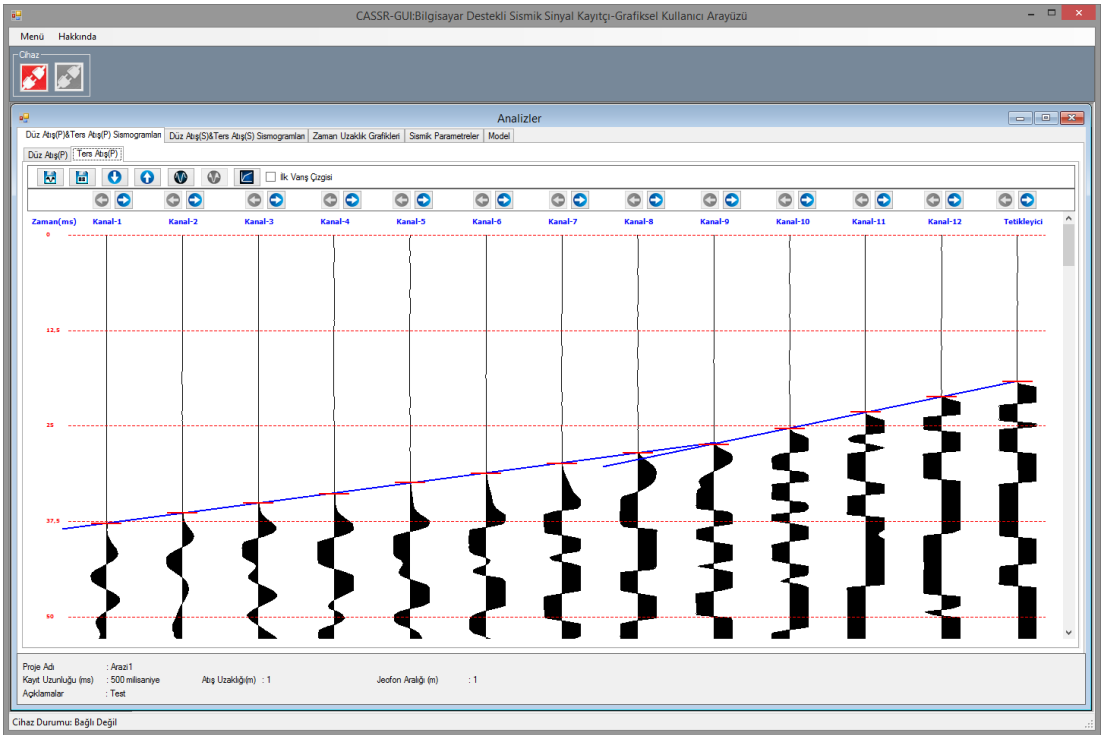
Katman	1	2
Yoğunluk-ters (gr/cm^3)	1,447	1,631
Gözeneklilik-düz (%)	47,8	40,1
Gözeneklilik-ters (%)	48,2	39,8
Vp (ortalama) (m/sn)	478,901	758,067
Vs (ortalama) (m/sn)	252,307	323,73
Yoğunluk (ortalama) (gr/cm^3)	1,45	1,627
Gözeneklilik (ortalama) (%)	48	40
Sismik hız oranı	1,898	2,342
Poisson oranı	0,308	0,388
Kayma modülü (kg/cm^2)	923,165	1704,711
Elastisite modülü (kg/cm^2)	2414,802	4733,903
Sıkışmazlık modülü (kg/cm^2)	2095,021	7074,63
Lame sabiti (kg/cm^2)	1479,577	5938,156
Basınç itki katsayısı	0,445	0,635
Efektif içsel sürtünme açısı (˚)	33,72	21,391
Drenajsız efektif içsel sürtünme açısı (˚)	22,595	12,888
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	0,852	3,381
Zemin hakim titreşim periyodu (sn)	0,015	
Zemin büyütmesi	2,878	-
Zemin taşıma gücü (kg/cm^2)	1,904	
Zemin emniyet gerilmesi (kg/cm^2)	0,813	



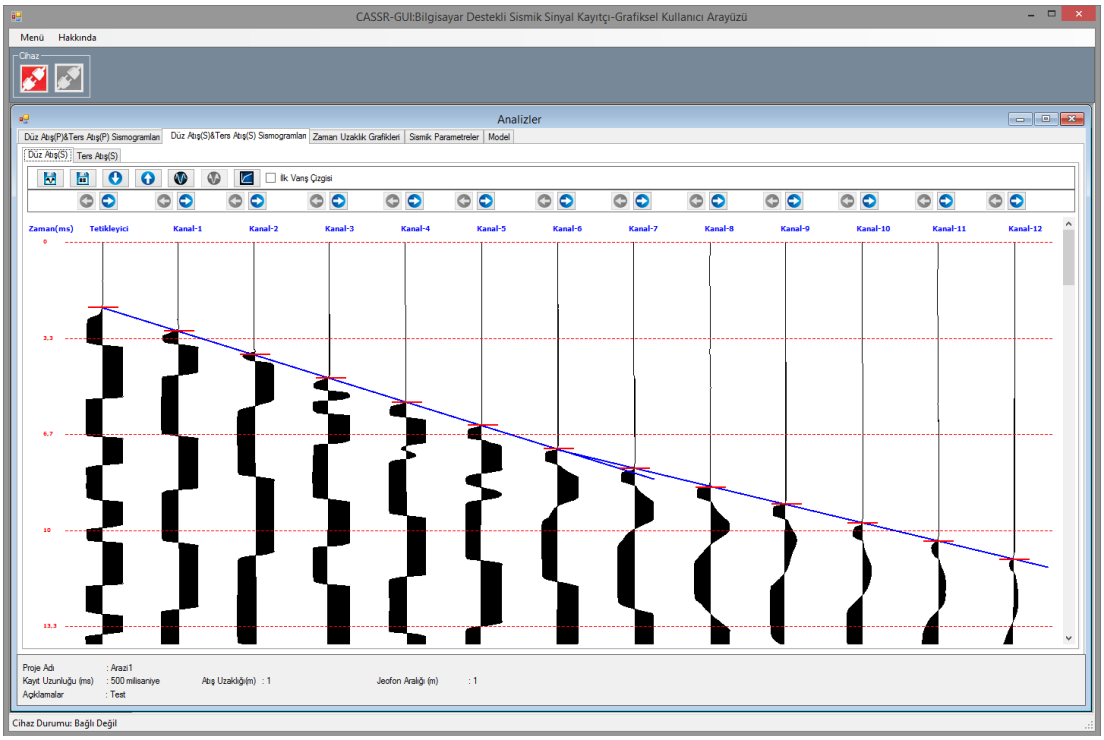
Şekil 5.9. 2 nolu arazi uygulamasına ait ölçü sahasının görüntüsü ve yer bulduru haritası



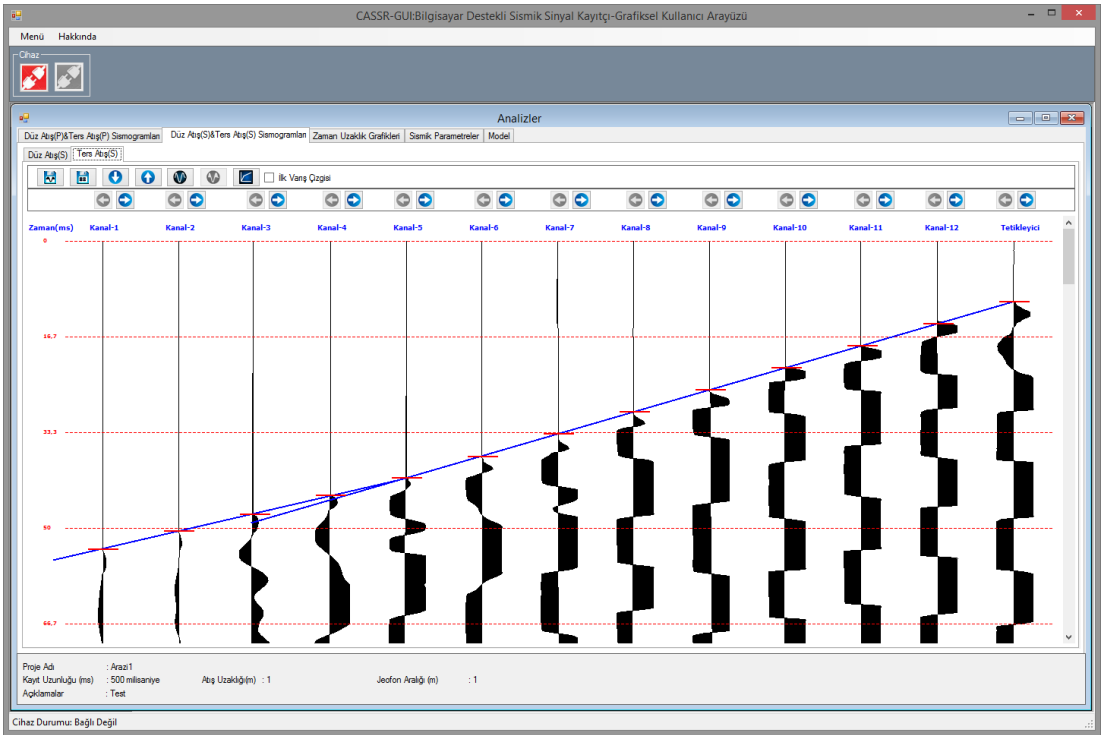
Şekil 5.10. 2 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar



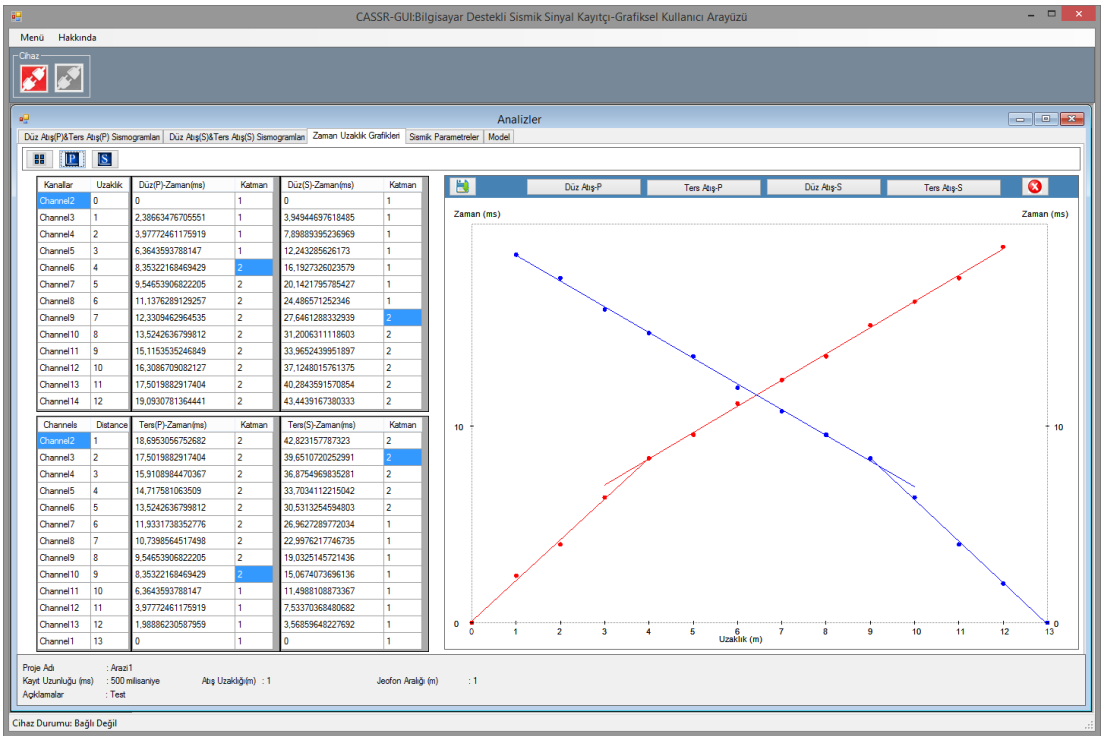
Şekil 5.11. 2 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar



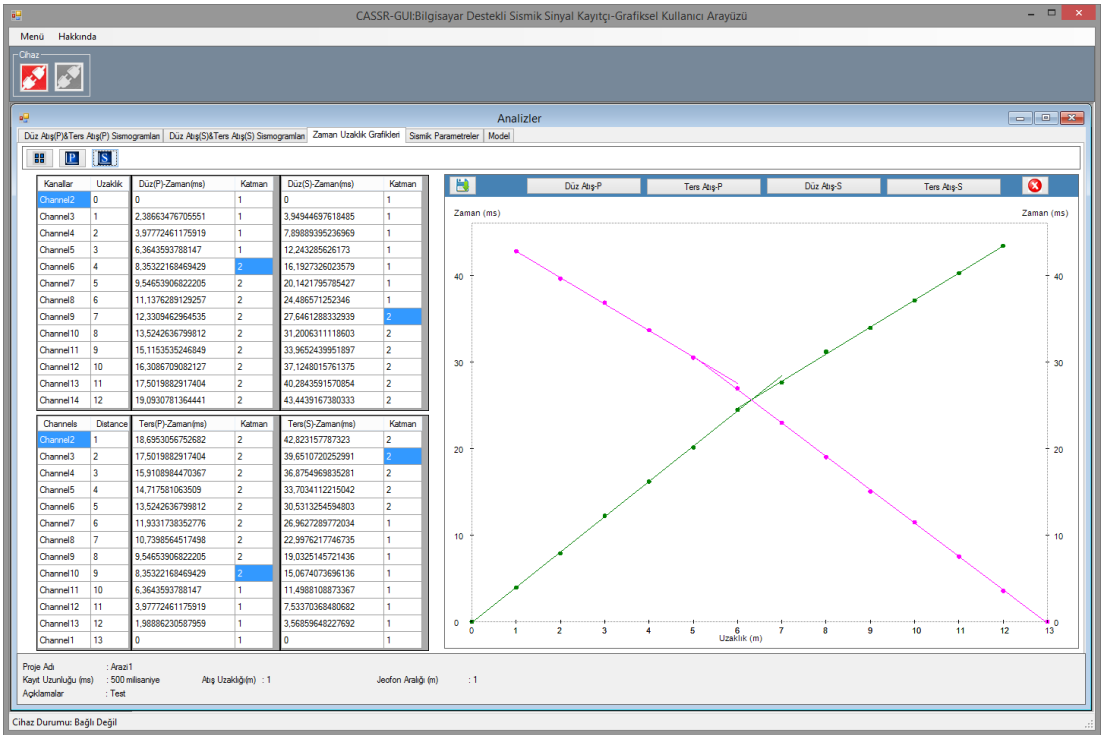
Şekil 5.12. 2 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar



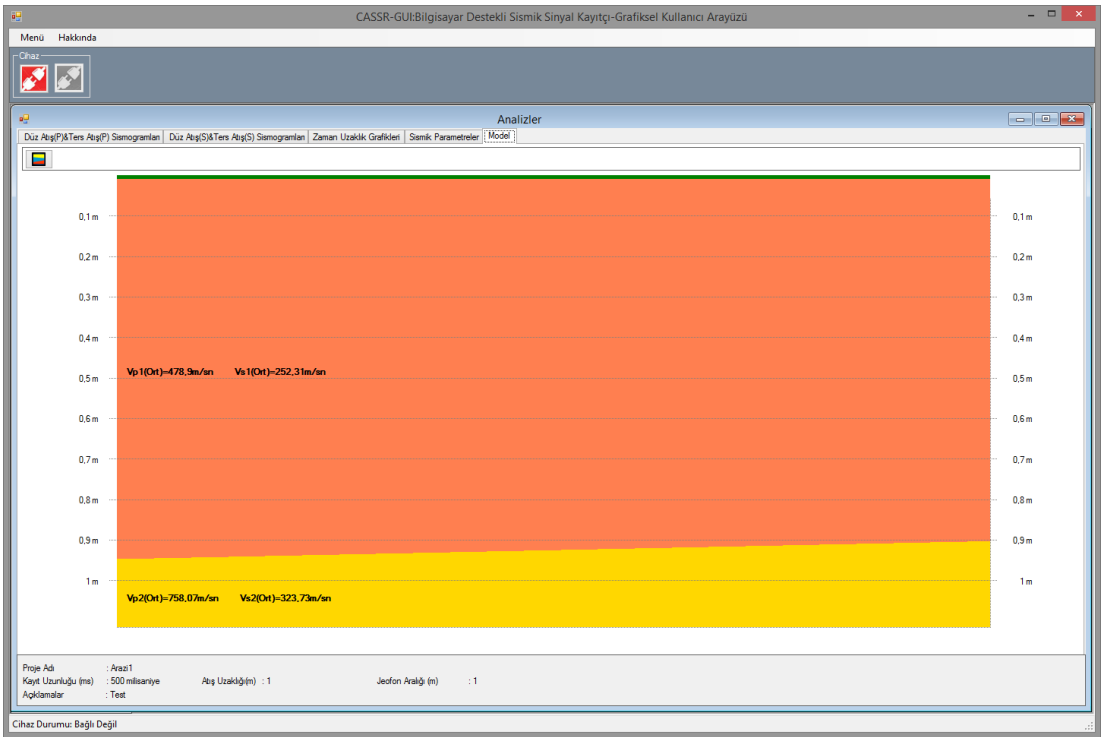
Şekil 5.13. 2 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar



Şekil 5.14. 2 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası zaman-uzaklık grafiği



Şekil 5.15. 2 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası zaman-uzaklık grafiği



Şekil 5.16. 2 nolu arazi uygulamasına ait 2 boyutlu yeraltı kesiti

5.3. Arazi Uygulaması-3

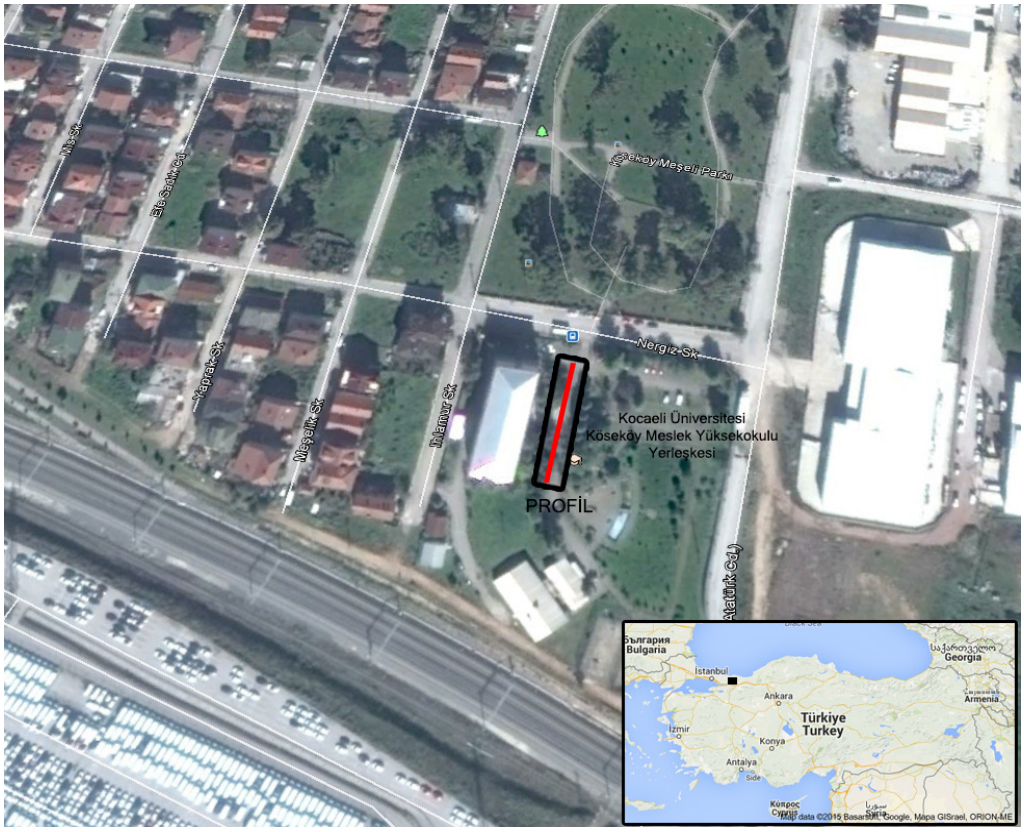
Bu sismik kırılma çalışmasında jeofon aralığı ve ofset 2 m olarak ayarlanmıştır. Yer bulduru haritası Şekil 5.17' de görülmektedir. Sismik kırılma çalışması sonucunda çalışma alanında 2 katman tespit edilmiştir. P ve S dalgası için düz ve ters atışlar sırası ile Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21' de görülmektedir. Zaman uzaklık grafikleri ise Şekil 5.22 ve Şekil 5.23' de görülmektedir. Katmanlara ait fiziksel ve mühendislik özellikler geliştirilen yazılım ile otomatik olarak hesaplanmış ve Tablo 5.3' de verilmiştir. Yeraltının 2 boyutlu modeli ise Şekil 5.24' de görülmektedir.

Tablo 5.3. 3 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler

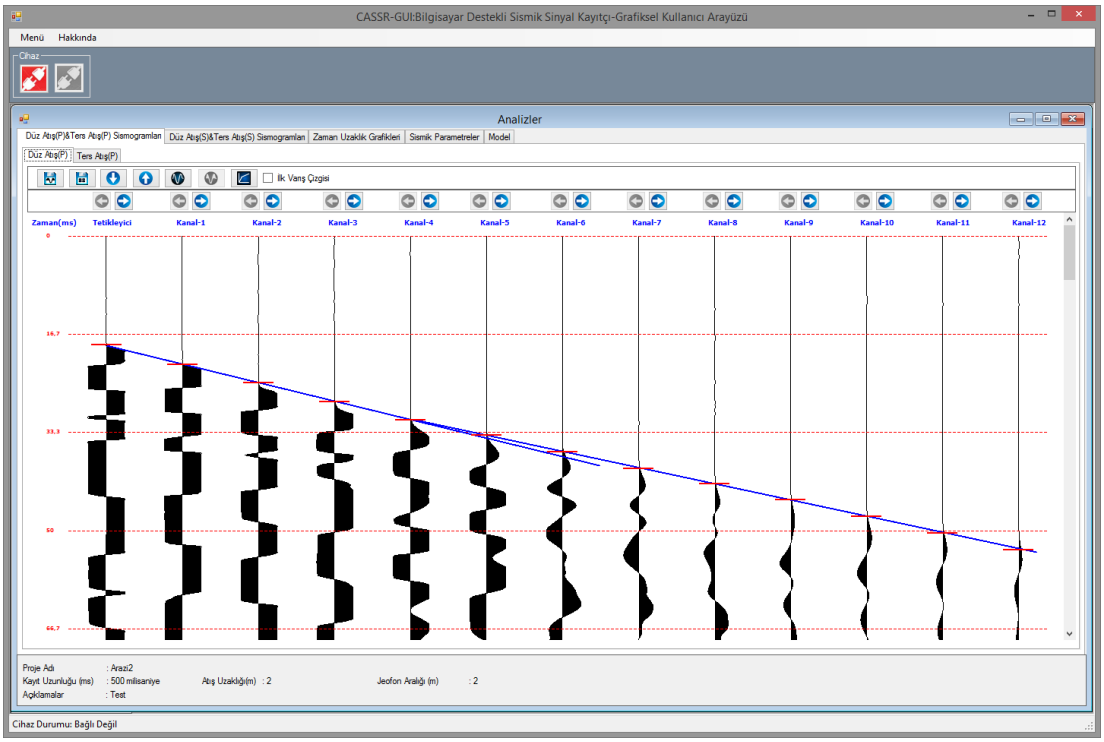
Katman	1	2
Vp-düz (m/sn)	622,651	726,183
Vp-ters (m/sn)	591,163	822,844
Vs-düz (m/sn)	284,412	480,82
Vs-ters (m/sn)	277,627	457,542
Derinlik-düz (m)	0,952	-
Derinlik-ters (m)	2,024	-
Yoğunluk-düz (gr/cm^3)	1,549	1,609
Yoğunluk-ters (gr/cm^3)	1,529	1,66

Tablo 5.3.(Devam) 3 nolu arazi uygulamasına ait fiziksel ve mühendislik parametreler

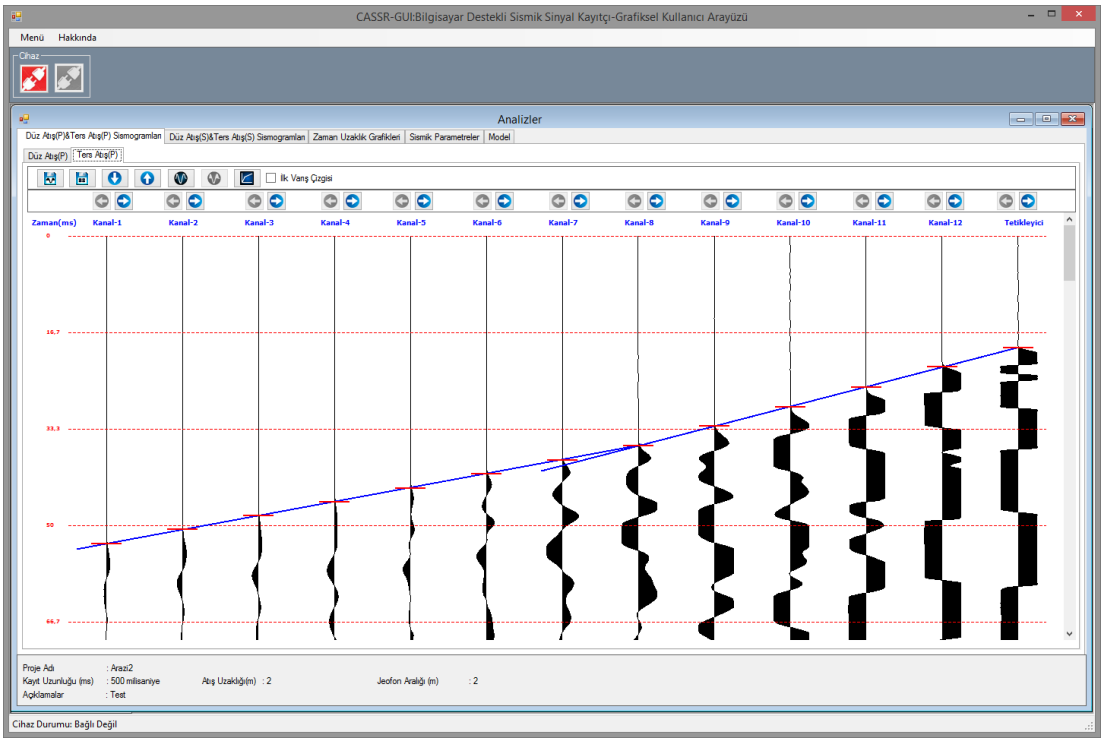
Katman	1	2
Gözeneklilik-düz (%)	43,4	40,7
Gözeneklilik-ters (%)	44,3	38,5
Vp (ortalama) (m/sn)	606,907	774,513
Vs (ortalama) (m/sn)	281,02	469,181
Yoğunluk (ortalama) (gr/cm^3)	1,539	1,635
Gözeneklilik (ortalama) (%)	43,9	39,6
Sismik hız oranı	2,16	1,651
Poisson oranı	0,364	0,21
Kayma modülü (kg/cm^2)	1215,033	3598,658
Elastisite modülü (kg/cm^2)	3313,497	8709,877
Sıkışmazlık modülü (kg/cm^2)	4047,027	5008,376
Lame sabiti (kg/cm^2)	3237,005	2609,271
Basınç itki katsayısı	0,571	0,266
Efektif içsel sürtünme açısı (˚)	25,392	47,217
Drenajsız efektif içsel sürtünme açısı (˚)	15,838	35,429
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	1,735	3,605
Zemin hakim titreşim periyodu (sn)	0,014	
Zemin büyütmesi	3,548	-
Zemin taşıma gücü (kg/cm^2)	2,759	
Zemin emniyet gerilmesi (kg/cm^2)	1,671	



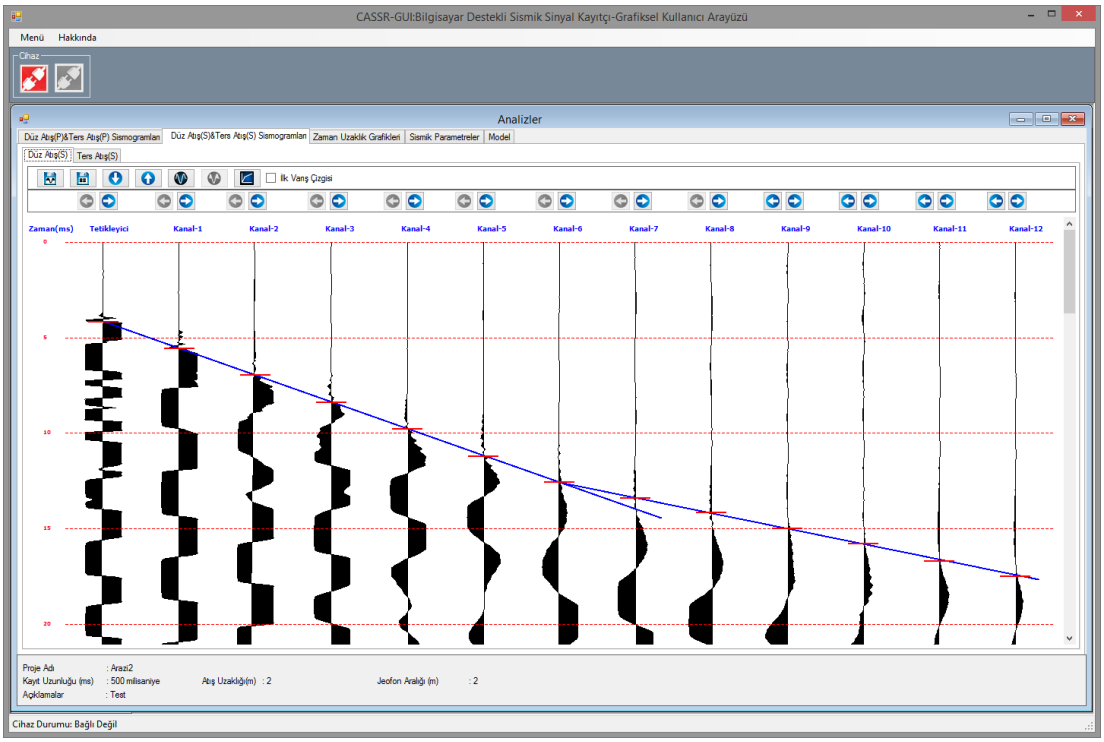
Şekil 5.17. 3 nolu arazi uygulamasına ait ölçü sahasının yer bulduru haritası



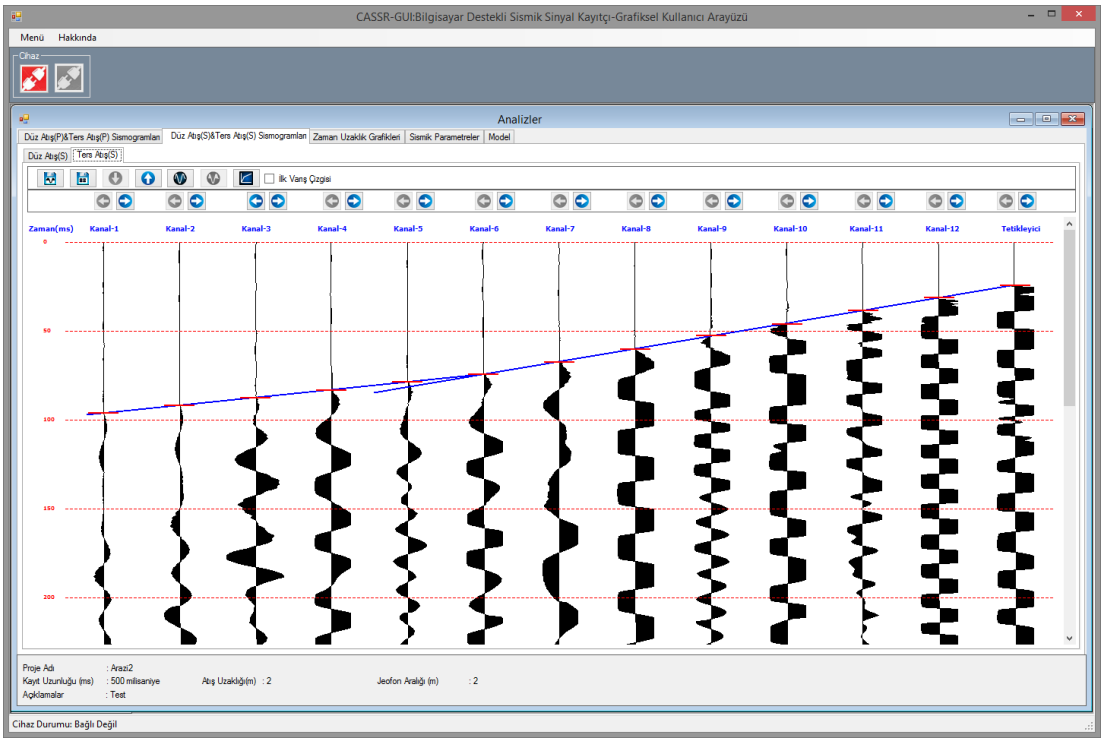
Şekil 5.18. 3 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar



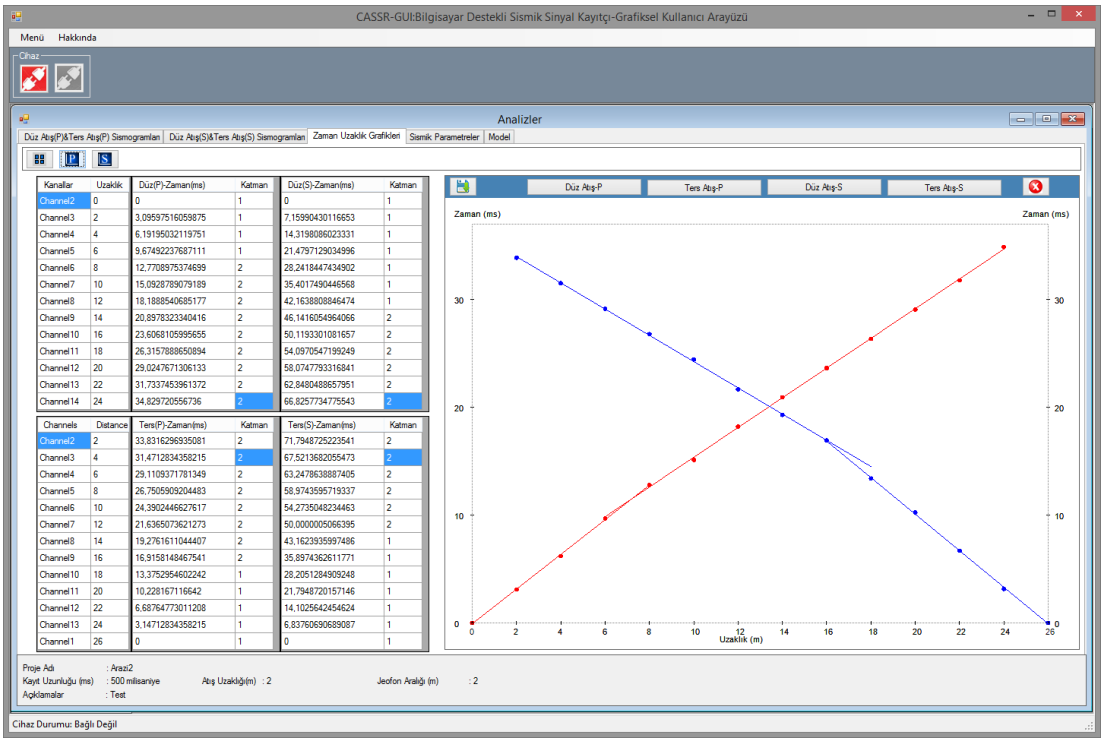
Şekil 5.19. 3 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar



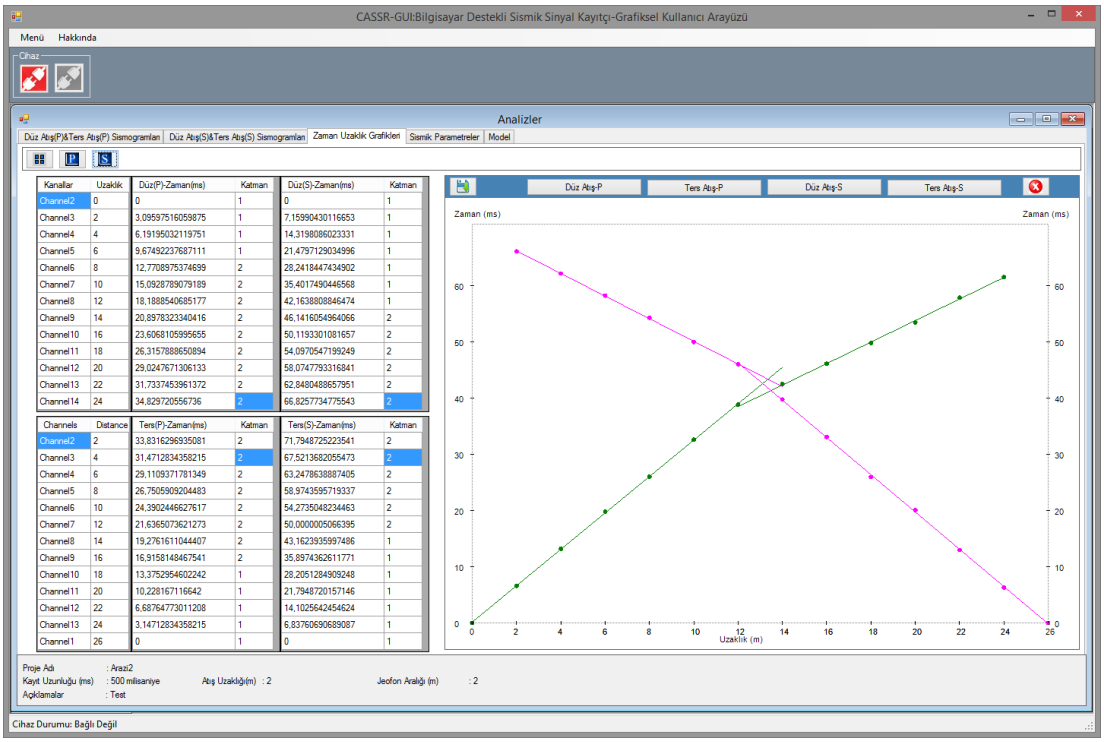
Şekil 5.20. 3 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası düz atış sismogramı ve ilk varışlar



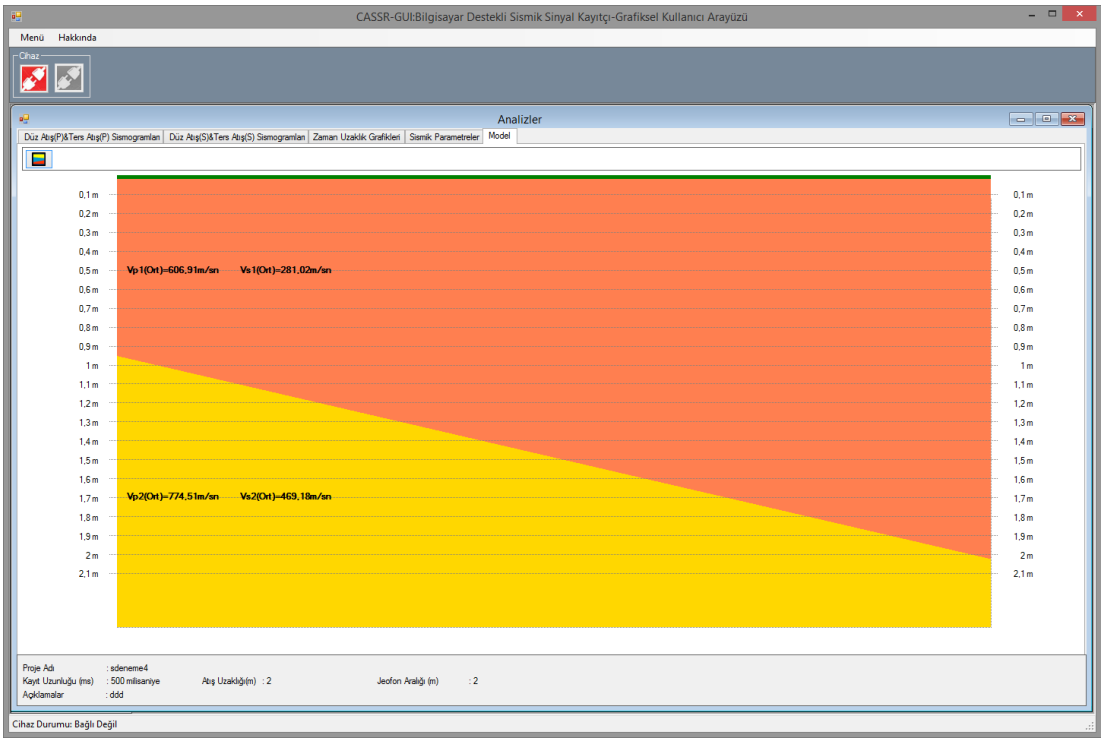
Şekil 5.21. 3 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası ters atış sismogramı ve ilk varışlar



Şekil 5.22. 3 nolu arazi uygulamasına ait P dalgası zaman-uzaklık grafiği



Şekil 5.23. 3 nolu arazi uygulamasına ait S dalgası zaman-uzaklık grafiği



Şekil 5.24. 3 nolu arazi uygulamasına ait 2 boyutlu yeraltı kesiti

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, tasarlanan elektronik arabirim ve yazılım sayesinde, USB iletişimi kullanılarak sismik olaylar bilgisayar ortamında kayıt edilmiş ve analiz edilmiştir. Gerçek zamanlı sinyal izleme, gürültü analizi, deprem uyarı sistemi, sürekli kayıt ve sismik kırılma modunda kayıt alabilme özelliklerine sahip bir sismik kayıt modülü tasarlanmıştır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak veriler elektronik arabirim üzerindeki kayıt ünitelerine kayıt edilmemiş, gerçek zamanlı olarak bilgisayara kayıt edilmiştir. Dolayısıyla diğer sistemlerde olduğu gibi kayıt işlemi bittikten sonra porttan veri transferi yapmaya gerek duyulmamaktadır. Yine diğer çalışmalardan farklı olarak, kullanıcı sinyalleri bilgisayar ortamında görebileceğinden, ölçümlerin tekrarlanıp tekrarlanmayacağına anında karar verebilmektedir. Analog-sayısal dönüştürücü 10 bitlik çözünürlüğe sahip olduğundan veriler 5 mV' luk bir hassasiyete sahiptir. Sismik kırılma modunda 3 farklı arazi uygulaması yapılarak sistem test edilmiş ve sonuçların tatmin edici olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında elektronik, bilgisayar ve jeofizik gibi farklı mühendislik disiplinler bir araya getirilmiştir. Tasarlanan sistem, daha ileri düzey mikrodenetleyiciler ve elektronik malzemeler kullanılarak geliştirilebilir ve daha yüksek çözünürlük ve daha küçük örnekleme aralığına sahip uygulamalar geliştirilebilir olmasından dolayı yol gösterici bir çalışma niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Sertçelik I., Kafadar Ö., Kurtulus C., Use of the two dimensional Gabor filter to interpret magnetic data over the Marmara Sea, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, 2013, **170**, 887-894.

[2] Sertçelik I., Kafadar Ö., Application of edge detection to potential field data using eigenvalue analysis of structure tensor, *Journal of Applied Geophysics*, 2012, **84**, 86-94.

[3] Jeong W. K., Whitaker R., Dobin M., Interactive 3D seismic fault detection on the Graphics Hardware, *Proceedings of the 2006 International Workshop on Volume Graphics*, 2006, 111-118.

[4] Khan K. A., Akhter G., Ahmad Z., DigiSeis-A software component for digitizing seismic signals using the PC sound card, *Computers & Geosciences*, 2012, **43**, 217-220.

[5] Canal M. R., Özkaraca O., Hisar Ç., Labview tabanlı, bilgisayar destekli gerçek zamanlı EKG cihazının tasarımı, *XIII. Akademik Bilişim Konferansı 2011*, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2-4 Şubat 2011.

[6] Eskikale T., Kara T., Uzaktan insan algılama ve verilerin işlenmesi, *XI. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.

[7] Lavargne M., *Methodes Sismiques*, Editions Technip, Paris, 1986.

[8] Kurtuluş C., *Sismik Arama*, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Kocaeli, 2002.

[9] Ercan A., *Yer Araştırma Yöntemleri; Bilgiler Kurallar*, TMMOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, Ankara, 2001.

[10] Watkins J. S., Walters L. A., Godson R. H., Dependence of in-situ compressional-wave velocity on porosity in unsaturated rocsk, *Geophysics*, 1972, **37**, 29-35.

[11] Erguvanlı K., Yüzer E., *Yeraltısuları Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1987.

[12] Keçeli A., Sismik yöntemlerle müsaade edilebilir dinamik zemin taşıma kapasitesi ve oturmasının saptanması, *Jeofizik*, 1990, **4**(2), 83-92.

[13] Kanai K., *Engineering Seismology*, University of Tokyo Press, Tokyo, 1983.

[14] Kurtuluş C., Sismik yöntemle belirlenen ampirik taşıma gücü bağıntısı ve uygulaması, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 2000, **6**, 51-59.

[15] Telford W., M., Geldart L. P., Sheriff R. E., *Applied Geophysics 2nd Edition*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

[16] Steppless D., *High resolution seismic reflection short cource*, IRIS Consorsium, Washington, 1996.

[17] http://gfzpublic.gfz-potsdam.de, (Ziyaret tarihi: 23 Temmuz 2015).

[18] Drijkoningen G. G., *Seismic Data Acquisition TA3600, Section Applied Geophysics & Petrophysics*, Delft University of Technology, Netherlands, 2003.

[19] http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf, (Ziyaret tarihi: 23 Temmuz 2015).

[20] Kiremitci A. F., PIC18F4550 Mikrodenetleyicisi İle USB-PC Veri Aktarım Arabirimi Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 2007, 177813.

[21] Tan W. M., Developing USB PC peripherals using the Intel 8x930Ax USB Microcontroller, *Annabooks*, San Diego, USA, 189, 1997.

EKLER

Ek-A

```
#include <18F4550.h>
#device ADC=10
#fuses HSPLL, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP, NODEBUG, USBDIV, PLL5,
CPUDIV1, VREGEN
#use delay(clock=48000000)
#define USB_HID_DEVICE     FALSE
#define USB_EP1_TX_ENABLE  USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_RX_ENABLE  USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_TX_SIZE    32
#define USB_EP1_RX_SIZE    32
#include <pic18_usb.h>
#include <PicWinUSB.h>
#include <usb.c>
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#use fast_io(d)
static unsigned int16 adc1=0;
static unsigned int16 adc2=0;
static unsigned int16 adc3=0;
static unsigned int16 adc4=0;
static unsigned int16 adc5=0;
static unsigned int16 adc6=0;
static unsigned int16 adc7=0;
static unsigned int16 adc8=0;
static unsigned int16 adc9=0;
static unsigned int16 adc10=0;
static unsigned int16 adc11=0;
static unsigned int16 adc12=0;
static unsigned int16 adc13=0;
unsigned int16 ADC_Read(byte kanal){
unsigned int16 deger=0;
set_adc_channel(kanal);
delay_us(10);
deger = read_adc();
return deger;}
void main(void){
int8 iBuff[32];
int8 oBuff[32]; //buffers
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
set_tris_a(0xFF);
set_tris_b(0xFF);
set_tris_c(0xFF);
set_tris_d(0x00);
output_low(pin_d0);
```

```
output_low(pin_d1);
output_low(pin_d2);
usb_init();
usb_task();
usb_wait_for_enumeration();//Wait until the device is ready
int k=0;
int i=0;
while (TRUE){
    if(usb_enumerated())          // USB is enumerated?
    {
      output_high(pin_d0);
      if (usb_kbhit(1))          // EP has data?
      {
        usb_get_packet(1, iBuff, 32);
      }
      if(iBuff[0] == 1)//Connect, if equal zero, disconnect
      {
         output_high(pin_d1);
         if(iBuff[1]==1)
         {
                output_high(pin_d2);
                adc1=ADC_Read(0); //channel-0
                oBuff[0] = make8(adc1,0); oBuff[1] = make8(adc1,1);
                adc1=0;
                adc2=ADC_Read(1); //ch-1
                oBuff[2] = make8(adc2,0); oBuff[3] = make8(adc2,1);
                adc2=0;
                adc3=ADC_Read(2); //channel-2
                oBuff[4] = make8(adc3,0); oBuff[5] = make8(adc3,1);
                adc3=0;
                adc4=ADC_Read(3); //channel-3
                oBuff[6] = make8(adc4,0);  oBuff[7] = make8(adc4,1);
                adc4=0;
                adc5=ADC_Read(4); //channel-4
                oBuff[8] = make8(adc5,0); oBuff[9] = make8(adc5,1);
                adc5=0;
                adc6=ADC_Read(5); //channel-5
                oBuff[10] = make8(adc6,0); oBuff[11] = make8(adc6,1);
                adc6=0;
                adc7=ADC_Read(6); //ch-6
                oBuff[12] = make8(adc7,0); oBuff[13] = make8(adc7,1);
                adc7=0;
                adc8=ADC_Read(7); //ch-7
                oBuff[14] = make8(adc8,0); oBuff[15] = make8(adc8,1);
                adc8=0;
                adc9=ADC_Read(8); //ch-8
                oBuff[16] = make8(adc9,0); oBuff[17] = make8(adc9,1);
                adc9=0;
                adc10=ADC_Read(9); //ch-9
```

```
                oBuff[18] = make8(adc10,0); oBuff[19] = make8(adc10,1);
                adc10=0;
                adc11=ADC_Read(10); //ch-10
                oBuff[20] = make8(adc11,0); oBuff[21] = make8(adc11,1);
                adc11=0;
                adc12=ADC_Read(11); //ch-11
                oBuff[22] = make8(adc12,0); oBuff[23] = make8(adc12,1);
                adc12=0;
                adc13=ADC_Read(12); //ch-12
                oBuff[24] = make8(adc13,0); oBuff[25] = make8(adc13,1);
                adc13=0;
                usb_put_packet(1, oBuff, 32, USB_DTS_TOGGLE);
            }
            else
            {
                output_low(pin_d2);
            }
        }
        else
        {
            output_low(pin_d1);
        }
    }
  }
}
```

Ek-B

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////                This software doesn't used for commertial purposes                ////
////                                        Main Form                                 ////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
…
namespace CASSR_GUI_v1._0
{
public partial class MainForm : Form
{
public static IntPtr Handle; // Global device handle
public static bool varib;
public static USBAPI cassrusbapi;
byte[] sdBuffer = new byte[32]; // Send DataBuffer size
byte[] rdBuffer = new byte[32]; // Recieve DataBuffer size
public MainForm()
{
InitializeComponent();
}

bool connect = false;
private void connect_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
try
{
if (cassrusbapi == null)
{
cassrusbapi = new USBAPI();
Guid InterfaceGuid = new Guid("31415926-5358-9793-2384-626433832795"); //
.Inf defined Guid
Handle = cassrusbapi.Init_WinUSB(InterfaceGuid);
}
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x00;
varib = cassrusbapi.Write_WinUSB(Handle, sdBuffer);
toolStripStatusLabel1.Text = "Cihaz Durumu: Bağlı";
connect = true;
…
}
catch
{
toolStripStatusLabel1.Text = "Cihaz Durumu: Bağlı Değil";
MessageBox.Show("Bağlantı Kurulamadı. Lütfen Cihaz Bağlantılarınızı Kontrol
Ediniz");
}
}
private void disconnect_button_Click(object sender, EventArgs e)
```

```
{
try
{
sdBuffer[0] = 0x00;
sdBuffer[1] = 0x00;
varib = cassrusbapi.Write_WinUSB(Handle, sdBuffer);
toolStripStatusLabel1.Text = "Cihaz Durumu: Bağlı Değil";
…
}
catch
{
toolStripStatusLabel1.Text = "Cihaz Durumu: Bağlı";
}
}
private void MainForm_FormClosing(object sender, FormClosingEventArgs e)
{
if (varib == true)
{
sdBuffer[1] = 0x00;
sdBuffer[0] = 0x00;
varib = cassrusbapi.Write_WinUSB(Handle, sdBuffer);
}
}
…
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////                                          Real Time Form                                                        ////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
…
namespace CASSR_GUI_v1._0
{
public partial class RealTimeForm : Form
{
private readonly MicroLibrary.MicroTimer _microTimer1;
byte[] sdBuffer = new byte[32]; // Define send DataBuffer size
byte[] rdBuffer = new byte[32]; // Define recieve DataBuffer size
public RealTimeForm()
{
_microTimer1 = new MicroLibrary.MicroTimer();
InitializeComponent();
}
private void RealTimeForm_Load(object sender, EventArgs e)
{
CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;
_microTimer1.MicroTimerElapsed += new
MicroLibrary.MicroTimer.MicroTimerElapsedEventHandler(OnTimedEvent);
…
}
double adc;
```

```
int buf1,buf2;
…
public void read_channel(int buf1,int buf2)
{
adc = ((double)rdBuffer[buf1] + (double)rdBuffer[buf2] * 256) * 5 / 1023;
}
private void OnTimedEvent(object sender, MicroLibrary.MicroTimerEventArgs
timerEventArgs)
{
BeginInvoke((MethodInvoker)delegate
{
toolStripStatusLabel2.Text = timerEventArgs.ElapsedMicroseconds.ToString("#,#")
+ " mikrosaniye";
});
readdata();
read_channel(buf1,buf2);
if (adc >= 2.5) adc = (adc - 2.5); else if (adc == 2.5) adc = 0; else if (adc < 2.5) adc =
(adc - 2.5);
adc = 0;
…
Application.DoEvents();
}
private void writedata()
{
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.varib =
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.cassrusbapi.Write_WinUSB(CASSR_GUI_v1._0.M
ainForm.Handle, sdBuffer);
}
private void readdata()
{
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.varib =
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.cassrusbapi.Read_WinUSB(CASSR_GUI_v1._0.Ma
inForm.Handle, rdBuffer);
}
double trigvalue;
public void setch()
{
…
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x01;
writedata();
_microTimer1.Start();
…
}
private void Channel_1_Click(object sender, EventArgs e)
{
…
setch();
}
```

```
…
private void stopbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
…
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x00;
writedata();
_microTimer1.Stop();
_microTimer1.Abort();
}
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////                                          Refraction Form                                                   ////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
…
namespace CASSR_GUI_v1._0
{
public partial class RefractionForm : Form
{
byte[] sdBuffer = new byte[32]; // Define send DataBuffer size
byte[] rdBuffer = new byte[32]; // Define recieve DataBuffer size
int counter;
double adc1, adc2, adc3, adc4, adc5, adc6, adc7, adc8, adc9, adc10, adc11, adc12,
adc13;
double triggerstart,rectimes;
string svt;
private void writedata()
{
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.varib =
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.cassrusbapi.Write_WinUSB(CASSR_GUI_v1._0.M
ainForm.Handle, sdBuffer);
}
private void readdata()
{
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.varib =
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.cassrusbapi.Read_WinUSB(CASSR_GUI_v1._0.Ma
inForm.Handle, rdBuffer);
}
…
private void startbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
if (Convert.ToDouble(thresholdtxt.Text) > 0)
{
…
sw = new System.IO.StreamWriter(Application.StartupPath + "\\Data.txt");
sw.AutoFlush = true;
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x01;
writedata();
```

```
counter = 0;
System.Diagnostics.Stopwatch swa = new System.Diagnostics.Stopwatch();
while (true)
{
readdata();
adc1 = ((double)rdBuffer[0] + (double)rdBuffer[1] * 256) * 5 / 1023;
adc2 = ((double)rdBuffer[2] + (double)rdBuffer[3] * 256) * 5 / 1023;
adc3 = ((double)rdBuffer[4] + (double)rdBuffer[5] * 256) * 5 / 1023;
adc4 = ((double)rdBuffer[6] + (double)rdBuffer[7] * 256) * 5 / 1023;
adc5 = ((double)rdBuffer[8] + (double)rdBuffer[9] * 256) * 5 / 1023;
adc6 = ((double)rdBuffer[10] + (double)rdBuffer[11] * 256) * 5 / 1023;
adc7 = ((double)rdBuffer[12] + (double)rdBuffer[13] * 256) * 5 / 1023;
adc8 = ((double)rdBuffer[14] + (double)rdBuffer[15] * 256) * 5 / 1023;
adc9 = ((double)rdBuffer[16] + (double)rdBuffer[17] * 256) * 5 / 1023;
adc10 = ((double)rdBuffer[18] + (double)rdBuffer[19] * 256) * 5 / 1023;
adc11 = ((double)rdBuffer[20] + (double)rdBuffer[21] * 256) * 5 / 1023;
adc12 = ((double)rdBuffer[22] + (double)rdBuffer[23] * 256) * 5 / 1023;
adc13 = ((double)rdBuffer[24] + (double)rdBuffer[25] * 256) * 5 / 1023;
svt = counter + "\t" + adc1.ToString() + "\t" + adc2.ToString() + "\t" +
adc3.ToString() + "\t" + adc4.ToString() + "\t" + adc5.ToString() + "\t" +
adc6.ToString() + "\t" + adc7.ToString() + "\t" + adc8.ToString() + "\t" +
adc9.ToString() + "\t" + adc10.ToString() + "\t" + adc11.ToString() + "\t" +
adc12.ToString() + "\t" + adc13.ToString();
if (triggerstart == 0 && ((adc1 >= 2.500 + triggervalue) || (adc1 <= 2.5 -
triggervalue)))
{
triggerstart = 1;
svt += "\tStart";
…
times = counter;
swa.Start();
…
}
else
{
svt += "\t-";
}
sw.WriteLine(svt);
rectimes = counter - times;
if (triggerstart == 1 && swa.ElapsedMilliseconds>=recordlength-1)
{
…
triggerstart = 0;
sw.Close();
…
break;
}
counter++;
…
```

```
}
}
sw.Close();
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x00;
writedata();
}
…
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////                                    Continuous Recording Form                                                ////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
namespace CASSR_GUI_v1._0
{
public partial class ContRecForm : Form
{
byte[] sdBuffer = new byte[32]; // Define send DataBuffer size
byte[] rdBuffer = new byte[32]; // Define recieve DataBuffer size
int counter;
double adc1, adc2, adc3, adc4, adc5, adc6, adc7, adc8, adc9, adc10, adc11, adc12,
adc13;
private void ContRecForm_Load(object sender, EventArgs e)
{
CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;
…
}
private void writedata()
{
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.varib =
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.cassrusbapi.Write_WinUSB(CASSR_GUI_v1._0.M
ainForm.Handle, sdBuffer);
}
private void readdata()
{
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.varib =
CASSR_GUI_v1._0.MainForm.cassrusbapi.Read_WinUSB(CASSR_GUI_v1._0.Ma
inForm.Handle, rdBuffer);
}
string projectname,comments;
int recordlen = 0;
StreamWriter sw;
int i = 1;
private void startbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
if (projectnametxt.Text != "" && recordlencbox.SelectedIndex > 0 &&
commentstxt.Text != "")
{
…
```

```
if (!Directory.Exists(Application.StartupPath.ToString() +
"\\Projects\\ContinuousRecords\\" + projectname))
{
sw = new StreamWriter(Application.StartupPath + "\\Data.txt");
sw.AutoFlush = true;
counter = 0;
swa.Reset();
swa.Start();
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x01;
writedata();
i=1;
while (swa.ElapsedMilliseconds<=recordlen-1)
{
readdata();
adc1 = ((double)rdBuffer[0] + (double)rdBuffer[1] * 256) * 5 / 1023;
adc2 = ((double)rdBuffer[2] + (double)rdBuffer[3] * 256) * 5 / 1023;
adc3 = ((double)rdBuffer[4] + (double)rdBuffer[5] * 256) * 5 / 1023;
adc4 = ((double)rdBuffer[6] + (double)rdBuffer[7] * 256) * 5 / 1023;
adc5 = ((double)rdBuffer[8] + (double)rdBuffer[9] * 256) * 5 / 1023;
adc6 = ((double)rdBuffer[10] + (double)rdBuffer[11] * 256) * 5 / 1023;
adc7 = ((double)rdBuffer[12] + (double)rdBuffer[13] * 256) * 5 / 1023;
adc8 = ((double)rdBuffer[14] + (double)rdBuffer[15] * 256) * 5 / 1023;
adc9 = ((double)rdBuffer[16] + (double)rdBuffer[17] * 256) * 5 / 1023;
adc10 = ((double)rdBuffer[18] + (double)rdBuffer[19] * 256) * 5 / 1023;
adc11 = ((double)rdBuffer[20] + (double)rdBuffer[21] * 256) * 5 / 1023;
adc12 = ((double)rdBuffer[22] + (double)rdBuffer[23] * 256) * 5 / 1023;
adc13 = ((double)rdBuffer[24] + (double)rdBuffer[25] * 256) * 5 / 1023;
sw.WriteLine(i + "\t" + adc1.ToString() + "\t" + adc2.ToString() + "\t" +
adc3.ToString() + "\t" + adc4.ToString() + "\t" + adc5.ToString() + "\t" +
adc6.ToString() + "\t" + adc7.ToString() + "\t" + adc8.ToString() + "\t" +
adc9.ToString() + "\t" + adc10.ToString() + "\t" + adc11.ToString() + "\t" +
adc12.ToString() + "\t" + adc13.ToString());
i++;
}
sw.Close();
swa.Stop();
toolStripStatusLabel2.Text = "Bitti";
sdBuffer[0] = 0x01;
sdBuffer[1] = 0x00;
writedata();
…
}
…
}
```

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] Sertcelik İ., **Kafadar O**., Application of edge detection to potential field data using eigenvalue analysis of structure tensor, *Journal of Applied Geophysics*, 2012, **84**, 86-94.

[2] Sertcelik İ., **Kafadar O**., Kurtuluş, C., Use of the two dimensional Gabor filter to interpret magnetic data over the Marmara Sea, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, 2013, **170**, 887-894.

[3] Oruç B., Sertcelik İ., **Kafadar O**., Selim S., Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief, *Journal of Applied Geophysics*, 2013, **88**, 105-113.

[4] Sertcelik İ., **Kafadar O**., Reply to comments by G. Ma and P. Yu, *Journal of Applied Geophysics*, 2014, **101**, 144.

[5] **Kafadar O**., Sertcelik İ., Determination of discontinuity boundaries belong to subsurface structures using potential filed data, *5. International Earthquake Symposium Kocaeli 2015*, Kocaeli, 10-12 Haziran 2015.

[6] **Kafadar O**., Sertcelik İ., Processing and interpretation of magnetic data in the Sinop Area, Turkey, using edge detection and enhancement techniques, *Istanbul International Geophysical Conference And Oil &Gas Exhibition 2012*, İstanbul, 17-19 Eylül 2012.

[7] Keskinsezer A., Beyhan G., Karavul C., **Kafadar O**., Euler deconvolution interpretation of bouguer gravity data at Burdur region, *19. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, Ankara, 23-26 Kasım 2010.

[8] **Kafadar O**., Keskinsezer A., Geliştirilmiş yerel dalga sayısı yöntemi kullanılarak manyetik anomalilerin yorumlanması ve yöntem için geliştirilmiş bir C#.NET programı, *19.Uluslararası Jeofizik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 23-26 Kasım 2010.

[9] Beyhan G., Keskinsezer A., Karavul C., Kutlu A. T., Kaymaz T. A., **Kafadar O**., Investigation of tectonic and structural features of the Gulf of Saros, inferred from multichannel seismic reflection and gravity data, *IPETGAS 2009*, Ankara, 14-17 Mayıs 2009.

[10] **Kafadar O**., Sertcelik İ., Interpretation of magnetic anomalies using a parametric relationship, *International Earthquake Symposium Kocaeli 2007*, Kocaeli, 22-24 Ekim 2007.

[11] **Kafadar O**., Sertcelik İ., Kurtulus C., Interpretation of magnetic data of Marmara Sea using two dimensional Gabor filter, *Türkiye 20. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi*, Antalya, 25-27 Kasım 2013.

[12] Sertcelik İ., **Kafadar O**., Manyetik anomalilerin şekil ve derinlik çözümleri, *Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi*, 2007, **6**(1), 25.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Erzurum’ da dünyaya geldim. İlk öğretimi Sabahattin Solakoğlu İlkokulu' nda, orta öğretimi Mehmet Akif Ersoy Lisesi' nde ve lise eğitimimi ise Erzurum Lisesi' nde tamamladım. 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ nde öğrenim görmeye hak kazandım ve 1999 yılında mezun oldum. Lisans eğitiminin ardından özel bir inşaat firmasında yazılımcı geliştirici olarak görev yaptım. 2000-2001 yılları arasında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bilgi işlem departmanında yazılım geliştirici olarak askerlik görevimi yerine getirdim. 2001 yılından bu yana Kocaeli Üniversitesi Köseköy Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı Programı’ nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktayım. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilimdalı’ nda yüksek lisans eğitimimi tamamladım. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda doktora öğrenimime başladım.