T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAMSUN CANİK TOPTEPE TÜMÜLÜSLERİ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALARI

Kerim AVCI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL

II. DANIŞMAN
Unvan Ad SOYAD

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2022

Bu çalışma, 16.02.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeofizik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Hakan ALP
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Murat ÇEKİLMEZ
Adnan Menderes Üniversitesi
Edebiyat Fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tümülüsler Arkeoloji ve dünya tarihi açısından eşsiz öneme sahip Anıtsal mezarlardır. Ülkemizde ve dünyanın pek çok farklı noktalarında yer alan Tümülüsler geçmişten günümüze çok değerli bilgiler barındırırlar. Samsun İli, Canik İlçesi, Hasköy-Toptepe Mahallesinde yer alan Toptepe Tümülüsleri Büyük ve Küçük iki Tümülüsten oluşmaktadır. Küçük Tümülüsün 2016 tarihinde kurtarma kazısı yapılarak mezar odası ve mezar girişi (dromosu) bulunmuştur. Büyük Tümülüste ise olası mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurları şimdiye kadar bulunamamıştır. Tezin amacı, Arkeojeofizik ölçümler gerçekleştirerek, Büyük Tümülüsün olası mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurlarının yerlerini belirlemektir. Öncelikle, Toptepe Tümülüsleri Arkeojeoizik araştırmalar konusunda öneride bulunan, saha ölçümleri dahil tezimin her aşamasında eleştirileri ve yönlendirmeleriyle tezimin anlamlı bir hal almasını sağlayan Tez Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL'e çok teşekkür ederim. Toptepe Tümülüs'lerinde Arkeojeofizik ölçüm çalışmaları yapabilmemiz için bize gerekli izni veren, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'ne, bu izin kapsamında çalışmalarımıza eşlik ederek katkı sağlayan Samsun Arkeoloji ve Etnoğrafya Müze müdürlüğü'ne ve Arkeolog Filiz YILMAZ'a teşekkür ederim. Ayrıca, tezimin tüm aşamasında, arazi ölçüm çalışmaları da dahil olmak üzere yardım ve desteklerini esirgemeyen kıymetli eşim Jeofizik Mühendisi Emine AVCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2022 Kerim AVCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ixx**
TABLO LİSTESİ ..... **xv**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xviii**
ÖZET ..... **xx**
SUMMARY ..... **xxxii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **4**
2.1. TÜMÜLÜSLERİN TARİHSEL DÖNEMLERE GÖRE SINIFLANDIRILMASI 4
2.1.1. Frig Dönemi Tümülüsleri 4
2.1.2. Lidya Krallık Dönemi Tümülüsleri 7
2.1.3. Greko Pers Dönemi Tümülüsleri 9
2.1.4. Helenistik Dönem Tümülüsleri 14
2.2. TÜMÜLÜS İNŞA MALZEMELERİNİN JEOFİZİK ÖZELLİKLERİ 17
2.2.1. Frig Dönemi Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri 19
2.2.2. Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri 20
2.2.3. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri 21
2.2.4. Helenistik Dönem Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri 22
3. MALZEME VE YÖNTEM **24**
3.1. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ 24
3.1.1. 1D Elektrik Özdirenç Dizilimleri 28
3.1.1.1. Schlumberger Elektrot Dizlimi 28
3.1.1.2. Wenner Elektrot Dizilimi 29
3.1.1.3. Dipol Dipol Elektrot Dizilimi 30

3.1.1.4. İki Nokta Elektrot Dizlimi…… 31
3.1.2. 2D Elektrik Özdirenç Dizilimleri ve Modelleme……. 31
3.1.2.1. Schlumberger 2D ERT ve Modelleme……. 32
3.1.2.2. Wenner 2D ERT ve Modelleme……34
3.1.2.3. Dipol Dipol 2D ERT ve Modelleme…… 35
3.1.2.4. Pol Dipol 2D ERT ve Modelleme…… 37
3.1.2.5. Pol Pol 2D ERT ve Modelleme…… 39
3.1.3. 3D Elektrik Özdirenç Dizilimleri ve Modelleme……. 41
3.1.3.1. Dipol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme…….. 42
3.1.3.2. Pol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme…….. 44
3.1.3.3. Pol Pol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme……...47
3.2. YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK YÖNTEM (YHEM)……51
3.2.1. YHEM Yöntemi Ölçüm Teknikleri……...52
3.2.2. YHEM Yönteminde Ölçülen Büyüklükler……53
3.2.3. YHEM Yönteminde EM Ölçüm Prensipleri…….54
3.3. ÇİFT YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK YÖNTEMİ (ÇYHE)…….57
3.3.1. ÇYHE Yöntemi Kuramı……57
3.3.2. ÇYHE Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar……..59
3.3.3. ÇYHE Yöntemi Alıcı Ve Verici Halka Deneyleri……60
3.3.3.1. AH VH 100 Gr. Deneyleri…….61
3.3.3.2. AH VH 250 Gr. Deneyleri…….65
3.3.3.3. AH VH 350 Gr. Deneyleri…….69
3.3.3.4. AH VH 500 Gr. Deneyleri…….73
3.3.3.5. AH VH 600 Gr. Deneyleri…….76
3.3.3.6. 100-600 Gr. VH AH Deney Sonuçlarının İncelenmesi…….80
3.3.3.7. 100 Gr. 1 cm. VH İle 100-600 Gr. 3 cm. AH Deneyleri……...82
3.3.3.8. 50 Gr. 1 cm. VH İle 100-600 Gr. 3 cm. AH Deneyleri…….87

3.3.3.9. 25 Gr. 1 cm. VH İle AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm Deneyleri……91

3.3.3.10. 50 Gr. 1 cm. 0.5 mm. VH İle AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH850Gr4cm-AH1200Gr4cm Deneyleri……..95

3.3.3.11. 50 Gr. 1 cm. 1 mm. VH İle AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm Deneyleri……99

3.3.3.12. 500 Gr. 1 cm. 1.2 mm. VH İle AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm-AH1800Gr11cm Deneyleri……..103

4. BULGULAR.....……109

4.1. TOPTEPE KÜÇÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALARI……..110

4.1.1. Toptepe Küçük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Çalışmaları……110

4.1.2. Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D Çalışmaları……113

4.2. TOPTEPE BÜYÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALARI……...123

4.2.1. Toptepe Büyük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Çalışmaları……123

4.2.2. Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D Çalışmaları…….128

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 138

5.1. TÜMÜLÜSLERDE JEOFİZİK ARAŞTIRMALAR…….138

5.2. TÜMÜLÜSLERİN TARİHSEL DÖNEMLERE GÖRE SINIFLANDIRILMASI...139

5.2.1. Frig Dönemi Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri……..139

5.2.2. Lidya Krallık Dönemi Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri……...140

5.2.3. Greko-Pers Dönemi Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri……...141

5.2.4. Helenistik Dönem Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri……..143

5.3. TOPTEPE TÜMÜLÜSLERİNDE UYGULANAN JEOFİZİK YÖNTEMLER……145

5.3.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi……..145

5.3.1.1. 3D ERT Dizilimleri ve Modelleme……..145

5.3.1.1.1. Dipol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme ..……146

5.3.1.1.2. Pol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme ..……...…147

5.3.1.1.3. Pol Pol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme …….147

5.3.2. Yatay Halka Elektromanyetik Yöntem ……...148

5.3.3. Çift Yatay Halka Elektromanyetik Yöntemi (ÇYHE) ……..150

5.3.3.1. ÇYHE Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar ……..150

5.3.3.2. 500 Gr. 1 cm. 1.2 mm. VH İle AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm-AH1800Gr11cm Deneyleri……150

5.4. TOPTEPE KÜÇÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMA SONUÇLARI ……..152

5.4.1. Toptepe Küçük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Sonuçları ……152

5.4.2. Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D Sonuçları ……..153

5.5. TOPTEPE BÜYÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMA SONUÇLARI ……..156

5.5.1. Toptepe Büyük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Sonuçları……. 156

5.5.2. Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D Sonuçları ……..157

KAYNAKLAR 161

EKLER 165

ÖZGEÇMİŞ 173

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Frig Tümülüsü N mezar odasının ana toprak içerisindeki durumu (Avşar, 2016)……..5

Şekil 2.2: Koca Mahmut Tepe Tümülüsü ön mekan ve mezar odası izometrik görünümü (Çalışkan,2016)……..…….....7

Şekil 2.3: Karnıyarık Tepe Tümülüsü ve krepis duvarı (Avşar, 2016)……..……...7

Şekil 2.4: Güre Basmacı Tümülüsü dromos ve mezar odası (Öztekin, 2006)…….8

Şekil 2.5: Gümüşçay Dedetepe Tümülüsü görünümü (Çalışkan, 2016)……..9

Şekil 2.6: Gümüşçay Dedetepe Tümülüsü mezar odası (Çalışkan, 2016)…….10

Şekil 2.7: Kırklareli B Tümülüsü planı (Avşar 2016)……12

Şekil 2.8: Gümüşçay Kızöldün Tümülüsü Lahti (Avşar, 2016)…….13

Şekil 2.9: Üçtepeler Büyük Tümülüsü planı (Avşar, 2016)……..……14

Şekil 2.10: Toptaş Tümülüsü, dromos, ön oda, mezar odası ve tümülüs yığma kesiti (Avşar, 2016)...15

Şekil 2.11: Kanlıbağ Tümülüsü, dromos, mezar odası ve tümülüs yığması (Öztekin, 2006)……16

Şekil 3.1: İki elektrotla (3-4) verilen akım yoğunluğu (üstte) ve iki elektrotta (5-6) oluşan gerilim yoğunluğu dağılımı (altta), (EarthImager araştırma planlayıcısında oluşturulmuştur)…….24

Şekil 3.2: Dağınık yerleştirilmiş, pozitif kutup (+I) C1 akım elektrotu, negatif kutup (-I) C2 akım elektrotu, P1 ve P2 potansiyel (gerilim) elektrotlarının ve r1, r2, r3, r4 ara mesafelerinin görünümü (Day and Morrison 1979a)……...25

Şekil 3.3: Homojen bir ortamda tek nokta akım kaynağı (Telford ve diğ., 1990)…….27

Şekil 3.4: Schlumberger elektrot dizilimi……..28

Şekil 3.5: Wenner elektrot dizilimi……....29

Şekil 3.6: Dipol dipol elektrot dizilimi……...30

Şekil 3.7: İki nokta elektrot dizilimi……...31

Şekil 3.8: Schlumberger 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü……...32

Şekil 3.9: Schlumberger 2D ERT yapay özdirenç modeli…….33

Şekil 3.10: Schlumberger 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta)...……33

Şekil 3.11: Wenner 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü……..34

Şekil 3.12: Wenner 2D ERT yapay özdirenç modeli……34

Şekil 3.13: Wenner 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta)……35

Şekil 3.14: Dipol Dipol 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü……35

Şekil 3.15: Dipol Dipol 2D ERT yapay özdirenç modeli……...36

Şekil 3.16: Dipol Dipol 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta)……36

Şekil 3.17: Pol Dipol 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü……37

Şekil 3.18: Pol Dipol elektrot dizilimi ve k geometrik faktör hesabı…….37

Şekil 3.19: Pol Dipol 2D ERT yapay özdirenç modeli……..38

Şekil 3.20: Pol Dipol 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta)…….38

Şekil 3.21: Pol Pol 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü……39

Şekil 3.22: Pol Pol elektrot dizilimi ve k geometrik faktör hesabı…….39

Şekil 3.23: Pol Pol 2D ERT yapay özdirenç modeli……..40

Şekil 3.24: Pol Pol 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta)…….40

Şekil 3.25: 3D ölçüm elektrot dizilimi üstten ve açılı görünümü……..41

Şekil 3.26: Dipol Dipol 3D ERT yapay özdirenç modeli a; x yönünden, b; y yönünden, c; üstten, d; açılı görünümler…….42

Şekil 3.27: Dipol Dipol 3D ERT ters çözüm yakınsama eğrisi (üstte), ters çözümde bulunan model (altta)……..43

Şekil 3.28: Dipol Dipol 3D ERT ters çözüm sonuçları, a; yapay özdirenç modeli, b; ters çözüm çapraz kesitler, c; ters çözüm alttan görünüm, d; sadece yüksek özdirençli seviyeler alttan görünüm, e; özdirenç lejantı……44

Şekil 3.29: Pol Dipol 3D ERT yapay özdirenç modeli a; x yönünden, b; y yönünden, c; üstten, d; açılı görünümler……45

Şekil 3.30: Pol Dipol 3D ERT ters çözüm yakınsama eğrisi (üstte), ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri (altta)……..46

Şekil 3.31: Pol Dipol 3D ERT ters çözüm sonuçları, a; yapay özdirenç modeli, b; ters çözüm 3D kesitler, c; ters çözüm alttan görünüm, d; sadece yüksek özdirençli seviyeler açılı görünüm, e; özdirenç lejantı……..47

Şekil 3.32: Pol Pol 3D ERT yapay özdirenç modeli a; x yönünden, b; y yönünden, c; üstten, d; açılı görünümler…….48

Şekil 3.33: Pol Pol 3D ERT ters çözüm yakınsama eğrisi (üstte), ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri (altta)……49

Şekil 3.34: Pol Pol 3D ERT ters çözüm sonuçları, a; yapay özdirenç modeli, b; ters çözüm 3D kesitler, c; ters çözüm çapraz kesitler, d; sadece yüksek özdirençli seviyeler açılı görünüm, e; özdirenç lejantı……...50

Şekil 3.35: YHEM yöntemde, verici ve alıcı halkalarla, birincil alan, Eddy akımları, iletken kütle ve ikincil alanın oluşumu (Klein and Lajoie, 1980'den düzenlenmiştir)……...52

Şekil 3.36: YHEM yöntemi verici ve alıcı düzenekleri (Reynolds, 1997)…….53

Şekil 3.37: Düşey bir iletkende YHEM yöntemi ölçüm ve kuramsal eğrisi (Özürlan ve diğ, 2005)….53

Şekil 3.38: EM dalganın birbirine dik, elektrik (E) ve manyetik (H) iki temel bileşeni ve yayınımı (Reynolds, 1997)……54

Şekil 3.39: Yerin eşdeğer davranışını tanımlayan üç elektrik bileşeni olan kapasitans (C), indüktans (L) ve direnç (R) içeren temel elektrik devresi (Reynolds, 1997)…….55

Şekil 3.40: İndüklenen voltajlar ile birincil, ikincil ve sonuç manyetik alanları arasındaki faz gecikmeleri (Reynolds, 1997).……...56

Şekil 3.41: (A) Birincil ve ikincil alanların büyüklüklerini ve faz ilişkilerini tanımlayan Vektör diyagramı. (B) İkincil gerilim (Sy) ve akım veya birincil manyetik alan (Sx) cinsinden ikincil alanın vektörel bileşenleri (Reynolds,1997).…...……...57

Şekil 3.42: Farklı iletken ortamlarda ÇYHE yöntemin tepkisinin temsili gösterimi…….59

Şekil 3.43: ÇYHE yönteminde kullanılan ekipmanlar……...59

Şekil 3.44: Halkaların sarım şekli (sağda), makara, kasnak (solda)……...60

Şekil 3.45: AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği…….61

Şekil 3.46: AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği……...62

Şekil 3.47: 13.4 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği……...63

Şekil 3.48: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği…….64

Şekil 3.49: 250 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği…65

Şekil 3.50: 250 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği……..66

Şekil 3.51: 13.05 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği…….67

Şekil 3.52: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği…….68

Şekil 3.53: 350 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği…69

Şekil 3.54: 350 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği……..70

Şekil 3.55: 12.12 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği…….71

Şekil 3.56: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği……72

Şekil 3.57: 500 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği…73

Şekil 3.58: 500 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği……...74

Şekil 3.59: 11.33 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği……..75

Şekil 3.60: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği……76

Şekil 3.61: 600 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği…77

Şekil 3.62: 600 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği……..78

Şekil 3.63: 10.5 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği……..79

Şekil 3.64: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği……80

Şekil 3.65: 100-600 gr. Halkalar deney sonuçları……..81

Şekil 3.66: 100-600 gr. Halkalar etkin frekans değerleri……...82

Şekil 3.67: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları……..83

Şekil 3.68: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları…….84

Şekil 3.69: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları…….85

Şekil 3.70: Yapılan 10 deney sonuçları…….…..86

Şekil 3.71: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları……87

Şekil 3.72: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları…….88

Şekil 3.73: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları……...89

Şekil 3.74: Yapılan 15 deney sonuçları……...90

Şekil 3.75: 25 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları……91

Şekil 3.76: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları…….92

Şekil 3.77: 25 gr. 1 cm. AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları…….93

Şekil 3.78: Yapılan 17 deney sonuçları……...94

Şekil 3.79: 50 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm- AH850Gr4cm-AH1200Gr4cm deney sonuçları……95

Şekil 3.80: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları……96

Şekil 3.81: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları……...97

Şekil 3.82: Yapılan 22 deney sonuçları……...98

Şekil 3.83: 50 gr. 1 cm. 1 mm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm deney sonuçları…….....99

Şekil 3.84: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları……...100

Şekil 3.85: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları……..101

Şekil 3.86: Yapılan 27 deney sonuçları…….103

Şekil 3.87: 500 gr. 1 cm. 1.2 mm. VH ile AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm-AH1800Gr11cm deney sonuçları……104

Şekil 3.88: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları……...105

Şekil 3.89: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları…….105

Şekil 3.90: VH AH halkaların monte edildiği ahşap şase……..106

Şekil 3.91: Yapılan 32 deney sonuçları……108

Şekil 4.1: Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüslerinin görünümü (https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/)..109

Şekil 4.2: Toptepe Küçük Tümülüsü görünümü……..110

Şekil 4.3: Küçük Tümülüs dromosunu dik kesen ÇYHE ölçü noktaları (mavi renk artı işaretleri)...111

Şekil 4.4: Küçük Tümülüs ÇYHE ölçümü ve GPS koordinat alımı……112

Şekil 4.5: Küçük Tümülüs ÇYHE yöntemi AH mV kontur haritası……112

Şekil 4.6: Pol pol dizilim komut dosyası elektrotların geometrisi (Elektrotlar siyah kare, kablo turuncu renktedir)…….113

Şekil 4.7: Dromos ve mezar odası üzerinde elektrotların geometrisi (kırmızı renk artı işaretleri)….114

Şekil 4.8: ERT 3D ölçüm çalışması ve koordinat alımı……...115

Şekil 4.9: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların 3D görünümü (elektrotlar siyah nokta)……..115

Şekil 4.10: ERT 3D ölçüm çalışması sonsuzdaki B akım elektrotu uyarı işareti…….116

Şekil 4.11: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların kontak direnç ölçümü…….....117

Şekil 4.12: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan ter çözüm görüntüsü……118

Şekil 4.13: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı kotlarda x-y kesitleri……..119

Şekil 4.14: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-y kesitleri……120

Şekil 4.15: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu y-z kesitleri……121

Şekil 4.16: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-z kesitleri……121

Şekil 4.16: Sadece yüksek özdirençli seviyelerin farklı açılardan 3D görünümü……...122

Şekil 4.17: Toptepe Büyük Tümülüsü görünümü ……...122

Şekil 4.18: Büyük Tümülüs ÇYHE yöntem ölçü noktaları (mavi renk artı işaretleri).……...122

Şekil 4.19: Büyük Tümülüs'ü kaplayan yoğun dikenli, sık çalı ve bitki örtüsü……..123

Şekil 4.20: Büyük Tümülüs ÇYHE ölçümü ve GPS koordinat alımı……..124

Şekil 4.21: Büyük Tümülüs ÇYHE yöntemi AH mV kontur haritası……..125

Şekil 4.22: Pol pol dizilim komut dosyası elektrotların geometrisi (Elektrotlar siyah kare, kablo turuncu renktedir)……...125

Şekil 4.23: Büyük Tümülüs ERT 3D ölçümü elektrotların geometrisi (kırmızı renk artı işaretleri)..126

Şekil 4.24: ERT 3D ölçüm çalışması ve koordinat alımı…….…127

Şekil 4.25: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların 3D görünümü (elektrotlar siyah nokta)……....128

Şekil 4.26: ERT 3D ölçüm çalışması sonsuzdaki B akım elektrotu uyarı işareti…….129

Şekil 4.27: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların kontak direnç ölçümü……...129

Şekil 4.28: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan ter çözüm görüntüsü……130

Şekil 4.29: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı kotlarda x-y kesitleri……...131

Şekil 4.30: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-y kesitleri…….131

Şekil 4.31: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu y-z kesitleri…….132

Şekil 4.32: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-z kesitleri…….133

Şekil 4.33: Sadece yüksek özdirençli seviyelerin farklı açılardan 3D görünümü……133

Şekil 4.34: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu y-z kesitleri…….134

Şekil 4.35: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-z kesitleri…….135

Şekil 4.36: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü y-z kesitleri……...136

Şekil 4.37: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çapraz yönlü kesitleri……...136

Şekil 4.38: Sadece yüksek özdirençli seviyelerin farklı açılardan 3D görünümü……137

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Frig Tümülüslerinin çap, yükseklik ve yığma malzemesi özellikleri (Öztekin, 2006).…….6

Tablo 2.2: Frig Tümülüslerinin mezar çukuru ve mezar odası ebatları (Öztekin, 2006).……6

Tablo 2.3: Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinin mezar odası ebatları, mezar odası malzemesi ve yığma malzemesi özellikleri (Öztekin,2006)…….....…….9

Tablo 2.4: Greko Pers Tümülüslerinin mezar odası ebatları, dromos ebatları ve malzeme özellikleri (Öztekin, 2006)……....11

Tablo 2.5: Greko Pers Tümülüslerinin ön oda ebatları, sundurma ebatları ve Tümülüs yığması özellikleri (Öztekin, 2006)……..14

Tablo 2.6: Greko Pers Tümülüslerinin dairesel mezar odası ebatları, dromos ebatları ve Tümülüs yığması özellikleri (Öztekin, 2006)…….12

Tablo 2.7: Greko Pers Tümülüslerinin lahit ebatları ve lahit malzeme özellikleri (Öztekin, 2006)….12

Tablo 2.8: Helenistik Dönem Tümülüslerinin dromos, ön oda ve mezar odası ebatları (Öztekin, 2006), (Avşar, 2016)…….....14

Tablo 2.9: Helenistik Dönem Tümülüslerinin mezar inşa malzemesi, tümülüs yığma malzemesi (Öztekin, 2006), (Avşar, 2016)……...15

Tablo 2.10: Helenistik Dönem Tümülüslerinde gömü mezar, lahit, lahit malzemesi (Öztekin, 2006)……...16

Tablo 2.11: Çeşitli kayaların ve sedimentlerin özdirenç (Ωm) değerleri (Telford ve diğ., 1990)…….…...18

Tablo 2.12: Jeolojik malzemelerin özdirenç (Ωm) değerleri (Reynolds, 1997)……..…..19

Tablo 3.1: 2D ERT Elektrot dizilimlerine göre tahmini araştırma derinlikleri…….41

Tablo 3.2: 3D ERT Elektrot dizilimlerine göre tahmini araştırma derinlikleri…….50

Tablo 3.3: AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri…….61

Tablo 3.4: AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri…….62

Tablo 3.5: 13.4 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri……63

Tablo 3.6: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj değerleri……..64

Tablo 3.7: 250 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri.65

Tablo 3.8: 250gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri……66

Tablo 3.9: 13.05 KHz'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri……...67

Tablo 3.10: Farklı frekanslarda sinyal jeneratör çıkışı 250 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri..68

Tablo 3.11: 350 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri……...69

Tablo 3.12: 350gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri……70

Tablo 3.13: 12.12 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri……...71

Tablo 3.14: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 350 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri……...72

Tablo 3.15: 500 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri……...73

Tablo 3.16: 500gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri……74

Tablo 3.17: 11.33 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri……...75

Tablo 3.18: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 500 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri……...76

Tablo 3.19: 600 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri……...77

Tablo 3.20: 600gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri……78

Tablo 3.21: 10.5 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri……...79

Tablo 3.22: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 600 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri……...80

Tablo 3.23: 100-600 gr. Halkalar deney sonuçları……... 81

Tablo 3.24: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur).….83

Tablo 3.25: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)……..…...84

Tablo 3.26: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları……...…… 85

Tablo 3.27: Yapılan 10 deney sonuçları……86

Tablo 3.28: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)…..87

Tablo 3.29: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)……...…88

Tablo 3.30: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları……..89

Tablo 3.31: Yapılan 15 deney sonuçları……90

Tablo 3.32: 25gr1cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları (AH=mV)……91

Tablo 3.33: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)……...…92

Tablo 3.34: 25 gr. 1 cm. AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları……...93

Tablo 3.35: Yapılan 17 deney sonuçları……94

Tablo 3.36: 50 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm- AH850Gr4cm-AH1200Gr4cm deney sonuçları AH=mV)……95

Tablo 3.37: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)...……96

Tablo 3.38: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları……..97

Tablo 3.39: Yapılan 22 deney sonuçları……98

Tablo 3.40: 50 gr. 1 cm. 1 mm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm deney sonuçları (AH=mV)……99

Tablo 3.41: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)……...…..100

Tablo 3.42: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları……101

Tablo 3.43: Yapılan 27 deney sonuçları……..102

Tablo 3.44: 500 gr. 1 cm. 1.2 mm. VH ile AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm- AH1800Gr11cm deney sonuçları (AH=mV)…….103

Tablo 3.45: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur)…….....104

Tablo 3.46: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları……105

Tablo 3.47: Yapılan 32 deney sonuçları……..107

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

Ω : Ohm
σ : İzotropik iletkenlik
ρ : Özdirenç
ρ_a : Görünür özdirenç
π : Pi sayısı
ω : Açısal hız
α : Faz gecikmesi
ϕ : Toplam faz gecikmesi
% : Yüzde

Kısaltmalar **Açıklama**

1D : Bir boyutlu
2D : İki boyutlu
3D : Üç boyutlu
AH : Alıcı halka
Ah : Amper-saat
AC : Alternatif akım
A_{hv} : Alıcı halka gerilimi
Cm : Santimetre
ÇYHE : Çift Yatay Halka Elektromanyetik
DAÖ : Doğru Akım Özdirenç
DC : Doğru Akım
ERT : Elektrik Rezistivite Tomografi
GPS : Küresel konumlandırma sistemi
HLEM : Horizontal Loop Electromagnetic Method
Hz : Hertz
H_p : Birincil manyetik alan
H_{pv} : Birincil manyetik alanın gerilimi
H_s : İkincil manyetik alan

H_{sv} : İkincil manyetik alanın gerilimi

KHz : Kilohertz

MHz : Megahertz

mV : Milivolt

m. : Metre

mm. : Milimetre

ODTÜ : Ortadoğu Teknik Üniversitesi

tan : Tanjant

Sin : Sinüs

V : Gerilim (Volt)

VH : Verici halka

YHEM : Yatay Halka Elektromanyetik Metod

ÖZET

SAMSUN CANİK TOPTEPE TÜMÜLÜSLERİ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerim AVCI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL

II. Danışman : Unvan Ad SOYAD

Samsun ili, Canik ilçesi, Toptepe Mahallesinde yer alan Toptepe Tümülüsleri, Büyük Tümülüs ve Küçük Tümülüs olmak üzere iki tümülüsten oluşmaktadır. Küçük Tümülüs çevresinde 2016 yılında yapılan çevre düzenleme projesi çalışmaları sırasında, Küçük Tümülüs içerisinde, Dromos ve Mezar odası bulunmuştur. Büyük Tümülüs'te ise, geçmişten günümüze kadar yapılmış çalışmalarda herhangi bir Tümülüslere ait bir yapı unsuru olup olmadığı bilinmemektedir. Dromos 'u ve Mezar Odası mevcut Küçük Tümülüs üzerinde ve Büyük Tümülüs üzerinde Arkeojeofizik ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Küçük Tümülüs üzerinde gerçekleştirilen Arkeojeofizik ölçümlerle, Dromos ve Mezar Odasının yerinin belirlene bilirliği, uygulanan yöntemlerin başarısı incelenmiştir. Küçük Tümülüs'te gerçekleştirilen Arkeojeofizik ölçümlerle, Dromos ve Mezar Odası görüntülenmiştir. Elde edilen başarılı sonuçlar akabinde, Büyük Tümülüs üzerinde de Arkeojeofizik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Büyük Tümülüs üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar ve elde edilen bulgular, Samsun Arkeoloji ve Etnografya Müze Müdürlüğü'ne de verilmiş ve Büyük Tümülüs'te belirlenen lokasyonlarda kazı çalışması yapılması beklenmektedir. Arkeojeofizik ölçümlerde, Çift Yatay Halka Elektromanyetik yöntem ve Elektrik Rezistivite Tomografi 3D yöntem uygulanmıştır. ÇYHE yöntemde verici olarak sinyal jeneratörü ve alıcı olarak

osiloskop özellikli voltmetre kullanılmıştır. Yatay halkalar ise tarafımızca sarılarak, çok sayıda deney ve test işlemlerinden sonra sinyal jeneratörü ve voltmetre ile uyumlu bir şekilde çalışan, ölçümler için ideal bir ekipman haline getirilmiştir. ÇYHE verileri Matlab 'da yazılan kodla kontur haritaları yapılmış ve anomali haritaları elde edilmiştir. ERT3D ölçümlerde AGI SuperSting R1 ölçüm cihazı ve ekipmanları kullanılmıştır. Veri işlem ve değerlendirmeler Earth Imager 3D yazılımla yapılmıştır. ÇYHE ve ERT3D ölçümlerinde, her bir nokta ölçümü ve elektrodun koordinatı DGPS cihaz kullanılarak kayıt edilmiştir.

Şubat 2022, 197 sayfa.

Anahtar kelimeler: Toptepe Tümülüsleri, Arkeojeofizik, Çift Yatay Halka Elektromanyetik, Elektrik Rezistivite Tomografi 3D

SUMMARY

SAMSUN, CANİK, TOPTEPE TUMULUSES ARCHEOGEOPHYSICAL RESEARCH

M.Sc. THESIS

Kerim AVCI

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geophysical Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Fethi Ahmet YÜKSEL

Co-Supervisor : Academic Title Name SURNAME

Toptepe Tumuluses, located in Samsun province, Canik district, Toptepe Neighborhood, consists of two tumuli, Big Tumulus and Small Tumulus. During the landscaping project carried out in 2016 around the Small Tumulus, Dromos and the tomb chamber were found in the Small Tumulus. In the Great Tumulus, it is not known whether there is a building element belonging to any tumuli in the studies carried out from the past to the present. Archaeogeophysical measurements were carried out on the existing Small Tumulus with its Dromos and Burial Chamber and on the Big Tumulus. With the Archeogeophysical measurements carried out on the Small Tumulus, the location of the Dromos and the Burial Chamber and the success of the applied methods were examined. The Dromos and the Burial Chamber were visualized with the Archeogeophysical measurements carried out in the Little Tumulus. After the successful results obtained, Archeogeophysical measurements were also carried out on the Great Tumulus. The studies carried out on the Great Tumulus and the findings obtained were also given to the Samsun Archeology and Ethnography Museum Directorate and excavations are expected to be carried out at the designated locations in the

Great Tumulus. In archeogeophysical measurements, Double Horizontal Loop Electromagnetic method and Electrical Resistivity Tomography 3D method were applied. In the DHLE method, a signal generator was used as a transmitter and a voltmeter with an oscilloscope as a receiver. The horizontal loop, on the other hand, have been wrapped by me and after many experiments and tests, they have been turned into an ideal equipment for measurements, working in harmony with the signal generator and voltmeter. DHLE data was mapped with the code written in Matlab and anomaly maps were obtained. AGI SuperSting R1 measuring device and equipment were used in ERT3D measurements. Data processing and evaluations were made with Earth Imager 3D software. In DHLE and ERT3D measurements, each point measurement and the coordinate of the electrode were recorded using the DGPS device.

February 2022, 197 pages.

Keywords: Toptepe Tumuluses, Arkeogeophysics, Horizontal Loops Electromagnetic Method, Electricaly Resistivity Tomography 3D

1. GİRİŞ

Tümülüsler ülkemiz ve dünya tarihi açısından, geçmişten günümüze dünya mirası çok önemli arkeolojik değerlerimizdir. Tümülüs kelime anlamı; eski Yunanca 'da "tumbos" höyük, mezar üzerine örtülen toprak yığını, Latince 'deki "tumulus" kelimesi ise, Yunanca 'da kine benzer bir şekilde yığma tepe, mezar tepesi, tepecik, Romalılarda "tumulus" kelimesi ise mezar amaçlı yapılmış yığma tepeler anlamlarına gelmekte ve arkeoloji literatürüne de Latince 'deki anlamıyla girmiştir (Yıldırım, 2008).

Samsun İli, Canik İlçesi, Hasköy-Toptepe Mahallesinde yer alan Toptepe Tümülüsleri, Büyük Tümülüs ve Küçük Tümülüs olmak üzere iki tümülüsten oluşmaktadır. Tümülüslerin bulunduğu alanda 2016 yılında çevre düzenleme projesi çalışmalarında, Küçük Tümülüs'te dromoslu mezar odası bulunmuş, kurtarma kazısı yapılarak 1. Derece arkeolojik sit alanı olarak tescil edilmiştir. Büyük Tümülüs'te ise olası mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurları şimdiye kadar bulunamamıştır. Tezin amacı, Arkeojeofizik ölçümler gerçekleştirerek, Büyük Tümülüsün olası mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurlarının yerlerini belirlemektir.

Tümülüsler zeminin kazılarak ölünün gömüldüğü, kazılan yerin ahşap malzeme ile kapatıldığı, içinde lahitin olduğu, farklı taş malzemelerden belirli bir geometrik düzende bir veya birden fazla mezar odasının inşa edildiği, mezar odası ile birlikte tünel şeklinde mezar odasına yürüme yolu (Dromos) inşa edildiği ve Tümülüs yığmasının (toprağın) desteklenmesi amacı olduğu düşünülen çevre duvarı (Krepis) inşa edildiği şekillerden, herhangi bir şekilde inşa edilmiş olabilir (Çalışkan, 2016). Son olarak da bu mezar yapılarının üzeri, arkeologlarca yığma veya toprak olarak adlandırılan malzeme ile örtülmesinden oluşmaktadır. Tümülüs yığması yalın topraktan oluşmamakta, içerisinde toprak, kil, kum, çakıl, blok taşlar v.b. karışık bir halde olabilir (Bora, 2015).

Tümülüslerin, yukarıda belirtildiği üzere, zeminde kazı hacmi oluşturulması, mezar yerinin ahşap malzeme ile örtülmesi, taş v.b. yapı malzemesi ile oda veya odalar inşa edilmesi, dromos inşası, krepis inşası v.b. yapı inşa çeşitliliği, kullanılan malzemelerin birbirleri ile zıt yönde fiziksel davranış sergileyeceği görülmektedir. Tümülüsler de diğer arkeolojik alanların genel yapısında özellikle mimarî kalıntıları oluşturan yapı malzemelerinin, bunları örten dolgu

toprağından farklı olması, yer altının fiziksel özelliklerinin incelenmesi esasına dayanan jeofizik bilim dalının arkeolojik çalışmalarda da geniş uygulama alanı bulmasını sağlamıştır (Yüksel, ve diğ. 2009).

Tümülüslerde Arkeojeofizik araştırmalar son 30 yıldan günümüze devam etmektedir. Bu araştırmalarda ilk yıllarda Elektrik yöntemler kullanılırken, Jeofizik Mühendisliği'ndeki ilerlemelere bağlı olarak Elektromanyetik, Manyetik, Sismik, Yer Radarı yöntemleri de araştırmacılar tarafından uygulanmaktadır. Orlando (1987) İtalya Roma'da Sabine Nekropol 'unda dromoslu mezar yerlerini belirlemek amacıyla Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner profil yöntemini uygulamıştır. Başokur (1992) Magnesia ve Meandrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin Üç Gerilim yöntemini uygulamıştır. Drahor (1992) Ahmetli-Çiftlikkırı Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner Profil ölçümü ve Schlumberger Düşey Elektrik Sondaj yöntemini uygulamıştır. Pınar ve Akçığ (1992) Kösemtuğ Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner Profil ölçümü ve Schlumberger Düşey Elektrik Sondaj yöntemini uygulamışlardır. Drahor (1993) Lüleburgaz Kepirtepe Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin twin dizilimini uygulamıştır. Erdoğan (1995) Kocaeli Üçtepeler Tümülüsü'nde Elektrik özdirenç Schlumberger Profil ölçüm yöntemini uygulamışlardır. İlkışık ve diğ. (1995) Enez Çataltepe Tümülüsü'nde Elektromanyetik VLF ve Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner Profil ölçümü yöntemini uygulamışlardır. Akçığ ve Pınar (1995) yine Kösemtuğ Tümülüsü'nde Manyetik ve Doğal Potansiyel yöntemlerini uygulamışlardır. Tsokas ve diğ. (1995) Kuzey Yunanistan'da, Messiano ve Agios Athanassios Tümülüslerinde Sismik Kırılma yöntemini uygulamışlardır. Gugler ve diğ. (1996) Celtic Tümülüsü'nde elektromanyetik yöntemi uygulamışlardır. Ercan (1999) Denizli Eğmir Tümülüsünde, Doğru Akım Özdirenç, Elektromanyetik, Radyometrik, Manyetik, Gradiometrik ve Yer Radarı yöntemlerini uygulamıştır. Papadopoulos ve diğ. (2009) tümülüslerde farklı dizilimlerde yüzeyde doğrudan 3D ERT ölçüm ve 3D ters çözüm modelleme çalışmaları yapmışlardır. Akca ve diğ. (2010) Samsun Baruthane Tümülüslerinde Doğru Akım Özdirenç yöntemini uygulamışlardır. Papadopoulos ve diğ. (2010) tümülüslerde farklı dizilimlerde 2D ERT hatlardan 3D ters çözüm modelleme çalışmaları yapmışlardır. Tsourlos ve diğ. (2014) tümülüslerde farklı grid uygulamalarının 2D ERT hatlardan 3D ters çözüm modelleri ile etkinliğini araştırmışlardır. Ştefan ve diğ, (2017) Kuzey Trakya'da Tümülüslerde 2D ERT ve uzaktan algılama yöntemlerini uygulamışlardır. Tsokas ve diğ. (2018) Kuzey Yunanistan'da

Kastas Tümülüsü'nde 2D ERT ölçümleri ve 3D ters çözüm çalışmaları gerçekleştirmiştir. Pazzi ve diğ, (2019) Tuscany İtalya'da Vetulonia yakınındaki bir tümülüste ERT 2D ölçüm 3D modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir.

Toptepe Tümülüslerinde gerçekleştirdiğimiz Arkeojeofizik çalışmalarda, Elektromanyetik Yatay Halka Elektromanyetik Metot (YHEM) yöntemi ve Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) 3D yöntemini uyguladık. Bu yöntemleri seçme nedenimiz; Tümülüslerin eğimli dik yamaçlı yapısından dolayı, üzerinde yürümenin bile çok zor olması ve bu zorlu koşullarda, hızlı bir şekilde tek bir kişinin ölçü yapabileceği YHEM yöntemle Tümülüs yapı elemanlarının (Dromos, Mezar odası v.b.) yerlerini belirleyebilmektir. YHEM yöntemde iki kişi ile ölçüm yapılmaktadır. Tek kişi ile ölçüm yapabilmek amacıyla, tez kapsamında, Çift Yatay Halka Elektromanyetik olarak adlandırdığımız (ÇYHE) bir ölçüm ekipmanı tarafımızca geliştirilmiştir. ÇYHE yöntemde verici olarak sinyal jeneratörü ve alıcı olarak osiloskop özellikli voltmetre kullanılmıştır. Yatay halkalar ise tarafımızca sarılarak, çok sayıda deney ve test işlemlerinden sonra sinyal jeneratörü ve voltmetre ile uyumlu ve verimli bir şekilde çalışan, ölçümler için ideal bir ekipman haline getirilmiştir. ÇYHE verileri Matlab 'da yazılan kodla kontur haritaları yapılmış ve anomali haritaları elde edilmiştir. ÇYHE ölçüm çalışmalarından sonra tümülüsün yapı elemanlarının olduğu düşünülen, Tümülüs toplam alanından daha küçük bir lokasyonda ERT 3D ölçüm çalışmaları gerçekleştirdik. Bu iki ölçüm yöntemini öncelikle Dromosu ve Mezar odası bilinen Toptepe Küçük Tümülüsü'nde ve elde edilen başarılı sonuçlar akabinde Toptepe Büyük Tümülüsü'nde uyguladık.

YHEM yöntemi uluslararası literatürde HLEM (Horizontal Loop Electromagnetic Method) olarak bilinmektedir ve Slingram da denilmektedir (Özürlan, ve Ulugergerli, 2005). Arkeojeofizik araştırmalarda YHEM yöntemini ilk olarak Scollar (1962), Howell (1966), Musson (1968) gerçekleştirmiştir.

ERT yöntemi Doğru Akım Özdirenç yöntemidir. Arkeolojik araştırmalarda sıkça kullanılan DAÖ yöntemi ilk olarak 1940'lı yıllarda İngiltere'de Atkinson (1952) ve 1990'lı yılların başından beri ülkemizde de Başokur (1992) tarafından kullanılmaya başlanmıştır. ERT ölçüm çalışmaları, son 30 yılda ölçüm cihazlarının çok elektrotlu ve çok kanallı ölçüm yapabilir şekilde gelişmesine bağlı olarak 2D paralel ölçümler yapılarak ve bunların birleştirilmesi ile 3D ölçümler veya doğrudan 3D ölçümler gerçekleştirilebilir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. TÜMÜLÜSLERİN TARİHSEL DÖNEMLERE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Diğer Jeofizik araştırmalarda olduğu gibi Tümülüs araştırmalarında da öncelikle problemin tanımlanması, problemin bilimsel parametrelerinin kestirilmesi ve bu parametrelerin çözümüne cevap verecek en uygun araştırma yöntemi ve veri toplama sıklığı en ideal seviyede seçilmelidir. Veri toplama sıklığının sayısı az olursa problem çözülemeyecek, çok olursa gereksiz maliyet ortaya çıkacaktır. İşte bu sebeplerden ötürü öncelikle Tümülüslerin tarihsel dönemlere göre ne tür özelliklere sahip olduğu, içindeki mezarın toprak kazılarak mı?, kazıda destek malzemesi var mı?, mezar odası inşa edilmiş mi?, ne tür malzeme kullanılmış, dromosu, krepisi var mı?, inşa malzemesi nedir ve bu unsurların ebatları büyüklükleri ne kadar v.b. onlarca karşımıza çıkacak değişken parametreyi önceden kestirebilmek amacıyla Tümülüsleri tarihsel dönemlere göre incelemeye çalıştık.

Arkeologlar Anadolu'da yer alan Tümülüsleri Frig Dönemi, Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers Dönemi ve Helenistik Dönem olarak dört grupta incelemektedirler (Öztekin, 2006), (Uğur, 2012), (Avşar, 2016).

2.1.1. Frig Dönemi Tümülüsleri

Frig Dönemi Tümülüslerinde doğal zemin içerisinde kare veya kareye yakın çukurlar açmışlar ve bu Tümülüslerin çoğunda bu çukurların içerisine kare veya dikdörtgen şekilde ağaçtan mezar odaları inşa etmişler nadiren doğal zemin üzerine mezar odası inşa edilmiştir. Bazı Tümülüslerde Mezar çukurunun içerisine mezar odası inşa edilmemiştir. Mezar odası inşa edilenlerde mezar odalarının üstü de ağaçlarla kapatıldıktan sonra mezar odasının tamamı moloz taşlarla, çakıl taşı, iri yassı yerel taş yığınları kullanılarak örtülmüş, taş malzemenin yanında kamış, hasır, ince kum ve kil de kullanarak örtmüşlerdir. Bazı mezar odalarının üstünün kapatılmadığı ve bazı mezar odalarının altına da moloz taşlar serildiği bilinmektedir. Mezar odası inşasında demir bağlayıcılar da kullanmışlardır. Bazı mezar odalarının üstünde ağaçtan çatı da mevcuttur. Mezar odası ve onu çevreleyen taş yığınlarının üzerine kil katmanı örtmüşler devamında toprak olarak tariflenen malzeme ile Tümülüs yığması oluşturulmuştur. Frig Tümülüsleri ebatları açısından incelendiğinde Erken Frig Dönemi'nde Tümülüslerin

yüksekliği 70-80 m. ve 250 m. çaplara ulaşmaktadır. Orta Frig Dönemi'nde 2,5-4 m. yükseklik ve 30-35 m. çaplara sahiptir (Avşar, 2016).

Örnek bir Frig Tümülüs'ünün (Tümülüs N) mezar odasının ana toprak içerisindeki durumunu gösteren kesit Şekil 2.1: 'de görülmektedir. Tablo 2.1: 'de, Frig Tümülüslerinin çap, yükseklik ve yığma malzemesi özellikleri sıralanmıştır. Tablo 2.1: 'i incelediğimizde çapların 20-25 m. ile 300 m. arasında değiştiği ve yüksekliklerinin 2-3 m. ile 53 m. arasında değiştiği görülmektedir. İlk inşa edildiklerinde daha yüksek oldukları ve çaplarının daha küçük olduğu zamanla üstlerindeki tabakaların kenarlara yayıldığı Tümülüslerde kazı yapan araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Araştırma sonuçlarından elde edilen diğer bir bilgi de Tümülüs yığmasının malzeme özellikleridir. Tablo 2.1:'de Tümülüslerin yığma malzemeleri de sıralanmıştır. Frig Tümülüslerinin çoğunluğunda, ağaçtan inşa edilmiş mezar odasının altı, çevresi ve üzeri, moloz taş veya taş olarak tariflenen çok sert malzeme ile örtülmektedir. Moloz taşın üzeri kil tabakası ile örtülmekte ve onun üstüne de toprak olarak tariflenen malzeme dökülerek Tümülüs yığması tamamlanmaktadır.

Frig Tümülüslerinde, Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers Dönemi ve Helenistik Dönem Tümülüslerinde görülen dromos, krepis, taş malzemeden mezar odası veya odaları bulunmamaktadır.



Şekil 2.1: Frig Tümülüsü N mezar odasının ana toprak içerisindeki durumu (Avşar, 2016).

Frig Dönemi Tümülüs araştırmalarında Jeofizik açıdan baktığımızda Tablo 2.1:'de yer alan yığma malzemesi özellikleri ve Tablo 2.2:'de yer alan mezar çukuru ebatları ve mezar odası ebatları çok öneme sahiptir. Mezar çukurları 1-1,5 m. ebatları ile 5-6 m. ebatlarına kadar olabilmekte derinliği 0,5-2 m. arasındadır. Ahşaptan mezar odaları 1-2-0,5 m. ile 6-5-4 m.

ebatları arasındadır. Tümülüs yığmasında, toprak ve kil tabakalarının altında yer alan taşlarla örtülmüş ve ahşaptan yapılmış mezar odası, içerisindeki boşluk ve taş malzemenin, üzerlerinde yer alan kil ve toprak tabakasından çok daha yüksek dirençli bir yapıda olduğu görülmektedir. Tümülüs araştırmalarında sıkça uygulanan elektrik yöntemlerin Frig Tümülüslerinde başarılı sonuçlar elde edeceği anlaşılmaktadır. Frig Tümülüslerinde ahşap mezar odası inşa edilirken metal bağlayıcılar da kullanıldığı mezar odası içerisine metal eşyalarında konulduğu bilinmektedir. Metalik malzemeler de, elektromanyetik ve manyetik yöntemlerin de uygulanabileceğini göstermektedir.

Tablo 2.1: Frig Tümülüslerinin çap, yükseklik ve yığma malzemesi özellikleri (Öztekin, 2006).

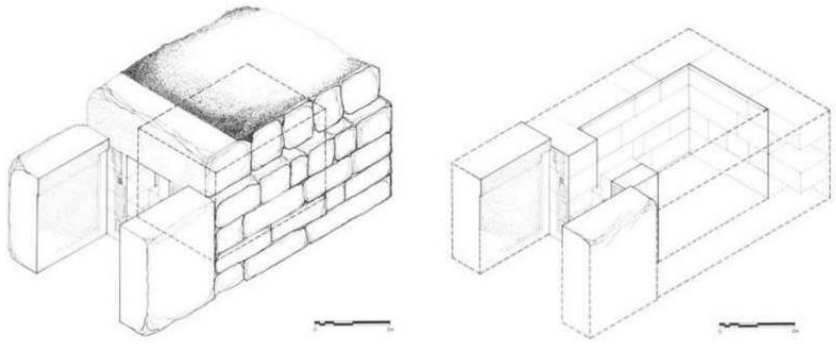
TÜMÜLÜS ADI	ÇAP (m.)	YÜKSEKLİK (m.)	YIĞMA MALZEMESİ
Gordion W	150	22	Moloz taş, kil, toprak.
Gordion P	70	12	Moloz taş, kil, toprak.
Gordion III	?	23	Moloz taş, balçık, toprak
Gordion IV	?	?	İnce yassı taş, toprak.
Gordion MM	300	53	İki aşamalı taş, kil, taş-toprak.
ODTÜ Büyük	140	20	?
Anıtkabir I	50	8.5	Moloz taş, toprak.
Anıtkabir II	20-25	3	Toprak.
Bayındır C	36-38	4.2	Kil, iri yassı taş, düzensiz taş.
Bayındır D	40-45	5.1	Kil, iri yassı taş, düzensiz taş.
Gordion I	?	12	Düzensiz tabakalanma.
Gordion II	?	?	İri taşlar, toprak.
ODTÜ I	60	7	Taş, toprak.
ODTÜ II	?	5	Taş, sert toprak.
Makridi I	70	8.2	Kum, toprak birkaç ardalanma.
Mamaderesi	30-35	4.1	Taş, kum-çakıl.
Tatarlı	50	6	Taş, kil, çakıl, taş, toprak.

Tablo 2.2: Frig Tümülüslerinin mezar çukuru ve mezar odası ebatları (Öztekin, 2006).

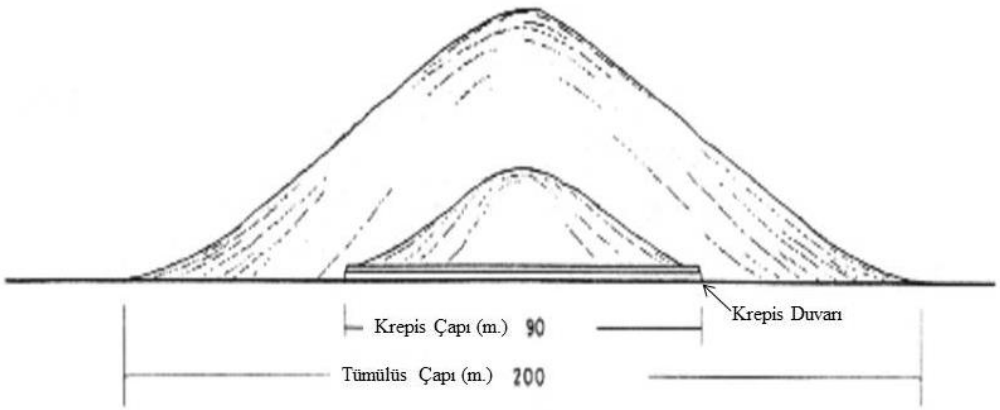
TÜMÜLÜS ADI	MEZAR ÇUKURU EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	MEZAR ODASI EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)
Gordion W	?-?-1	4,62-3,30-1,55
Gordion P	7-5,20-?	4,57-3,48-1,54
Gordion III	5,1-4,5-1,5	3,70-3,10-1,90
Gordion IV	?	3,70-2,50-1,70
Gordion MM	?	6,20-5,15-4,00
Kızlarkayası A	?	2,07-0,95-0,43
ODTÜ Büyük	?	?-?-1,55
Anıtkabir I	6,0-5,0-2,0	3,50-2,50-?
Anıtkabir II	4,8-3,8-2,0	?
Bayındır C	1,5-0,83-0,3	?
Bayındır D	3,25-4,5-0,5	?

2.1.2. Lidya Krallık Dönemi Tümülüsleri

Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde kireçtaşı, mermer, kumtaşı, andezit, küfekitaşı ve şist gibi malzemeler kullanılarak yapılmış mezar odaları görülmektedir. Bu malzemeler yakın çevrelerinde yer almaktadır (Dinç, 1993). Güre Velişin Tepe Tümülüsü'nde ise anakaya oyularak mezar odası inşa edilmiştir. Şekil 2.2:'de Koca Mahmut Tepe Tümülüsü ön mekan ve mezar odası izometrik görünümü yer almaktadır (Çalışkan, 2016). Karnıyarık Tepe Tümülüsü, Güre Basmacı Tümülüsü ve Güre Velişin Tepe Tümülüsü'nde Krepis olarak adlandırılan, basamak anlamındaki, Tümülüs yığmasının çevresini istinat duvarı gibi saran, muhtemelen yığmanın zamanla eteklere doğru yayılmasının önüne geçmek amacıyla inşa edilmiş duvar gibi sıralı dairesel yapılardır. Şekil 2.3:'de Karnıyarık Tepe Tümülüsü ve krepis duvarı görülmektedir (Avşar, 2016). Karnıyarık Tepe Tümülüsü'nde Krepis çapı 90 m. ve duvar yüksekliği 1,81 m. dir. Lidya Tümülüslerinin tamamında Krepis mevcut değildir.

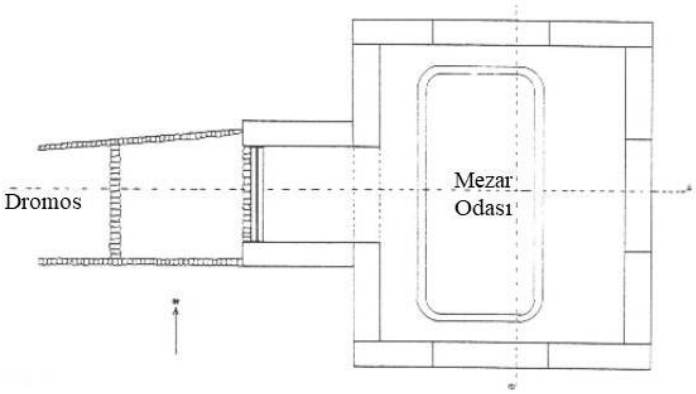


Şekil 2.2: Koca Mahmut Tepe Tümülüsü ön mekan ve mezar odası izometrik görünümü (Çalışkan, 2016).



Şekil 2.3: Karnıyarık Tepe Tümülüsü ve krepis duvarı (Avşar, 2016).

Güre Basmacı Tümülüsü'nde Dromos olarak adlandırılan, mezar odasına geçişi sağlayan yol anlamına gelen dar geçit mevcuttur. Dromosun uzunluğu 2 m., genişliği 1,1 m. dir (Öztekin, 2006). Şekil 2.4:'de Güre Basmacı Tümülüsü 'nün Dromos ve Mezar odası planı görülmektedir.



Şekil 2.4: Güre Basmacı Tümülüsü dromos ve mezar odası (Öztekin, 2006).

Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerine Jeofizik açıdan baktığımızda Tablo 2.3:'de yer alan yığma malzemesi özellikleri büyük öneme sahiptir. Yığma malzemelerinin çoğunlukla moloz taş-toprak, taş-toprak veya çakıl-sert toprak ile oluşturulduğu görülmektedir. Az bir kısmı sadece toprak ile yığma yapılmıştır. Moloz taş-toprak, taş-toprak, çakıl-sert toprak malzeme, tümülüsün merkezinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos ve mezar odasının fiziksel özelliklerine yaklaşmaktadır. Yapı elemanlarının taş malzemesi ile Tümülüs yığma malzemesinin fiziksel özellikleri birbirine yaklaştığı zaman, Tümülüs yapı elemanlarının belirlenmesi, ancak yapı elemanları içerisinde boşluk bulunması durumunda, diğer bir ifade ile odaların çökmemiş, içerisine yığma malzemesi dolmamış, kısaca sağlam bir şekilde içleri boş olması durumunda, çok yüksek özdirençli olmaları durumunda elektrik yöntemler ile mezar yapılarını belirlemek mümkün olacaktır. Tablo 2.3:'de yer alan mezar odası ebatları da çok öneme sahiptir. Taş malzemeden inşa edilmiş mezar odaları 1,27-2,47-1,49 m. ile 2,80-1,96-1,95 m. ebatları arasındadır. Çok yüksek özdirençli taş malzemeden inşa edilmiş mezar odaları içerilerinin boş olması durumunda çok daha yüksek dirençli bir yapıda olacağı görülmektedir. Tümülüs araştırmalarında sıkça uygulanan elektrik yöntemlerin Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde de başarılı sonuçlar elde edilebilir. Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde olası krepis, olası dromos ve mezar odası inşa edilirken metal bağlayıcılar da kullanıldığı, mezar odası içerisine metal eşyaların da konulduğu bilinmektedir. Özdirenç

farklılığı ve metalik malzemeler, elektromanyetik ve manyetik yöntemlerin de uygulanabileceğini göstermektedir.

Tablo 2.3: Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinin mezar odası ebatları, mezar odası malzemesi ve yığma malzemesi özellikleri (Öztekin, 2006).

TÜMÜLÜS ADI	MEZAR ÇUKURU EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	MEZAR ODASI MALZEMESİ	YIĞMA MALZEMESİ
Koca Mahmut Tepe	2,08-2,15-0,98	Kireçtaşı, mermer.	Moloz taş, toprak.
Alahıdır T1	1,27-2,47-1,49	Taş blok.	Taş, toprak.
Alahıdır T2	?	Kumtaşı.	Taş, toprak.
Alahıdır T3	2,85-1,40-1,89	Kumtaşı.	Taş, toprak.
Güre Basmacı	1,60-2,98-2,40	Andezit, şist.	Çakıl, sert toprak.
Güre Velişin Tepe	1,85-2,44-1,75	Anakayaya oyma.	Çakıl, sert toprak.
Kendirik 1	2,81-1,90-1,92	Kireçtaşı	Toprak.
Kendirik 2	2,80-1,96-1,95	Kireçtaşı	Toprak.

2.1.3. Greko Pers Dönemi Tümülüsleri

Greko Pers Dönemi Tümülüsleri genel olarak 4-5 m. yükseklik ile 30 m. arası yüksekliklerde, 25 m. ile 80 m. arası çaplardadır. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinin, Frig Dönemi ve Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerine göre Tümülüs yığma boyutları daha küçüktür. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde mezar inşa malzemesi taştır. Mermer, kireçtaşı, kumtaşı, küfekitaşı (maktralı kireçtaşı), şist ve andezit taş malzemeler ve ağaç, metal ve pişmiş toprak da inşa malzemeleri arasındadır. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde, krepis, dromos, sundurma, mezar odası ve çatı gibi yapı elemanlarının en çok değiştiği ve buna bağlı farklılıklar görülen dönemdir (Uğur, 2012).

Greko Pers Tümülüslerine örnek Gümüşçay Dedetepe Tümülüsü ’nün resmi Şekil 2.5: ‘te yer almakta, Şekil 2.6: ‘da mezar odası resmi görülmektedir. Gümüşçay Dede Tümülüsü ‘nün mezar odası ebatları 3,60 m. genişlik, 4,20 m. uzunluk ve 1,90 m. yüksekliğe sahiptir.



Şekil 2.5: Gümüşçay Dedetepe Tümülüsü görünümü (Çalışkan, 2016).



Şekil 2.6: Gümüşçay Dedetepe Tümülüsü mezar odası (Çalışkan, 2016).

Greko Pers Dönemi Tümülüslerine ait Öztekin (2006) ‘den derlenen mezar odası ebatları, dromos ebatları Tablo 2.4: ‘te verilmiştir. Beylerbeyi I ve İkiztepe Tümülüsleri anakayaya oyularak inşa edilmiş, diğer Tümülüslerde mermer, kireçtaşı, kalker, andezit ve tüf inşa malzemeleri kullanmışlardır. Mezar odası ebatları çoğunlukla 2-3 m. uzunluklardadır. Dromos uzunlukları 1,80 m. ile 10 m. arası uzunluklardadır. Dromos inşa edilme sayısı ve dromos uzunluklarının Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerine göre arttığı ve uzadığı söylenebilir.

Greko Pers Tümülüslerinde uzun dromoslar yanında ön oda ve sundurma yapı elemanları da mevcuttur. Tablo 2.5: ‘te Greko Pers Tümülüslerinin ön oda ebatları, sundurma ebatları ve Tümülüs yığması özellikleri yer almaktadır. Mezar odasının önünde yer alan ön oda ebatları 1,20 m. genişlik, 1,40 m. uzunluk ve 1,65 m. yükseklik (Yıldızlar Tepesi Tümülüsü) ile 5,83 m. genişlik, 4,83 m. uzunluk (Kırklareli B Tümülüsü) arasında yer almaktadır. Sundurma ebatları 1,30 m. genişlik, 1,0 m. uzunluk ve 1,90 m. yükseklik ile (BT 89 Tümülüsü), 1,40 m. genişlik, 2,40 m. uzunluk ve 2,10 m. yükseklikler (Bekçitepe Tümülüsü) arasında yer almaktadır. Tümülüs yığma malzemelerinin dolgu toprak, toprak, moloz taş malzemeler kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 2.4: Greko Pers Tümülüslerinin mezar odası ebatları, dromos ebatları ve malzeme özellikleri (Öztekin, 2006).

TÜMÜLÜS ADI	MEZAR ODASI EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	DROMOS EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	MALZEME ÖZELLİKLERİ
Gümüşçay Dedetepe	3,60-4,20-1,90	-	Mermer.
Mitralyöztepe	1,90-2,18-1,97	Uzun bir dromos.	Mermer.
Mangaltepe	2,18-2,50-1,93	1,55-4,30-?	Kireçtaşı.
Bekçitepe	2,28-2,38-2,08	Kısa bir dromos	Mermer, kireçtaşı.
Yıldızlar Tepesi	2,17-1,87-1,98	1,50-3,80-?	Kireçtaşı.
Beylerbeyi I	Anakaya oyma 2,8-2-2,5	1,50-10-1,0	?
BT 89	1,87-2,20-2,10	1,40-4,10-?	Kireçtaşı.
Selçikler T1	2,47-2,20-2,40	1,50-5,10-2,0	Kalker.
Selçikler T2	2,75-2,20-2,10	1,04-4,07-2,0	Mermer.
Selçikler T3	2,60-2,20-1,90	1,45-2,08-1,90	?
İkiztepe	Anakaya oyma 2,67-2,16-2,02	-	Andezit, tüf, mermer.
Harta Abidintepe	2,58-2,18-2,15	?	Kumtaşı, kireçtaşı.
Kırklareli A	3,00-3,00-2,66	1,13-1,80-2,20	Yumuşak taş.
Mudanya Akçabayır	2,60-2,60-2,18	1,05-8,80-?	Kalker, andezit.
Eskişehir Iğdır	2,40-1,59-2,89	1,10-2,24-1,80	Kalker.
Kırklareli C Oda 1	2,28-1,95-?	-	-
Kırklareli C Oda 2	2,20-2,10-?	-	-
Kırklareli C Oda 3	3,12-2,13-?	-	-
Kırklareli C Oda 4	3,12-3,05-?	-	-

Tablo 2.5: Greko Pers Tümülüslerinin ön oda ebatları, sundurma ebatları ve Tümülüs yığması özellikleri (Öztekin, 2006).

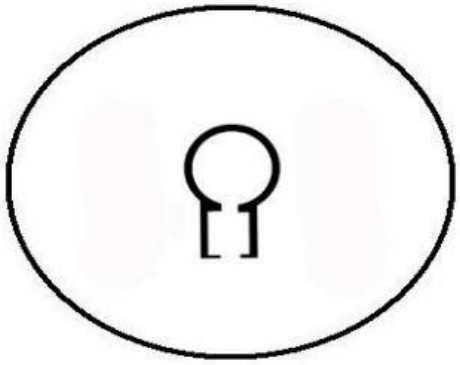
TÜMÜLÜS ADI	ÖN ODA EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	SUNDURMA EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	YIĞMA ÖZELLİKLERİ
Mitralyöztepe	1,88-1,90-1,85	-	Moloz taş.
Mangaltepe	1,50-2,32-1,81	-	-
Bekçitepe	-	1,40-2,40-2,10	-
Yıldızlar Tepesi	1,20-1,40-1,65	-	-
Beylerbeyi I	1,50-1,75-2,50	-	Dolgu toprak.
BT 89	-	1,30-1,00-1,90	Taş dolgu.
Selçikler T1	-	-	Yığma toprak.
Selçikler T2	1,90-1,60-1,85	1,95-1,04-1,75	Moloz taş.
Selçikler T3	-	-	Toprak.
İkiztepe	-	1,62-1,95-?	Moloz taş, toprak.
Harta Abidintepe	-	1,50-1,38-2,18	Moloz taş, toprak.
Kırklareli B	5,83-4,83-?	-	Toprak.

Greko Pers Tümülüslerinde kare veya dikdörtgen formda mezar odaları çoğunlukta olmakta birlikte, dairesel formda inşa edilmiş olanlar da vardır. Tablo 2.6: ‘da dairesel formda inşa edilmiş Tümülüslerin çap ve yükseklikleri yer almakta, ayrıca bu Tümülüslerin dromos

ebatları ile yığma malzemesi özellikleri de yer almaktadır. Kırklareli B Tümülüsü 6,80 m. çapında ve 6,60 m. yüksekliktedir. Kırklareli B Tümülüsü ‘nün planı Şekil 2.7: ‘de yer almaktadır.

Tablo 2.6: Greko Pers Tümülüslerinin dairesel mezar odası ebatları, dromos ebatları ve Tümülüs yığması özellikleri (Öztekin, 2006).

TÜMÜLÜS ADI	MEZAR ODASI EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	DROMOS EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	YIĞMA ÖZELLİKLERİ
Karakoç	2,95-2,60	0,88-1,48-?	Toprak.
Eriklice	3,92-3,45	?-1,06-?	-
Kırklareli B	6,80-6,60	-	Toprak.



Şekil 2.7: Kırklareli B Tümülüsü planı (Avşar 2016).

Greko Pers Tümülüslerinde sadece lahit çıkan Tümülüsler de vardır. Gümüşçay Kızöldün ve Akalan Tümülüslerinde ikişer lahit bulunmuştur. Lahitlerin ebatları ve lahit inşa malzemesi Tablo 2.7: ‘de yer almaktadır. Gümüşçay Kızöldün Tümülüsü ‘nden çıkan lahitler mermerden inşa edilmiş olup, lahitlerden birinin görünümü Şekil 2.8:’de yer almaktadır.

Tablo 2.7: Greko Pers Tümülüslerinin lahit ebatları ve lahit malzeme özellikleri (Öztekin, 2006).

TÜMÜLÜS ADI	LAHİT EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	LAHİT MALZEME ÖZELLİKLERİ
Gümüşçay Kızöldün	Lahit 1: 1,60-3,32-1,78	Mermer.
Gümüşçay Kızöldün	Lahit 2: 0,90-1,90-0,60	Mermer.
Akalan	Lahit 1: 0,70-2,10-0,50	-
Akalan	Lahit 2: 0,70-2,45-0,90	-



Şekil 2.8: Gümüşçay Kızöldün Tümülüsü Lahti (Avşar, 2016).

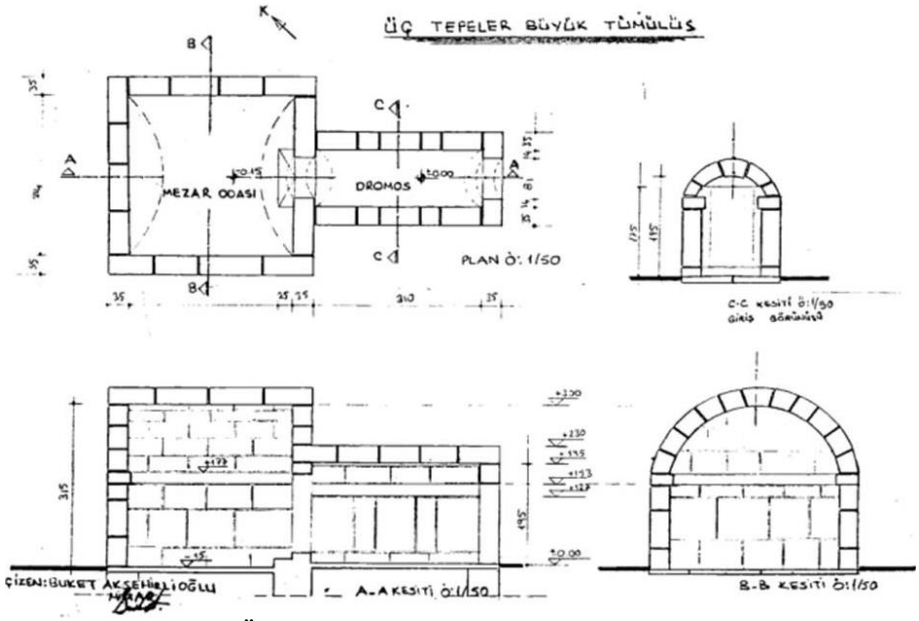
Greko Pers Dönemi Tümülüslerine Jeofizik açıdan baktığımızda Tablo 2.5: ve Tablo 2.6:'da yer alan yığma malzemesi özellikleri büyük öneme sahiptir. Yığma malzemelerinin çoğunlukla moloz taş, toprak ve dolgu toprak ile oluşturulduğu görülmektedir. Moloz taş tümülüsün merkezinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos, ön mezar odası ve mezar odasının fiziksel özelliklerine yaklaşmaktadır. Yapı elemanlarının taş malzemesi ile Tümülüs yığma malzemesinin fiziksel özellikleri birbirine yaklaştığı zaman, Tümülüs yapı elemanlarının belirlenmesi, ancak yapı elemanları içerisinde boşluk bulunması durumunda, diğer bir ifade ile odaların çökmemiş, içerisine yığma malzemesi dolmamış, kısaca sağlam bir şekilde içleri boş olması yüksek özdirençli olmaları durumunda, elektrik yöntemler ile mezar unsurlarını belirlemek mümkün olacaktır. Ayrıca, Tablo 2.4:, Tablo 2.5:, Tablo 2.6: ve Tablo 2.7: 'de verilen dromos, ön mezar odası, sundurma, mezar odası ve lahit ebatları 1-2 m. ile 2-3 m. ebatları arasında olup 5-6 m. olan ebatlar da mevuttur. Ölçümlerde örnekleme aralıkları iyi seçilmeli ölçüm öncesi tablolarda yer alan geometrik ebatlar ve malzeme özellikleri (özdirenç) dikkate alınarak modelleme yapılarak ideal ölçüm metodu ve örnekleme aralığı önceden belirlendiği takdirde başarılı sonuçlar elde edilebilir. Greko Pers Tümülüslerinde de Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerindeki gibi olası krepis, dromos, ön mezar odası ve mezar odası inşa edilirken metal bağlayıcılar da kullanıldığı, mezar odası içerisine metal eşyaların da konulduğu bilinmektedir. Özdirenç farklılığı ve metalik malzemeler, elektromanyetik ve manyetik yöntemlerin de uygulanabileceğini göstermektedir.

2.1.4. Helenistik Dönem Tümülüsleri

Helenistik Dönem Tümülüs yığmaları 2-3 m. ile 50 m. arası yüksekliklerde ve 15 m. ile 150 m. arası çaplarda olabilmektedir. Krepis, dromos, ön oda ve mezar odası Helenistik Dönem Tümülüslerinde de önemli Tümülüs yapı unsurlarıdır (Uğur, 2012). Dromos, ön oda ve mezar odası ebatları Tablo 2.8: 'de yer almakta olup dromos uzunlukları 2 m. (Toptaş Tümülüsü) ile 14.4 m. (Devebağırtan Tümülüsü) uzunluğa ulaşabilmektedir. Şekil 2.9:'da Üçtepeler Büyük Tümülüsü'nün plan görünümleri yer almaktadır. Dromos 3.80 m. uzunluğunda, mezar odası 3,14 m. genişliğinde, 3,12 m. uzunluğunda ve 3.15 m. yüksekliktedir.

Tablo 2.8: Helenistik Dönem Tümülüslerinin dromos, ön oda ve mezar odası ebatları (Öztekin, 2006), (Avşar, 2016).

TÜMÜLÜS ADI	DROMOS EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	ÖN ODA EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	MEZAR ODASI EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)
Yalacık	?-4,50-1,00	10-1,10-1,30	1,94-1,94-?
Kıranharman O	-	2,47-1,67-?	2,47-2,48-1,82
Kanlıbağ	0,94-2,14-1,83	-	1,83-2,09-1,98
Üçtepeler Büyük	?-3,80-?	-	3,14-3,12-3,15
Devebağırtan	1,20-14,4-2,90	-	1,20-0,80-2,20
Belkuyu	0,84-2,25-0,75	-	0,76-1,95-1,00
Sarılar 2	?-4,48-2,00	-	3,40-2,30-3,13
Toptaş	1,50-2,00-1,50	2,50-1,50-1,50	2,50-2,00-1,50



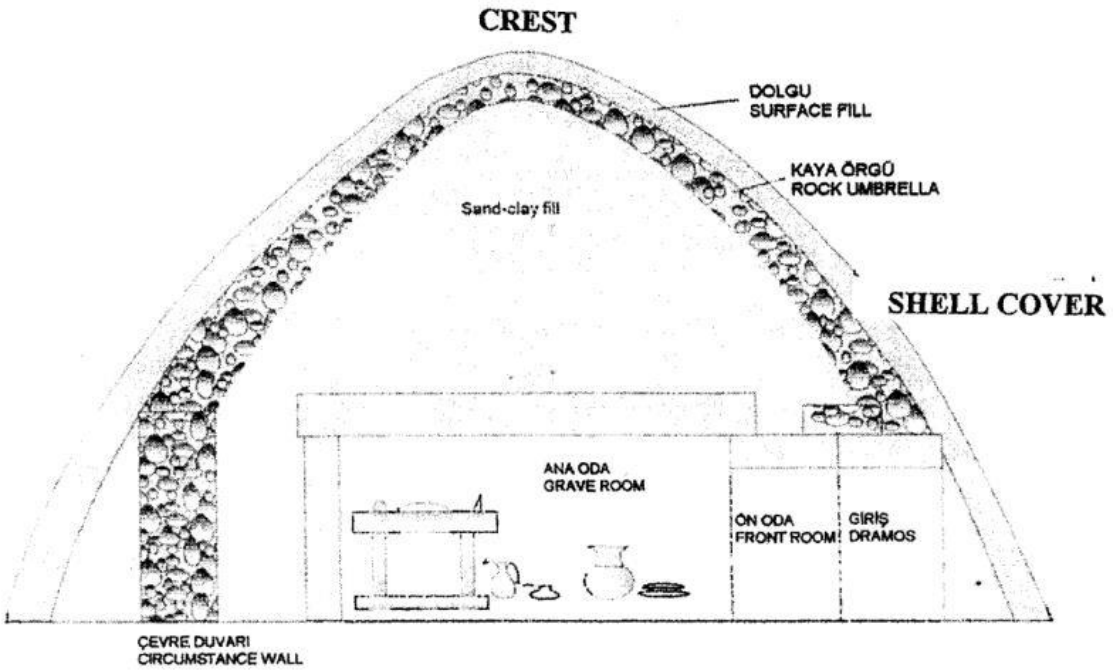
Şekil 2.9: Üçtepeler Büyük Tümülüsü planı (Avşar, 2016).

Helenistik Dönem Tümülüs yığmalarında toprak yığmadan başka moloz yığma taşlarda kullanılmış, bu durum daha çok Sesönk, Karakuş ve Nemrud Tümülüslerinin yer aldığı

Adıyaman bölgesinde görülmektedir. Kullanılan mezar inşa malzemeleri ve tümülüs yığması malzemeleri Tablo 2.9:'da yer almakta olup, Toptaş Tümülüsü'nün mezar odası, ön oda, dromos ve tümülüs yığması kesiti Şekil 2.10:'da yer almaktadır.

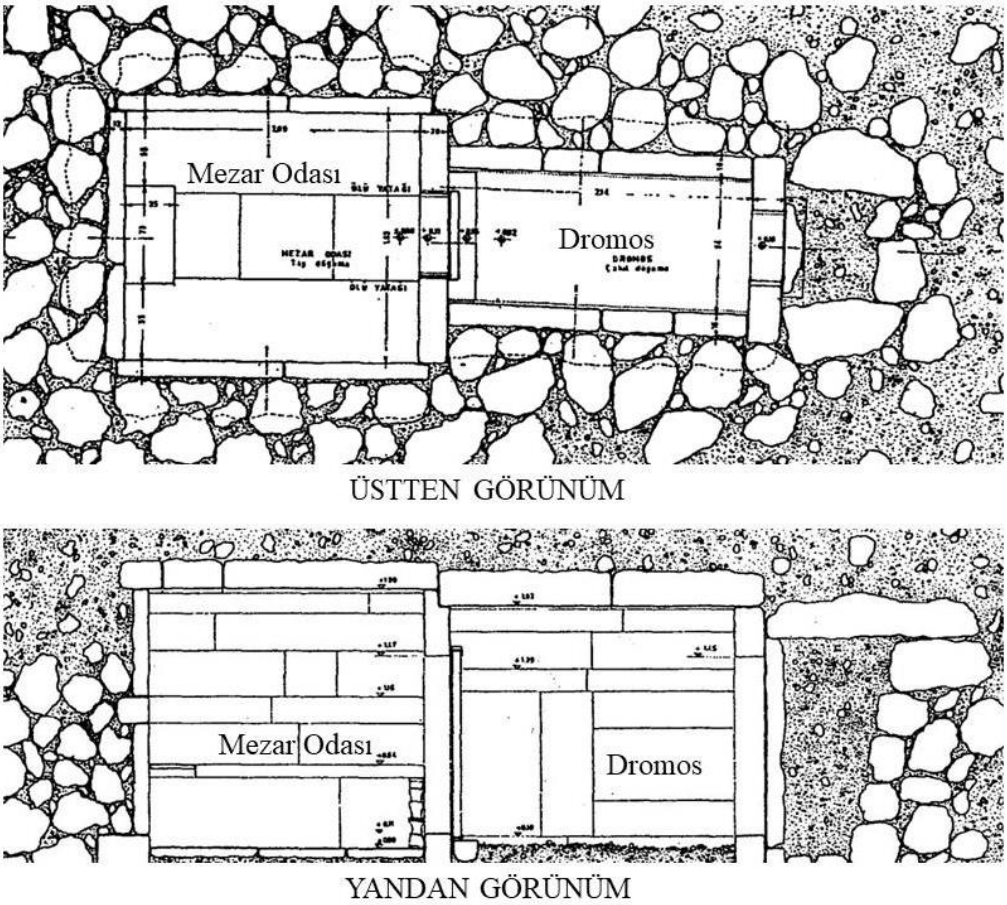
Tablo 2.9: Helenistik Dönem Tümülüslerinin mezar inşa malzemesi, tümülüs yığma malzemesi (Öztekin, 2006), (Avşar, 2016).

TÜMÜLÜS ADI	MEZAR İNŞA MALZEMESİ	YIĞMA MALZEMESİ
Sesönk	-	Yığma kırma taş.
Karakuş	Dolomitik Kireçtaşı	Taş, mil, granit, porfir, bazalt, kuvarsit, kireçtaşı.
Nemrud	-	Taş, üç kat mıcır.
Yalacık	Kumtaşı, andezit.	Yığma taş, toprak.
Kıranharman O	Kireçtaşı, portaşı.	Toprak.
Kanlıbağ	Kalker.	Toprak.
Üçtepeler Büyük	Taş.	Toprak.
Devebağırtan	Taş, bazalt.	Toprak.
Belkuyu	Kalker.	-
Sarılar 2	Tüf.	-
Toptaş	Traverten, kireçtaşı.	Çakıllı toprak, kil, kum, kaya örgü.



Şekil 2.10: Toptaş Tümülüsü, dromos, ön oda, mezar odası ve tümülüs yığma kesiti (Avşar, 2016).

Tümülüs yığması ve mezar yapı unsurlarının durumunu birlikte gösteren Kanlıbağ Tümülüsü üstten ve yandan görünüm planı güzel bir örnek olup Şekil 2.11:' yer almaktadır.



Şekil 2.11: Kanlıbağ Tümülüsü, dromos, mezar odası ve tümülüs yığması (Öztekin, 2006).

Helenistik Dönem Tümülüslerinde de tümülüsün kendi mezar yapıları harici sonraki dönemlerde lahit ve mezarlar gömülmüştür. Tablo 2.10:'da mezar ve lahit bulunan Tümülüsler, ebatları ve malzeme özellikleri yer almaktadır.

Tablo 2.10: Helenistik Dönem Tümülüslerinde gömü mezar, lahit, lahit malzemesi (Öztekin, 2006).

TÜMÜLÜS ADI	MEZAR EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	LAHİT EBATLARI (m.) X(Genişlik)-Y(Uzunluk)-Z(Yükseklik)	LAHİT MALZEMESİ
Yalacık	6 adet mezar.	-	-
Kıranharman O	-	?-1,84-?	Pişmiş toprak.
Kalınkaya	-	?-1,85-0,50	Pişmiş toprak.
Belkuyu	1,20-1,70-0,88	-	-

Helenistik Dönem Tümülüslerine Jeofizik açıdan baktığımızda Tablo 2.9:'da yer alan yığma malzemesi özellikleri büyük öneme sahiptir. Toprak ile yığma yapılmış Tümülüslerde mevcuttur. Yığma malzemelerinin bazı tümülüslerde özellikle üst seviyelerde taş kaplama, moloz taş, mıcır katmanları, kaya örgü ile oluşturulduğu görülmektedir. Bu tür durumlarda

yığma malzemesinin özellikleri, Tümülüsün merkezinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos, ön mezar odası ve mezar odasının fiziksel özelliklerine yaklaşmaktadır. Yapı elemanlarının taş malzemesi ile Tümülüs yığma malzemesinin fiziksel özellikleri (özdirenç) birbirine yaklaştığı zaman Tümülüs yapı elemanlarının belirlenmesi ancak yapı elemanları içerisinde boşluk bulunması durumunda, diğer bir ifade ile odaların çökmemiş, içerisine yığma malzemesi dolmamış, kısaca sağlam bir şekilde içleri boş olması durumunda yüksek özdirençli olmaları durumunda elektrik yöntemler ile mezar yapılarını belirlemek mümkün olacaktır. Ayrıca, Tablo 2.8:'de verilen dromos, ön mezar odası, mezar odası ebatları dikkate alındığında ölçümlerde örnekleme aralıkları iyi seçilmeli ölçüm öncesi tablolarda yer alan geometrik ebatlar ve malzeme özellikleri (özdirenç) dikkate alınarak modelleme yapılarak ideal ölçüm metodu ve örnekleme aralığı önceden belirlendiği takdirde başarılı sonuçlar elde edilebilir. Helenistik Dönem Tümülüslerinde de Lidya Krallık Dönemi ve Greko Pers Dönemi Tümülüslerindeki gibi olası mezar yapı unsurları inşa edilirken metal bağlayıcılar da kullanıldığı, mezar odası içerisine metal eşyaların da konulduğu bilinmektedir. Özdirenç farklılığı ve metalik malzemeler, elektromanyetik ve manyetik yöntemlerin de uygulanabileceğini göstermektedir.

2.2. TÜMÜLÜS İNŞA MALZEMELERİNİN JEOFİZİK ÖZELLİKLERİ

Tümülüsleri tarihsel dönemlere göre sınıflandırdığımızda, Frig Dönemi, Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers Dönemi ve Helenistik Dönem adı altında önceki bölümde incelemeye çalıştık. Bu incelemede, Tümülüs yığmasının içerdiği malzemeler, mezar yapı unsurlarının geometrik ebatları ve mezar yapı unsurlarında kullanılan inşa malzemelerini belirlemeye çalışmıştık. Bu bölümde ise yığma malzemesi ile mezar yapı unsurları ve inşa malzemelerinin Jeofizik açıdan nasıl birbirinden ayırt edebileceğimizi, bunun için de hangi fiziksel farklılıkları kullanabileceğimizi irdelemeye çalışacağız.

Tümülüslerin Jeofizik özelliklerini tezimin konusu olan Samsun Canik Toptepe Tümülüsleri Arkeojeofizik Araştırmalarında uyguladığımız elektrik elektromanyetik yöntemler açısından inceleyeceğiz. Elektrik yöntemlerde belirlemeye çalıştığımız temel parametre özdirenç değeridir. Özdirenç değeri 3. Bölümde detaylı olarak anlatılacak olup burada kısaca ifade etmek gerekirse bir nesneye elektrik akımı uyguladığımızda elektrik akımının bir kısmı iletilir bir kısmı iletilemez, işte bu akımın iletilme miktarını o nesnenin özdirenci olarak

tanımlayabiliriz. Tezde uyguladığımız elektromanyetik yöntemde ise, özdirence benzer şekilde nesnenin iletkenliğini, nesneye elektrik akımı vermeden bir bobin vasıtası ile oluşturduğumuz elektromanyetik alana maruz bırakarak ve ikinci bir bobin vasıtası ile topladığımız elektromanyetik alan üzerinden hesaplayabiliriz. Elektromanyetik yöntem de 3. Bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

Elektrik özdirenç yönteminde kullanılan birim ohm.m dir ve Ωm ile gösterilir. Kayaçlar, mineraller ve malzemelerin özdirenci pek çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmacılardan Telford ve diğ. (1990) ve Reynolds (1997) Ωm sınıflandırmalarına göre irdeleme yapılacaktır. Tablo 2.11:'de Telford ve diğ., (1990) çeşitli kayaların ve sedimentlerin Ωm değerlerini ıslak ve kuru olarak sınıflamışlardır. Tablo 2.12:'de de Reynolds, (1997) Jeolojik malzemelerin Ωm değerlerini en düşük ve en yüksek olarak sınıflandırmıştır. Jeolojik malzemenin ıslak veya kuru, en düşük ve en yüksek şeklinde sınıflandırılması malzemelerin her daim aynı özdirenç değerine sahip olmayacağını bize söylemektedir. Bunun kısaca sebebi mineral içeriği, su içeriği, milyonlarca yıllık süreçte maruz kaldığı basınç, atmosferik etkiler, ısı farklılıkları, kayacın oluşum yaşı, sedimenter (tortul) kayalarda çökelim yönü v.b. pek çok etken söylenebilir. Alt bölümlerde tarihsel sınıflandırdığımız Tümülüslerin inşa malzemeleri Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'ye göre Ωm değerleri irdelenecektir.

Tablo 2.11: Çeşitli kayaların ve sedimentlerin özdirenç (Ωm) değerleri (Telford ve diğ., 1990).

MALZEME	ISLAK Ωm	KURU Ωm
Kil	1	100
Marn	3	70
Sıkışmamış ıslak kil	20	20
Dolomit	350	5
Kireçtaşları	50	10.000.000
Kumtaşları	1	640.000.000
Konglomeralar	2.000	10
Kiltaşları	10	800
Konsolide şeyller	20	2
Kuvarsitler	10	200.000.000
Mermer	100	250.000.000
Gnays	68.000	3.000.000
Tüf	2.000	10
Kalkerli ve mikalı şistler	20	10
Metamorfikler	8.000	60.000.000
Basalt	10	13.000.000
Gabro	1.000	1.000.000
Lavlar	100	50
Andezit	45.000	1.700.000

Tablo 2.12: Jeolojik malzemelerin özdirenç (Ωm) değerleri (Reynolds, 1997).

MALZEME	EN DÜŞÜK Ωm	EN YÜKSEK Ωm
Üst toprak	250	1.700
Laterit toprak	120	750
Toprak (% 20 killi)	33	33
Toprak (% 40 killi)	8	8
Kül	4	4
Kil	1	100
Çok kuru kil	50	150
Kaya kili	15	35
Kuru kumlu toprak	80	1.050
Kum kil-killi kum	30	215
Moren	10	5.000
Kum ve çakıl	30	225
Kuru çakıl	1.400	1.400
Suya doygun çakıl	100	100
Kuvaterner-güncel kumlar	50	100
Marn	3	70
Alüvyon-kum	10	80
Doygun dolgu	15	30
Doygun olmayan dolgu	30	100
Kalkerli ve mikalı şistler	20	10.000
Dolomit	350	5.000
Konsolide şeyl	20	2.000
Konglomeralar	2.000	10.000
Kireçtaşları	50	10.000.000
Kumtaşları	1	740.000.000
Mermer	10	250.000.000
Basalt	10	13.000.000
Gabro	1.000	1.000.000
Diyorit	10.000	100.000
Ayrışmış granit	30	500
Granit	300	1.000.000

2.2.1. Frig Dönemi Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri

Frig Dönemi Tümülüslerinin çoğunlukla yere açılan bir çukur içerisine ahşap mezar odasının konulması ve üzerini moloz taşlarla veya benzeri taş malzemelerle kapattıkları, yığının üstüne kil katmanı uyguladıkları ve son olarak da toprak olarak tariflenen malzeme ile tümülüs yığmasını oluşturdukları (Gordion MM, Bayındır C ve Bayındır D Tümülüsleri hariç) Bölüm 2.1.1.'de, Tablo 2.1:'de ve Tablo 2.2:'de detayları ile verilmişti. Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de tümülüs yığması için tariflenen toprak, içerisinde kil, kum, çakıl malzeme içerikli dolgu birimler olarak incelediğimizde 1-1.700 Ωm özdirenç aralığında kalmaktadır. Yer içerisinde kazı yapılarak, içerisine ahşap mezar odası konularak, üzeri taş veya moloz taş olarak tariflenen malzeme ile örtüldükten sonra, kille kaplanan mezar yapısını Tablo 2.11: ve Tablo

2.12:'e göre incelediğimizde, taş olarak tariflenen malzemenin ne tür bir taş olduğu bilinmemekle birlikte, tortul kayaların kumtaşları 1 Ωm ile kiltaşları 800 Ωm aralığında olduğu görülmektedir. Tortul kayaların kullanılması durumunda ancak tümülüs mezar yapısının çökmemesi durumunda ahşap mezar odası içerisinde boşluk olması durumunda özdirenç değeri artabilecek ve tümülüs yığmasına göre mezar odası daha yüksek özdirenç değeri gösterecektir. Mezar odası üzerine yığılan taş, moloz taşlar tortul kayalar değil de mağmatik (andezit, bazalt), metamorfik (mermer) veya tortul kireçtaşı malzemeler ise bu durumda özdirenç değeri 10-10.000 Ωm aralığında olacak ve tümülüs yığmasına göre mezar odası yapısı içerisinde boşluk olmasa bile çok daha yüksek özdirenç değerine sahip olacaktır.

Gordion MM, Bayındır C ve Bayındır D Tümülüslerinde ise, tümülüs yığmaları toprakla birlikte taş ve düzensiz taşlar içermektedir. Yukarıdaki paragrafta da irdelendiği üzere yığma içerisinde ve ahşap mezar odası örtü tabakasında kullanılan taş malzemenin tortul veya mağmatik (andezit, bazalt), metamorfik (mermer) veya tortul kireçtaşı olması durumuna göre mezar odası ile tümülüs yığmasının özdirenç değerleri birbirine yaklaşacak veya uzaklaşacaktır.

Sonuç olarak Frig Dönemi Tümülüslerinde yığmanın toprak, kil, kum, çakıl gibi, ne tür bir malzeme ile oluşturulduğu ve üzeri taş, moloz taşlarla örtülü ahşap mezar odası yapısında kullanılan malzemeye göre özdirenç değerleri birbirine yaklaşacak veya uzaklaşacak, ahşap mezar yapısının yıkılmadan içerisinin boşluk içermesi de, özdirenç zıtlığında önemli bir etken olacaktır. Ayrıca, soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, ahşap mezar odası içerisine girecek yüzeysuları v.b. etkenler özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

2.2.2. Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri

Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde Tablo 2.3:'de yer alan yığma malzemesi çoğunlukla moloz taş-toprak, taş-toprak veya çakıl-sert toprak ile oluşturulduğu görülmektedir. Az bir kısmında sadece toprak ile yığma yapılmıştır. Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de toprak, 8-1.700 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs içerisinde yer alan, taş malzeme ile inşa edilmiş

krepis, dromos ve mezar odasının kullanılan malzemelerinin özdirenç değerlerine baktığımızda, kireçtaşı 50-10.000.000 Ωm aralığında, mermer 10-250.000.000 Ωm aralığında, kumtaşı 1-640.000.000 Ωm aralığında, andezit 45.000-1.700.000 Ωm aralığında, şist 20-10.000 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs yapı unsurlarının inşa malzemelerinin özdirenç değerlerinin tümülüs yığma malzemelerinin özdirenç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 2.3:'de yer alan mezar odası ebatları da incelendiğinde taş malzemeden inşa edilmiş mezar odaları 1,27-2,47-1,49 m. ile 2,80-1,96-1,95 m. ebatları arasındadır. Çok yüksek özdirenç değerlerine sahip taş malzemeden inşa edilmiş mezar odaları, içlerinin boş olması durumunda çok daha yüksek özdirençli bir yapıda olacağı görülmektedir. Ancak, Frig Dönemi Tümülüslerinde de karşılaşıldığı gibi, Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, mezar odası içerisine girecek yüzeysuları, mezar yapılarının çökmesi, içerisine dolacak toprak, dolgu gibi malzemeler, özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

2.2.3. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri

Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde Tablo 2.5: ve Tablo 2.6:'da yer alan yığma malzemesi özellikleri çoğunlukla toprak ve dolgu toprak ile oluşturulduğu görülmektedir. Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de toprak, 8-1.700 Ωm aralığında, dolgu toprak 10-100 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüsün içerisinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos, sundurma, ön oda ve mezar odasında kullanılan malzemelerin özdirenç değerlerine baktığımızda, mermer 10-250.000.000 Ωm aralığında, kireçtaşı 50-10.000.000 Ωm aralığında, kalker (kireçtaşı) 50-10.000.000 Ωm aralığında, andezit 45.000-1.700.000 Ωm aralığında, tüf 2.000-100.000 Ωm aralığında, kumtaşı 1-640.000.000 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs yapı unsurlarının inşa malzemelerinin özdirenç değerlerinin tümülüs yığma malzemelerinin özdirenç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, Tablo 2.4:, Tablo 2.5:, Tablo 2.6: ve Tablo 2.7: 'de verilen dromos, ön mezar odası, sundurma, mezar odası ve lahit ebatları 1-2 m. ile 2-3 m. ebatları arasında olup 5-6 m. 'ye ulaşan ebatlar da mevuttur. Çok yüksek özdirenç değerlerine sahip taş malzemeden inşa edilmiş mezar yapıları, içlerinin boş

olması durumunda çok daha yüksek özdirençli bir yapıda olacağı görülmektedir. Ancak, Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde de, Frig Dönemi ve Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde görülen, soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, mezar odası içerisine girecek yüzeysuları, mezar yapılarının çökmesi, içerisine dolacak toprak, dolgu gibi malzemeler, özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

2.2.4. Helenistik Dönem Tümülüslerinin İnşa Malzemelerinin Özdirenç Değerleri

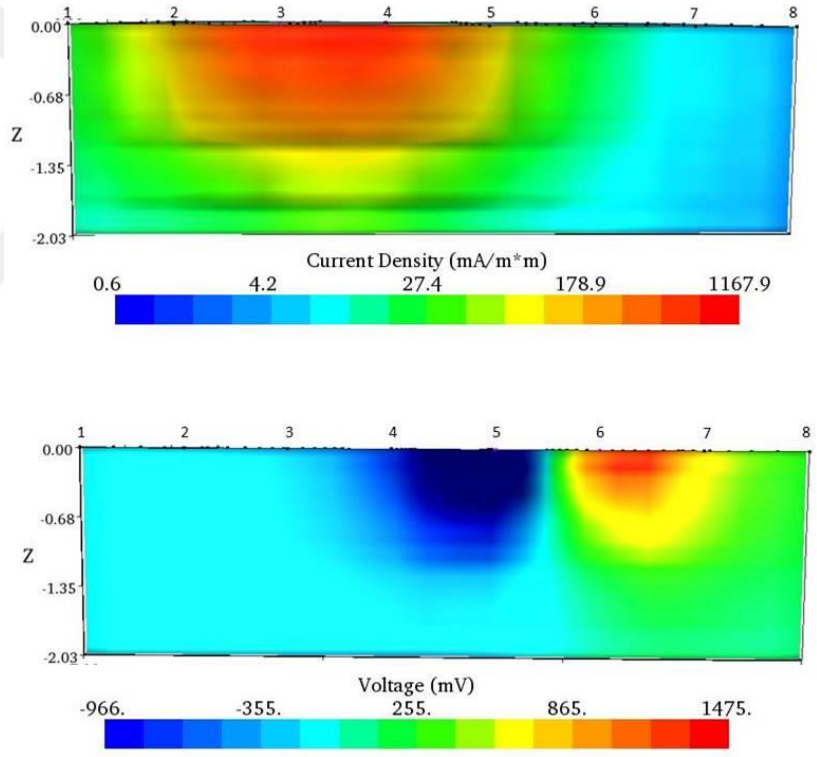
Helenistik Dönem Tümülüslerinde Tablo 2.9:'da yer alan yığma malzemesi özelliklerine göre, toprak ile yığma yapılmış Tümülüsler olduğu gibi, özellikle üst seviyelerde taş kaplama, moloz taş, mıcır katmanları, kaya örgü ile tümülüs yığması oluşturulmuş Tümülüsler de görülmektedir. Toprak ile yığma yapılmış Tümülüslerde Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de toprak, 8-1.700 Ωm aralığında, tümülüs yığmasının altında yer alan mezar yapı elemanlarından kireçtaşı 50-10.000.000 Ωm aralığında, kalker (kireçtaşı) 50-10.000.000 Ωm aralığında, basalt 10-13.000.000 Ωm aralığında, tüf 2.000-100.000 Ωm aralığında, kumtaşı 1-640.000.000 Ωm aralığında andezit 45.000-1.700.000 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs yığmasının sadece toprak yığması olması durumunda, Tümülüs yapı unsurlarının inşa malzemelerinin özdirenç değerlerinin tümülüs yığma malzemelerinin özdirenç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ancak özellikle üst seviyelerde taş kaplama, moloz taş, mıcır katmanları, kaya örgü ile tümülüs yığması oluşturulmuş Tümülüsler de yığma malzemesinin özdirenci, Tümülüsün içinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş mezar yapı unsurlarının özdirencine yaklaşmaktadır. Yapı elemanlarının özdirenç değerleri ile Tümülüs yığma malzemesinin özdirenci birbirine yaklaştığı zaman Tümülüs yapı elemanlarının belirlenmesi ancak yapı elemanları içerisinde boşluk bulunması durumunda, diğer bir ifade ile odaların çökmemiş, içerisine yığma malzemesi dolmamış, kısaca sağlam bir şekilde içleri boş olması durumunda elektrik yöntemler ile mezar yapılarını belirlemek mümkün olabilir. Ayrıca, Tablo 2.8:'de verilen dromos, ön mezar odası, mezar odası ebatları dikkate alındığında ölçümlerde örnekleme aralıkları iyi seçilmeli ölçüm öncesi tablolarda yer alan geometrik ebatlar ve malzeme özellikleri (özdirenç) dikkate alınarak modelleme yapılarak

ideal ölçüm metodu ve örnekleme aralığı önceden belirlendiği takdirde başarılı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, Helenistik Dönem Tümülüslerinde de, Greko Pers Dönemi, Frig Dönemi ve Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde görülen, soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, mezar odası içerisine girecek yüzeysuları, mezar yapılarının çökmesi, içerisine dolacak toprak, dolgu gibi malzemeler, özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİ

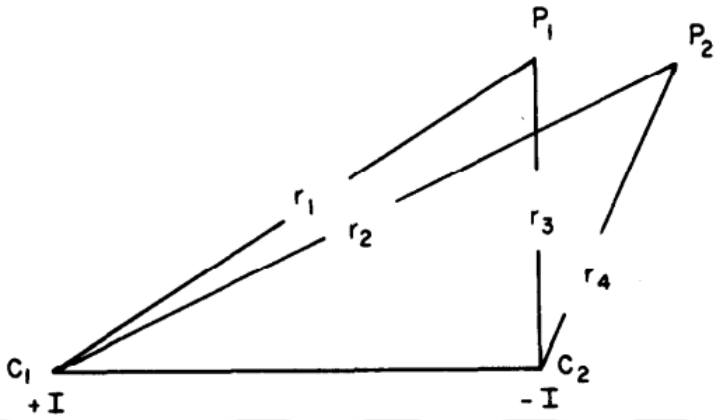
Elektrik özdirenç yöntemi, yer altının özdirenç dağılımını belirlemeye çalışan bir yöntemdir. Yere çakılan iki paslanmaz çelik elektrota, bir akü veya jeneratör vasıtası ile verilen güçle çalışan verici, elektrotlar ile yere akım gönderir. Geçen akım ampermetre üzerinden gönderildiğinde iletilen akım miktarı amper cinsinden ölçülür. Yere çakılan diğer iki elektrot bir voltmetreye bağlandığında oluşan gerilim (potansiyel farkı) volt cinsinden ölçülür Şekil 3.1:).



Şekil 3.1: İki elektrotla (3-4) verilen akım yoğunluğu (üstte) ve iki elektrotta (5-6) oluşan gerilim yoğunluğu dağılımı (altta), (EarthImager araştırma planlayıcısında oluşturulmuştur).

Ohm yasasına göre ölçülen gerilimin ölçülen akıma oranı yerin direncini verir birimi Ω 'dur. Elektrotlar pek çok farklı şekillerde belirli bir düzende yere çakılabilir ve bu farklı uygulamalara dizilim şekli veya türü denir (Şekil 3.2:). Elektrotların birbirlerinin konumlarına göre bir dizi hesaplamalarla geometrik faktör olarak adlandırılan değer hesaplanır. Geometrik

faktör dirençle çapıldığında yerin belirli bir derinlikteki özdirenci ölçülmüş olur. Bu özdirenç değerine de görünür özdirenç denir birimi Ωm 'dir.



Şekil 3.2: Dağınık yerleştirilmiş, pozitif kutup (+I) C1 akım elektrotu, negatif kutup (-I) C2 akım elektrotu, P1 ve P2 potansiyel (gerilim) elektrotlarının ve r1, r2, r3, r4 ara mesafelerinin görünümü (Dey and Morrison 1979a).

Elektrik özdirenç ölçümleri, yer altındaki jeolojik tabakaların kalınlığı, birden fazla tabakaların derinlikleri, fay, karstik boşluk, ayrışma v.b. jeolojik problemlerin çözülmesi, yeraltısuyu, jeotermal, geoteknik, maden, çevre sorunları, Arkeojeofizik ve diğer pek çok mühendislik ve bilimsel araştırmalarda Jeofizik Mühendislerince uygulanmaktadır.

Elektrik özdirenç yönteminde yeraltı katmanlarının veya birbirinden farklı tabakaların, farklı elektriksel özelliklere (özdirenç) sahip olması gerekmektedir. Farklı elektriksel özellikler yoksa (özdirenç zıtlığı veya kontrastı), jeolojik katmanlar, tabakalar, v.b. jeolojik problemler ayırt edilemez (Berge, 2005).

Elektrik özdirenç yönteminde, yere verilen akımın iletilmesi; kayacı oluşturan mineraller ve veya mineralleri oluşturan elementlerin metal içeriğine, kayaçların gözenek miktarına, su doygunluk oranına, kil içeriğine, kayacın oluşum sürecinde tane boyu dizilim yönüne, çözülmüş ya da çözülmemiş tuz miktarına, bulunduğu ortamın veya oluşum sürecindeki sıcaklık değerine, jeolojik yaşına, derinliğine, tektonik kuvvetlere bağlı maruz kaldığı basınç ve çekme gerilmelerine bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Elektrik akımı, metallerde elektronik iletim yolu ile, kayaçlarda gözeneklilik ve suya doygunlukla iyonlarla elektrolitik iletim yolu ile, çok zayıf iletken veya yalıtkanlarda dielektrik iletim ile gerçekleşir (Küçükduvan, 2019).

Özdirenç çalışmalarında temel fizik yasası Ohm yasasıdır. Ohm yasası J akım yoğunluğunu, E elektrik alan şiddeti ile ilişkilendirir ve bir izotoropik iletkenlik σ ;

$$J = \sigma \cdot E \tag{3.1}$$

ile verilir. Burada σ izotropik iletkenlik, J akım yoğunluğu, E elektrik alan şiddetidir. Uygulamalarda ölçülen elektrik alan potansiyelidir ve ortam özdirenci ρ ile iletkenlik arasında $\rho=1/\sigma$ olarak tanımlanmaktadır. Elektrik alan şiddeti ve elektrik potansiyel arasındaki bağıntı ise ;

$$E = - \nabla\Phi \tag{3.2}$$

ile verilir. (3.1) ve (3.2) denklemlerinden;

$$J = - \sigma \cdot \nabla\Phi \tag{3.3.}$$

elde edilir. Akım kaynağı nokta kaynak biçimindedir. Akım kaynağı (I), akımı çevreleyen ΔV hacim elemanında (x_s, y_s, z_s) koordinatlarında akım yoğunluğu ve akım ile bağıntısı Dey ve Morrison (1979a) tarafından;

$$\nabla.J = \left(\frac{1}{\Delta V}\right) . \delta (x-x_s).\delta (y-y_s).\delta (z-z_s) \tag{3.4.}$$

denklemi ile verilmiştir. Denklemde yer alan δ, Dirac Delta fonksiyonu olmak üzere (3.3) denklemindeki J yerine - σ . ∇Φ eşitliği yazılarak düzenlendiğinde;

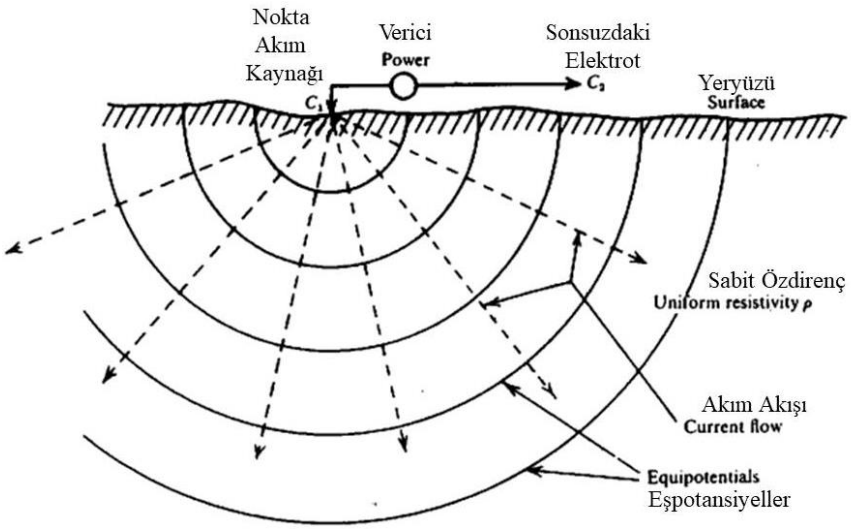
$$-\nabla.[\ \sigma(x,y,z).\ \nabla\Phi(x,y,z)\ ] = \left(\frac{1}{\Delta V}\right).\ \delta (x-x_s).\delta (y-y_s).\delta (z-z_s) \tag{3.5}$$

denklemi, potansiyel dağılımı akım kaynağına göre veren denklemdir. Denklemin çözümü ile bilinen akıma karşılık oluşacak potansiyel dağılımı hesaplanabilir ve düz çözüm modellemesi olarak adlandırılır (Berge, 2005).

Tekdüze, yarı sonsuz, tek nokta akım kaynağında akım hatları düz bir çizgi şeklinde ilerlerken, eşpotansiyel eğrileri yarı küre şeklinde ve akım hatlarına diktir (Şekil 3.3:). Potansiyel aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$V = \frac{\rho.I}{2.\pi.r} \tag{3.6}$$

Bu denklemde r nokta akım kaynağı ile potansiyel arasındaki mesafedir.



Şekil 3.3: Homojen bir ortamda tek nokta akım kaynağı (Telford ve diğ., 1990).

Özdirenç çalışmalarında akımın devreyi tamamlayabilmesi için iki elektrot kullanılması gereklidir. Bu iki elektrotun oluşturduğu potansiyel dağılımını belirlemek için de iki elektrot gerekir (Şekil 3.1: alttaki görünüm). İki elektrot için potansiyel değeri;

$$V = \frac{\rho.I}{2.\pi}.\left(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2}\right) \tag{3.7}$$

r_1 ve r_2 potansiyel noktasının elektrotlara uzaklığıdır. Özdirenç çalışmalarında akım ve gerilim için dört elektrot kullanılır (Şekil 3.2:), bu durumda dört elektrot için potansiyel ;

$$V = \frac{\rho.I}{2.\pi}.\left(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} - \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4}\right) \tag{3.8}$$

elde edilir. Denklemde ρ ifadesini eşitliğin bir tarafında yalnız bıraktığımızda;

$$\rho = \frac{V.2.\pi}{I} \cdot \left(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} - \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4}\right) \tag{3.9}$$

elde edilen denklemde dört elektrot için V potansiyel değeri ve I akımını hariç tutarak, elektrotların konumlarına göre hesaplanan k geometrik faktör değerini;

$$k = \frac{2.\pi}{\left(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} - \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4}\right)} \tag{3.10}$$

şeklinde yazabiliriz. Bu durumda ρ değeri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\rho = \frac{V}{I}k \tag{3.11}$$

(3.11) denkleminde potansiyel Volt değeri, I ampere bölünmektedir ve Ohm yasasına göre birimi ohm 'dur. Geometrik faktör k, birimi m. dir. ρ 'nun birimi de ohm.m elde edilecektir. (3.11) denklemi Şekil 3.3: 'deki gibi homojen bir ortam kabulü yapılarak elde edilmiştir ve yer altı da farklı jeolojik özelliklere sahip karmaşık bir yapıdadır. Bu karmaşık yapıda her bir ölçü noktasında dört elektrodun bulunacağı farklı geometrilerde elde edilen özdirenç değerine de görünür özdirenç denilir. Bu durumda (3.11) denklemi aşağıdaki şekilde yazılır ve apparent İngilizce kelimesinin karşılığı olarak küçük a alt indise yazılır.

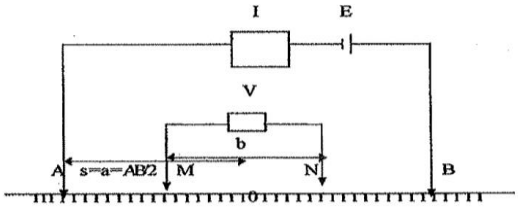
$$\rho_a = \frac{V}{I}k \tag{3.12}$$

3.1.1. 1D Elektrik Özdirenç Dizilimleri

1D elektrik özdirenç ölçüm yöntemi DES (düşey elektrik sondaj) olarak bilinmektedir. 1D ölçümlerde, sabit bir noktadan, düzgün bir hat boyunca elektrotlar simetrik veya simetrik olmayan şekilde her bir ölçü işleminden sonra birbirinden uzaklaşır. Bu işlem gerçekleştirilirken akım ve potansiyel elektrotları farklı konumlarda olabilir. Ölçümlerde elde edilen ρ_a değerleri logaritmik yarı açılım uzaklığına bağlı olarak grafik şeklinde çizilir (Tezel, 2021).

3.1.1.1. Schlumberger Elektrot Dizlimi

Schlumberger elektrot diziliminde akım (A-B) ve potansiyel (M-N) elektrotları sabit bir hat boyunca merkez noktaya göre simetrik olarak dizilir (Şekil 3.4:). Potansiyel elektrotları akım elektrotları arasında ve akım elektrotları arasındaki uzaklık, potansiyel elektrotları arasındaki mesafeye göre çok büyüktür.



Şekil 3.4: Schlumberger elektrot dizilimi

Çoğu araştırmacı AB/MN oranını 5 ile 15 arasında tutmaktadır. Oran sınırına gelindiğinde MN uzaklığı ve AB uzaklığı oransal olarak arttırılarak ölçüme devam edilir. Ölçü uzunluğuna bağlı olarak bu işlem gerektiğince tekrarlanır. Schlumberger elektrot diziliminde her bir ölçü için k geometrik faktör (3.10) denklemine göre sırasıyla hesaplanır. Geometrik faktör k;

$$k_{schlumberger} = \pi.(\frac{s2}{b} - \frac{b}{4}) \quad (3.13)$$

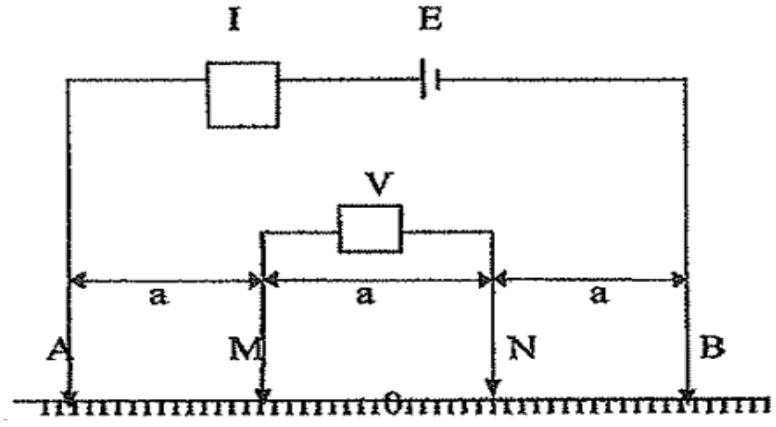
denklemi ile hesaplanır. ρ_a değeri de, ölçü esnasında verilen akım ve oluşan gerilimin (3.12) denkleminde yerine konulmasıyla;

$$\rho_a = \pi.(\frac{s2}{b} - \frac{b}{4}).\frac{V}{I} \quad (3.14)$$

ile görünür özdirenç hesaplanır.

3.1.1.2. Wenner Elektrot Dizilimi

Wenner elektrot diziliminde potansiyel (M-N) elektrotları akım (A-B) elektrotlarının arasında ve sabit bir hat boyunca elektrot aralıkları eşit olacak şekilde dizilir (Şekil 3.5:). Elektrotlar arası mesafe a kadardır.



Şekil 3.5: Wenner elektrot dizilimi

Wenner elektrot diziliminde her bir ölçü için k geometrik faktör (3.10) denklemine göre sırasıyla hesaplanır. Geometrik faktör k;

$$k_{wenner}=2.\pi.a \quad (3.15)$$

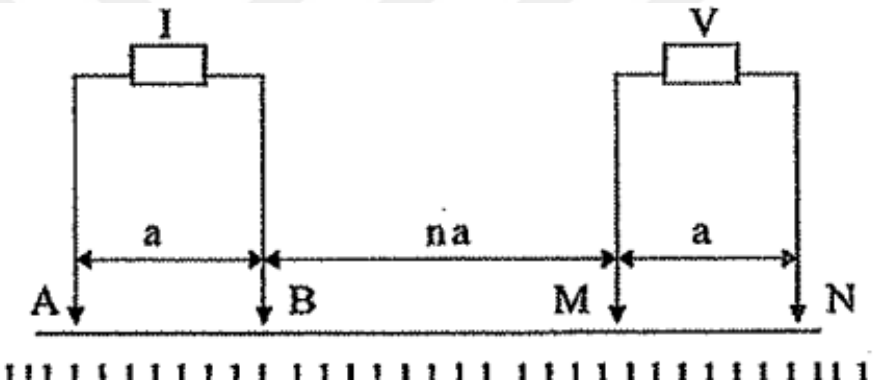
denklemi ile hesaplanır. ρ_a değeri de, ölçü esnasında verilen akım ve oluşan gerilimin (3.12) denkleminde yerine konulmasıyla;

$$\rho_a = 2.\pi.a.\frac{V}{I} \tag{3.16}$$

görünür özdirenç hesaplanır.

3.1.1.3. Dipol Dipol Elektrot Dizilimi

Dipol dipol elektrot diziliminde potansiyel (M-N) elektrotları, akım (A-B) elektrotlarının arasında yer almaz. Akım çifti (akım dipolü) ve potansiyel çifti (potansiyel dipolü) belirli bir a aralığında ve n kadar birbirinden uzaklaşır (Şekil 3.6:).



Şekil 3.6: Dipol dipol elektrot dizilimi

Dipol dipol elektrot diziliminde her bir ölçü için k geometrik faktör (3.10) denklemine göre sırasıyla hesaplanır. Geometrik faktör k;

$$K_{dipol\text{-}dipol}=\pi.n.(n+1).(n+2).a \tag{3.17}$$

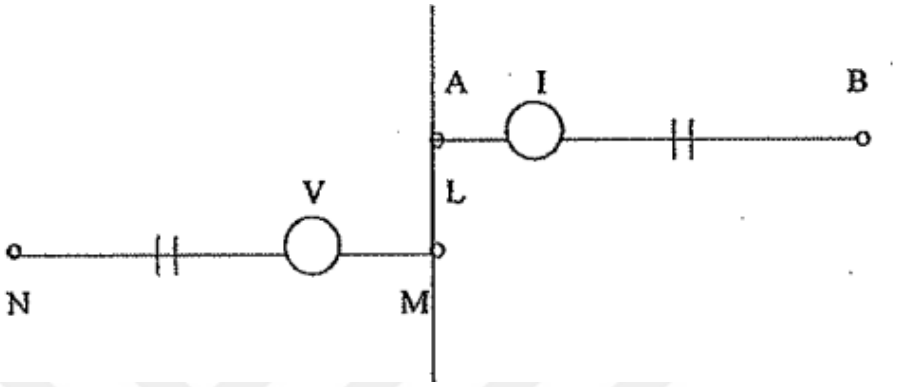
denklemi ile hesaplanır. ρ_a değeri de, ölçü esnasında verilen akım ve oluşan gerilimin (3.12) denkleminde yerine konulmasıyla;

$$\rho_a = \pi.n.(n+1).(n+2).a.\frac{V}{I} \tag{3.18}$$

görünür özdirenç hesaplanır.

3.1.1.4. İki Nokta Elektrot Dizilimi

İki nokta elektrot diziliminde, akım ve potansiyel elektrotlarından birer tanesi (B ve N) sonsuz olarak kabul edilen çok uzak noktalara çakılır (Şekil 3.7:). Akım ve potansiyel (A ve M) elektrotlarının orta noktasından simetrik olarak uzaklaşılır.



Şekil 3.7: İki nokta elektrot dizilimi

B akım ve N potansiyel elektrotları sonsuzda oldukları için potansiyel M noktasındaki potansiyele eşittir ve geometrik faktör k;

$$k = 2.\pi.L \tag{3.19}$$

eşitliği ile verilir ve görünür özdirenç ρ_a değeri de, ölçü esnasında verilen akım ve oluşan gerilimin (3.12) denkleminde yerine konulmasıyla;

$$\rho_a = 2.\pi.L.\frac{V}{I} \tag{3.20}$$

ile hesaplanır.

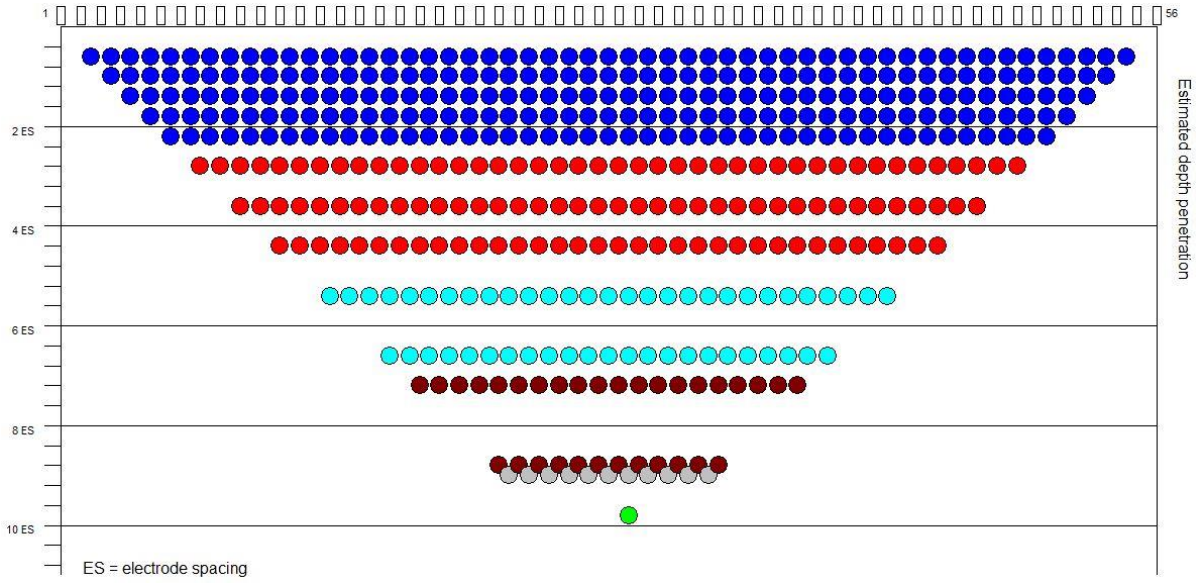
3.1.2. 2D Elektrik Özdirenç Dizilimleri ve Modelleme

2D elektrik özdirenç dizilimlerinde, önceki bölümde irdelediğimiz 1D elektrik özdirenç dizilimlerden farkı, sabit bir noktadan simetrik belirli aralıklarla yeraltının derinlerine doğru görünür özdirenç verileri toplanırken, 2D elektrik özdirenç ölçümlerinde bir hat boyunca 1D dizilim ve ölçüm işleminin devam ettirilmesi olarak tanımlayabiliriz. Bu 2D dizilimlerde bu işlemleri yapabilmek için çok sayıda elektrotlara, bu elektrotların sayısı kadar kapasiteli kablolara ve önceden komut dosyası ile planlanan ölçüm işlemini yapabilecek elektrik

özdirenç cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sabit nokta yerine, bir hat boyunca belirli aralıklarla çok sayıda ölçü yapılması, veri toplanması işlemine elektrik rezistivite tomografi (ERT) denilmektedir. ERT ölçümleri çok sayıda elektrot olmadan, çoklu kablo sistemi ve otomatik veri toplayan cihazlar olmadan da yapılabilir. Manuel olarak tanımlayabileceğimiz 1D ölçümlerde kullanılan dört elektrot, kablo makaraları ve özdirenç cihazları ile de ölçü yapılabilir ancak ölçü süresi otomatik ölçü yöntemine göre çok çok fazla olacaktır. Bu alt bölümde 2D ERT dizilimleri, tez konumuz kapsamında özellikle Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers ve Helenistik Dönem Tümülüslerinde görülen dromos, mezar odası yapıları ve inşa malzemeleri de dikkate alınarak modelleme yapılarak incelenecektir. Modellemede, genişliği 2 m. ve yüksekliği 2 m. olan bir dromos veya mezar odasını dik kesen bir 2D ERT profili varsayımı yapılacaktır.

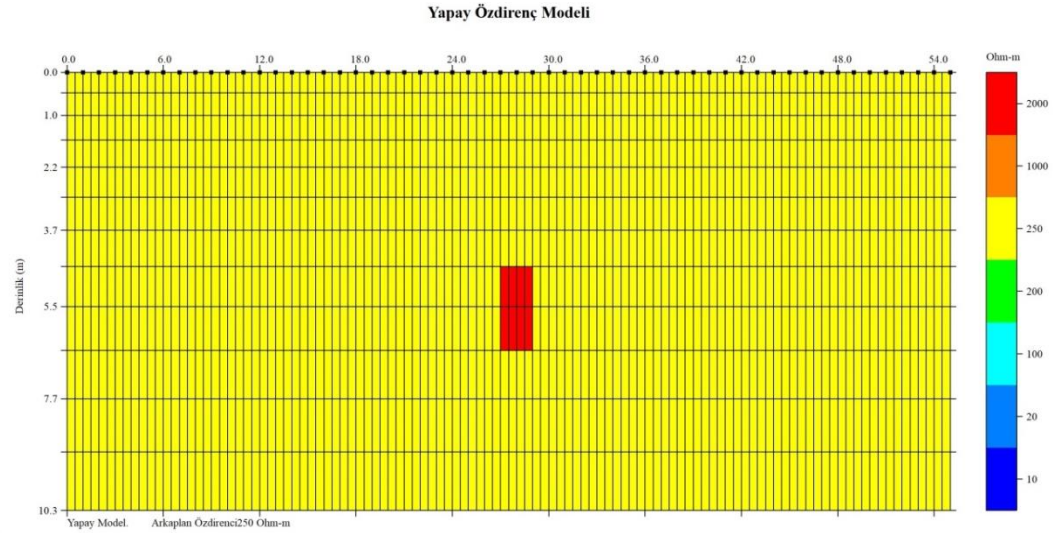
3.1.2.1. Schlumberger 2D ERT ve Modelleme

Schlumberger 2D ERT ölçü profili Agi SuperSting Administrator programıyla komut dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.8:). Elektrot aralığı 1 m., elektrot sayısı 56'dır. Tahmini ölçü süresi 1:11:07, veri sayısı 455 ve tahmini araştırma derinliği 10 m. dir.



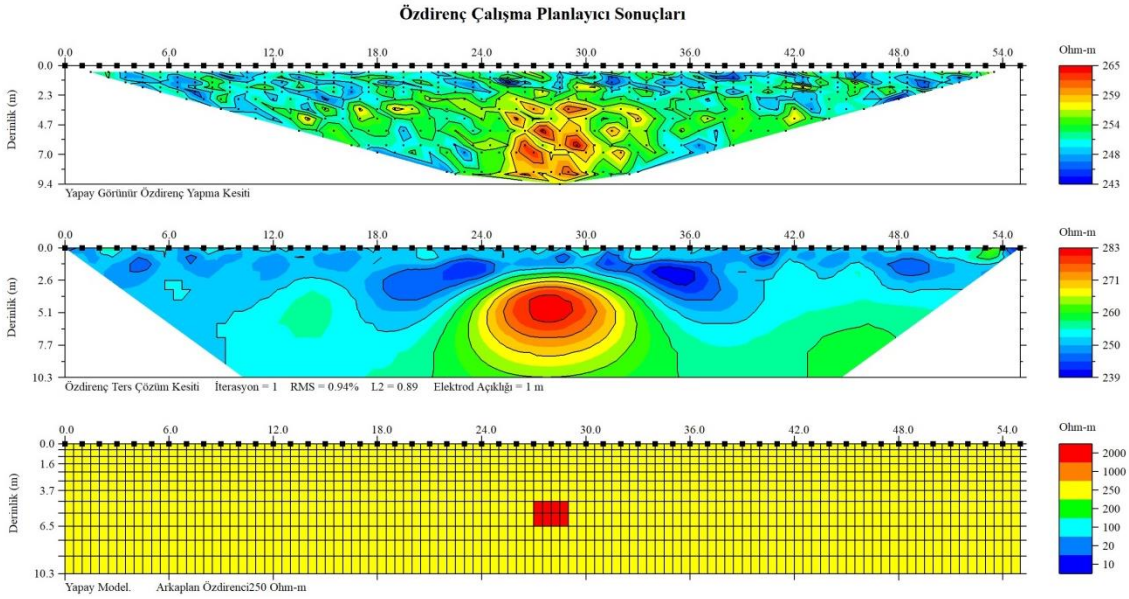
Şekil 3.8: Schlumberger 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü.

Schlumberger dizilimi Şekil 3.4:'de yer almakta, k geometrik faktör hesabı denklem (3.13)'de verilmiştir. EarthImager 2D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.9:'da görülmektedir.



Şekil 3.9: Schlumberger 2D ERT yapay özdirenç modeli.

Bu modelin % 1 gürültü eklenerek hesaplanan yapay görünür özdirenç yapma kesiti Şekil 3.10:'da üstte, ters çözüm sonucu ortada ve yapay özdirenç modeli altta görülmektedir.

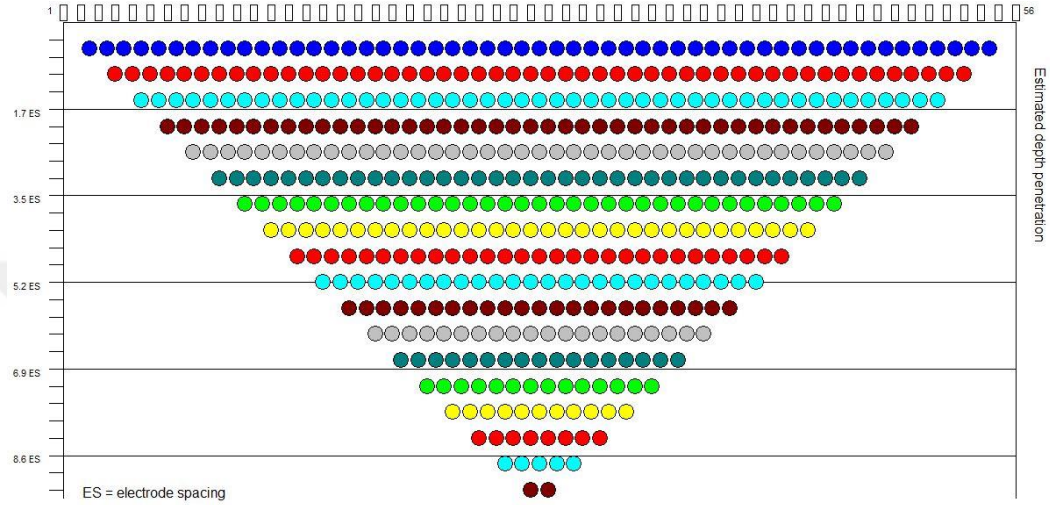


Şekil 3.10: Schlumberger 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta).

Schlumberger 2D ERT dizilimi ters çözüm kesiti, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını dik kestiği varsayılan modeli başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

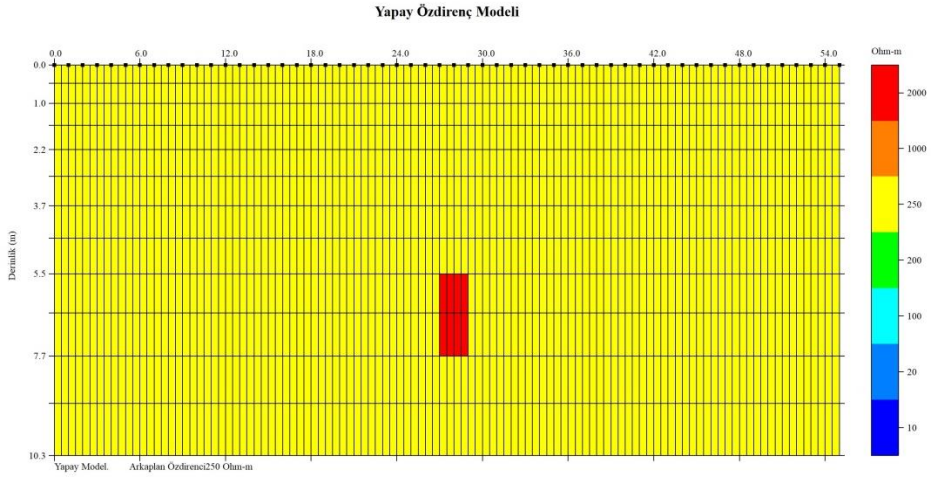
3.1.2.2. Wenner 2D ERT ve Modelleme

Wenner 2D ERT ölçü profili Agi SuperSting Administrator programıyla komut dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.11:). Elektrot aralığı 1 m., elektrot sayısı 56'dır. Tahmini ölçü süresi 1:17:33, veri sayısı 495 ve tahmini araştırma derinliği 9 m. dir.



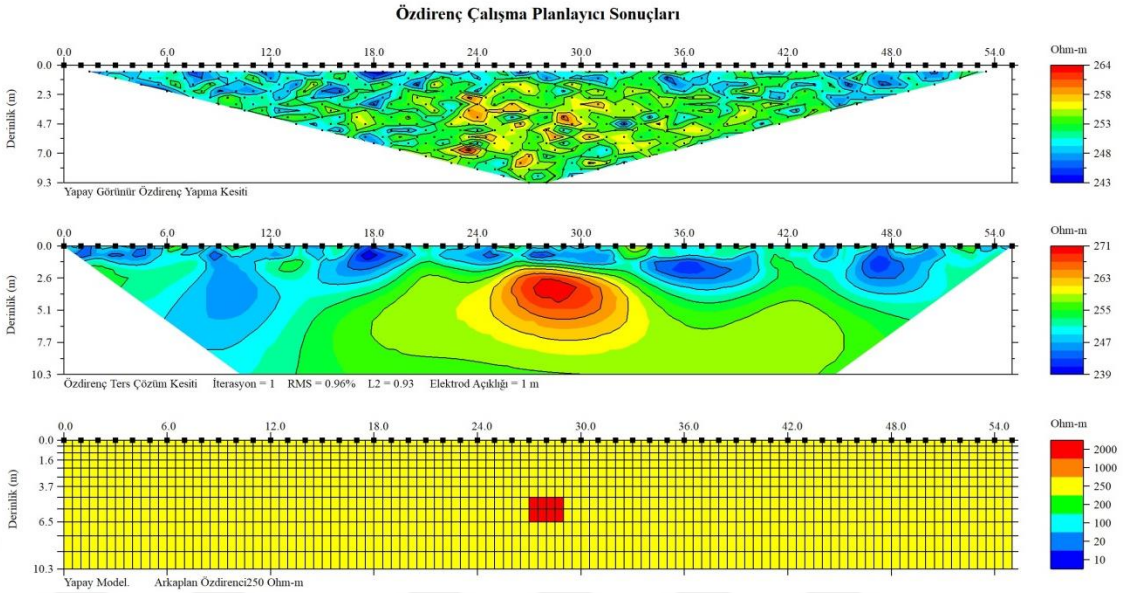
Şekil 3.11: Wenner 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü.

Wenner 2D ERT dizilimi Şekil 3.5'de yer almakta, k geometrik faktör hesabı denklem (3.15)'de verilmiştir. EarthImager 2D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.12:'de görülmektedir.



Şekil 3.12: Wenner 2D ERT yapay özdirenç modeli.

Bu modelin % 1 gürültü eklenerek hesaplanan yapay görünür özdirenç yapma kesiti Şekil 3.13:'de üstte, ters çözüm sonucu ortada ve yapay özdirenç modeli altta görülmektedir.

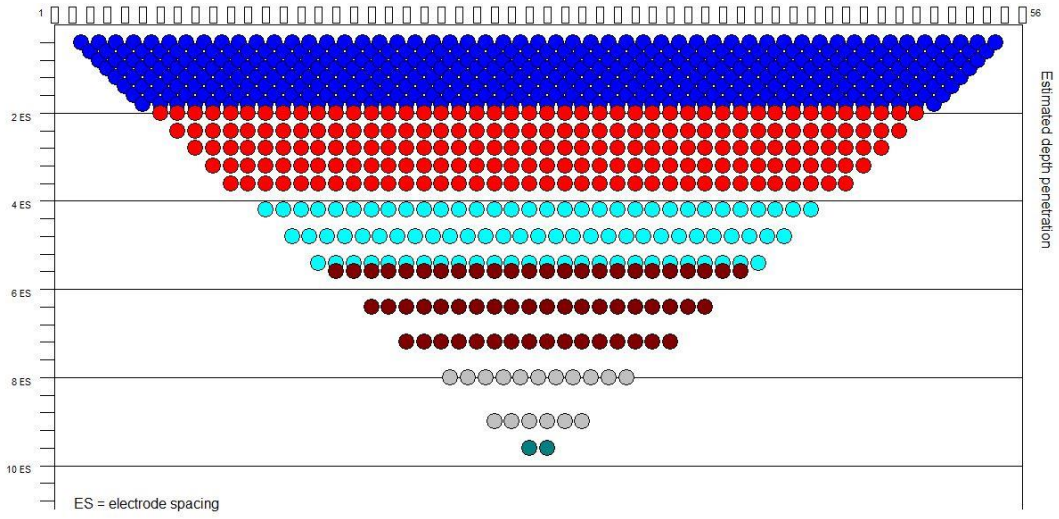


Şekil 3.13: Wenner 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta).

Wenner 2D ERT dizilimi ters çözüm kesiti, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını dik kestiği varsayılan modeli başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

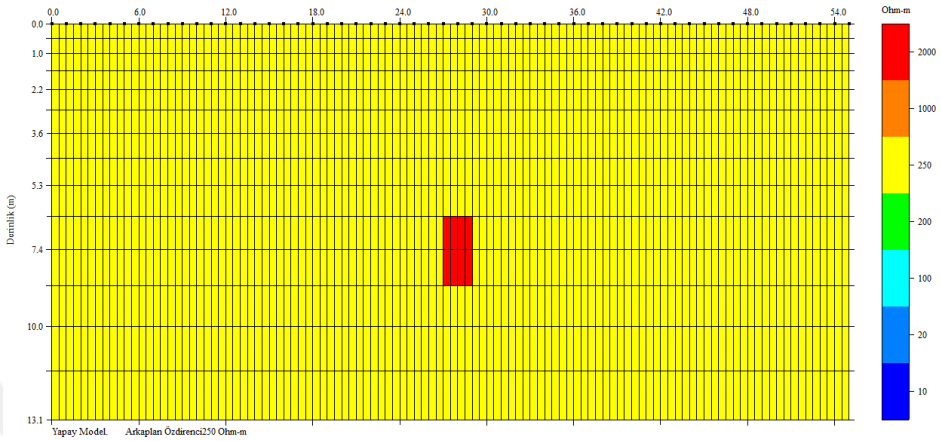
3.1.2.3. Dipol Dipol 2D ERT ve Modelleme

Dipol Dipol 2D ERT ölçü profili Agi SuperSting Administrator programıyla komut dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.14:). Elektrot aralığı 1 m., elektrot sayısı 56'dır. Tahmini ölçü süresi 1:59:22, veri sayısı 762 ve tahmini araştırma derinliği 9,8 m. dir.



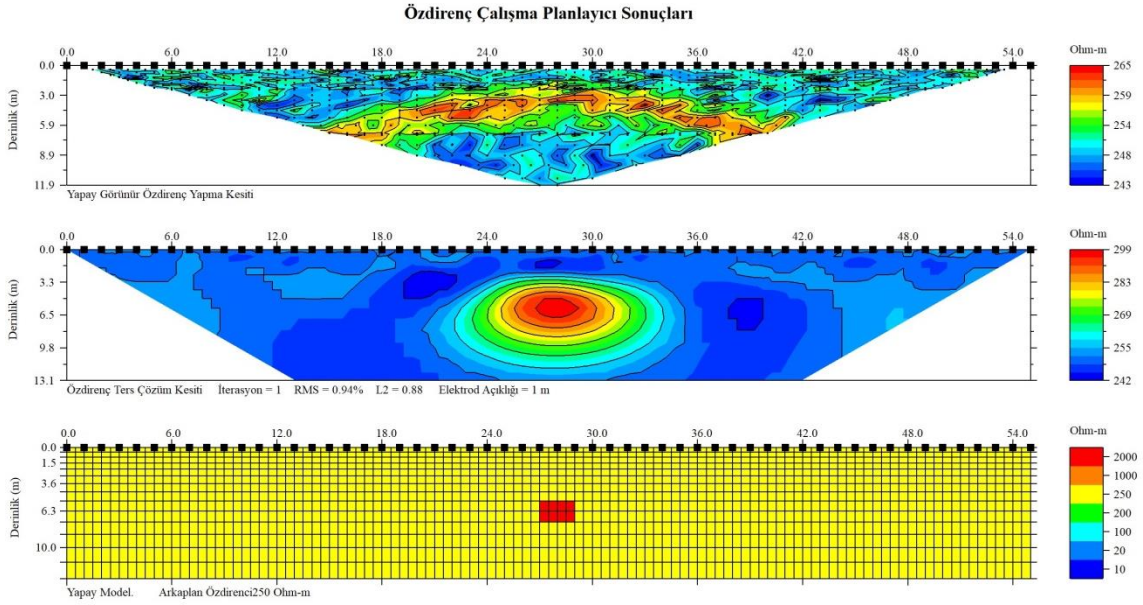
Şekil 3.14: Dipol Dipol 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü.

Dipol Dipol 2D ERT dizilimi Şekil 3.3'de yer almakta, k geometrik faktör hesabı denklem (3.17)'de verilmiştir. EarthImager 2D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.15:'de görülmektedir.



Şekil 3.15: Dipol Dipol 2D ERT yapay özdirenç modeli.

Bu modelin % 1 gürültü eklenerek hesaplanan yapay görünür özdirenç yapma kesiti Şekil 3.16:'da üstte, ters çözüm sonucu ortada ve yapay özdirenç modeli altta görülmektedir.

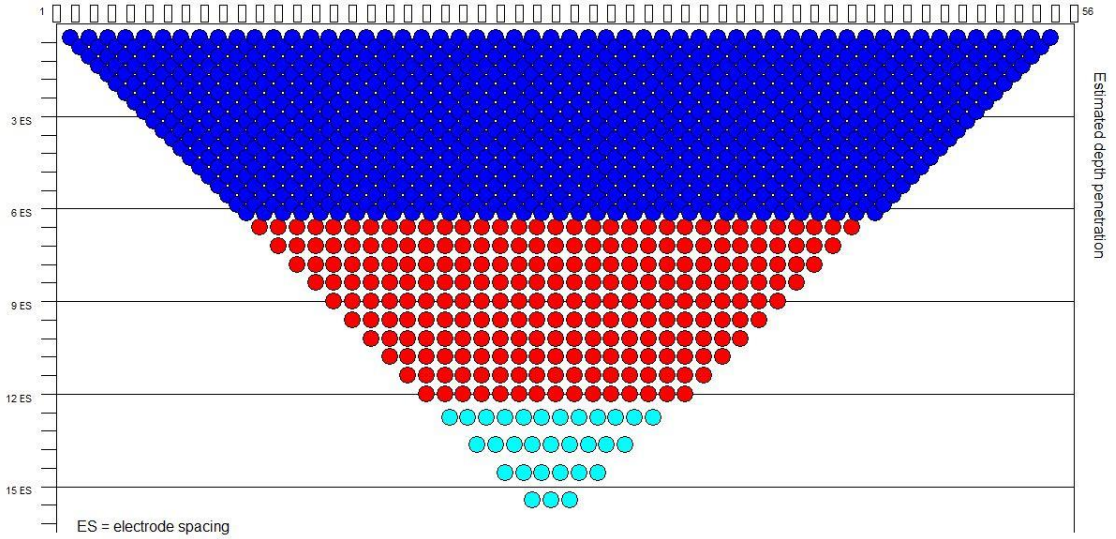


Şekil 3.16: Dipol Dipol 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta).

Dipol Dipol 2D ERT dizilimi ters çözüm kesiti, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını dik kestiği varsayılan modeli başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

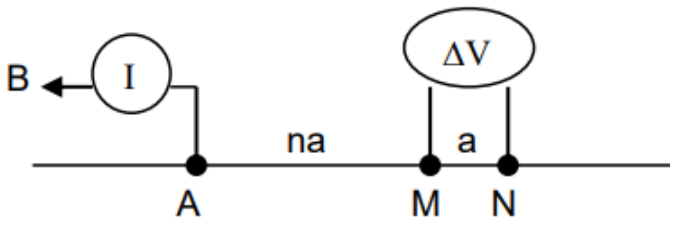
3.1.2.4. Pol Dipol 2D ERT ve Modelleme

Pol Dipol 2D ERT ölçü profili Agi SuperSting Administrator programıyla komut dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.17:). Elektrot aralığı 1 m., elektrot sayısı 57'dir. 56 elektrot dizilimde, 1 elektrot eksi sonsuzdadır. Tahmini ölçü süresi 3:01:44, veri sayısı 1160 ve tahmini araştırma derinliği 15,6 m. dir.



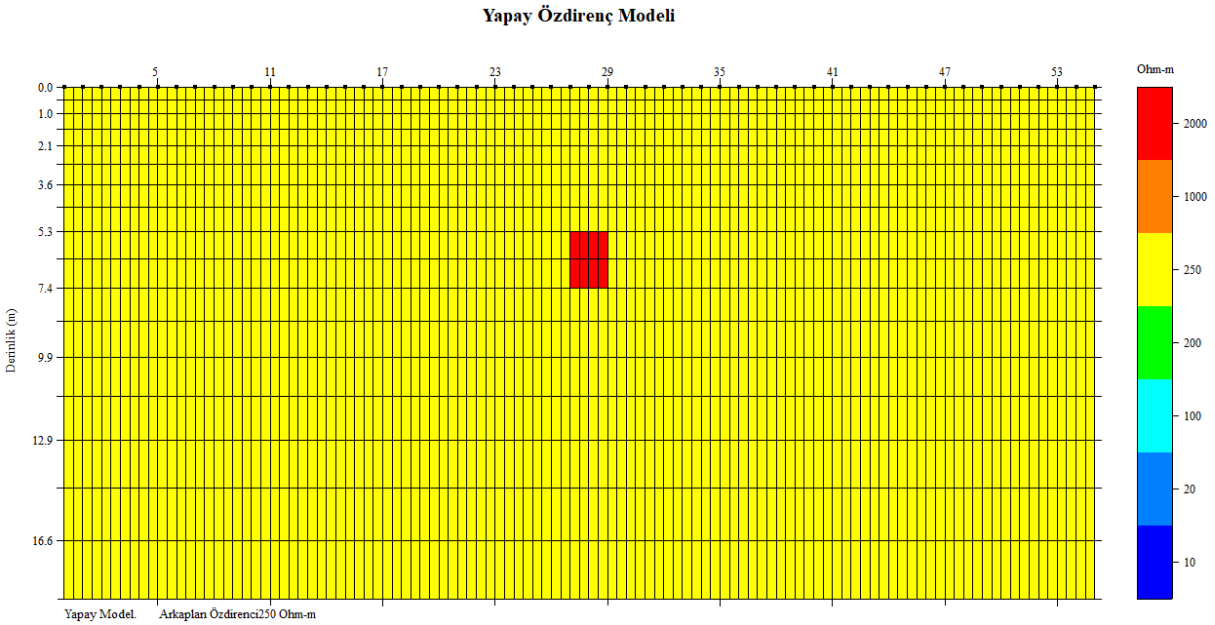
Şekil 3.17: Pol Dipol 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü.

Pol Dipol 2D ERT dizilimi ve k geometrik faktör hesabı Şekil 3.18:'de yer almaktadır. EarthImager 2D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.19:'da görülmektedir.



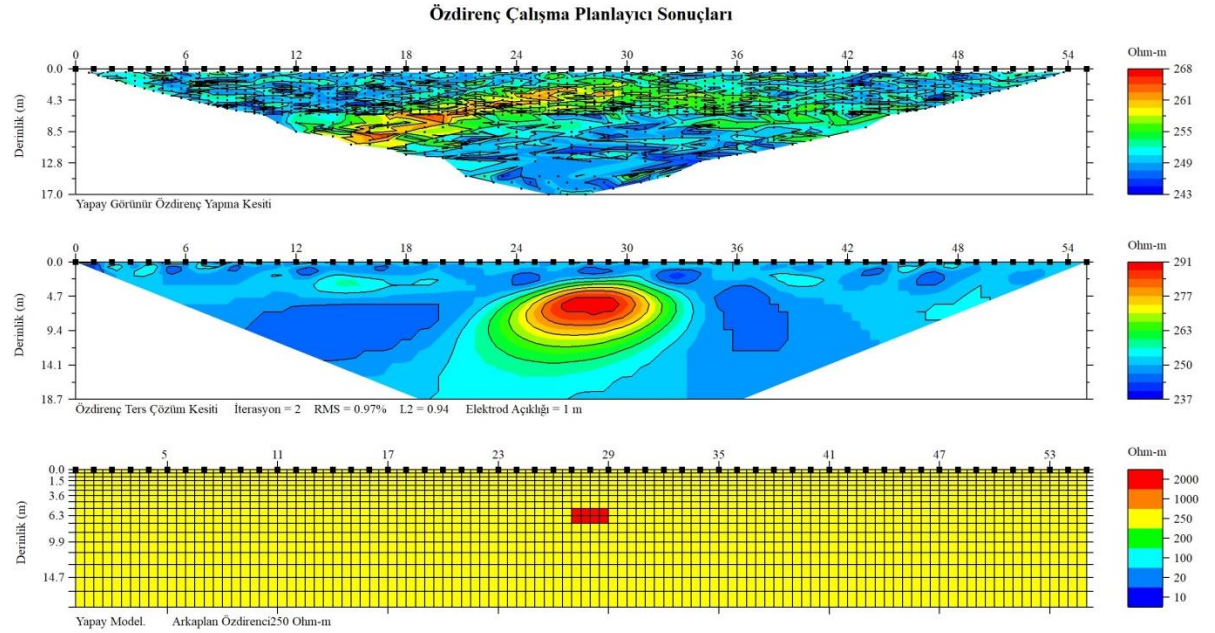
$$k=2.\pi.n.(n+1).a \quad \text{(Candansayar, 2016)}$$

Şekil 3.18: Pol Dipol elektrot dizilimi ve k geometrik faktör hesabı.



Şekil 3.19: Pol Dipol 2D ERT yapay özdirenç modeli.

Bu modelin % 1 gürültü eklenerek hesaplanan yapay görünür özdirenç yapma kesiti Şekil 3.20:'de üstte, ters çözüm sonucu ortada ve yapay özdirenç modeli altta görülmektedir.

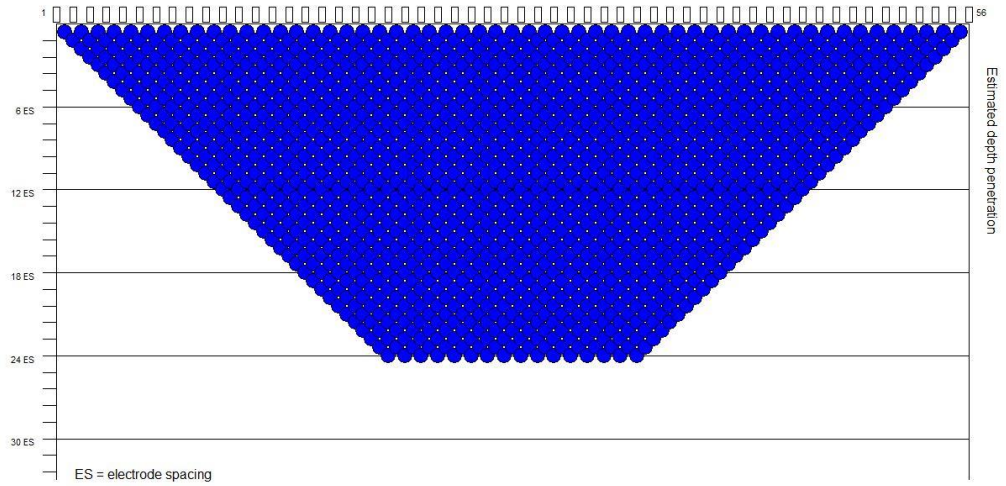


Şekil 3.20: Pol Dipol 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta).

Pol Dipol 2D ERT dizilimi ters çözüm kesiti, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını dik kestiği varsayılan modeli başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

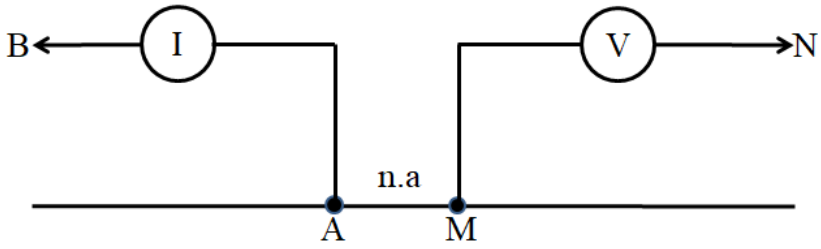
3.1.2.5. Pol Pol 2D ERT ve Modelleme

Pol Pol 2D ERT ölçü profili Agi SuperSting Administrator programıyla komut dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.21:). Elektrot aralığı 1 m., elektrot sayısı 58'dir. 56 elektrot dizilimde, 2 elektrot (B, N) eksi ve artı sonsuzdadır. Tahmini ölçü süresi 3:42:28, veri sayısı 1420 ve tahmini araştırma derinliği 24 m. dir.



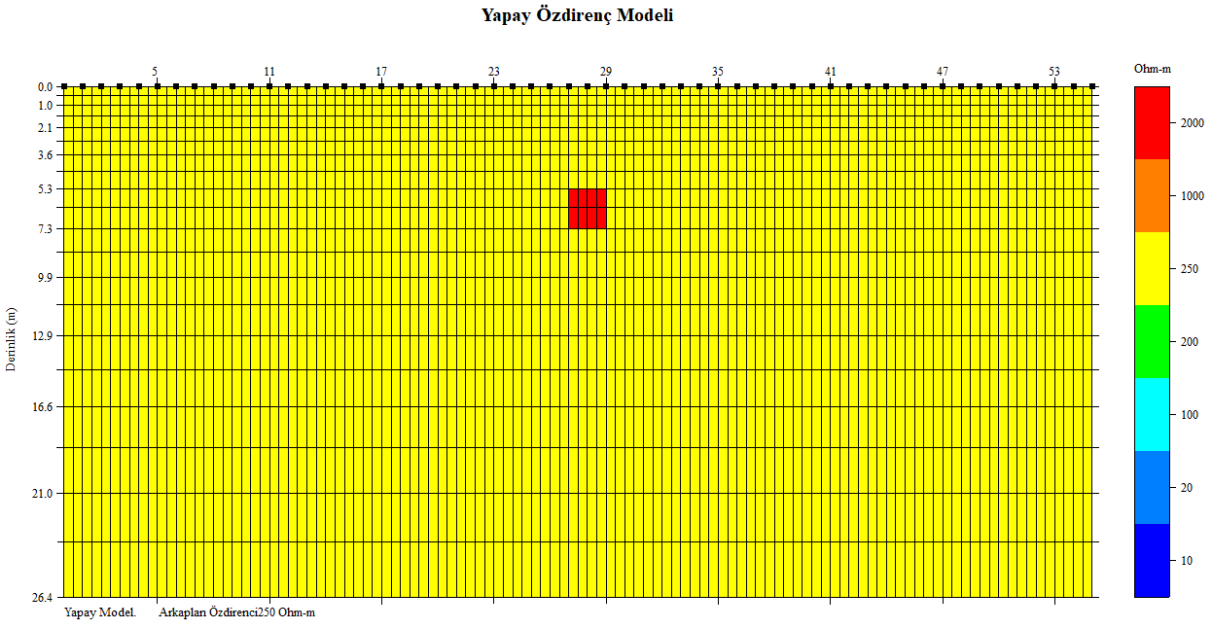
Şekil 3.21: Pol Pol 2D ERT dizilimi komut dosyasında ölçülecek verilerin görünümü.

Pol Pol 2D ERT dizilimi ve k geometrik faktör hesabı Şekil 3.22:'de yer almaktadır. EarthImager 2D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.23:'de görülmektedir.



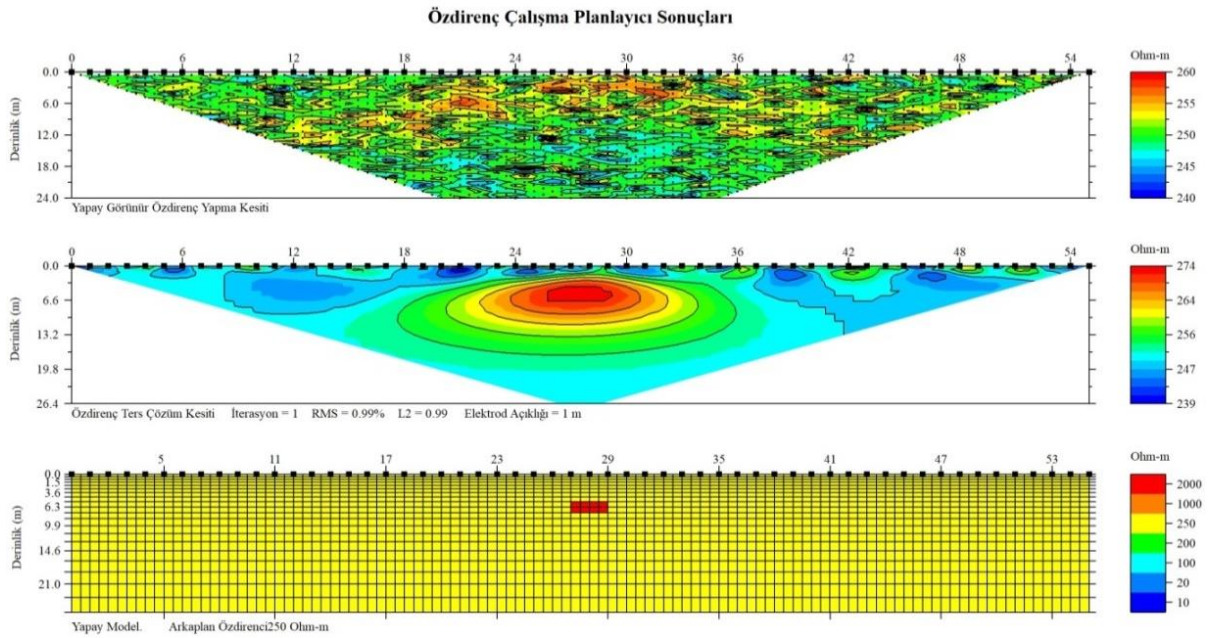
$$k = 2.\pi.n.a \quad \text{(Berge, 2005)}$$

Şekil 3.22: Pol Pol elektrot dizilimi ve k geometrik faktör hesabı.



Şekil 3.23: Pol Pol 2D ERT yapay özdirenç modeli.

Bu modelin % 1 gürültü eklenerek hesaplanan yapay görünür özdirenç yapma kesiti Şekil 3.24:'de üstte, ters çözüm sonucu ortada ve yapay özdirenç modeli altta görülmektedir.



Şekil 3.24: Pol Pol 2D yapay görünür özdirenç yapma kesiti (üstte), ters çözüm kesiti (ortada) ve yapay özdirenç modeli (altta).

Pol Pol 2D ERT dizilimi ters çözüm kesiti, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını dik kestiği varsayılan modeli başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

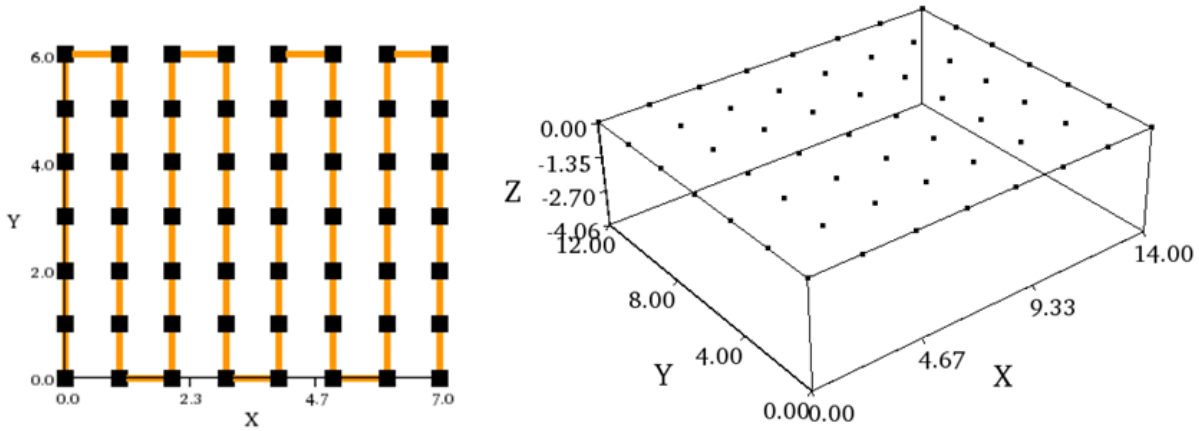
Model çalışmalarında, 2D ERT dizilimlerinin profil uzunlukları ve tahmini araştırma derinlikleri aşağıdaki Tablo 3.1: ‘de yer almaktadır.

Tablo 3.1: 2D ERT Elektrot dizilimlerine göre tahmini araştırma derinlikleri.

Dizilim Türü	Profil Uzunluğu (m.)	Tahmini Araştırma Derinliği (m.)
Schlumberger	55	10
Wenner	55	9
Dipol-Dipol	55	9.8
Pol-Dipol	55	15.6
Pol-Pol	55	24

3.1.3. 3D Elektrik Özdirenç Dizilimleri ve Modelleme

3D elektrik özdirenç dizilimlerinde, önceki bölümde irdelediğimiz 2D elektrik özdirenç dizilimlerden farkı, sadece x yönünde değil, hem x, hem de y yönlerinde, sabit elektrot aralığı ve sabit paralel hat aralığı veya elektrot aralığının iki katı kadar daha arttırılarak (Yang ve Lagmanson, 2006) sahaya elektrotlarımızı çakıyoruz. 3D dizilimlerde, ölçü yapabilmek için çok sayıda elektrotlara, bu elektrotların sayısı kadar kapasiteli kablolara ve önceden komut dosyası ile hazırlanan ve planlanan ölçüm işlemini yapabilecek cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3.24:’de 56 elektrotlu, x yönünde 8, y yönünde 7 elektrotun yer aldığı 3D dizilim görülmektedir. Elektrotlar siyah kare, kablo turuncu renktedir.



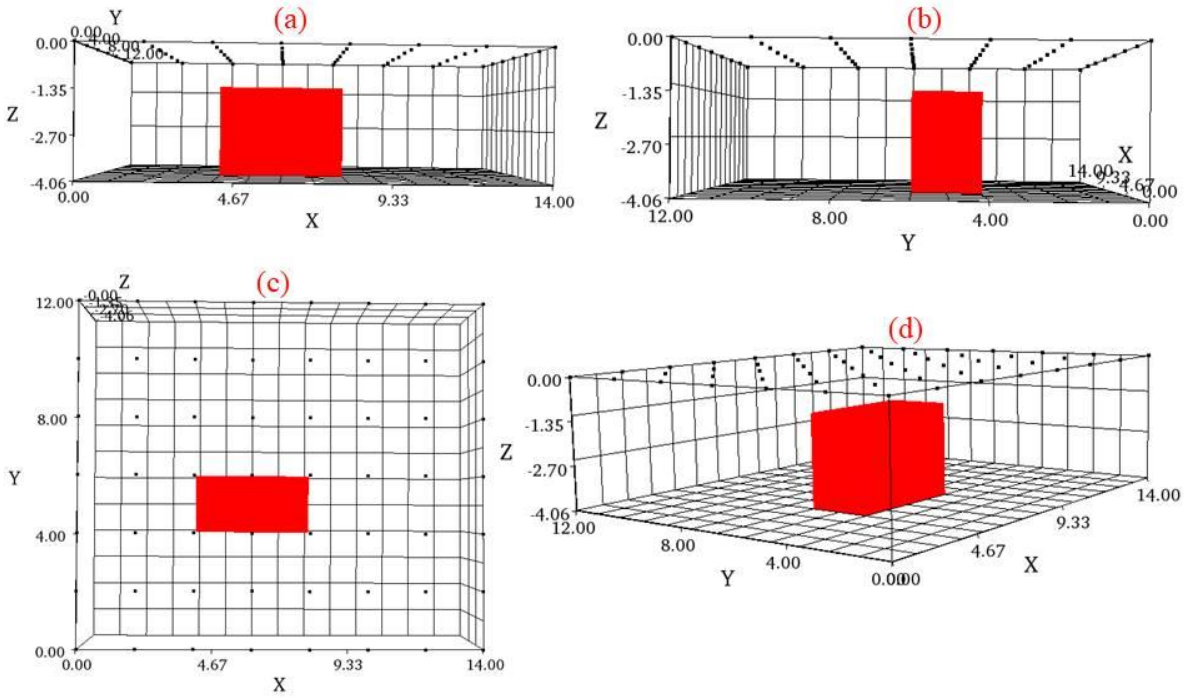
Şekil 3.25: 3D ölçüm elektrot dizilimi üstten ve açılı görünümü.

Bu bölümde 3D ERT dizilimleri, tez konumuz kapsamında özellikle Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers ve Helenistik Dönem Tümülüslerinde görülen dromos ve mezar odası yapıları ve

inşa malzemeleri de dikkate alınarak modelleme yapılarak incelenecektir. Modellemede, genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odası varsayımı yapılacaktır.

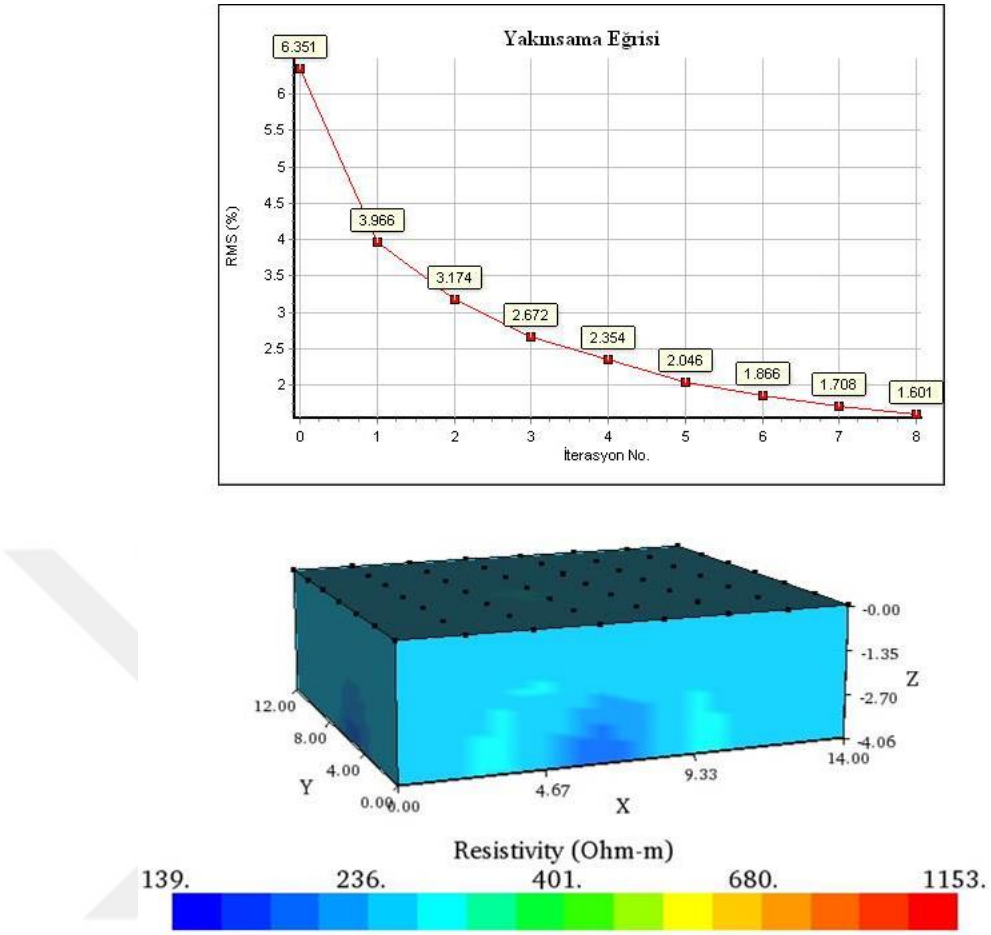
3.1.3.1. Dipol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme

Dipol Dipol 3D ERT komut dosyası EarthImager 3D programıyla oluşturulmuştur. X yönünde 8, y yönünde 7 elektrot olacak şekilde toplam elektrot sayısı 56'dır. Elektrot aralığı 2 m., tahmini ölçü süresi 4:16:34, veri sayısı 1790 ve tahmini araştırma derinliği 3,23 m. dir. EarthImager 3D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.26:'da görülmektedir. Kırmızı renkli blok 2.000 Ωm ve genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odasını temsil etmekte, bloğun çevre özdirenci 250 Ωm ile tümülüs yığmasını temsil etmektedir.



Şekil 3.26: Dipol Dipol 3D ERT yapay özdirenç modeli a; x yönünden, b; y yönünden, c; üstten, d; açılı görünümler.

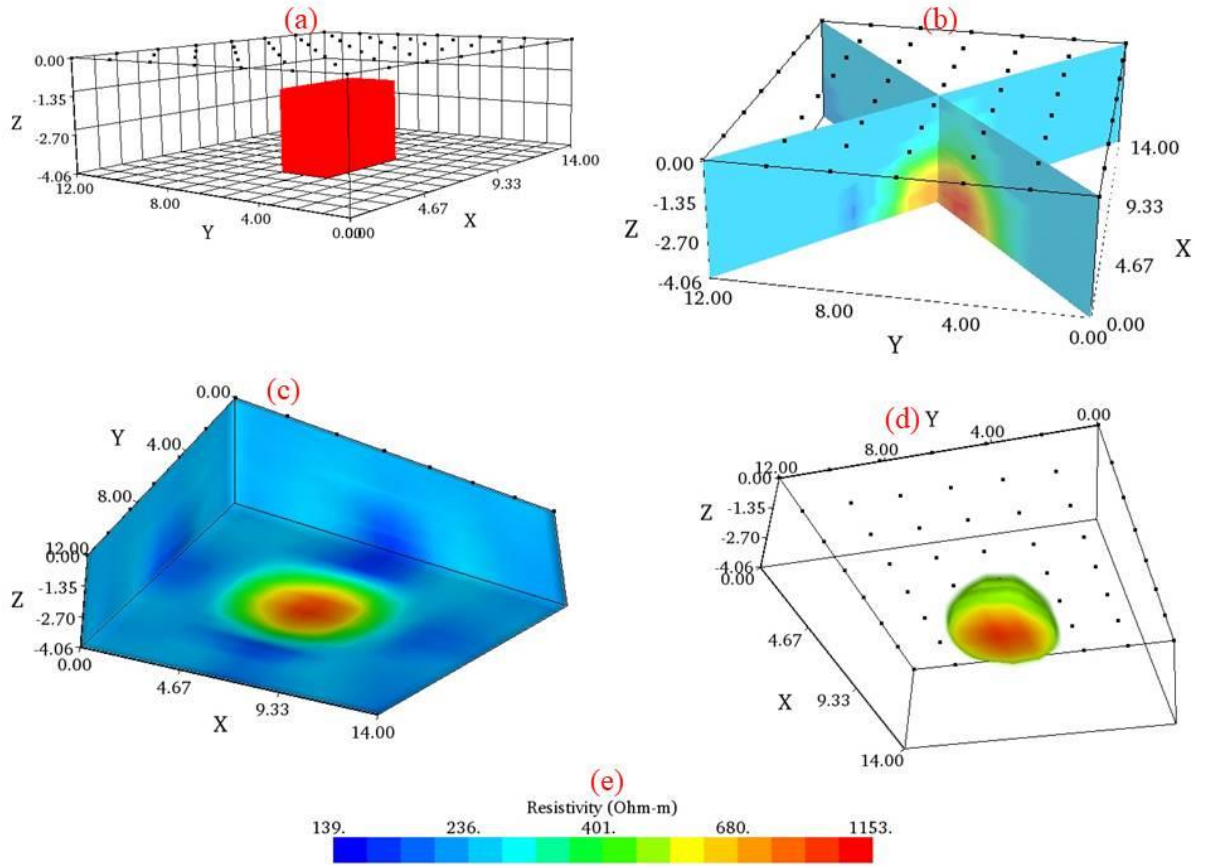
Bu modele % 1 gürültü eklenerek dipol dipol 3D ERT model ölçümü ters çözüm sonucunda, yakınsama eğrisi ve ters çözüm özdirenç modeli Şekil 3.27:'de yer almaktadır. 8. Yineleme sonucunda % 1.6 hata oranı ile üstte yakınsama eğrisi ve ters çözüm özdirenç modeli altta görülmektedir.



Şekil 3.27: Dipol Dipol 3D ERT ters çözüm yakınsama eğrisi (üstte), ters çözümde bulunan model (altta).

Modele uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda, yapay model Şekil 3.28: (a) da, ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan çapraz kesitler Şekil 3.28: (b) de yer almakta olup modeldeki yüksek özdirençli blok çapraz kesitlerde görülmektedir. Ters çözümde bulunan modelin alttan görünümü Şekil 3.28: (c) de yer almakta olup, bloğun olduğu lokasyonda yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Ters çözümde bulunan modele düşük özdirençli 400 Ωm 'nin altındaki özdirençleri kapatarak sadece yüksek özdirenci göster dediğimizde elde edilen küp model Şekil 3.28: (d) de yer almakta olup, modeldeki yüksek özdirençli bloğun bulunduğu yerde yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Özdirenç lejantı Şekil 3.28: (e) de yer almaktadır. Modelde tümülüs yığması 250 Ωm olarak verilmiştir ve ters çözüm sonucunda elde edilen 3D küp modelde de özdirenç dağılımı 250 Ωm civarındadır.

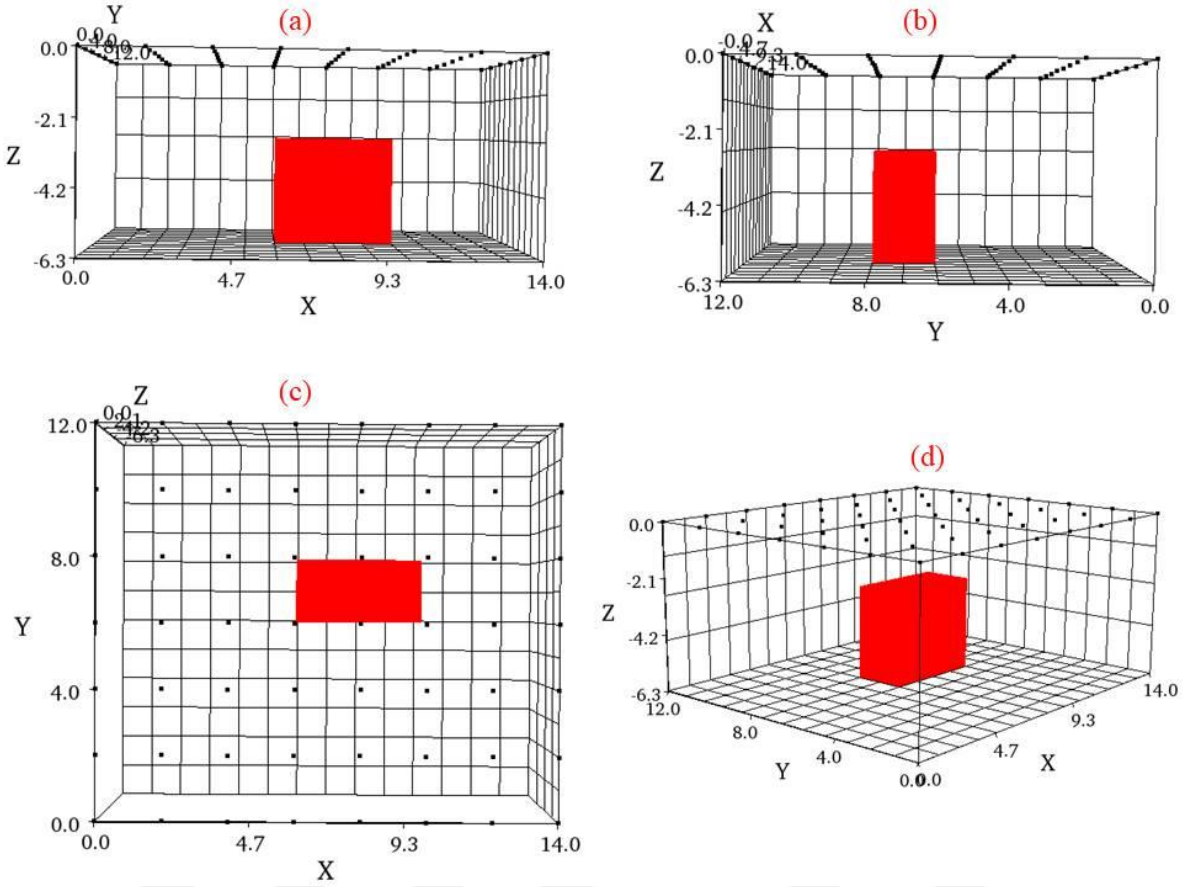
Elde edilen kesitler, 3D görünümlere göre Dipol dipol 3D ERT dizilimi ters çözüm sonuçları, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını başarılı bir şekilde görüntülemiştir.



Şekil 3.28: Dipol Dipol 3D ERT ters çözüm sonuçları, a; yapay özdirenç modeli, b; ters çözüm çapraz kesitler, c; ters çözüm alttan görünüm, d; sadece yüksek özdirençli seviyeler alttan görünüm, e; özdirenç lejantı.

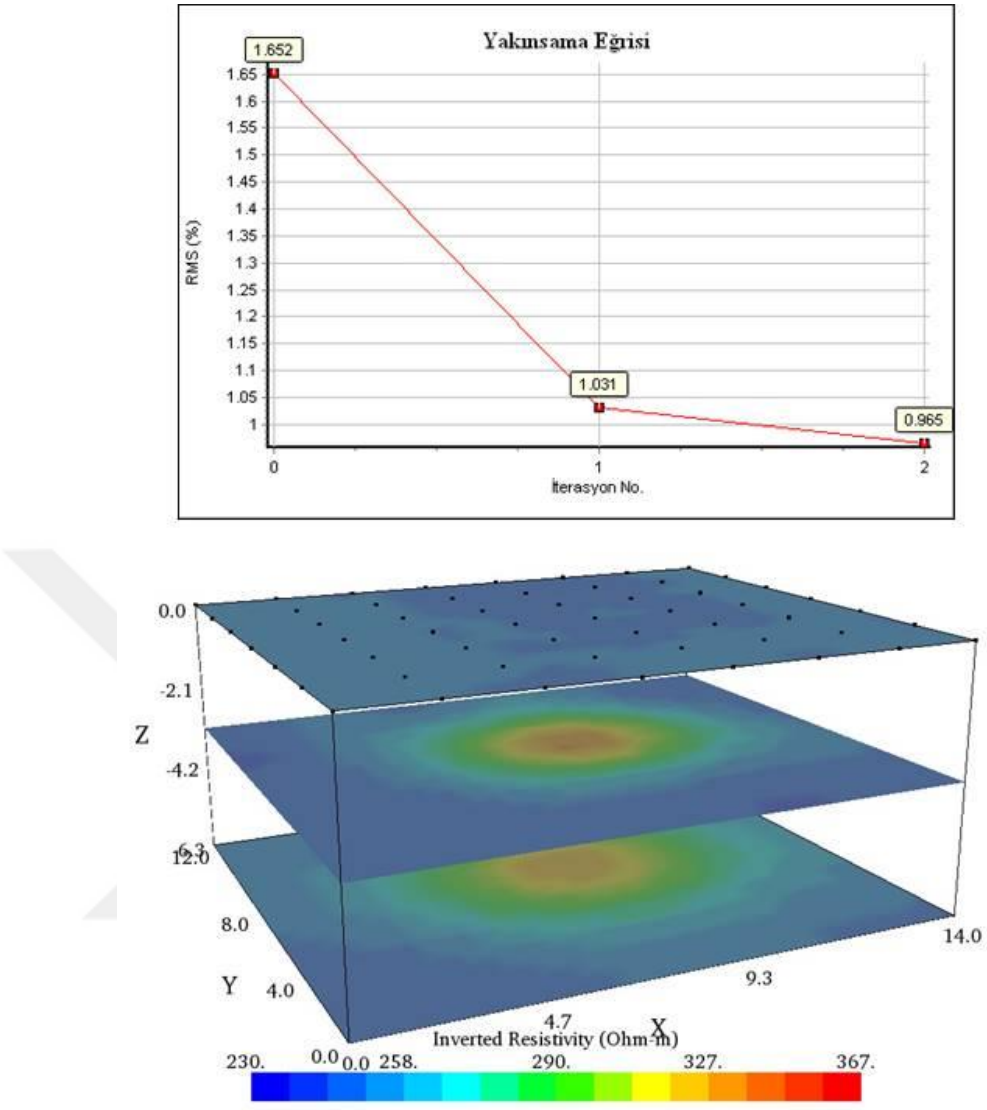
3.1.3.2. Pol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme

Pol Dipol 3D ERT komut dosyası EarthImager 3D programıyla oluşturulmuştur. X yönünde 8, y yönünde 7 elektrot ve eksi sonsuzda 1 elektrot (B) olacak şekilde toplam elektrot sayısı 57'dir. Elektrot aralığı 2 m., tahmini ölçü süresi 2:40:49, veri sayısı 1122 ve tahmini araştırma derinliği 4,95 m. dir. EarthImager 3D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.29:'da görülmektedir. Kırmızı renkli blok 2.000 Ωm ve genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odasını temsil etmekte, bloğun çevre özdirenci 250 Ωm ile tümülüs yığmasını temsil etmektedir.



Şekil 3.29: Pol Dipol 3D ERT yapay özdirenç modeli a; x yönünden, b; y yönünden, c; üstten, d; açılı görünümler.

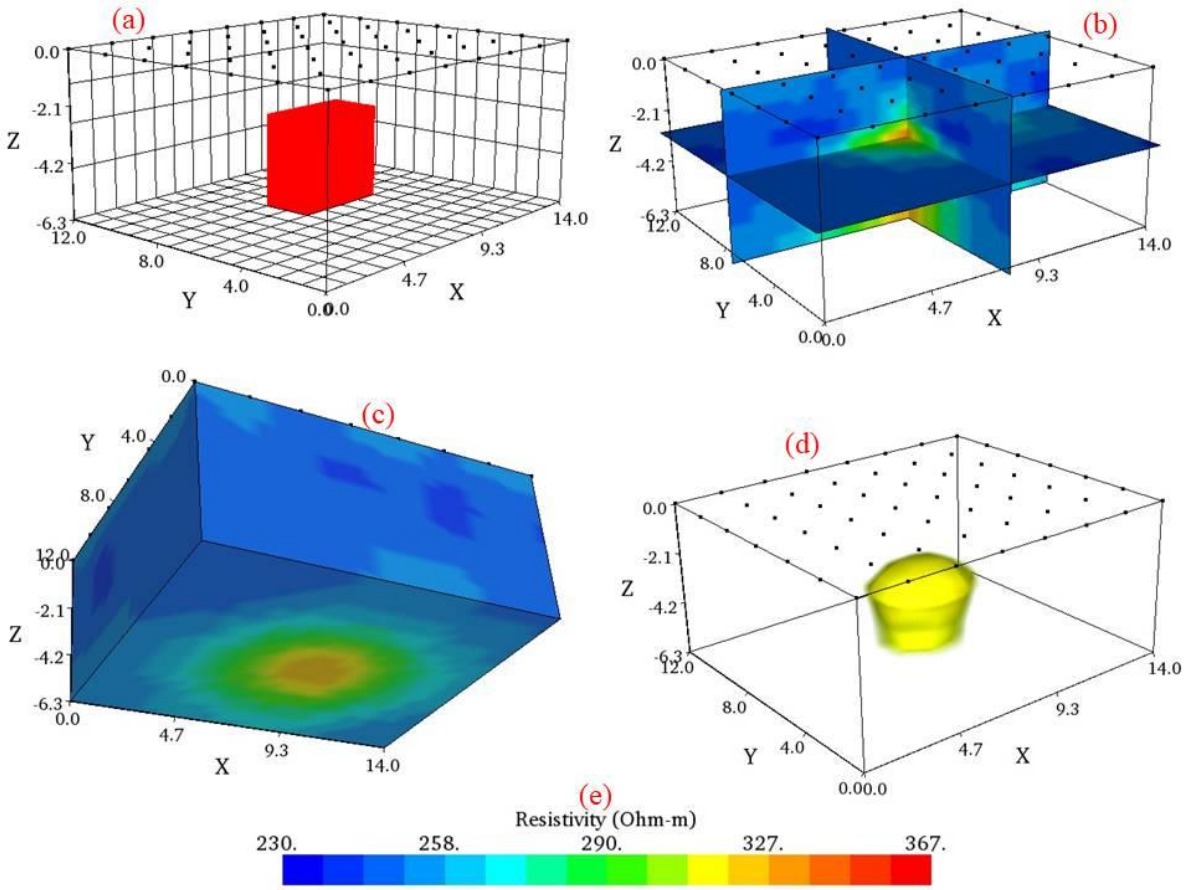
Bu modele % 1 gürültü eklenerek pol dipol 3D ERT model ölçümü ters çözüm sonucunda, yakınsama eğrisi ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri Şekil 3.30:'da yer almaktadır. 2. Yineleme sonucunda % 0,97 hata oranı ile üstte ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri altta görülmektedir.



Şekil 3.30: Pol Dipol 3D ERT ters çözüm yakınsama eğrisi (üstte), ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri (altta).

Modele uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda, yapay model Şekil 3.31: (a) da, ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan 3D kesitler Şekil 3.31: (b) de yer almakta olup modeldeki yüksek özdirençli blok çapraz kesitlerde görülmektedir. Ters çözümde bulunan modelin alttan görünümü Şekil 3.31: (c) de yer almakta olup, bloğun olduğu lokasyonda yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Ters çözümde bulunan modele düşük özdirençli 400 Ωm 'nin altındaki özdirençli kapatarak sadece yüksek özdirenci göster dediğimizde elde edilen küp model Şekil 3.31: (d) de yer almakta olup, modeldeki yüksek özdirençli bloğun bulunduğu yerde yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Özdirenç lejantı Şekil 3.31: (e) de yer almaktadır. Modelde tümülüs yığması 250 Ωm olarak verilmiştir ve ters çözüm sonucunda elde edilen 3D küp modelde de özdirenç dağılımı 250 Ωm civarındadır.

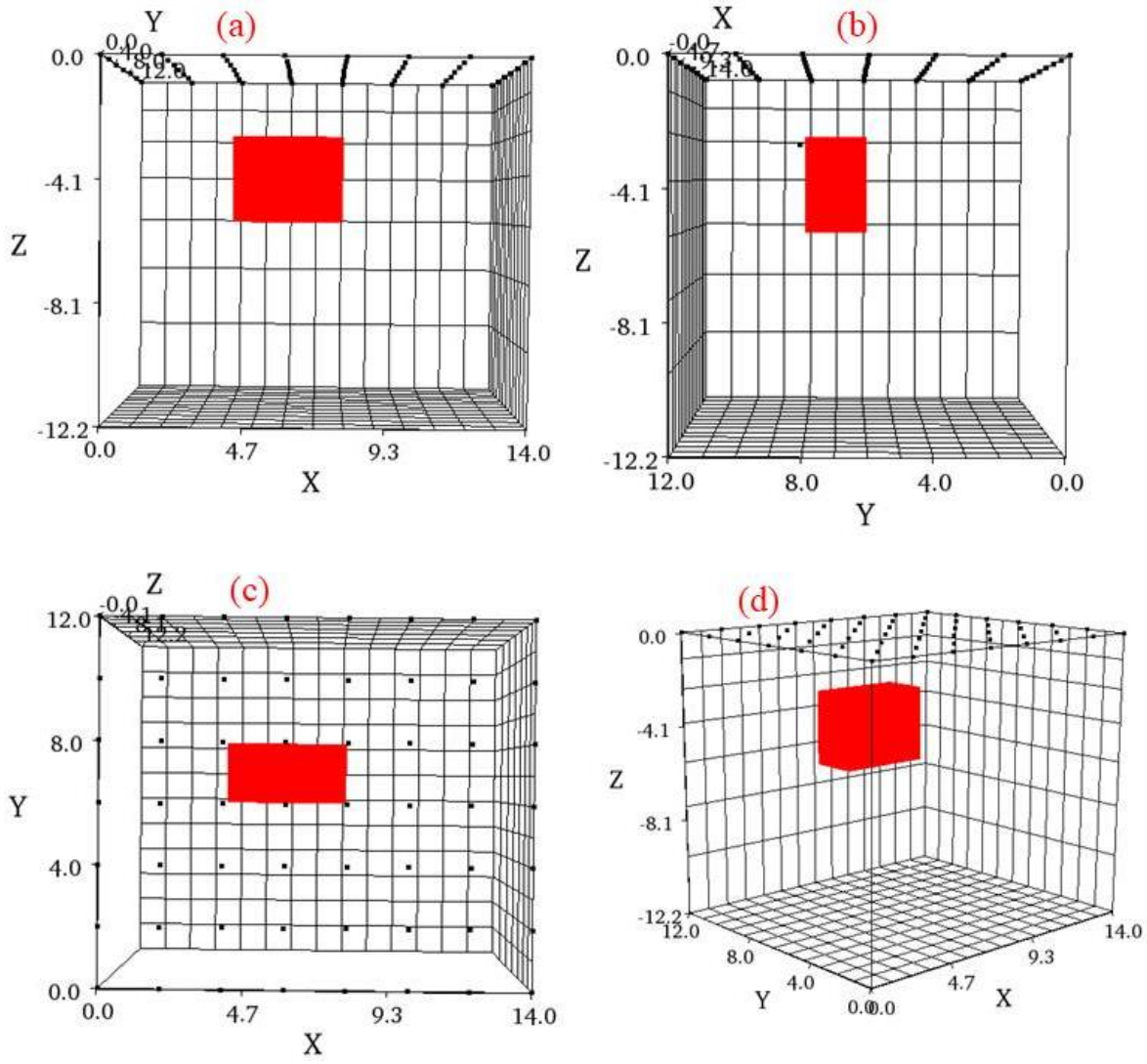
Elde edilen kesitler, 3D görünümlere göre pol dipol 3D ERT dizilimi ters çözüm sonuçları, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını başarılı bir şekilde görüntülemiştir.



Şekil 3.31: Pol Dipol 3D ERT ters çözüm sonuçları, a; yapay özdirenç modeli, b; ters çözüm 3D kesitler, c; ters çözüm alttan görünüm, d; sadece yüksek özdirençli seviyeler açılı görünüm, e; özdirenç lejantı.

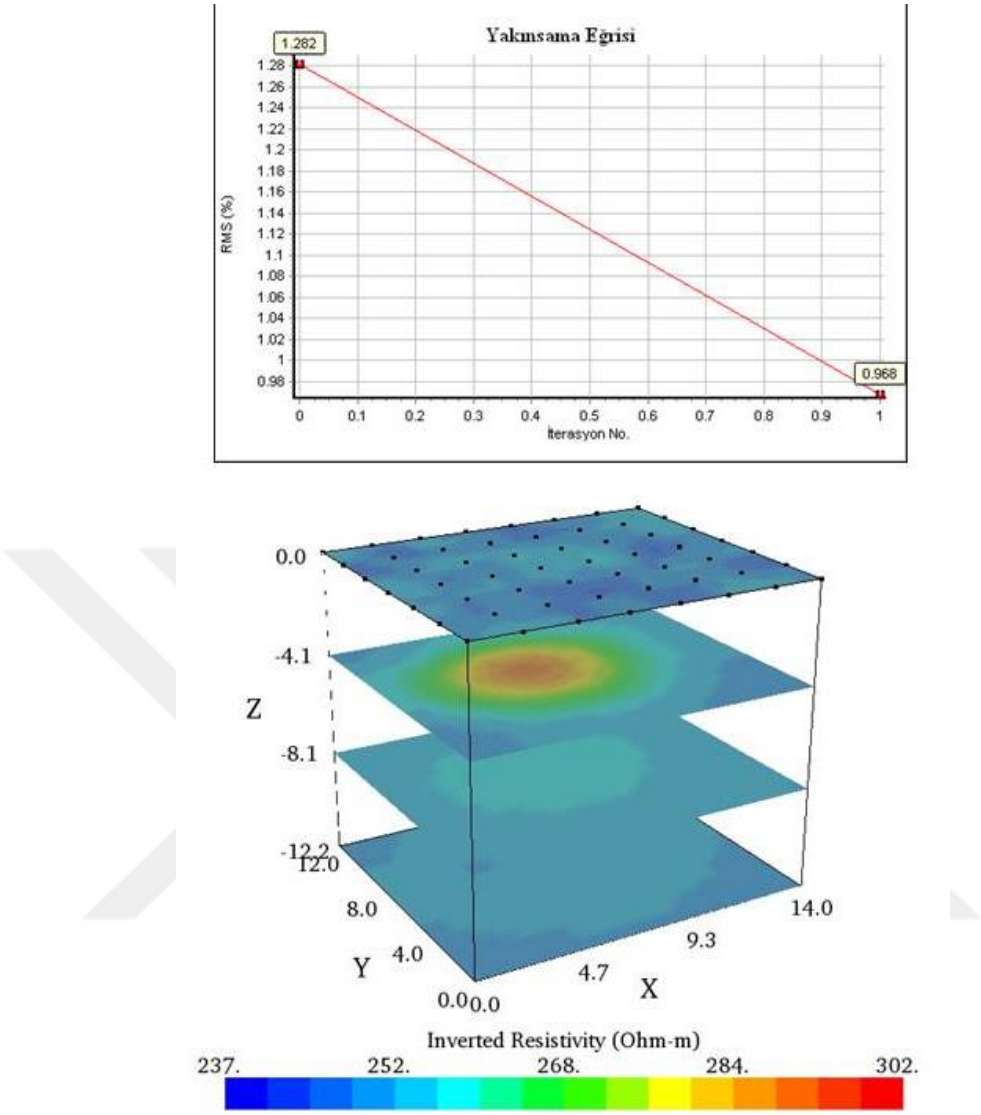
3.1.3.3. Pol Pol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme

Pol Pol 3D ERT komut dosyası EarthImager 3D programıyla oluşturulmuştur. X yönünde 8, y yönünde 7 elektrot, eksi sonsuzda 1 elektrot (B) ve artı sonsuzda 1 elektrot (N) olacak şekilde toplam elektrot sayısı 58'dir. Elektrot aralığı 2 m., tahmini ölçü süresi 3:40:44, veri sayısı 1540 ve tahmini araştırma derinliği 11,06 m. dir. EarthImager 3D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.32:'de görülmektedir. Kırmızı renkli blok 2.000 Ωm ve genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odasını temsil etmekte, bloğun çevre özdirenci 250 Ωm ile tümülüs yığmasını temsil etmektedir.



Şekil 3.32: Pol Pol 3D ERT yapay özdirenç modeli a; x yönünden, b; y yönünden, c; üstten, d; açılı görünümler.

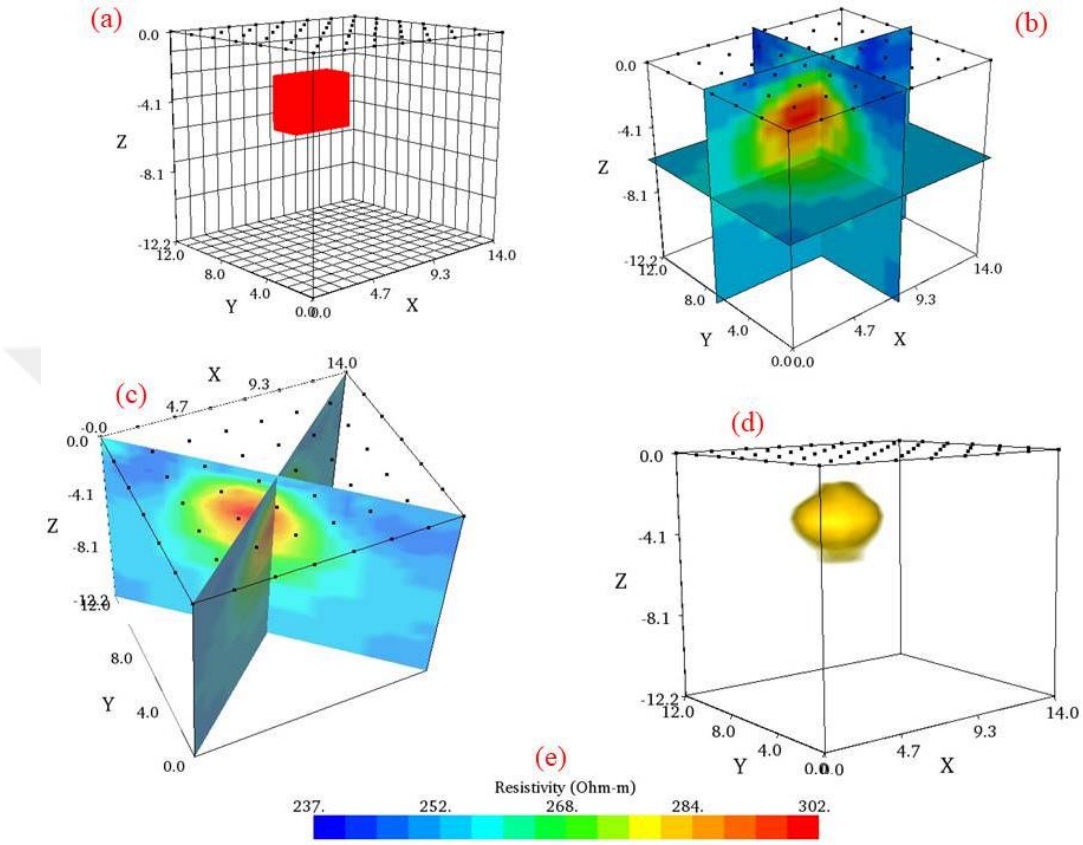
Bu modele % 1 gürültü eklenerek pol pol 3D ERT model ölçümü ters çözüm sonucunda, yakınsama eğrisi ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri Şekil 3.33:'de yer almaktadır. 1. Yineleme sonucunda % 0,97 hata oranı ile üstte ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri altta görülmektedir.



Şekil 3.33: Pol Pol 3D ERT ters çözüm yakınsama eğrisi (üstte), ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri (altta).

Modele uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda, yapay model Şekil 3.34: (a) da, ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan 3D kesitler Şekil 3.34: (b) de yer almakta olup modeldeki yüksek özdirençli blok 3D kesitlerde görülmektedir. Ters çözümde bulunan modelin çapraz kesitlerde görünümü Şekil 3.34: (c) de yer almakta olup, bloğun olduğu lokasyonda yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Ters çözümde bulunan modele düşük özdirençli 275 Ωm 'nin altındaki özdirençleri kapatarak sadece yüksek özdirenci göster dediğimizde elde edilen küp model Şekil 3.34: (d) de yer almakta olup, modeldeki yüksek özdirençli bloğun bulunduğu yerde yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Özdirenç lejantı Şekil 3.34: (e) de yer almaktadır. Modelde tümülüs yığması 250 Ωm olarak verilmiştir ve ters çözüm sonucunda elde edilen 3D küp modelde de özdirenç dağılımı 250 Ωm civarındadır.

Elde edilen kesitler, 3D görünümlere göre pol pol 3D ERT dizilimi ters çözüm sonuçları, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını başarılı bir şekilde görüntülemiştir.



Şekil 3.34: Pol Pol 3D ERT ters çözüm sonuçları, a; yapay özdirenç modeli, b; ters çözüm 3D kesitler, c; ters çözüm çapraz kesitler, d; sadece yüksek özdirençli seviyeler açılı görünüm, e; özdirenç lejantı.

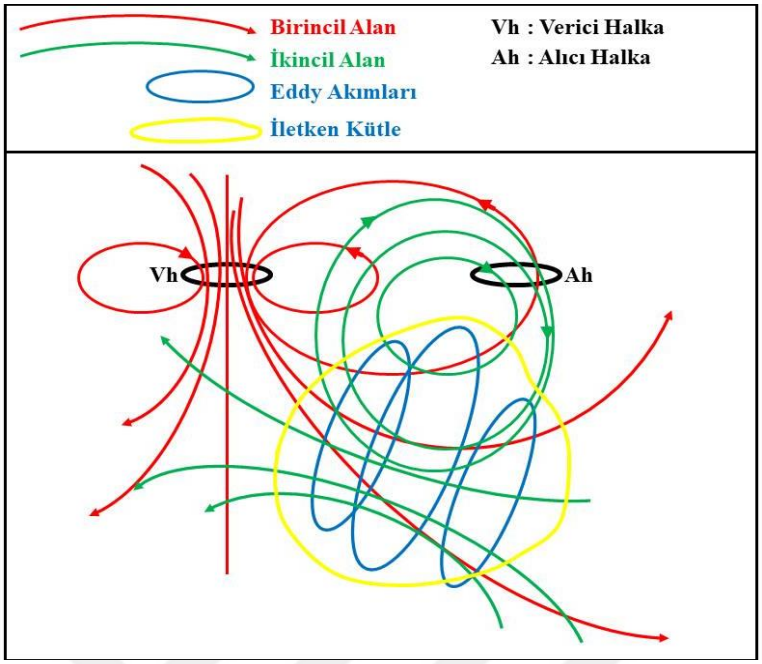
Model çalışmalarında, 2D ERT dizilimlerinin profil uzunlukları ve tahmini araştırma derinlikleri aşağıdaki Tablo 3.2: ‘de yer almaktadır.

Tablo 3.2: 3D ERT Elektrot dizilimlerine göre tahmini araştırma derinlikleri.

Dizilim Türü	Alan Ebatları x (m.) – y (m.)	Tahmini Araştırma Derinliği (m.)
Dipol-Dipol	14-12	3.23
Pol-Dipol	14-12	4.95
Pol-Pol	14-12	11.06

3.2. YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK YÖNTEM (YHEM)

Yatay halka elektromanyetik yöntemi (YHEM), İngilizce karşılığı HLEM (Horizontal loop electromagnetic method), Slingram olarak da bilinmektedir. YHEM yöntemi 35 Hz ile 60 kHz frekansları arasında çalışabilen, frekans ortamı elektromanyetik yöntemdir. YHEM yöntemi adını halka şeklinde sarım sayısı çok fazla olan iki adet bobinlerden almıştır. Bu bobinlerden ilkine (Verici halka) bir sinyal jeneratörü veya verici ile sinüs biçimli gerilim (voltaj) uygulandığında, uygulanan gerilimin frekansına, bobinin direncine bağlı olarak bobini oluşturan bobin telinde (izoleli yalıtılmış bakır v.b. iletken tel) bir akım oluşur. Bobin telinde oluşan frekansa bağlı dalgalı (alternatif) akım da, telin çevresinde frekansına bağlı yönü değişen bir manyetik alan meydana getirir. Bobinin merkezinden geçen, her yöne yayılan, telde oluşmuş akımın frekansında, aşağı ve yukarı yönde yer değiştiren bu manyetik alana birincil manyetik alan denir ve H_p (H magnetic primary) ifadesi ile gösterilir. Birincil alan yer içerisine nüfuz eder etmez indüksiyon olayı meydana gelir. İletken ortamlar üzerinde, birincil manyetik alan indüksiyon olayı neticesinde birincil manyetik alan yönüne dik, birincil manyetik alanın çevresini saracak şekilde (iletken kütlenin geometrisi veya kabaca halka şeklinde) elektrik akımlarının (Eddy currents) oluşmasına neden olur. Oluşan Eddy akımları iletkenliğe bağlı olarak çok güçlü veya ortamın çok dirençli olmasına bağlı olarak çok zayıf oluşur. İletken ortamı, yer altında uçları birbirine bağlı, az veya çok sarımlı gizli bir bobin veya kablo yığını varmış gibi düşünebiliriz. Birincil alanın neden olduğu Eddy akımları oluşurken oluşum yönüne (akımın akış yönü) dik veya oluşum yönünün çevresinde (halka şeklinde) ikincil manyetik alan meydana gelir. İkincil manyetik alan H_s (H magnetic secondary) ile ifade edilir. YHEM yönteminde kullanılan ikinci halka da (alıcı halka) çok sarımlı bir bobindir. İkinci halkada oluşan birincil ve ikincil manyetik alanların toplamından bir dizi hesaplamalarla ikincil manyetik alan (H_s) hesaplanır. YHEM yönteminde ikinci manyetik alanın birincil manyetik alana oranı (H_s/H_p) gerçel ve sana bileşenler % cinsinden sonuç olarak kaydedilir (Özürlan ve diğ, 2005). YHEM yönteminde, verici alıcı halkalarla, birincil alanın, Eddy akımlarının, iletken kütle ve ikincil alanın oluşumu Şekil 3.35:'de yer almaktadır.

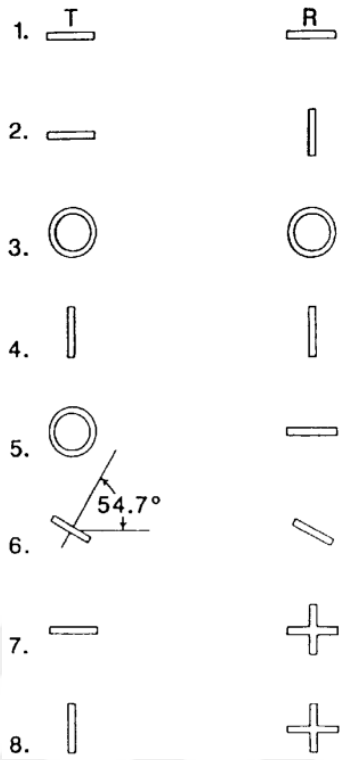


Şekil 3.35: YHEM yöntemde, verici ve alıcı halkalarla, birincil alan, Eddy akımları, iletken kütle ve ikincil alanın oluşumu (Klein and Lajoie, 1980'den düzenlenmiştir).

YHEM yöntemi, yeraltındaki iletken ve dirençli ortamların ayırt edilmesinde, kırık-çatlak, fay v.b. süreksizliklerin araştırılmasında, yeraltısuyu, jeotermal, maden, çevre sorunları, mühendislik jeofiziği ve arkeoloji alanlarında Jeofizik mühendislerince kullanılmaktadır (Özürlan ve diğ, 2005).

3.2.1. YHEM Yöntemi Ölçüm Teknikleri

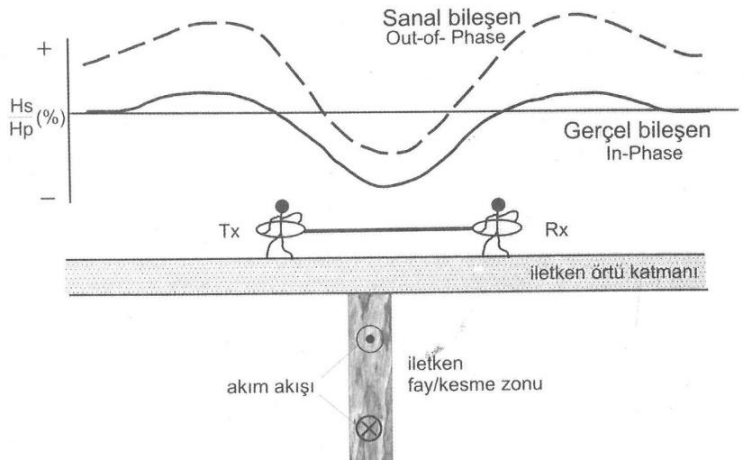
YHEM yöntemi uygulamalarında alıcı verici halkalar arası sabit tutularak kaydırma, alıcı verici aralıkları bir merkez noktaya göre kademeli açılarak ve yüksek frekanstan düşük frekansa doğru ölçümler yapılarak delgi, paralel hatlar veya çok sayıda delgi sonuçları dikkate alınarak haritalama ölçümleri gerçekleştirilir. YHEM yöntemi verici ve alıcı halkaların ölçüm düzenekleri Şekil 3.36:'da yer almaktadır. Uygulamada en çok kullanılan halka konumu, uygulama kolaylığı ve ölçüm hızı nedeniyle, Şekil 3.36:-1'deki verici ve alıcı halkanın yatay konumda olduğu düzenektir. YHEM yöntemini uygulayan cihazların bir kısmı yüzeye yakın sığ derinlikli araştırmalarda kullanılırken, 400 m. ve üstü derinliklere (1500 m.) ulaşabilen çok sayıda frekansta ölçü yapabilen cihazlar da geliştirilmiş ve araştırmacılar tarafından YHEM yöntemi uygulanmaktadır (Özürlan ve diğ, 2005).



Şekil 3.36: YHEM yöntemi verici ve alıcı düzenekleri (Reynolds, 1997).

3.2.2. YHEM Yönteminde Ölçülen Büyüklükler

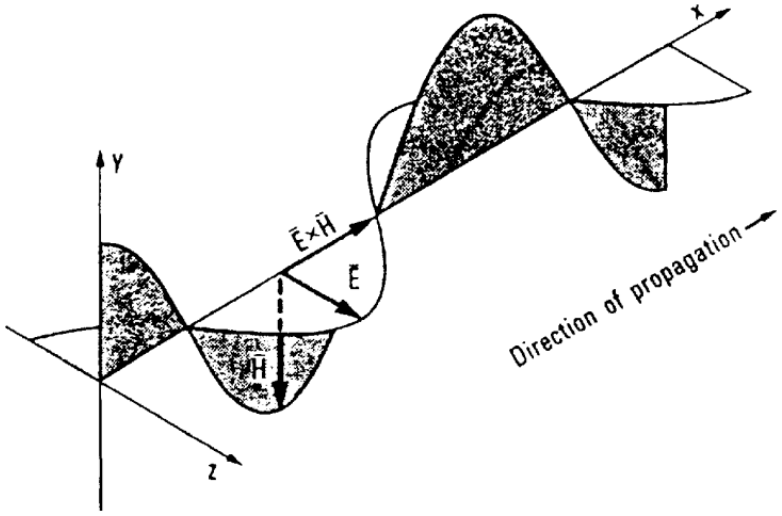
YHEM yönteminde yapılan ölçümlerde, yerdeki iletken kütleden kaynaklanan ikincil manyetik alanın, birinci halkada oluşan birincil manyetik alana oranı (H_s/H_p) % cinsinden birimsiz olarak iki bileşen ölçülür. Bu bileşenlere gerçel (real) ve sanal (imaginary) bileşenlerdir. Gerçel ve sanal bileşenlerin iletken bir kütle üzerinde ölçülecek kuramsal eğrisi Şekil 3.37:'de yer almaktadır.



Şekil 3.37: Düşey bir iletkende YHEM yöntemi ölçüm ve kuramsal eğrisi (Özürlan ve diğ, 2005).

3.2.3. YHEM Yönteminde EM Ölçüm Prensipleri

EM yöntemler elektromanyetik dalgaların yer içindeki tepkisini inceler. Elektromanyetik dalgaların yayılma olayı alternatif elektromanyetik dalgaların elektrik yoğunluğu (E) ve manyetik kuvveti (H) olmak üzere iki dikey vektör bileşeninden oluşan alternatif elektromanyetik dalgaların yayınımı ile ilişkilidir (Şekil 3.38:). Bir elektromanyetik alan, çok sayıda tel sarımı içeren küçük bir bobin veya büyük bir tel döngüsünden alternatif bir akım geçirilerek üretilebilir. Genel olarak, yerin üstünde ve altında yayılan birincil elektromanyetik alanı oluşturmak için bir verici bobin kullanılır. EM dalgalar, yüzey altı ortamdan geçtiğinde, havada yayılana göre biraz değiştirilir. Yeraltında iletken bir ortam varsa, gelen EM dalgalarının manyetik bileşeni iletkeni indükler ve Eddy akımlarını oluşturur. Bu Eddy akımları daha sonra bir alıcı tarafından algılanan kendi ikincil EM alanını oluşturur (Şekil 3.35:). Alıcı ayrıca havada dolaşan birincil alanı da algılar, bu nedenle alıcının genel yanıtı hem birincil hem de ikincil alanların birleşik (sonuç) etkisidir. Sonuç olarak, ölçülen tepki, değiştirilmemiş birincil alana göre hem faz, hem de genlik açısından farklılık gösterecektir. Bu bileşenlerin farklılık derecesi, herhangi bir yüzey altı iletkeninin geometrisi, boyutu ve elektriksel özellikleri hakkında önemli bilgiler ortaya çıkarır.



Şekil 3.38: EM dalganın birbirine dik, elektrik (E) ve manyetik (H) iki temel bileşeni ve yayınımı (Reynolds, 1997).

İncelenen zeminin şu bileşenlerden oluştuğunu dikkate almak yararlıdır: indüktif (L), dirençli (R) ve kapasitif (C); elektrik devresi eşdeğeri Şekil 3.39:'da gösterilmiştir. Uygulanan alternatif bir voltajın (E) genliği şu şekilde verilir:

$$E = E_0.\text{Sin}\omega t \tag{3.21}$$

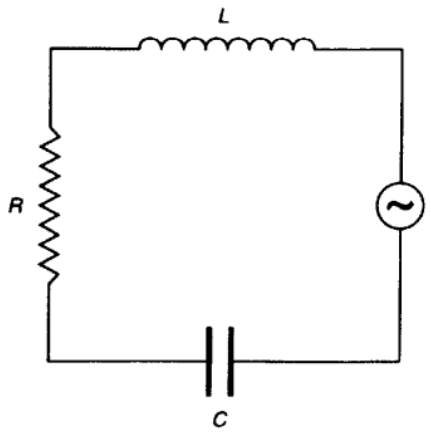
Eşdeğer devre (Şekil 3.39:) içindeki akım (I) şu şekilde tanımlanır:

$$I = E_0.[(\omega L-(\frac{1}{\omega C}))^2 + R^2]^{-1/2}\, \text{Sin}(\omega t-\alpha) \tag{3.22}$$

Bu denklemde $\omega=2\pi f$ (açısal frekans), α:faz gecikmesi dir ve α:

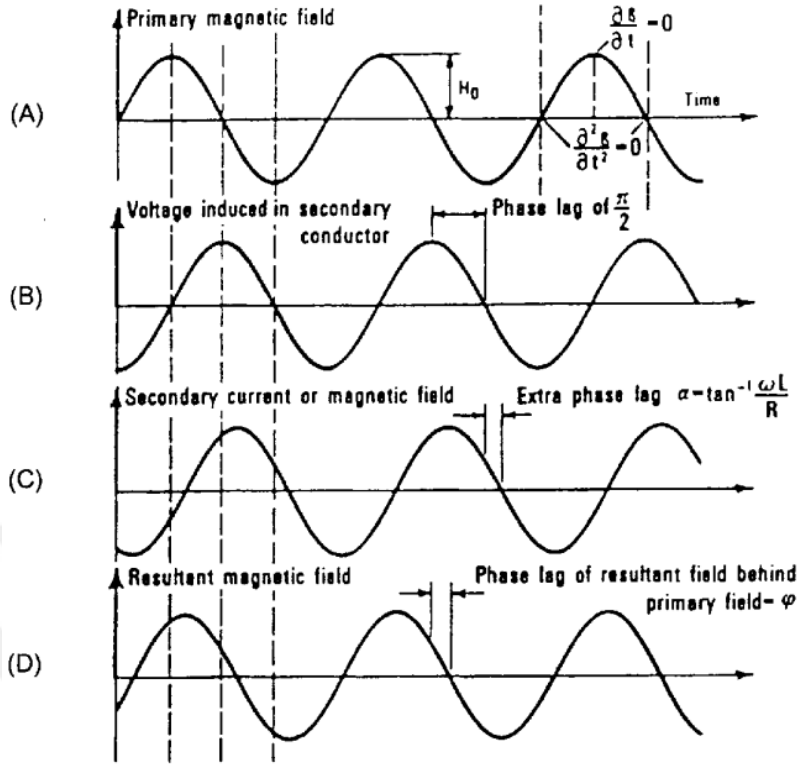
$$\alpha = \tan^{-1} [(\omega L - (\frac{1}{\omega C})] / R \tag{3.23}$$

olarak tanımlanır. Yukarıdaki (3.22) ve (3.23) denklemlerinde L:indüktans, C:kapasitans ve R:dirençtir. Alternatif bir voltajın genliği yukarıdaki denklemlerde açıklandığı gibi, zamanın bir fonksiyonu olarak değişen, ω açısal frekansı ve E_0 genliği olan bir sinüs dalgasından gelmektedir. Akan akım (I), uygulanan voltajın α (faz gecikmesi) miktarı kadar gerisindedir.



Şekil 3.39: Yerin eşdeğer davranışını tanımlayan üç elektrik bileşeni olan kapasitans (C), indüktans (L) ve direnç (R) içeren temel elektrik devresi (Reynolds, 1997).

EM ölçümde, bir EM dalgasının özelliklerine uygun olarak, ortogonal elektrik bileşeni (E) ile aynı fazda olan bir birincil manyetik alan uygulanır (P) (Şekil 3.38). Sonuç olarak, birincil manyetik dalganın çıkış noktası $P=H_0\text{Sin}\omega t$ 'dir, burada H_0 manyetik dalganın tepe genliğidir (Şekil 3.40:-A). Gelen birincil manyetik alanın bir sonucu olarak ikincil bir mükemmel iletkene indüklenen voltaj, birincil manyetik alanın π/2 kadar gerisinde kalır (Şekil 3.40:-B).

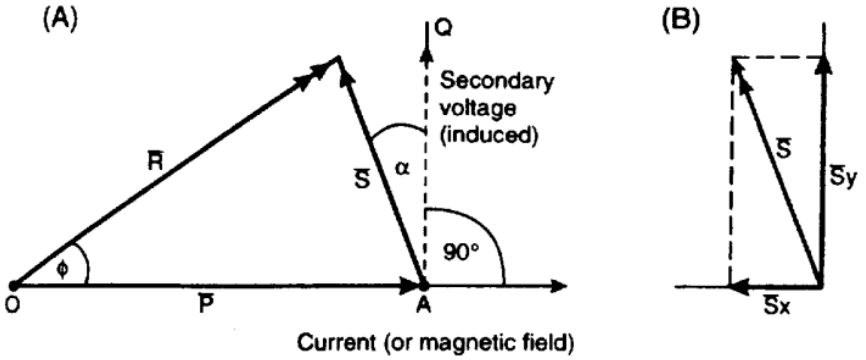


Şekil 3.40: İndüklenen voltajlar ile birincil, ikincil ve sonuç manyetik alanları arasındaki faz gecikmeleri (Reynolds, 1997).

Faraday'ın EM indüksiyon yasasına göre, indüklenen voltajın büyüklüğü manyetik alanın değişim hızı ile doğru orantılıdır. Manyetik alan maksimum veya minimumda olduğunda indüklenen voltaj sıfır olacaktır (Şekil 3.40:-B). Bir iletken içindeki Eddy akımlarının oluşması, indüklenen bir voltajdan kaynaklanan sonlu bir zaman alır. Bu üretim süresi, iletkenin elektriksel özelliklerine bağlı olan gecikme α (Şekil 3.40:-C) fazı olarak kendini gösterir. İyi iletkenlerde bu faz gecikmesi büyük olabilir ve tersine zayıf iletkenlerde faz gecikmesi küçüktür. Bir kez oluşturulduktan sonra ikincil manyetik alan, birincil alanın arkasında toplam faz gecikmesine ($\phi = \pi/2 + \alpha$) sahip olur ve sonuçta birincil manyetik alan ile (Şekil 10.11:-D) etkileşime girer.

Birincil, ikincil ve sonuç alanları arasındaki ilişki vektör biçiminde gösterilebilir (Şekil 3.41:-A). Gerçek (veya faz içi) ve sanal (faz dışı veya karesel) bileşenler vektör diyagramında gösterilir. Birincil manyetik alan P olarak adlandırılır ve Şekil 3.40:-A'da gösterilen zamanla değişen dalga ile ilgilidir. İndüklenen voltaj (Şekil 3.40:-B) birincil alanın $\pi/2$ (90 derece) gerisindedir ve ikincil akım veya manyetik alan α fazı ile geride kalır (Şekil 3.40:-C) ve S büyüklüğüne (genliğine) sahiptir. Normal konvansiyonlara göre vektör diyagramlarının vektör

paralelkenarı tamamlanarak, birincil ve ikincil alanlardan elde edilen R (sonuç alanı)'si (Şekil 3.41:-A) daha sonra toplam faz gecikmesi ϕ ile tanımlanır (Şekil 3.40:-D). İkincil alan S, dikey ve yatay bileşenlerinin vektörel toplamı ile tanımlanabilir (Şekil 3.41:-B). Hangi ekipman sisteminin kullanıldığına bağlı olarak, yeraltı yapılarının elektriksel özelliklerinin bir göstergesinin elde edilebildiği bu bileşenlerin bir kısmı ölçülebilir (Reynolds, 1997).



Şekil 3.41: (A) Birincil ve ikincil alanların büyüklüklerini ve faz ilişkilerini tanımlayan Vektör diyagramı. (B) İkincil gerilim (Sy) ve akım veya birincil manyetik alan (Sx) cinsinden ikincil alanın vektörel bileşenleri (Reynolds, 1997).

3.3. ÇİFT YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK YÖNTEMİ (ÇYHE)

Tez konumuz olan Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüsleri, eğimli dik yamaçlı yapısı, sık çalı, bitki örtüsü, üzerinde yürümenin bile çok zor olması ve büyüklükleri dikkate alındığında, hızlı bir şekilde tek bir kişinin ölçü yapabileceği YHEM yöntemine benzer bir ölçüm cihazı ve ekipmanları tasarlanmıştır. Tez kapsamında, Çift Yatay Halka Elektromanyetik olarak adlandırdığımız (ÇYHE) bir ölçüm cihaz ve ekipmanları tarafımızca geliştirilmiştir. ÇYHE yöntemde verici olarak sinyal jeneratörü ve alıcı olarak multimetre kullanılmıştır. Yatay halkalar ise tarafımızca sarılarak, çok sayıda deney ve test işlemlerinden sonra sinyal jeneratörü ve voltmetre ile uyumlu ve verimli bir şekilde çalışan, ölçümler için ideal bir ekipman haline getirilmiştir.

3.3.1. ÇYHE Yöntemi Kuramı

ÇYHE yöntemi görsel açıdan iki halka içermesi ve sinyal jeneratörü ile verici halkaya dalgalı gerilim uygulaması bakımından YHEM yöntemine benzemektedir. YHEM yönteminden farkı ise, alıcı halkada analog sayısal dönüştürücü (ADC Analog digital converter) kullanılmamakta bunun yerine multimetre ile veri toplanmakta, faz farkı dikkate alınmamaktadır. Toplanan veri

Şekil 3.35:'te görsel olarak verilen H_p ve Eddy akımlarının oluşturduğu H_s alanlarının toplamından oluşmaktadır. Verici halkaya uygulanan dalgalı gerilim sonucu verici halkada oluşan dalgalı akım H_p manyetik alanını oluşturur. Oluşan H_p manyetik alanı doğrudan havadan alıcı halkaya ulaşır ve onu indükler. Alıcı halkada indüksiyon sonucu I akımı ve V gerilimi oluşur. Oluşan bu gerilime H_{pv} diyebiliriz. H_p manyetik alanı aynı zamanda yeraltında iletken ortamlarda Eddy akımlarını oluşturur ve bu akımların çevresinde H_s manyetik alanı oluşur. H_s manyetik alanı da alıcı halkayı indükler ve alıcı halkada I akımı ve V gerilimi oluşur. Oluşan bu gerilime de H_{sv} diyebiliriz. Alıcı halkada oluşan toplam gerilimi (A_{hv}) aşağıdaki şekilde yazabiliriz;

$$A_{hv} = H_{pv} + H_{sv} \tag{3.24}$$

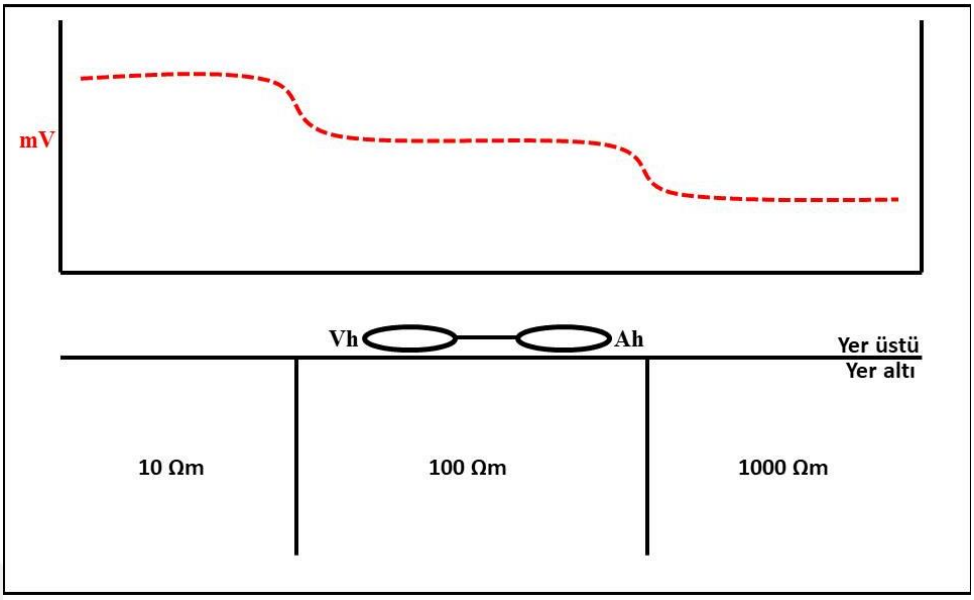
YHEM yönteminde anlatılan faz farkından bağımsız A_{hv} alıcı halkadaki toplam gerilimi, ölçü yapılan, verici ve alıcı halkaların orta noktasının izdüşümündeki iletkenliğin derecesine bağlı bir gerilim değerini temsil etmektedir. Alıcı halkada kullanılan multimetre, devreden geçen en etkin gerilim değerini okumaktadır. Diğer bir ifade ile sinüs biçimli alternatif gerilimin tepe noktası veya pozitif genliği okumaktadır. H_p ve H_s manyetik alanlarının neden olduğu gerilimlerin toplamı da (3.24) denkleminde verildiği üzere ölçü noktasının iletkenliğe bağlı alıcı halkadaki toplam gerilim değeridir. Bu işlem bir hat boyunca sıralı bir şekilde her ölçü noktasında verici halkadan sabit H_p manyetik alanı oluşturularak A_{hv} ölçüldüğünde yer içinde iletkenlik değiştikçe H_s ve buna bağlı H_{sv} değişecektir. Bu durumda ölçülen A_{hv} değeri H_s ve H_{sv} nin değişimine bağlı olacaktır. (3.24) denklemini H_p 'yi ve H_{pv} 'yi sabit kabul edip ihmal ederek tekrar düzenlediğimizde;

$$A_{hv} = H_{sv} \tag{3.25}$$

Elde edilir ve;

$$\text{İletkenlik değişimi} = A_{hv} = H_{sv} \tag{3.26}$$

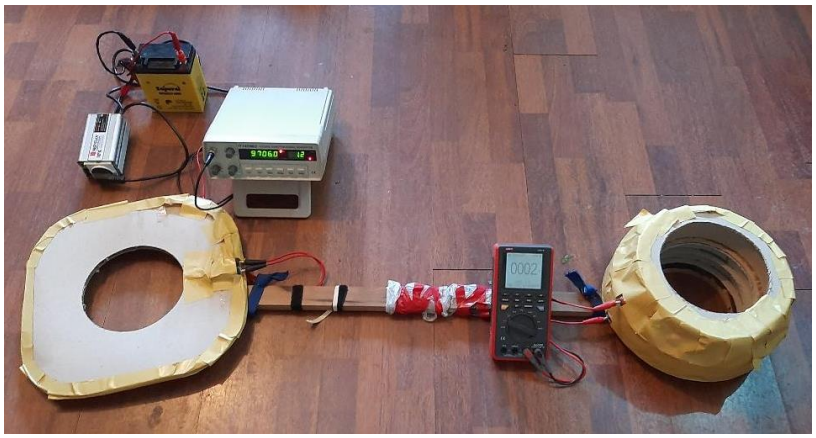
elde edilir. (3.26) denkleminde ölçülen değer mV (milivolt)'dir. Hat boyunca veya belirli bir alanda rastgele ölçü dağılımı sonucunda elde edilen mV değerleri sıralandığında, en yüksek mV değerleri iletken, en düşük mV değerleri dirençli ortamları gösterir. İletkenlik değişimini göreceli olarak sınıflar da diyebiliriz. ÇYHE yöntemi mV grafiği iletken ve dirençli ortamlar için temsili gösterimi Şekil 3.42:'de yer almaktadır.



Şekil 3.42: Farklı iletken ortamlarda ÇYHE yöntemin tepkisinin temsili gösterimi.

3.3.2. ÇYHE Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar

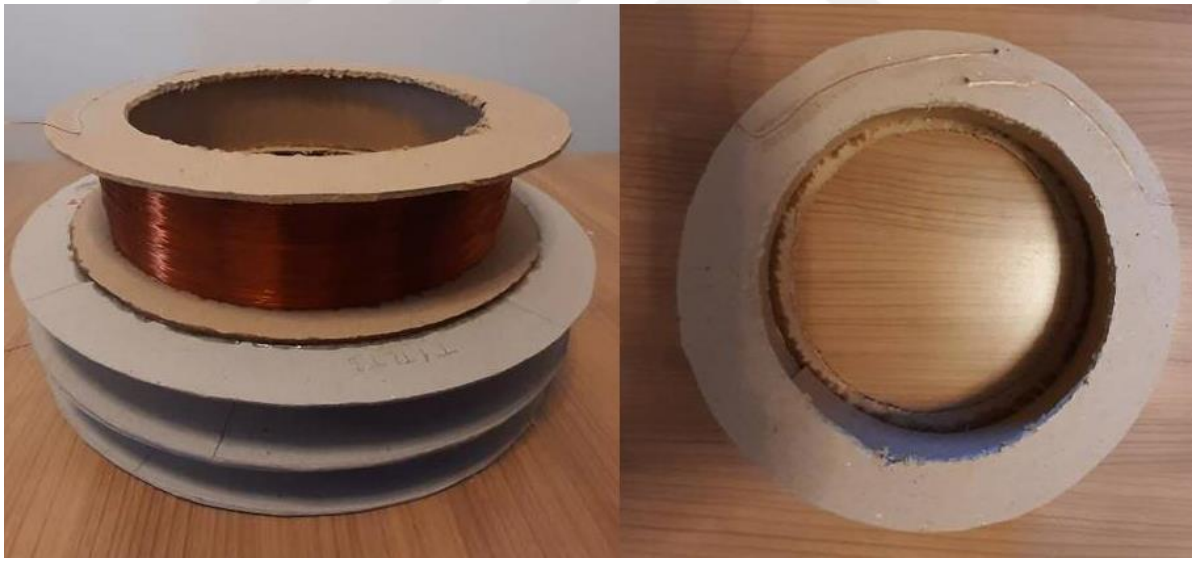
ÇYHE yönteminde kullanılan ekipmanlar, 12 Volt 7 Ah (amper-saat) taşınabilir motor aküsü, 150 watt DC-AC inverter (çevirici), 0.1 Hz ile 2.2 MHz arası frekanslarda, 1.2-10.2 arası volt çıkışlı, sinüs, üçgen ve kare biçimli dalga üretebilen sinyal jeneratörü, 1 mV ile 750 V arası ölçü yapabilen AC frekansı gösterebilen multimetre, verici ve alıcı halkalar için 0.3-1.2 mm. arası çaplarda bobin telleri, halkaların sarıldığı makaralar için mukavva, halkaların üzerine yerleştirildiği ahşap şase ve ölçü noktalarının koordinatlarını almak için GPS'dir. ÇYHE yönteminde kullanılan ekipmanlar Şekil 3.43:'de yer almaktadır.



Şekil 3.43: ÇYHE yönteminde kullanılan ekipmanlar.

3.3.3. ÇYHE Yöntemi Alıcı Ve Verici Halka Deneyleri

Alıcı ve verici halkalar, arazi koşullarında rahat taşınabilir büyüklükte, ahşap bir şaseye monte edilebilir şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Başlangıç çift halkaların iç çapı 20 cm. ve yüksekliği 3 cm. mukavvadan hazırlanan makara üzerine, 0.3 mm. çapında bobin teli sarılmıştır. Başlangıç deneyinde her bir halkaya 100 gr. bobin teli sarılmıştır. İlerleyen deney sonuçlarına göre halkaların yüksekliklerinde değişikliğe gidilmiştir. Sarım için mukavvadan bir kasnak üzerine yerleştirilen makaralara sırasıyla elle sarım yapılmıştır. Mukavva kasnak üzerine sarım yapılmış halka Şekil 3.44:'de yer almaktadır. 20 cm. çapında, 3 cm. yüksekliğinde ve 100 gr. ağırlıklı sarılan iki bobinle deneylere başlanmıştır. Halkalardan biri verici halka (VH) olup sinyal jeneratörü çıkışı VH 'ye bağlanmıştır. İkinci halka alıcı halka (AH) olup multimetrede AC volt (gerilim) ölçüm uçlarına bağlanmıştır. Deneylerde ilk önce, halkaların merkezleri arası 30 cm. mesafede sinüs, üçgen ve kare dalga biçimlerinin verimliliği ve etkin frekans incelenmiştir.



Şekil 3.44: Halkaların görünümü.

İkinci deneyde, ilk deneyde belirlenen etkin dalga biçiminde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Üçüncü deneyde, ilk deney sonucu belirlenen etkin frekansta, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Dördüncü ve son deneyde, VH 'nın girişine multimetre

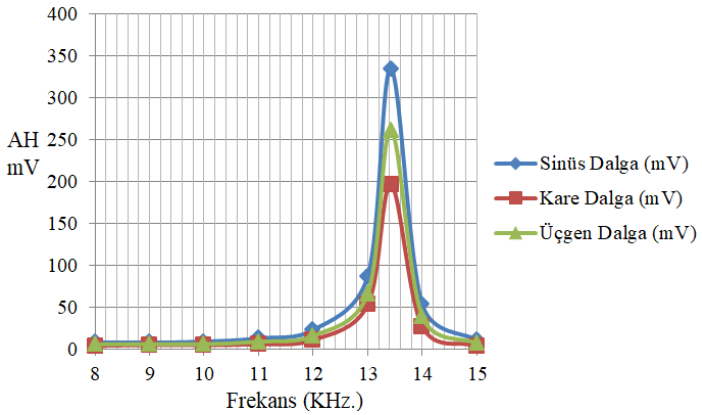
bağlanarak, farklı frekanslarda, 1.2 V ile 10 V arasında, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj ölçümlenerek, geçen voltajın frekansa tepkisi ve akım amper ilişkisi incelenmiştir.

3.3.3.1. AH VH 100 Gr. Deneyleri

AH ve VH her biri 100 gr. 0.3 mm. 20 cm. çapında ve 3 cm. yüksekliktedir. AH ve VH 'nin direnç değerleri AH=38 Ω, VH=39 Ω 'dur. AH ve VH halkaların merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare ve üçgen dalgaların frekans tepki değerleri Tablo 3.3:'de, grafiği Şekil 3.45:'de yer almaktadır. Tablo 3.3: ve Şekil 3.45: incelendiğinde, 100 gr. Ağırlıklı AH ve VH çiftinin, en etkin frekansının her üç dalga biçiminde de, 13.426 KHz olduğu belirlenmiştir. Sinüs, kare ve üçgen dalga biçimlerinin indüksiyon sonucu oluşan gerilim değerleri incelendiğinde, en verimli dalga biçimin 334 mV ile sinüs biçimli dalgası olduğu, üçgen dalga biçiminde 261 mV ve en düşük genliği kare dalga biçiminde 196 mV ölçümlenmiştir. Bu deneyde sinüs dalgası biçimi EM ölçümlerde en verimli dalga şekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.3: AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	Sinüs Dalga (mV)	Kare Dalga (mV)	Üçgen Dalga (mV)
8	8	4	6
9	8	5	6
10	9	5	6
11	13	6	9
12	23	11	16
13	87	53	66
13.426	334	196	261
14	53	27	39
15	11	4	7

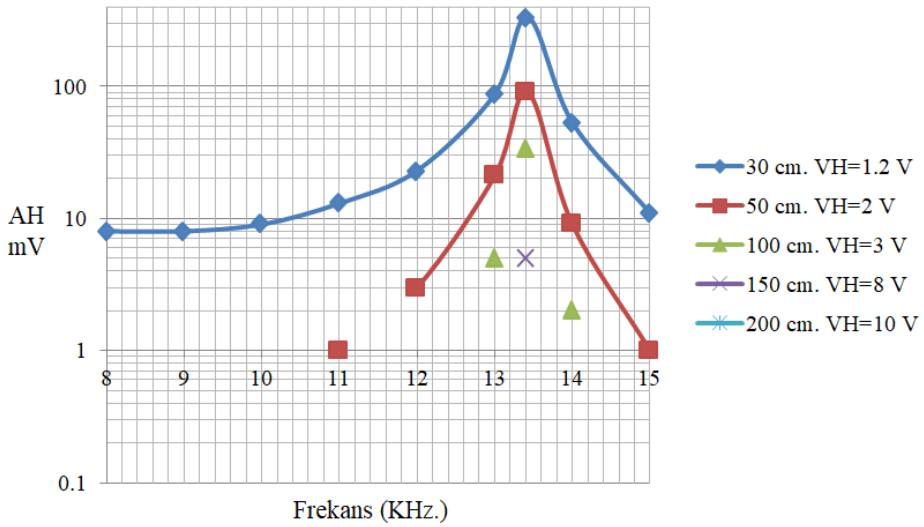


Şekil 3.45: AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği.

İkinci deneyde, ilk deneyde belirlenen en etkin sinüs dalga biçiminde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Tablo 3.4:'de AH ve VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. de iken sinüs dalgasının, frekans tepki değerleri yer almaktadır, bu değerlerin grafik gösterimi de Şekil 3.46'da yer almaktadır. İlk deneyde sadece 30 cm. mesafede etkin frekans incelenmişti, bu deneyde ise diğer uzaklıklarda da 13.426 KHz etkin frekans olduğu belirlenmiştir. Gerilim uzaklıkla kademeli arttırılmıştır. 200 cm. uzaklıkta VH 'ya 10 V çıkış gerilimi verilmesine rağmen AH'da gerilim okunamamıştır.

Tablo 3.4: AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	30 cm. VH=1.2 V	50 cm. VH=2 V	100 cm. VH=3 V	150 cm. VH=8 V	200 cm. VH=10 V
8	8	0	0	0	0
9	8	0	0	0	0
10	9	0	0	0	0
11	13	1	0	0	0
12	23	3	0	0	0
13	87	21	5	0	0
13.426	334	90	34	5	0
14	53	9	2	0	0
15	11	1	0	0	0

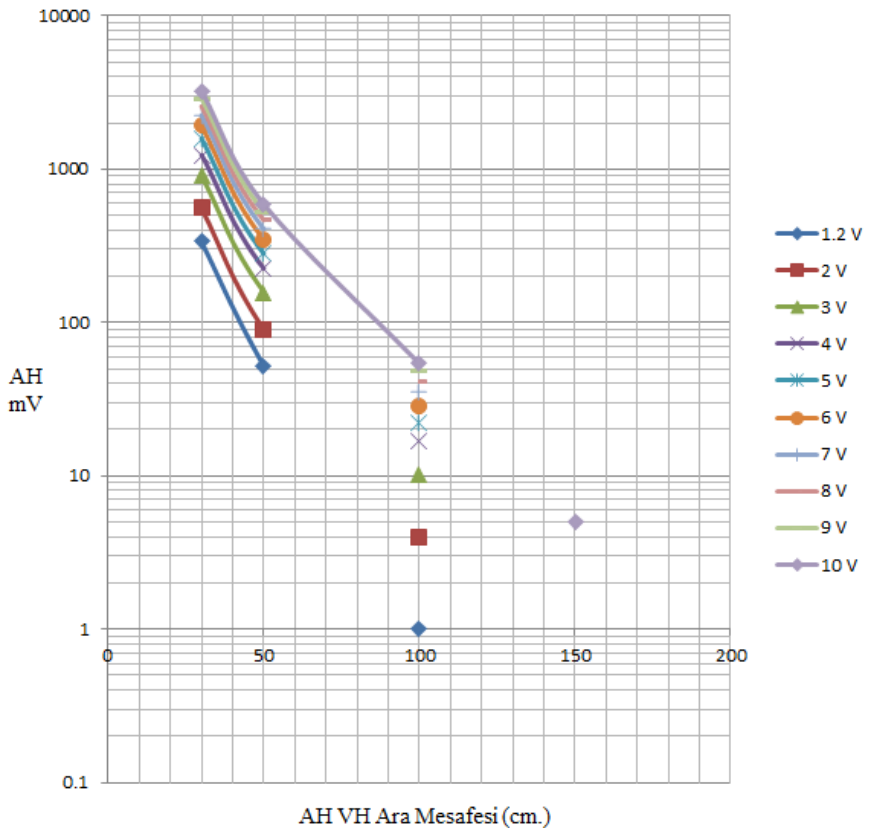


Şekil 3.46: AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği.

Üçüncü deneyde, ilk iki deney sonucu belirlenen etkin frekansta, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında kademeli indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.5:'de ve sonuçları içeren görsel grafik Şekil 3.47:'de yer almaktadır. 100 gr. AH ve VH halkalarının en etkin 13.4 KHz frekansında halka merkezleri arası 150 cm. de, 10 V sinyal jeneratörü çıkışında ürettiği en yüksek gerilim 5 mV ölçümlenmiştir. 200 cm. mesafede değer okunamamıştır.

Tablo 3.5: 13.4 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri.

VH-AH Mesafe (cm.)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
30	335	555	903	1239	1577	1901	2241	2567	2891	3225
50	52	90	158	225	281	347	407	465	527	592
100	1	4	10	17	22	29	35	42	48	54
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

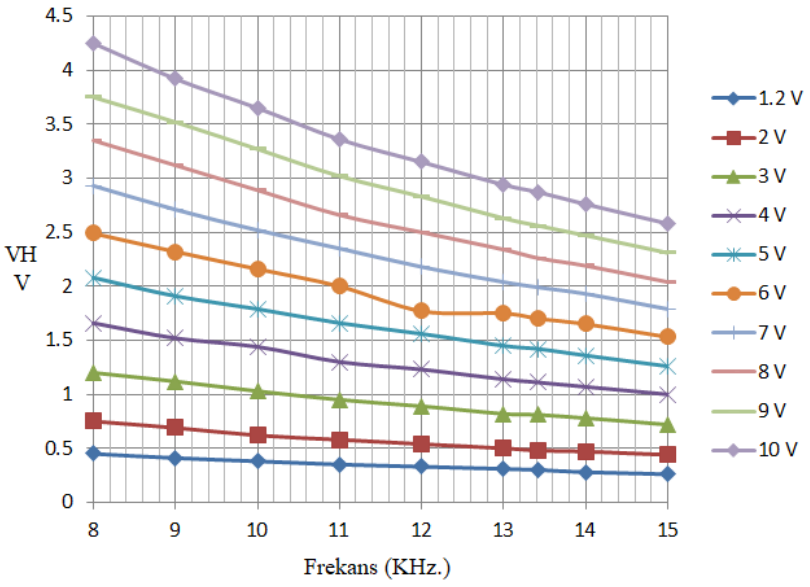


Şekil 3.47: 13.4 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği.

Dördüncü ve son deneyde, sinyal jeneratörü çıkışı VH ‘nın girişine multimetre bağlanarak, farklı frekanslarda, 1.2 V ile 10 V arasında, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj ölçümlenerek, geçen voltajın frekansa tepkisi ve akım amper ilişkisi incelenmiştir. Tablo 3.6:’da deney sonuçları, görsel grafiği Şekil 3.48:’de yer almaktadır. Tablo ve grafik incelendiğinde, frekans arttıkça bobinin gerilimi iletmekte zorlandığı ve gerilim kaybı yaşandığı görülmektedir. En etkin 13.426 KHz ’de, sinyal jeneratöründe 10 V çıkış verilmesine rağmen bobinden geçen gerilim 2.87 V ’dur. VH nin 39 Ω direnci dikkate alındığında Ohm yasasına göre 13.426 KHz frekansta 100 gr. VH bobininde 2.87 V gerilim oluşmakta, VH bobininde telden geçen akım 0.0736 amperdir.

Tablo 3.6: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj değerleri.

Frekans (KHz)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
8	0.45	0.75	1.2	1.66	2.08	2.49	2.93	3.35	3.75	4.25
9	0.41	0.69	1.12	1.52	1.91	2.32	2.71	3.12	3.52	3.92
10	0.38	0.62	1.03	1.44	1.79	2.16	2.52	2.89	3.27	3.65
11	0.35	0.58	0.95	1.3	1.66	2	2.35	2.66	3.02	3.36
12	0.33	0.54	0.89	1.23	1.56	1.77	2.18	2.5	2.83	3.15
13	0.31	0.5	0.82	1.14	1.45	1.75	2.04	2.34	2.63	2.94
13.426	0.3	0.48	0.81	1.11	1.42	1.7	1.99	2.26	2.56	2.87
14	0.28	0.47	0.78	1.07	1.36	1.65	1.93	2.19	2.47	2.76
15	0.26	0.44	0.72	1	1.26	1.53	1.79	2.04	2.31	2.58



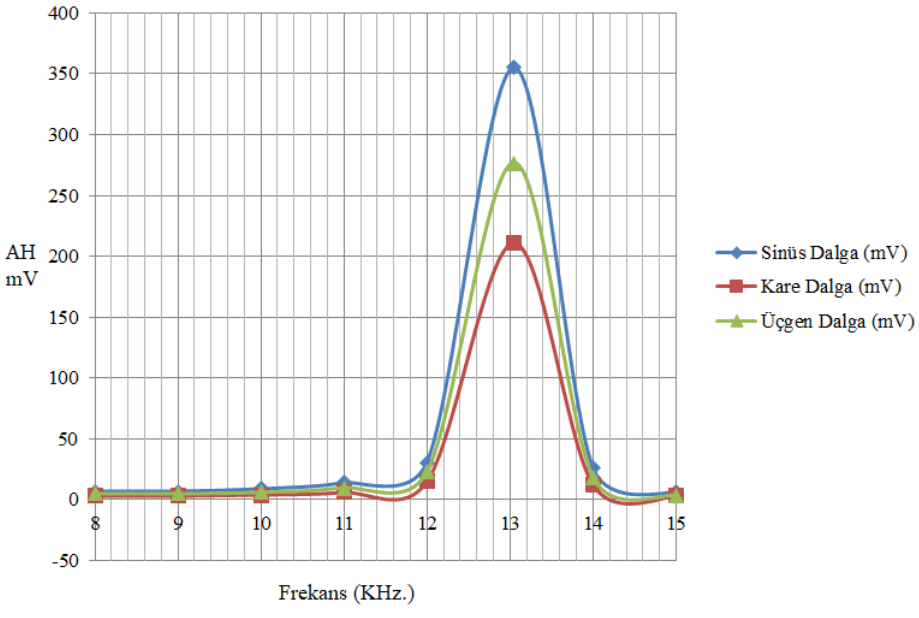
Şekil 3.48: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği.

3.3.3.2. AH VH 250 Gr. Deneyleri

AH ve VH her biri 250 gr. 0.3 mm. 20 cm. çapında ve 3 cm. yüksekliktedir. AH ve VH 'nin direnç değerleri AH=97 Ω, VH=95 Ω 'dur. AH ve VH halkaların merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare ve üçgen dalgaların frekans tepki değerleri Tablo 3.5:'de, grafiği Şekil 3.49:'da yer almaktadır. Tablo 3.7: ve Şekil 3.49: incelendiğinde, 250 gr. Ağırlıklı AH ve VH çiftinin, en etkin frekansının her üç dalga biçiminde de, 13.05 KHz olduğu belirlenmiştir. Sinüs, kare ve üçgen dalga biçimlerinin indüksiyon sonucu oluşan gerilim değerleri incelendiğinde, en verimli dalga biçimin 355 mV ile sinüs biçimli dalgası olduğu, üçgen dalga biçiminde 277 mV ve en düşük genliği kare dalga biçiminde 211 mV ölçümlenmiştir. Bu deneyde sinüs dalgası biçimi EM ölçümlerde en verimli dalga şekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.7: 250 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	Sinüs Dalga (mV)	Kare Dalga (mV)	Üçgen Dalga (mV)
8	7	3	5
9	7	3	5
10	9	4	6
11	14	6	10
12	31	15	23
13.05	355	211	277
14	26	12	18
15	6	3	4

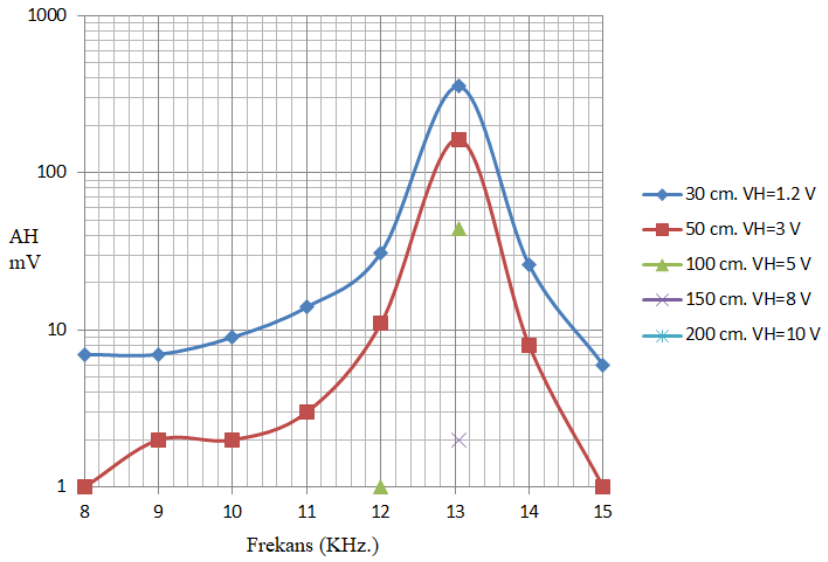


Şekil 3.49: 250 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği.

İkinci deneyde, ilk deneyde belirlenen en etkin sinüs dalga biçiminde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Tablo 3.8:'de AH ve VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. de iken sinüs dalgasının, frekans tepki değerleri yer almaktadır, bu değerlerin grafik gösterimi de Şekil 3.50'da yer almaktadır. İlk deneyde sadece 30 cm. mesafede etkin frekans incelenmişti, bu deneyde ise diğer uzaklıklarda da 13.05 KHz etkin frekans olduğu belirlenmiştir. Gerilim uzaklıkla kademeli arttırılmıştır. 200 cm. uzaklıkta VH 'ya 10 V çıkış gerilimi verilmesine rağmen AH'da gerilim okunamamıştır.

Tablo 3.8: 250gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	30 cm. VH=1.2 V	50 cm. VH=3 V	100 cm. VH=5 V	150 cm. VH=8 V	200 cm. VH=10 V
8	7	1	0	0	0
9	7	2	0	0	0
10	9	2	0	0	0
11	14	3	0	0	0
12	31	11	1	0	0
13.05	355	164	44	2	0
14	26	8	0	0	0
15	6	1	0	0	0

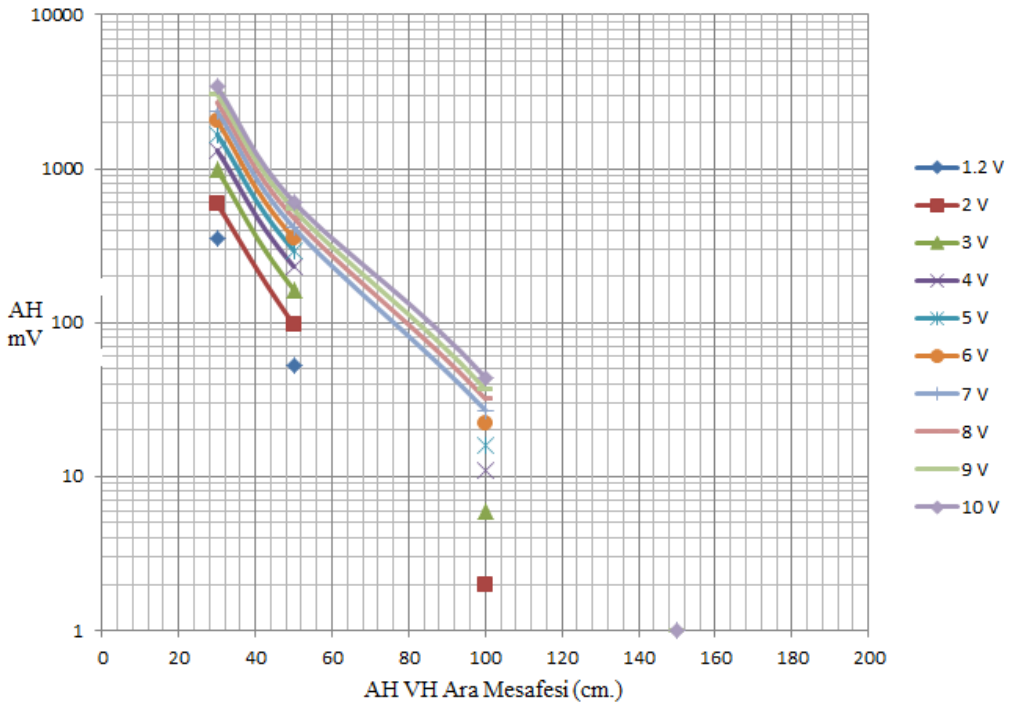


Şekil 3.50: 250 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği.

Üçüncü deneyde, ilk iki deney sonucu belirlenen etkin frekansta, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında kademeli indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.9:'da ve sonuçları içeren görsel grafik Şekil 3.51:'de yer almaktadır. 250 gr. AH ve VH halkalarının en etkin 13.05 KHz frekansında halka merkezleri arası 150 cm. de, 10 V sinyal jeneratörü çıkışında ürettiği en yüksek gerilim 1 mV ölçümlenmiştir. 200 cm. mesafede değer okunamamıştır.

Tablo 3.9: 13.05 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri.

VH AH Mesafe (cm.)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
30	355	590	982	1315	1668	2035	2360	2690	3050	3400
50	53	97	164	231	294	354	415	478	544	610
100	0	2	6	11	16	22	27	32	37	44
150	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



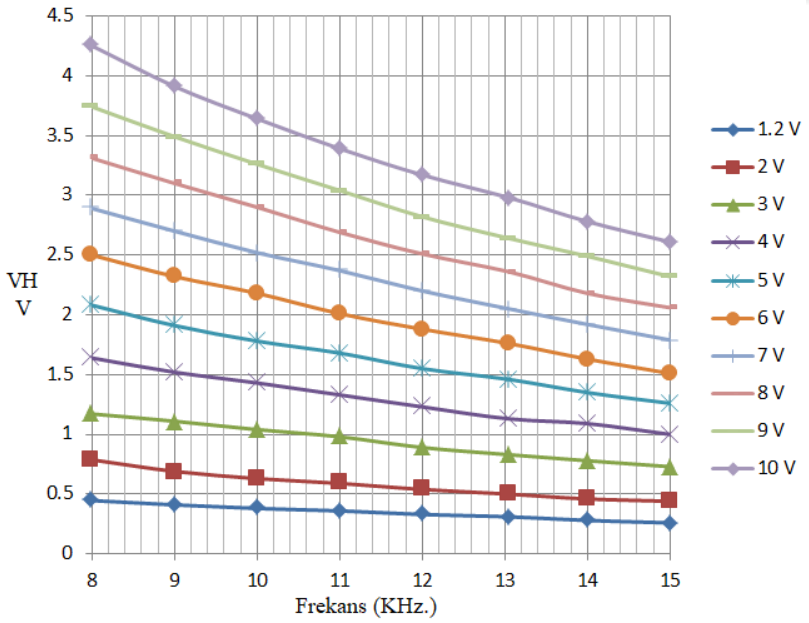
Şekil 3.51: 13.05 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği.

Dördüncü ve son deneyde, sinyal jeneratörü çıkışı VH 'nın girişine multimetre bağlanarak, farklı frekanslarda, 1.2 V ile 10 V arasında, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj

ölçümlenerek, geçen voltajın frekansa tepkisi ve akım amper ilişkisi incelenmiştir. Tablo 3.10:'da deney sonuçları, görsel grafiği Şekil 3.52:'de yer almaktadır. Tablo ve grafik incelendiğinde, frekans arttıkça bobinin gerilimi iletmekte zorlandığı ve gerilim kaybı yaşandığı görülmektedir. En etkin 13.05 KHz 'de, sinyal jeneratöründe 10 V çıkış verilmesine rağmen bobinden geçen gerilim 2.98 V 'dur. VH nin 95 Ω direnci dikkate alındığında Ohm yasasına göre 13.05 KHz frekansta 250 gr. VH bobininde 2.98 V gerilim oluşmakta, VH bobininde telden geçen akım 0.0313 amperdir.

Tablo 3.10: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 250 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri.

Frekans (KHz)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
8	0.446	0.787	1.171	1.639	2.08	2.5	2.89	3.31	3.74	4.25
9	0.41	0.69	1.11	1.52	1.91	2.32	2.7	3.1	3.49	3.91
10	0.38	0.63	1.04	1.43	1.78	2.18	2.52	2.9	3.26	3.64
11	0.36	0.59	0.98	1.33	1.68	2.01	2.37	2.69	3.04	3.39
12	0.33	0.54	0.89	1.23	1.55	1.88	2.2	2.51	2.82	3.17
13.05	0.31	0.5	0.83	1.13	1.46	1.76	2.05	2.36	2.64	2.98
14	0.28	0.46	0.78	1.09	1.35	1.63	1.92	2.18	2.49	2.78
15	0.26	0.44	0.73	1	1.26	1.51	1.79	2.06	2.32	2.61



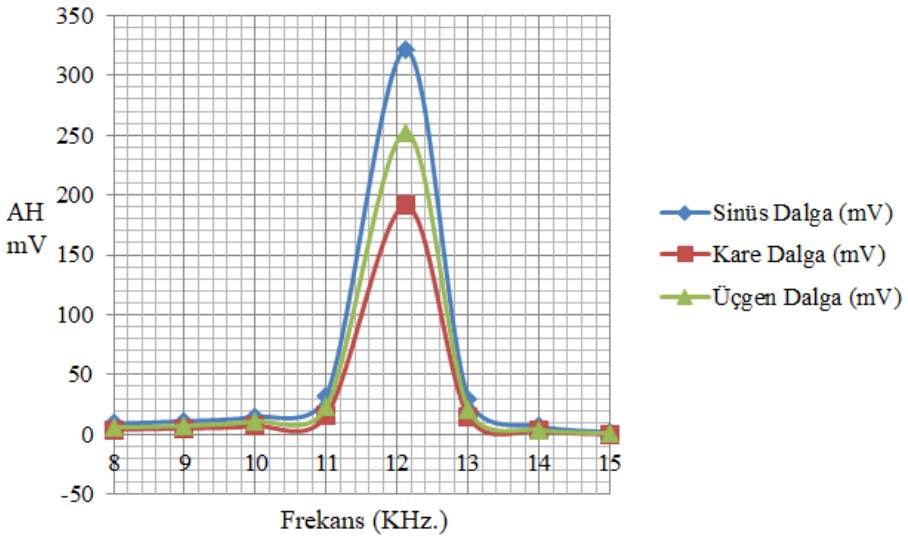
Şekil 3.52: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği.

3.3.3.3. AH VH 350 Gr. Deneyleri

AH ve VH her biri 350 gr. 0.3 mm. 20 cm. çapında ve 3 cm. yüksekliktedir. AH ve VH 'nin direnç değerleri AH=135 Ω, VH=133 Ω 'dur. AH ve VH halkaların merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare ve üçgen dalgaların frekans tepki değerleri Tablo 3.11:'de, grafiği Şekil 3.53:'de yer almaktadır. Tablo 3.11: ve Şekil 3.53: incelendiğinde, 350 gr. Ağırlıklı AH ve VH çiftinin, en etkin frekansının her üç dalga biçiminde de, 12.12 KHz olduğu belirlenmiştir. Sinüs, kare ve üçgen dalga biçimlerinin indüksiyon sonucu oluşan gerilim değerleri incelendiğinde, en verimli dalga biçimin 321 mV ile sinüs biçimli dalgası olduğu, üçgen dalga biçiminde 252 mV ve en düşük genliği kare dalga biçiminde 191 mV ölçümlenmiştir. Bu deneyde sinüs dalgası biçimi EM ölçümlerde en verimli dalga şekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.11: 350 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	Sinüs Dalga (mV)	Kare Dalga (mV)	Üçgen Dalga (mV)
8	9	4	6
9	11	5	7
10	15	7	11
11	32	16	23
12.12	321	191	252
13	30	15	21
14	7	3	4
15	2	0	1

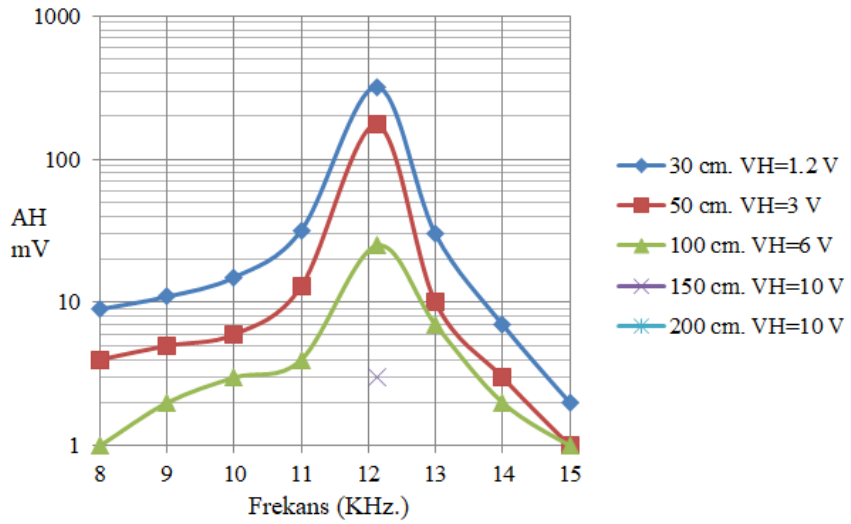


Şekil 3.53: 350 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği.

İkinci deneyde, ilk deneyde belirlenen en etkin sinüs dalga biçiminde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Tablo 3.12:'de AH ve VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. de iken sinüs dalgasının, frekans tepki değerleri yer almaktadır, bu değerlerin grafik gösterimi de Şekil 3.54'de yer almaktadır. İlk deneyde sadece 30 cm. mesafede etkin frekans incelenmişti, bu deneyde ise diğer uzaklıklarda da 12.12 KHz etkin frekans olduğu belirlenmiştir. Gerilim uzaklıkla kademeli arttırılmıştır. 200 cm. uzaklıkta VH 'ya 10 V çıkış gerilimi verilmesine rağmen AH'da gerilim okunamamıştır.

Tablo 3.12: 350gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	30 cm. VH=1.2 V	50 cm. VH=3 V	100 cm. VH=6 V	150 cm. VH=10 V	200 cm. VH=10 V
8	9	4	1	0	0
9	11	5	2	0	0
10	15	6	3	0	0
11	32	13	4	0	0
12.12	321	174	25	3	0
13	30	10	7	0	0
14	7	3	2	0	0
15	2	1	1	0	0

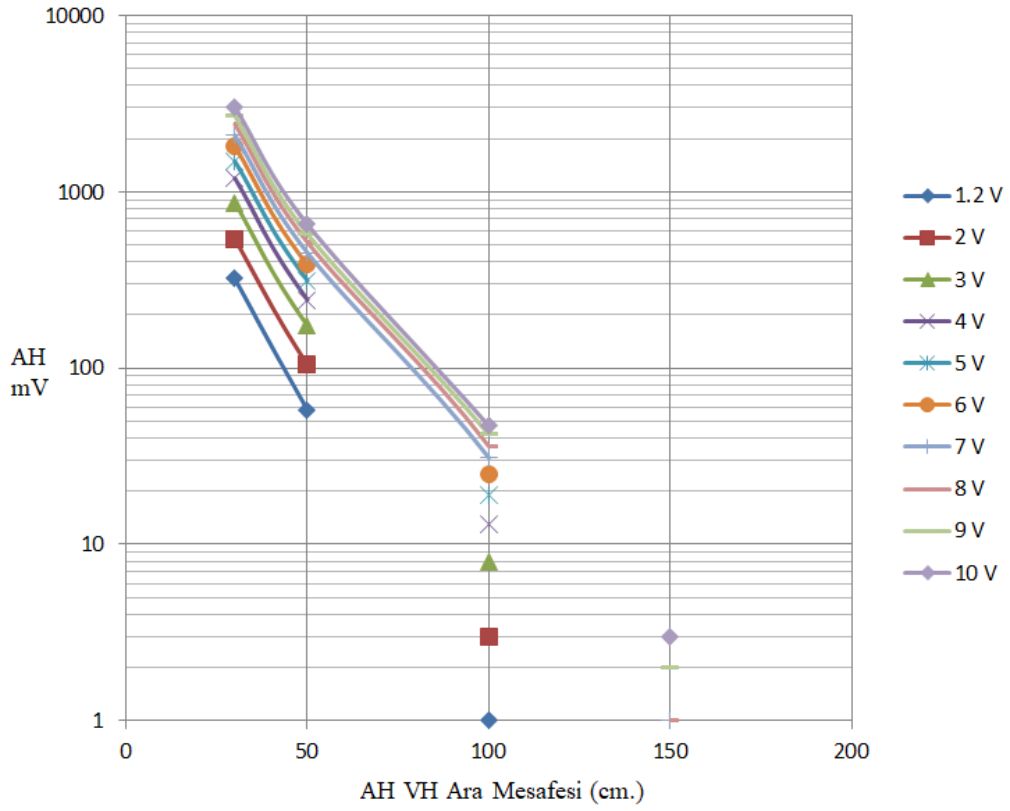


Şekil 3.54: 350 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği.

Üçüncü deneyde, ilk iki deney sonucu belirlenen etkin frekansta, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında kademeli indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.13:'de ve sonuçları içeren görsel grafik Şekil 3.55:'de yer almaktadır. 350 gr. AH ve VH halkalarının en etkin 12.12 KHz frekansında halka merkezleri arası 150 cm. de, 10 V sinyal jeneratörü çıkışında ürettiği en yüksek gerilim 3 mV ölçümlenmiştir. 200 cm. mesafede değer okunamamıştır.

Tablo 3.13: 12.12 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri.

VH AH Mesafe (cm.)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
30	321	539	867	1194	1490	1812	2097	2419	2700	3022
50	58	104	174	244	314	385	451	517	576	653
100	1	3	8	13	19	25	31	36	42	47
150	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

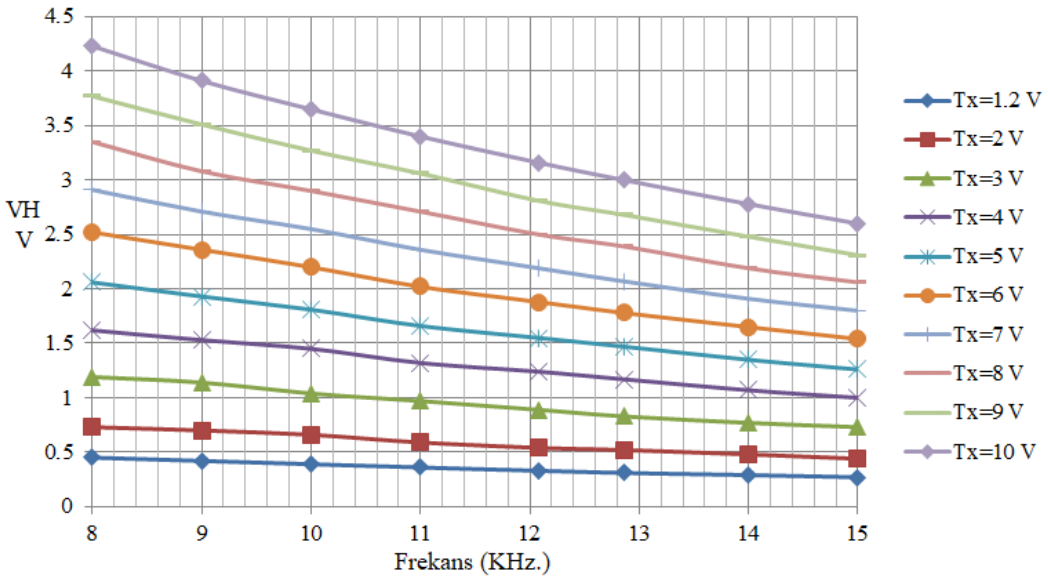


Şekil 3.55: 12.12 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği.

Dördüncü ve son deneyde, sinyal jeneratörü çıkışı VH ‘nın girişine multimetre bağlanarak, farklı frekanslarda, 1.2 V ile 10 V arasında, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj ölçümlenerek, geçen voltajın frekansa tepkisi ve akım amper ilişkisi incelenmiştir. Tablo 3.14:’de deney sonuçları, görsel grafiği Şekil 3.56:’da yer almaktadır. Tablo ve grafik incelendiğinde, frekans arttıkça bobinin gerilimi iletmekte zorlandığı ve gerilim kaybı yaşandığı görülmektedir. En etkin 12.12 KHz ’de, sinyal jeneratöründe 10 V çıkış verilmesine rağmen bobinden geçen gerilim 3.16 V ’dur. VH nin 133 Ω direnci dikkate alındığında Ohm yasasına göre 12.12 KHz frekansta 350 gr. VH bobininde 3.16 V gerilim oluşmakta, VH bobininde telden geçen akım 0.0238 amperdir.

Tablo 3.14: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 350 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri.

Frekans (KHz)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
8	0.45	0.73	1.19	1.62	2.06	2.52	2.91	3.35	3.77	4.23
9	0.42	0.7	1.14	1.53	1.93	2.36	2.71	3.08	3.51	3.91
10	0.39	0.66	1.04	1.45	1.81	2.2	2.55	2.9	3.27	3.65
11	0.36	0.59	0.97	1.32	1.66	2.02	2.36	2.71	3.06	3.4
12.12	0.33	0.54	0.89	1.24	1.55	1.88	2.19	2.5	2.81	3.16
12.86	0.31	0.52	0.83	1.17	1.47	1.78	2.07	2.39	2.68	3
14	0.29	0.48	0.77	1.07	1.35	1.65	1.91	2.19	2.48	2.78
15	0.27	0.44	0.73	1	1.26	1.54	1.8	2.06	2.31	2.6



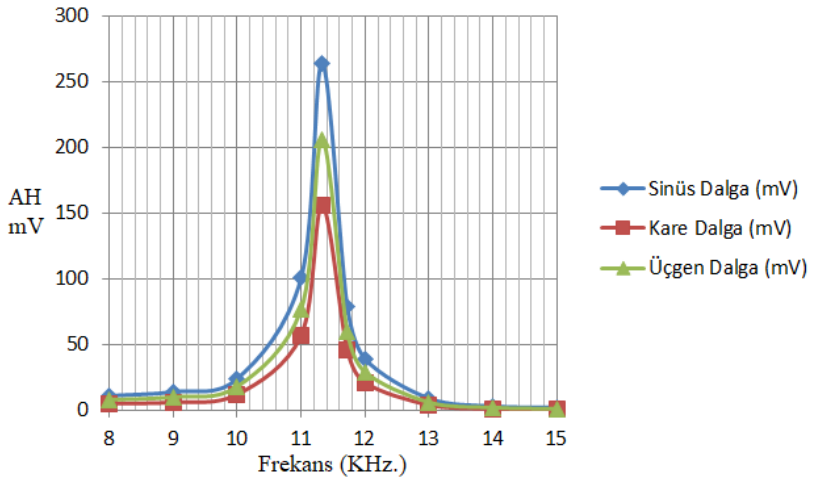
Şekil 3.56: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği.

3.3.3.4. AH VH 500 Gr. Deneyleri

AH ve VH her biri 500 gr. 0.3 mm. 20 cm. çapında ve 3 cm. yüksekliktedir. AH ve VH 'nin direnç değerleri AH=190 Ω, VH=189 Ω 'dur. AH ve VH halkaların merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare ve üçgen dalgaların frekans tepki değerleri Tablo 3.15:'de, grafiği Şekil 3.57:'de yer almaktadır. Tablo 3.15: ve Şekil 3.57: incelendiğinde, 500 gr. Ağırlıklı AH ve VH çiftinin, en etkin frekansının her üç dalga biçiminde de, 11.33 KHz olduğu belirlenmiştir. Sinüs, kare ve üçgen dalga biçimlerinin indüksiyon sonucu oluşan gerilim değerleri incelendiğinde, en verimli dalga biçimin 264 mV ile sinüs biçimli dalgası olduğu, üçgen dalga biçiminde 206 mV ve en düşük genliği kare dalga biçiminde 156 mV ölçümlenmiştir. Bu deneyde sinüs dalgası biçimi EM ölçümlerde en verimli dalga şekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.15: 500 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	Sinüs Dalga (mV)	Kare Dalga (mV)	Üçgen Dalga (mV)
8	11	5	8
9	14	6	10
10	24	12	18
11	101	57	77
11.33	264	156	206
11.72	79	46	60
12	39	21	29
13	9	4	6
14	3	1	2
15	2	1	1

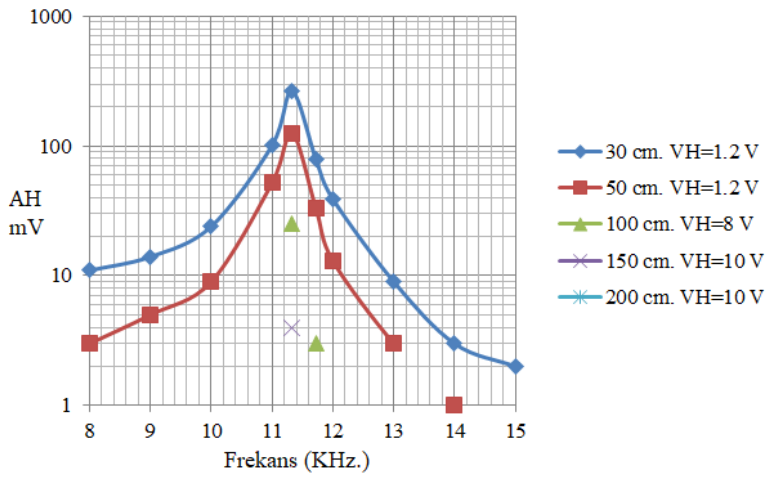


Şekil 3.57: 500 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği.

İkinci deneyde, ilk deneyde belirlenen en etkin sinüs dalga biçiminde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Tablo 3.16:'da AH ve VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. de iken sinüs dalgasının, frekans tepki değerleri yer almaktadır, bu değerlerin grafik gösterimi de Şekil 3.58'de yer almaktadır. İlk deneyde sadece 30 cm. mesafede etkin frekans incelenmişti, bu deneyde ise diğer uzaklıklarda da 11.33 KHz etkin frekans olduğu belirlenmiştir. Gerilim uzaklıkla kademeli arttırılmıştır. 200 cm. uzaklıkta VH 'ya 10 V çıkış gerilimi verilmesine rağmen AH'da gerilim okunamamıştır.

Tablo 3.16: 500gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	30 cm. VH=1.2 V	50 cm. VH=1.2 V	100 cm. VH=8 V	150 cm. VH=10 V	200 cm. VH=10 V
8	11	3	0	0	0
9	14	5	0	0	0
10	24	9	0	0	0
11	101	52	0	0	0
11.33	264	126	25	4	0
11.72	79	33	3	0	0
12	39	13	0	0	0
13	9	3	0	0	0
14	3	1	0	0	0
15	2	0	0	0	0

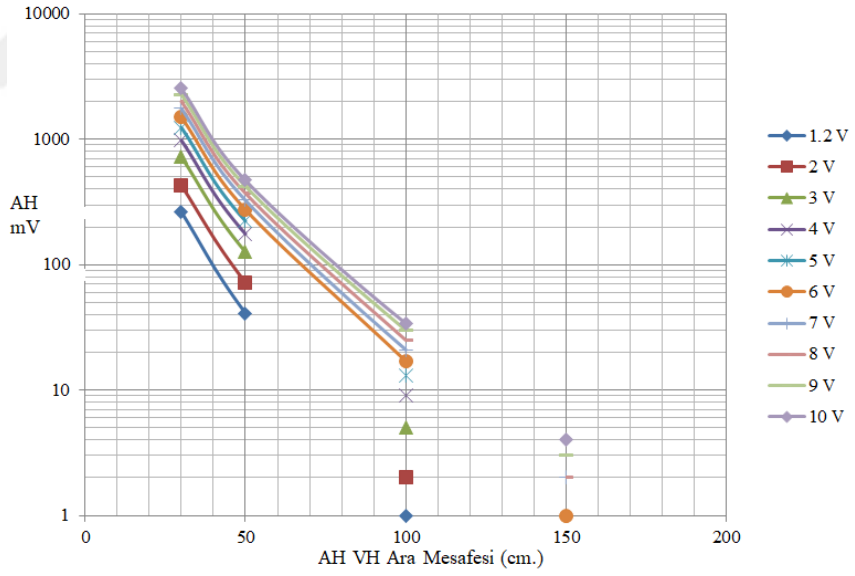


Şekil 3.58: 500 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği.

Üçüncü deneyde, ilk iki deney sonucu belirlenen etkin frekansta, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında kademeli indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.17:'de ve sonuçları içeren görsel grafik Şekil 3.59:'da yer almaktadır. 500 gr. AH ve VH halkalarının en etkin 11.33 KHz frekansında halka merkezleri arası 150 cm. de, 10 V sinyal jeneratörü çıkışında ürettiği en yüksek gerilim 4 mV ölçümlenmiştir. 200 cm. mesafede değer okunamamıştır.

Tablo 3.17: 11.33 KHz 'de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri.

VH AH Mesafe (cm.)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
30	264	429	724	983	1243	1510	1765	2011	2282	2545
50	41	72	126	176	223	275	326	371	422	470
100	1	2	5	9	13	17	21	25	30	34
150	0	0	0	0	0	1	2	2	3	4
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



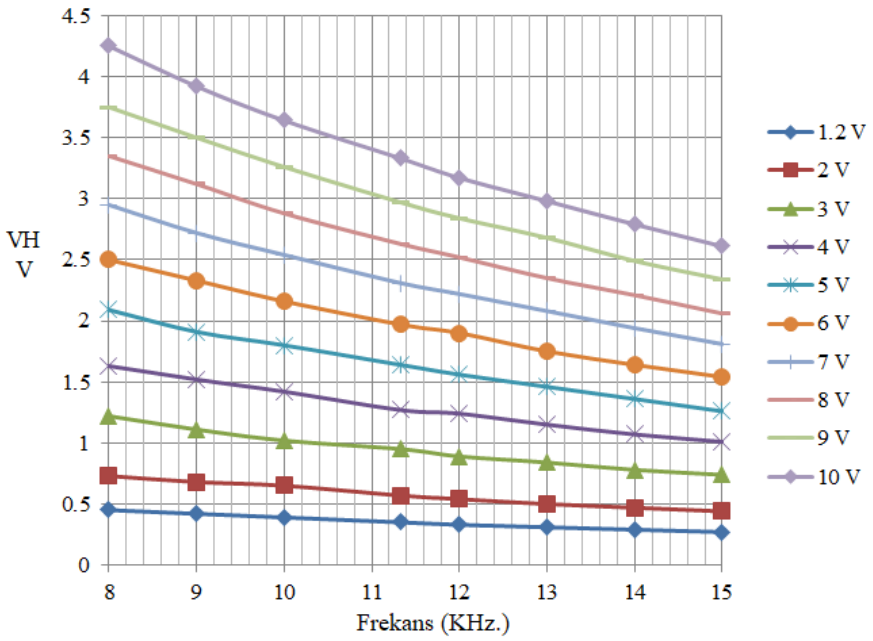
Şekil 3.59: 11.33 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği.

Dördüncü ve son deneyde, sinyal jeneratörü çıkışı VH 'nın girişine multimetre bağlanarak, farklı frekanslarda, 1.2 V ile 10 V arasında, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj ölçümlenerek, geçen voltajın frekansa tepkisi ve akım amper ilişkisi incelenmiştir. Tablo 3.18:'de deney sonuçları, görsel grafiği Şekil 3.60:'da yer almaktadır. Tablo ve grafik incelendiğinde, frekans arttıkça bobinin gerilimi iletmekte zorlandığı ve gerilim kaybı

yaşandığı görülmektedir. En etkin 11.33 KHz ’de, sinyal jeneratöründe 10 V çıkış verilmesine rağmen bobinden geçen gerilim 3.33 V ’dur. VH nin 189 Ω direnci dikkate alındığında Ohm yasasına göre 11.33 KHz frekansta 500 gr. VH bobininde 3.33 V gerilim oluşmakta, VH bobininde telden geçen akım 0.0176 amperdir.

Tablo 3.18: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 500 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri.

Frekans (KHz)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
8	0.45	0.73	1.22	1.63	2.09	2.5	2.95	3.35	3.75	4.25
9	0.42	0.68	1.11	1.52	1.91	2.33	2.72	3.12	3.5	3.92
10	0.39	0.65	1.02	1.42	1.8	2.16	2.54	2.88	3.26	3.64
11.33	0.35	0.57	0.95	1.27	1.64	1.97	2.31	2.63	2.97	3.33
12	0.33	0.54	0.89	1.24	1.56	1.9	2.22	2.52	2.84	3.17
13	0.31	0.5	0.84	1.15	1.46	1.75	2.08	2.35	2.68	2.98
14	0.29	0.47	0.78	1.07	1.36	1.64	1.94	2.21	2.49	2.79
15	0.27	0.44	0.74	1.01	1.26	1.54	1.81	2.06	2.34	2.61



Şekil 3.60: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği.

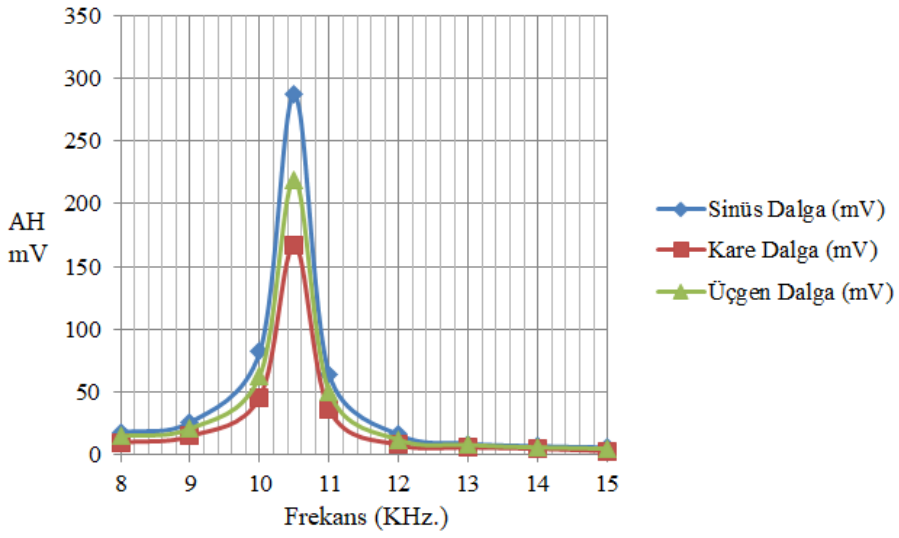
3.3.3.5. AH VH 600 Gr. Deneyleri

AH ve VH her biri 600 gr. 0.3 mm. 20 cm. çapında ve 3 cm. yüksekliktedir. AH ve VH ’nin direnç değerleri AH=228 Ω, VH=226 Ω ’dur. AH ve VH halkaların merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare ve üçgen dalgaların frekans tepki değerleri Tablo 3.19:’da, grafiği Şekil 3.61:’de

yer almaktadır. Tablo 3.19: ve Şekil 3.61: incelendiğinde, 600 gr. Ağırlıklı AH ve VH çiftinin, en etkin frekansının her üç dalga biçiminde de, 10.5 KHz olduğu belirlenmiştir. Sinüs, kare ve üçgen dalga biçimlerinin indüksiyon sonucu oluşan gerilim değerleri incelendiğinde, en verimli dalga biçimin 287 mV ile sinüs biçimli dalgası olduğu, üçgen dalga biçiminde 219 mV ve en düşük genliği kare dalga biçiminde 167 mV ölçümlenmiştir. Bu deneyde sinüs dalgası biçimi EM ölçümlerde en verimli dalga şekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.19: 600 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	Sinüs Dalga (mV)	Kare Dalga (mV)	Üçgen Dalga (mV)
8	18	10	15
9	26	15	21
10	82	46	63
10.5	287	167	219
11	64	36	50
12	16	8	12
13	9	6	8
14	7	5	6
15	6	3	5



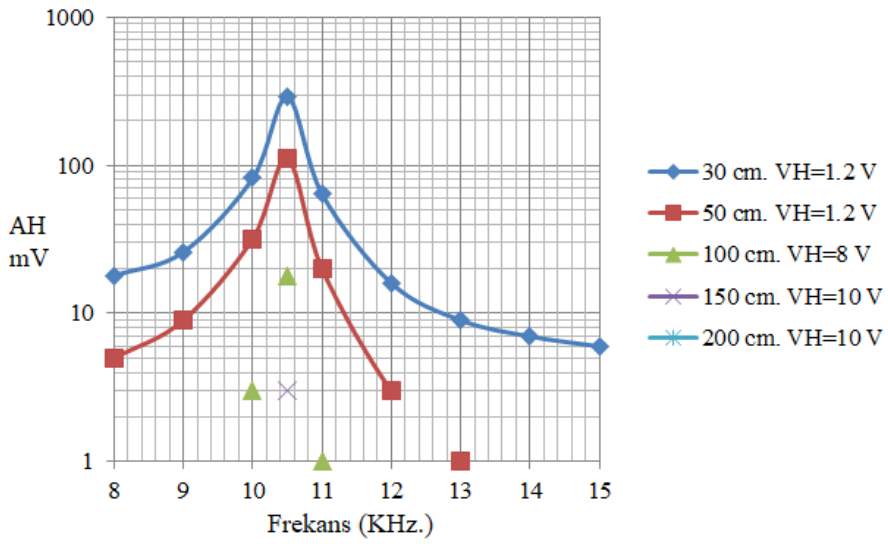
Şekil 3.61: 600 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. sinüs, kare, üçgen dalga, frekans tepki grafiği.

İkinci deneyde, ilk deneyde belirlenen en etkin sinüs dalga biçiminde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Tablo 3.20:'de AH ve VH merkezleri

arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. de iken sinüs dalgasının, frekans tepki değerleri yer almaktadır, bu değerlerin grafik gösterimi de Şekil 3.62'de yer almaktadır. İlk deneyde sadece 30 cm. mesafede etkin frekans incelenmişti, bu deneyde ise diğer uzaklıklarda da 10.5 KHz etkin frekans olduğu belirlenmiştir. Gerilim uzaklıkla kademeli arttırılmıştır. 200 cm. uzaklıkta VH 'ya 10 V çıkış gerilimi verilmesine rağmen AH'da gerilim okunamamıştır.

Tablo 3.20: 600gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki değerleri.

Frekans (KHz)	30 cm. VH=1.2 V	50 cm. VH=1.2 V	100 cm. VH=8 V	150 cm. VH=10 V	200 cm. VH=10 V
8	18	5	0	0	0
9	26	9	0	0	0
10	82	32	3	0	0
10.5	287	110	18	3	0
11	64	20	1	0	0
12	16	3	0	0	0
13	9	1	0	0	0
14	7	0	0	0	0
15	6	0	0	0	0



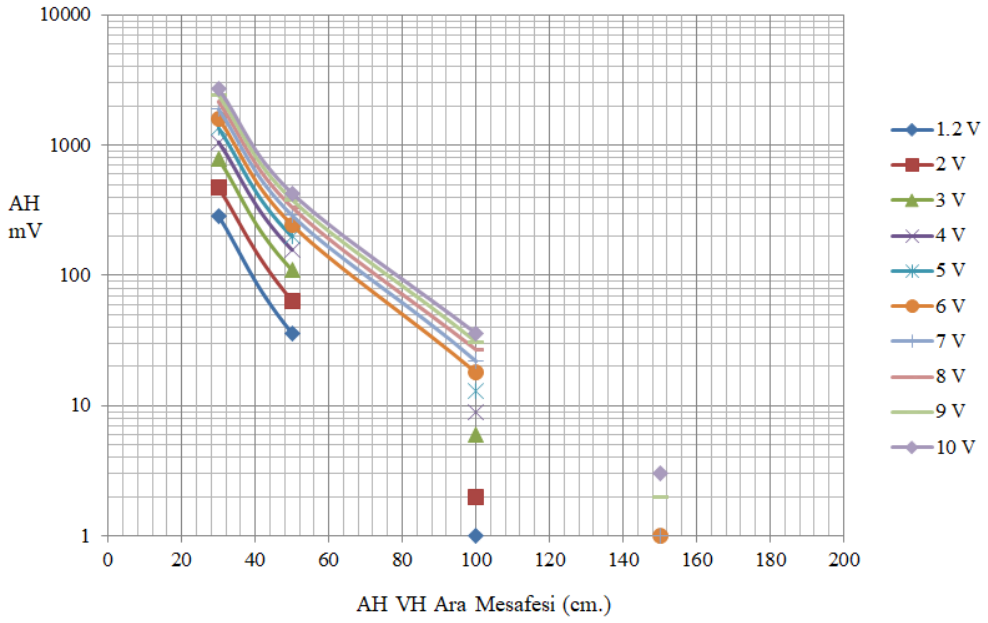
Şekil 3.62: 600 gr. AH VH merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. sinüs dalgası, frekans tepki grafiği.

Üçüncü deneyde, ilk iki deney sonucu belirlenen etkin frekansta, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında kademeli indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.21:'de ve sonuçları içeren görsel grafik Şekil 3.63:'de yer

almaktadır. 600 gr. AH ve VH halkalarının en etkin 10.5 KHz frekansında halka merkezleri arası 150 cm. de, 10 V sinyal jeneratörü çıkışında ürettiği en yüksek gerilim 3 mV ölçümlenmiştir. 200 cm. mesafede değer okunamamıştır.

Tablo 3.21: 10.5 KHz ’de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki değerleri.

VH AH Mesafe (cm.)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
30	287	471	782	1060	1354	1613	1896	2162	2428	2724
50	36	64	110	157	199	245	290	335	382	429
100	1	2	6	9	13	18	22	27	31	36
150	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



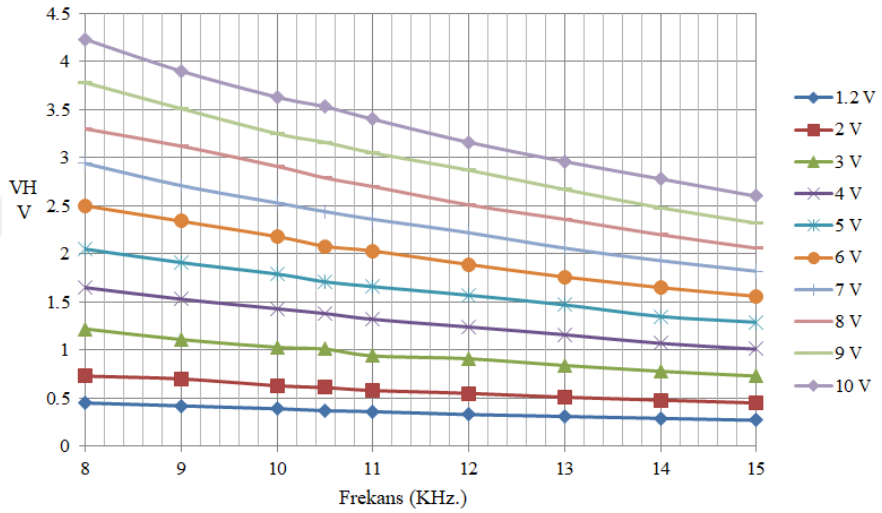
Şekil 3.63: 10.5 KHz de VH AH merkezleri arası 30-200 cm. ve 1.2-10 V kademeli sinüs dalgası, AH mV tepki grafiği.

Dördüncü ve son deneyde, sinyal jeneratörü çıkışı VH ‘nın girişine multimetre bağlanarak, farklı frekanslarda, 1.2 V ile 10 V arasında, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj ölçümlenerek, geçen voltajın frekansa tepkisi ve akım amper ilişkisi incelenmiştir. Tablo 3.22:’de deney sonuçları, görsel grafiği Şekil 3.64:’de yer almaktadır. Tablo ve grafik incelendiğinde, frekans arttıkça bobinin gerilimi iletmekte zorlandığı ve gerilim kaybı yaşandığı görülmektedir. En etkin 10.5 KHz ’de, sinyal jeneratöründe 10 V çıkış verilmesine rağmen bobinden geçen gerilim 3.53 V ’dur. VH nin 226 Ω direnci dikkate alındığında Ohm

yasasına göre 10.5 KHz frekansta 600 gr. VH bobininde 3.53 V gerilim oluşmakta, VH bobininde telden geçen akım 0.0156 amperdir.

Tablo 3.22: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı 600 gr. VH da oluşan gerçek voltaj değerleri.

Frekans (KHz)	1.2 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V
8	0.45	0.73	1.22	1.65	2.05	2.5	2.94	3.3	3.78	4.23
9	0.42	0.7	1.11	1.53	1.91	2.34	2.71	3.12	3.51	3.9
10	0.39	0.63	1.03	1.43	1.79	2.18	2.53	2.91	3.25	3.63
10.5	0.37	0.61	1.01	1.38	1.71	2.08	2.44	2.79	3.16	3.53
11	0.36	0.58	0.94	1.32	1.66	2.03	2.36	2.7	3.05	3.4
12	0.33	0.55	0.91	1.24	1.57	1.89	2.22	2.51	2.87	3.16
13	0.31	0.51	0.84	1.16	1.47	1.76	2.06	2.36	2.67	2.96
14	0.29	0.48	0.78	1.07	1.35	1.65	1.93	2.2	2.48	2.78
15	0.27	0.45	0.73	1.01	1.29	1.56	1.82	2.06	2.32	2.6



Şekil 3.64: Farklı frekanslarda sinyal jeneratörü çıkışı VH da oluşan gerçek voltaj grafiği.

3.3.3.6. 100-600 Gr. VH AH Deney Sonuçlarının İncelenmesi

100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr ve 600 gr AH VH çiftlerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarını bütün halde inceleyeceğiz. Deneylerden elde edilen sonuçlar; etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10 V çıkışta VH'da oluşan voltaj, VH'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH'da ölçülen mV değerleridir. Bu beş deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 3.23:'de ve grafiği Şekil 3.65:'de yer almaktadır. Halkalarda ağırlık arttıkça direnç de artmakta, geçen voltaj değeri cüzi bir artış göstermektedir. Ağırlık artması ile direncin artması

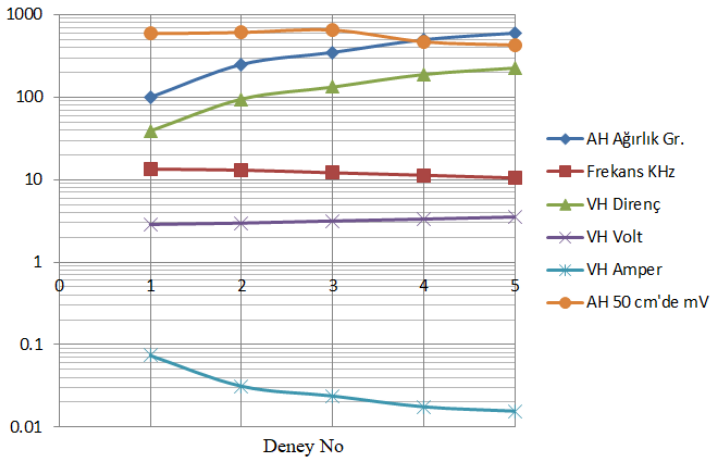
telden geçen amper değerini azaltmaktadır. Ayrıca AH da okunan mV değeri de azalım göstermektedir. Bobinlerin manyetik alan formülü;

$$B = (4.K.\pi.N.I)/L \qquad (3.27)$$

ile ifade edilir. (3.27) denkleminde; 4, K (Manyetik geçirgenlik katsayısı) ve π sabit olup, manyetik alan büyüklüğünü belirleyen değerler; N:Sarım sayısı, I:Geçen akım ve L:Bobinin uzunluğu veya bizim halkalardaki yükseklikliktir (https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/32678/mod_resource/content/0/12.%20HAFTA-ANYET%C4%B0ZMA.pdf). Bizim deneylerimizde N artmakla birlikte I azalmaktadır. Eğer N ve I eşit derecede etken olsaydı Şekil 3.65:'deki grafikte de görüldüğü üzere AH'da genlik mV değerinde cüzi de olsa azalım gözlenmezdi, sarım hataları da etken olabileceği de dikkate almakla birlikte, akım miktarını arttırabilmek amacıyla VH'da sarım sayısı AH 'ya göre düşük tutularak deneylere devam edilecektir. Sıradaki deneylerde, L:Bobinin uzunluğu veya bizim halkalarda VH'da yükseklik 3 cm. 'den 1 cm. 'ye düşürülecek, 100 gr yeni sarılmış halka VH, 3 cm. yükseklikli, 100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr ve 600 gr AH'lar eşleştirilecektir.

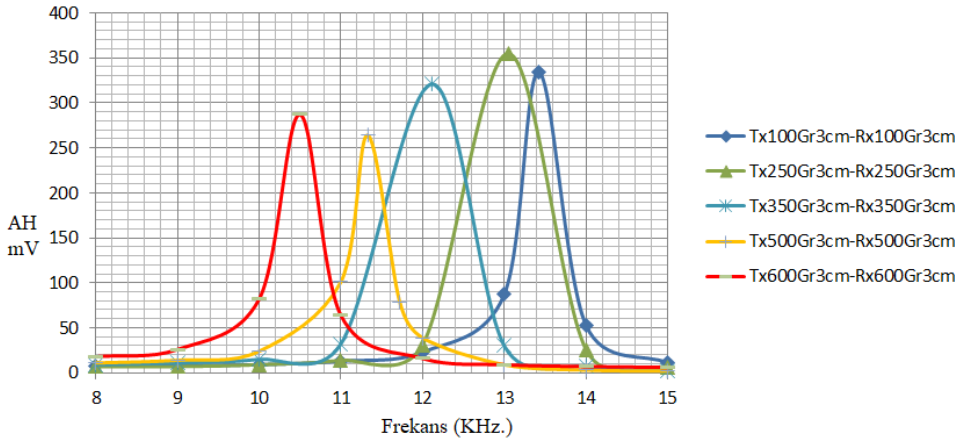
Tablo 3.23: 100-600 gr. Halkalar deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık Gr.	Frekans KHz	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.0736	592
2	250	13.05	95	2.98	0.0313	610
3	350	12.12	133	3.16	0.0238	653
4	500	11.33	189	3.33	0.0176	470
5	600	10.5	226	3.53	0.0156	429



Şekil 3.65: 100-600 gr. Halkalar deney sonuçları.

Halkaların etkin frekans değerleri Şekil 3.65: ve Şekil 3.66:'da yer almaktadır. Halkalarda ağırlık arttıkça, sarım sayısı da artmakta, tel uzunluğu arttıkça etkin frekans değeri azalmakta, tel uzunluğu kısaldıkça etkin frekans değeri artmaktadır. Halka sarım sayısı veya tel uzunluğu etkin frekansla ters orantılıdır diyebiliriz. Bu durum aynı ağırlıktaki eş halka çiftleri için geçerlidir.



Şekil 3.66: 100-600 gr. Halkalar etkin frekans değerleri.

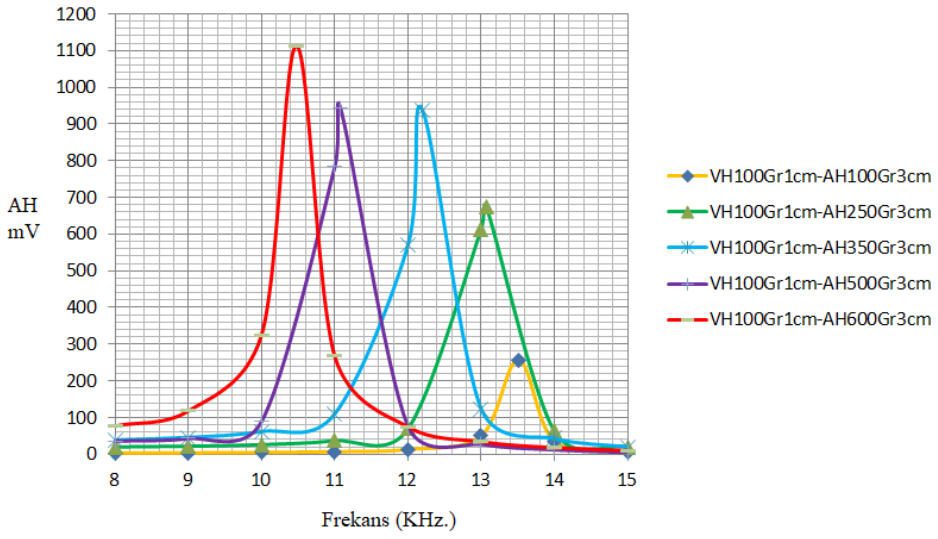
3.3.3.7. 100 Gr. 1 cm. VH İle 100-600 Gr. 3 cm. AH Deneyleri

Yeni yapılacak deneylerde, halkaların merkezleri arası 30 cm. mesafede sinüs, üçgen ve kare dalga biçimlerinin verimliliği deneylerine gerek görülmemiştir. Önceki deneylerin tümünde sinüs biçimli dalganın en verimli dalga biçimi olduğu belirlenmiştir. Sadece etkin frekans incelenmesi yapılacaktır. Önceki deneylerde, halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. ve 200 cm. mesafelerde iken (halkalar birbirinden uzaklaştırılarak), farklı frekanslardaki, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak etkin frekansın mesafeye göre tepkisi incelenmişti, halkaların farklı mesafelerde veya farklı voltajlarda da etkin frekans değişmediği için bu deneye de gerek görülmemiştir. Halkaların merkezleri arası 30 cm. 50 cm. 100 cm. 150 cm. 200 cm. ve 250 cm. mesafelerde iken, 1.2 V ile 10 V arasında indüksiyon deneyleri yapılarak halkaların mesafeye göre tepkisi incelenmişti, bu deneyde voltaj, 10.2 V 'ta uygulanacak diğer düşük voltajlara gerek görülmemiştir. Dördüncü ve son deneyde, VH 'nın girişine multimetre bağlanarak, etkin frekanstaki 10.2 V 'ta, halkanın bobin telinden geçen gerçek voltaj ölçümlenerek, VH'da geçen voltaj ve akım amper ilişkisi incelenecektir.

VH, 100 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm., halka 20 cm. çapında ve direnci 39 Ω 'dur. Önceki deneylerde kullandığımız AH'lar 3 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm., halka 20 cm. çapında ve 100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr ve 600 gr ağırlıktadırlar. Direnç değerleri önceki deneylerde verilmiştir. VH ve AH 'ların merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.24:'de ve Şekil 3.67:'de grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin AH'da ağırlık (sarım sayısı artışı) arttıkça, önceki deneylerde de gözlendiği üzere ağırlıkla ters orantılı etkin frekansın düşmeye başladığı belirlenmiştir. AH'da okunan mV değerlerinin de ağırlık arttıkça arttığı belirlenmiştir. Bu deneyler için AH ağırlığı ile mV değerlerinin doğru orantılı olduğu söylenebilir. VH bu deneylerde sabit olduğu için, AH larda sarım sayısının artmasının mV değerleri ile doğru orantılı ve etkin frekans değerleri ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.24: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur).

K Hz	VH100Gr1cm-AH100Gr3cm	K Hz	VH100Gr1cm-AH250Gr3cm	K Hz	VH100Gr1cm-AH350Gr3cm	K Hz	VH100Gr1cm-AH500Gr3cm	K Hz	VH100Gr1cm-AH600Gr3cm
8	4	8	20	8	39	8	36	8	77
9	4	9	22	9	46	9	43	9	118
10	5	10	26	10	62	10	89	10	325
11	7	11	37	11	110	11	783	10.5	1113
12	13	12	69	12	570	11.1	942	11	267
13	50	13	613	12.2	937	12	77	12	75
13.5	257	13.1	674	13	124	13	27	13	34
14	36	14	63	14	43	14	12	14	18
15	5	15	20	15	20	15	5	15	10

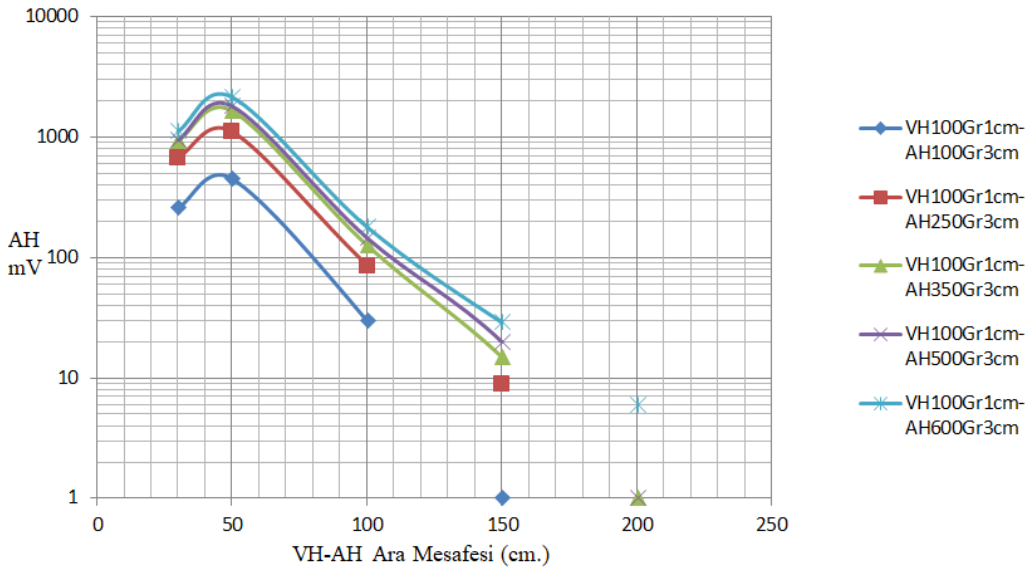


Şekil 3.67: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları.

VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde AH larda okunan mV değerleri ve mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.25:'te ve grafiği Şekil 3.68:'de yer almaktadır. Önceki deneylerde 200 cm. uzaklıkta mV okunamazken şimdiki deneylerde VH100gr1cm ile AH600gr3cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir.

Tablo 3.25: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur).

VH-AH Mesafe (cm)	VH100Gr1cm-AH100Gr3cm	VH100Gr1cm-AH250Gr3cm	VH100Gr1cm-AH350Gr3cm	VH100Gr1cm-AH500Gr3cm	VH100Gr1cm-AH600Gr3cm
30	257	674	937	942	1113
50	452	1115	1655	1807	2152
100	30	87	127	146	180
150	1	9	15	20	29
200	0	0	1	1	6
250	0	0	0	0	0



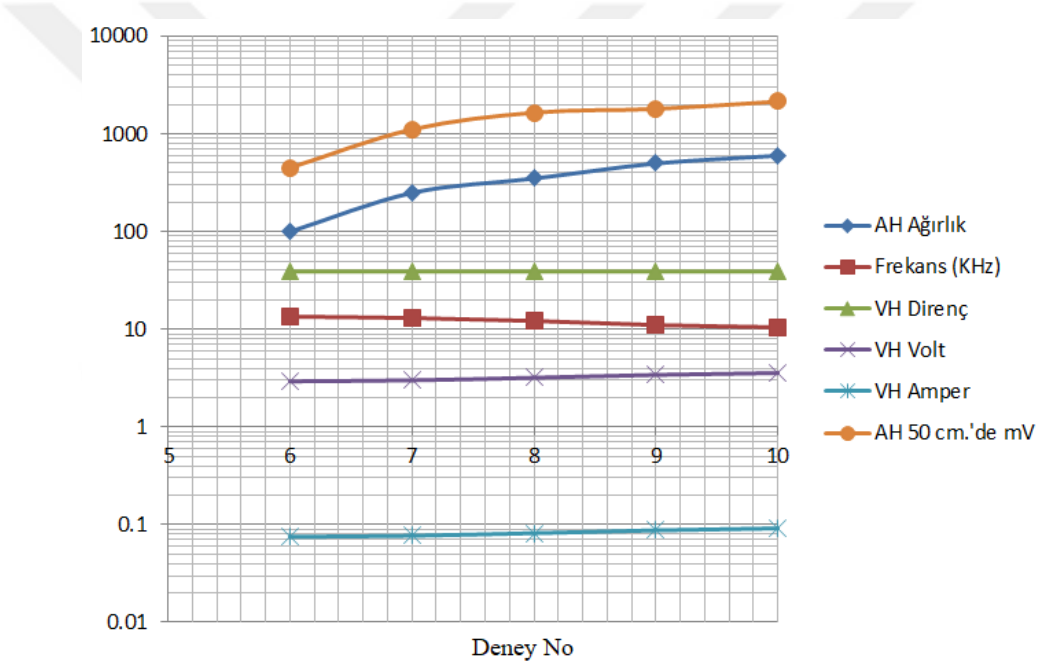
Şekil 3.68: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları.

Bu deneylerde de, önceki halka çift deneylerinde yaptığımız, tüm etkenleri ve sonuçları birlikte inceleyeceğiz. VH, 100 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm, halka 20 cm. çapında, AH'lar ise 100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr ve 600 gr ağırlıkta, 3 cm. yüksekliktedir. Deneylerden elde edilen sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10 V çıkışta VH'da oluşan voltaj, VH'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH'da ölçülen mV değerleridir. Beş deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.24:'de ve grafiği Şekil 3.69:'da yer almaktadır. AH (direnç sabit) sabit olduğu halde ağırlık

arttıkça etkin frekans azaldığı için AH'dan geçen voltaj artmakta, amper ve 50 cm. de VH'larda mV değeri artmaktadır.

Tablo 3.26: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
6	100	13.51	39	2.94	0.0753846	452
7	250	13.07	39	3.01	0.0771795	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.0820513	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.0876923	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.0917949	2152



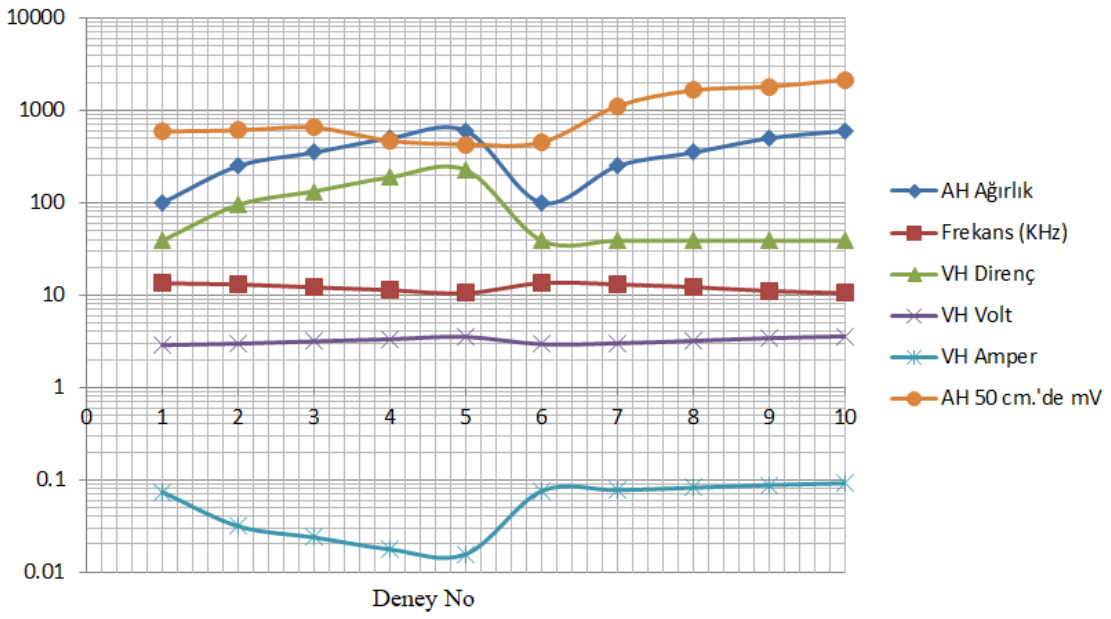
Şekil 3.69: 100 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları.

AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam on deney gerçekleştirdik. İlk beş deneyimizde, AH ve VH çiftleri 100 gr ile 600 gr arasında ve halka yüksekliği 3 cm. idi. İkinci grup deneylerde ise farkı, sadece VH 1 cm yükseklikte, AH'lar aynı 100 gr ile 600 gr arasındaydı. Şimdi toplam on deney sonucunu etkenlere göre inceleyelim. Yapılan on deney sonuçları Tablo 3.27: ve görsel grafikleri Şekil 3.70:'de yer almaktadır. İlk beş deneyde, AH ve VH ağırlıkları arttıkça özellikle VH da direncin artması, cüzi bir voltaj artışına neden olsa da (bu artış ağırlığın frekansla ters orantılı olması ve voltajın artmasına neden olduğunu önceki deneylerde görmüştük), ağırlıkla direnç artışı VH da amperin düşmesine ve sonuç

olarak AH'da mV değerlerini azaltmıştır. Daha sonra VH 'nin yüksekliğini 1 cm'ye düşürerek yine 100 gr 'lık bir verici sarmıştık ve bu VH 'yı diğer ilk deneylerdeki 3 cm yükseklikli 100-600 gr ağırlıklı AH lar ile eşleştirmiştik. Bu eşleşme sonuçlarına göre voltaj, amper ve AH'da mV değerlerinde artış gözlenmiştir. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken son deneyde 2152 mV genlik değeri ölçülmüştür. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe de 2 m. 'ye ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bir sonraki deneyde, VH 'nın direncini düşürmek amacıyla 50 gr'lık yeni bir VH sarılarak deneylere devam edilecektir.

Tablo 3.27: Yapılan 10 deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık Gr	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.0735897	592
2	250	13.05	95	2.98	0.0313684	610
3	350	12.12	133	3.16	0.0237594	653
4	500	11.33	189	3.33	0.017619	470
5	600	10.5	226	3.53	0.0156195	429
6	100	13.51	39	2.94	0.0753846	452
7	250	13.07	39	3.01	0.0771795	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.0820513	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.0876923	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.0917949	2152



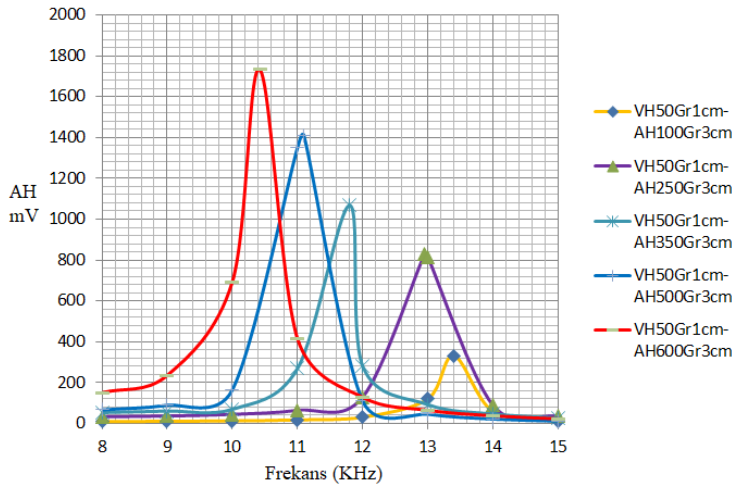
Şekil 3.70: Yapılan 10 deney sonuçları.

3.3.3.8. 50 Gr. 1 cm. VH İle 100-600 Gr. 3 cm. AH Deneyleri

VH 50 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm., halka 20 cm. çapında ve direnci 20 Ω 'dur. Önceki deneylerde kullandığımız AH'lar 3 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm., halka 20 cm. çapında ve 100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr ve 600 gr ağırlıktadırlar. Direnç değerleri önceki deneylerde verilmiştir. VH ve AH 'ların merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.28:'de ve Şekil 3.71:'de grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin AH'da ağırlık (sarım sayısı artışı) arttıkça, önceki deneylerde de gözlendiği üzere ağırlıkla ters orantılı etkin frekansın düşmeye başladığı belirlenmiştir. AH'da okunan mV değerlerinin de ağırlık arttıkça arttığı belirlenmiştir. Bu deneyler için AH ağırlığı ile mV değerlerinin doğru orantılı olduğu söylenebilir. VH bu deneylerde sabit olduğu için, AH larda sarım sayısının artmasının mV değerleri ile doğru orantılı ve etkin frekans değerleri ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.28: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları (AH değerleri mV'tur).

K Hz	VH50Gr1cm-AH100Gr3cm	K Hz	VH50Gr1cm-AH250Gr3cm	K Hz	VH50Gr1cm-AH350Gr3cm	K Hz	VH50Gr1cm-AH500Gr3cm	K Hz	VH50Gr1cm-AH600Gr3cm
8	10	8	33	8	54	8	67	8	151
9	11	9	37	9	61	9	90	9	236
10	13	10	45	10	70	10	165	10	694
11	18	11	65	11	269	11	1350	10.4	1733
12	31	12	129	11.8	1068	11.1	1408	11	415
13	120	13	829	12	282	12	111	12	129
13.4	331	13	815	13	93	13	46	13	65
14	60	14	90	14	47	14	22	14	38
15	12	15	35	15	27	15	12	15	23

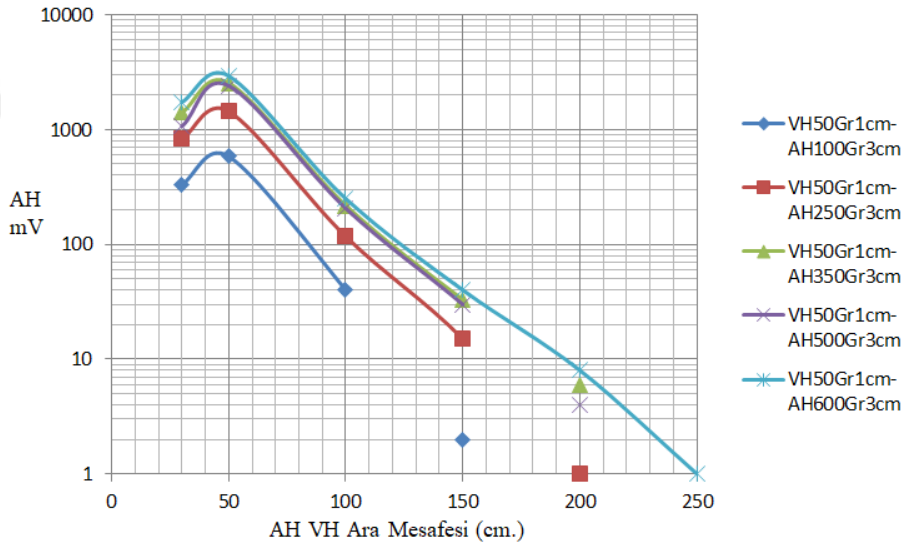


Şekil 3.71: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları.

VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde AH larda okunan mV değerleri ve mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.29:'da ve grafiği Şekil 3.72:'de yer almaktadır. Önceki deneylerde VH ve AH arası 50 cm. de 2152 mV okunurken şimdiki deneylerde bu değer 2932 mV 'a yükselmiş ve yine önceki deneylerde 250 cm. uzaklıkta mV okunamazken şimdiki deneylerde VH50gr1cm ile AH600gr3cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir.

Tablo 3.29: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur).

VH-AH Mesafe cm)	VH50Gr1cm-AH100Gr3cm	VH50Gr1cm-AH250Gr3cm	VH50Gr1cm-AH350Gr3cm	VH50Gr1cm-AH500Gr3cm	VH50Gr1cm-AH600Gr3cm
30	331	829	1068	1408	1733
50	584	1442	2407	2548	2932
100	40	117	206	218	250
150	2	15	30	33	40
200	0	1	4	6	8
250	0	0	0	0	1



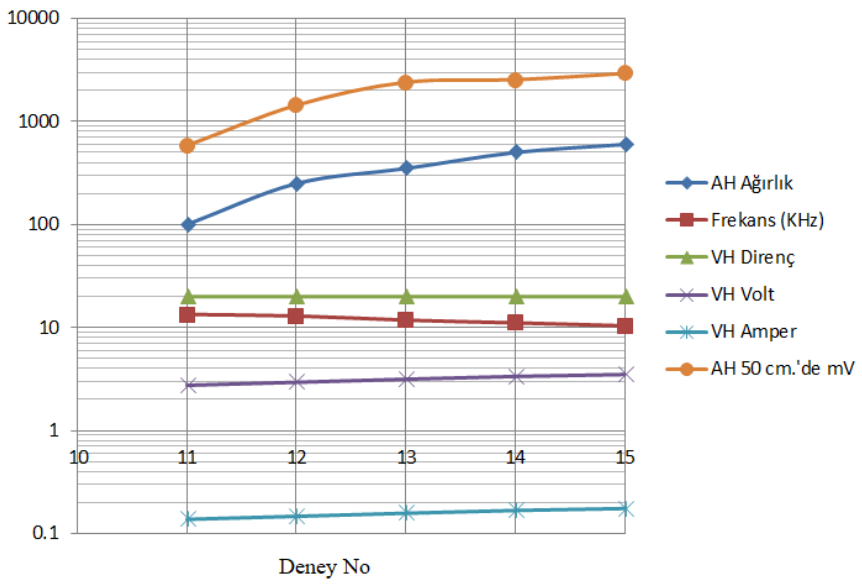
Şekil 3.72: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları.

VH, 50 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm, halka 20 cm. çapında, AH'lar ise 100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr ve 600 gr ağırlıkta, 3 cm. yüksekliktedir. Deneylerden elde edilen sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10.2 V çıkışta VH'da oluşan voltaj, VH'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH'da ölçülen mV değerleridir. Beş deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.30:'da ve grafiği Şekil 3.73:'de

yer almaktadır. AH (direnç sabit) sabit olduğu halde ağırlık arttıkça etkin frekans azaldığı için AH'dan geçen voltaj artmakta, amper ve 50 cm. de VH'larda mV değeri artmaktadır.

Tablo 3.30: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
11	100	13.4	20	2.75	0.1375	584
12	250	12.95	20	2.94	0.147	1442
13	350	11.8	20	3.15	0.1575	2407
14	500	11.1	20	3.35	0.1675	2548
15	600	10.4	20	3.5	0.175	2932



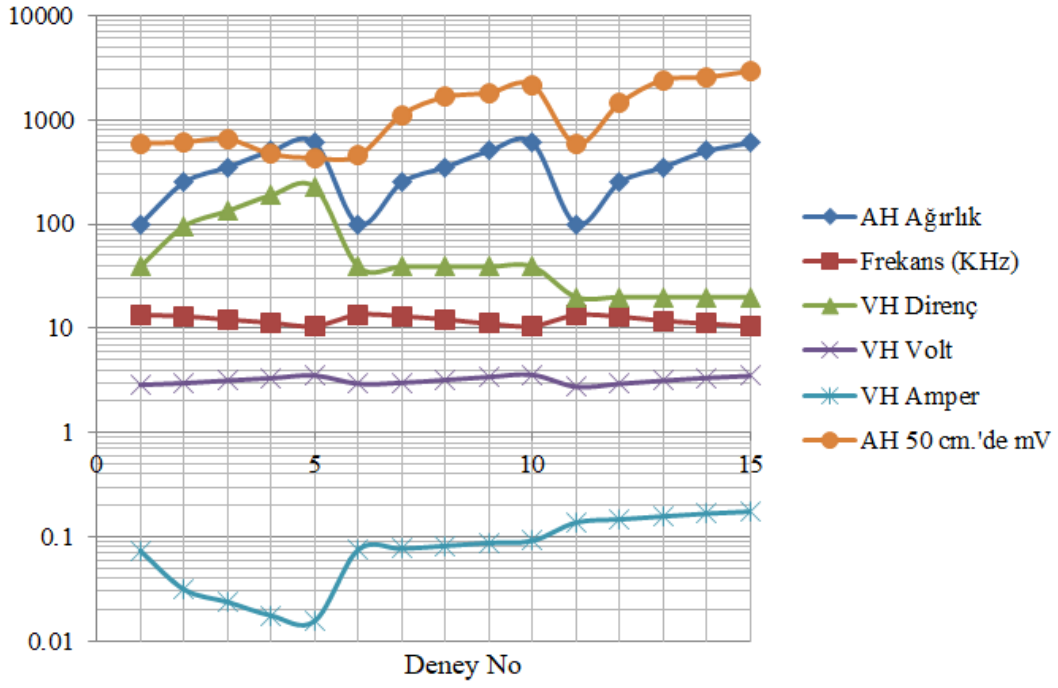
Şekil 3.73: 50 gr. 1 cm. VH ile 100-600 gr. 3 cm. AH deney sonuçları.

AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam on beş deney gerçekleştirdik. İlk beş deneyimizde, AH ve VH çiftleri 100 gr ile 600 gr arasında ve halka yüksekliği 3 cm.'dir. İkinci grup deneylerde ise farkı, sadece VH 1 cm yükseklikte, AH'lar aynı 100 gr ile 600 gr arasındadır. Üçüncü grup deneylerimizde ise VH 50 gr. Yine 1 cm yükseklikte, AH'lar aynıdır. Şimdi toplam on beş deney sonucunu etkenlere göre inceleyelim. Yapılan on beş deney sonuçları Tablo 3.31: ve görsel grafikleri Şekil 3.74:'de yer almaktadır. Son beş deneyde, VH 'nın ağırlığının azaltılması, direncini de azaltmıştır, amper artmıştır, AH 50 cm. 'de okunan mV değeri de en yüksek değere ulaşmıştır. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken, ikinci grup deneylerde 2152 mV genlik değeri ve üçüncü grup deneylerde 2932 mV genlik değerine ulaşılmıştır. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk

deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe ikinci grup deneylerde 2 m. ’ye ve üçüncü grup deneylerde 2.5 m. ’ye ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bir sonraki deneyde, VH ’nın direncini düşürmek amacıyla 25 gr ’lık yeni bir VH sarılarak deneylere devam edilecektir.

Tablo 3.31: Yapılan 15 deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.0735897	592
2	250	13.05	95	2.98	0.0313684	610
3	350	12.12	133	3.16	0.0237594	653
4	500	11.33	189	3.33	0.017619	470
5	600	10.5	226	3.53	0.0156195	429
6	100	13.51	39	2.94	0.0753846	452
7	250	13.07	39	3.01	0.0771795	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.0820513	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.0876923	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.0917949	2152
11	100	13.4	20	2.75	0.1375	584
12	250	12.95	20	2.94	0.147	1442
13	350	11.8	20	3.15	0.1575	2407
14	500	11.1	20	3.35	0.1675	2548
15	600	10.4	20	3.5	0.175	2932



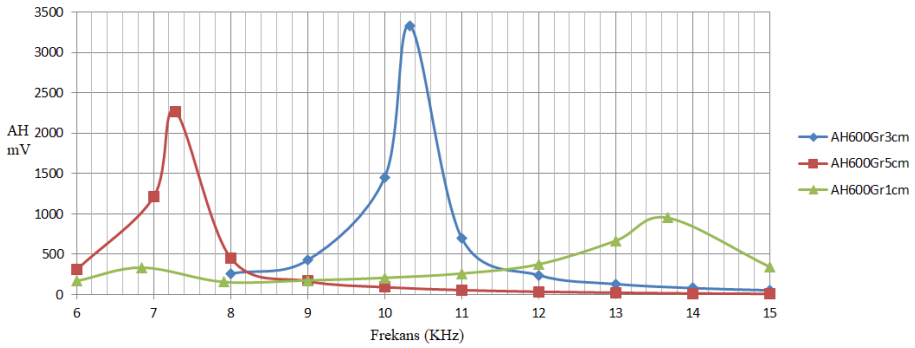
Şekil 3.74: Yapılan 15 deney sonuçları.

3.3.3.9. 25 Gr. 1 cm. VH İle AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm Deneyleri

VH 25 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.3 mm. 20 cm. çapında ve direnci 10.5 Ω 'dur. Önceki deneylerde kullandığımız 100 gr, 250 gr, 350 gr, 500 gr AH halkaları, yeterli verim alınamadığı için yeni deneylerde kullanılmayacaktır. 600 gr 3 cm. ağırlıklı AH 'ya ek olarak, 600 gr 1 cm ve 600 gr 5 cm yeni AH halkaları sarılmıştır. VH ve AH merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.32:'de ve Şekil 3.75:'de grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin AH 'da ağırlık (sarım sayısı artışı) arttıkça, önceki deneylerde gözlendiği üzere ağırlıkla ters orantılı etkin frekansın düşmeye başladığı belirlenmişti, buna ek olarak, bu deneyde AH 'lar aynı ağırlıkta olmasına rağmen, sarım yükseklikleri farklıdır. Sarım yüksekliğinin artması, aynı ohm dirence sahip olsalar bile sarım şeklinin frekansı etkilediği görülmektedir. AH halkalarının sarım yüksekliği arttıkça, aynı ağırlığın arttığı gibi etkin frekans azalmaktadır. AH 'da okunan mV değerlerinin ise, 1 cm AH 'da 952 mV, 3 cm AH 'da 3331 mV ve 5 cm AH 'da 2270 mV ölçümlenmiştir.

Tablo 3.32: 25 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları (AH=mV).

Frekans (KHz)	AH600Gr3cm	Frekans (KHz)	AH600Gr5cm	Frekans (KHz)	AH600Gr1cm
8	262	6	308	6	169
9	427	7	1210	6.85	335
10	1451	7.28	2270	7.91	157
10.33	3331	8	456	9	177
11	700	9	167	10	208
12	241	10	92	11	262
13	131	11	56	12	376
14	81	12	36	13	668
15	53	13	24	13.67	952
-	-	14	15	15	343
-	-	15	10	-	-

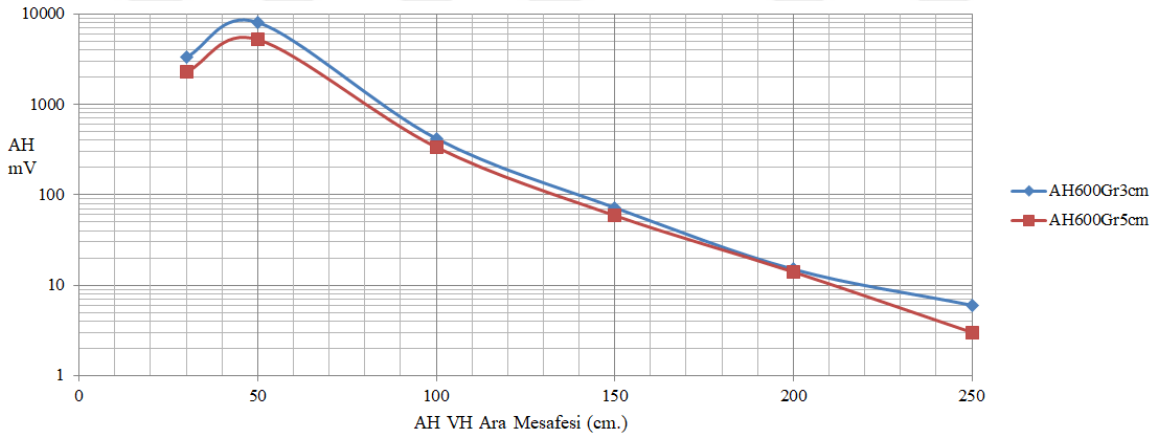


Şekil 3.75: 25 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları.

VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde AH600Gr3cm ve AH600Gr5cm okunan mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.33:'de ve grafiği Şekil 3.76:'da yer almaktadır. AH600Gr1cm mesafeye bağlı deneylerde etkin sonuçlar alınmadığı için dikkate alınmamıştır. Önceki deneylerde VH ve AH arası 50 cm. de 2932 mV okunurken şimdiki deneylerde bu değer 8090 mV 'a yükselmiş ve yine önceki deneylerde 250 cm. uzaklıkta 1 mV okunurken şimdiki deneylerde 6 mV 'a yükselmiştir. VH25gr1cm ile AH600gr3cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir.

Tablo 3.33: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV'tur).

VH-AH Mesafe (cm)	AH600Gr3cm	AH600Gr5cm
30	3331	2270
50	8090	5220
100	420	337
150	72	59
200	15	14
250	6	3

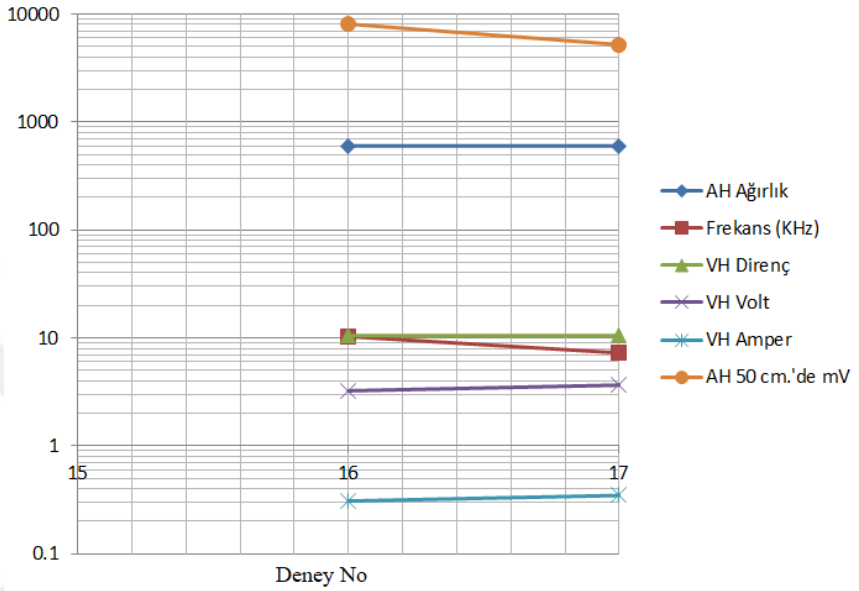


Şekil 3.76: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları.

VH25Gr1cm ile AH600Gr3cm ve AH600Gr5cm deneylerinde sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10.2 V çıkışta VH 'da oluşan voltaj, VH 'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH 'da ölçülen mV değerleridir. İki deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.34:'de ve grafiği Şekil 3.77:'de yer almaktadır. VH (direnç sabit) sabit olduğu halde eşit ağırlıklı AH 'larda, yükseklik mV değerini etkilemiştir. 3cm yükseklikli AH 'da okunan mV değeri daha yüksektir.

Tablo 3.34: 25 gr. 1 cm. AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
16	600	10.33	10.5	3.24	0.3085714	8090
17	600	7.28	10.5	3.66	0.3485714	5220

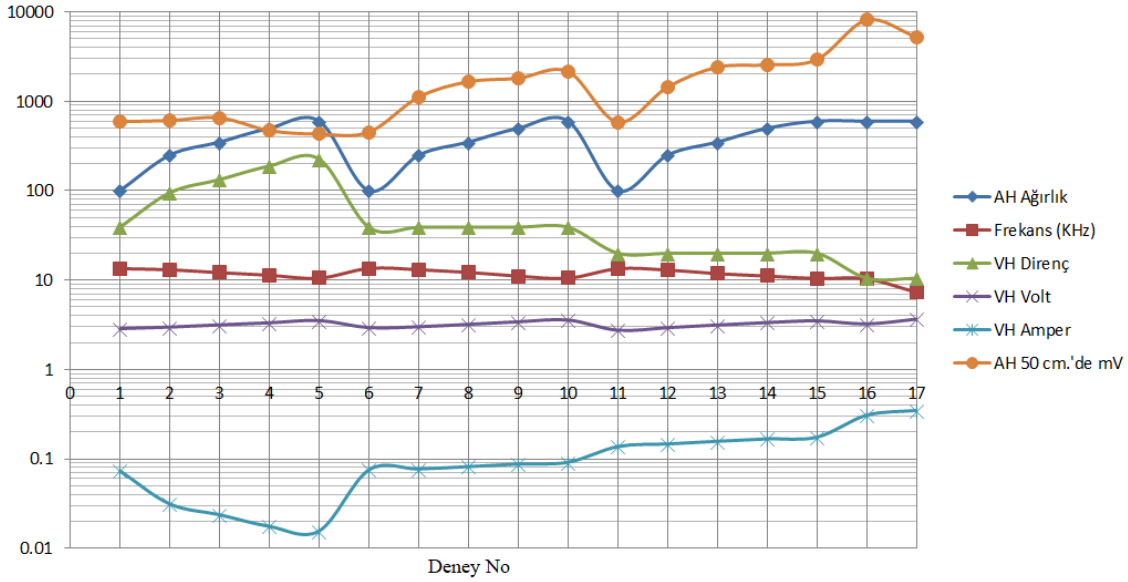


Şekil 3.77: 25 gr. 1 cm. AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm deney sonuçları.

AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam on yedi deney gerçekleştirdik. Yapılan on yedi deney sonuçları Tablo 3.35: ve görsel grafikleri Şekil 3.78:'de yer almaktadır. Son iki deneyde, VH 'nın ağırlığının azaltılması, direncini de azaltmıştır, amper artmıştır, AH 50 cm. 'de okunan mV değeri de en yüksek değere ulaşmıştır. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken, ikinci grup deneylerde 2152 mV genlik değeri, üçüncü grup deneylerde 2932 mV ve 16. Deneyde 8090 mV genlik değerine ulaşılmıştır. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe ikinci grup deneylerde 2 m. 'ye, üçüncü grup deneylerde 2.5 m. 'de 1 mV iken, 16. deneyde 2.5 m. 'de 6 mV değerine ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bir sonraki deneyde, VH 'nın direncini düşürmek amacıyla 0.5 mm. çaplı bobin teli ile 50 gr yeni bir VH ve ağırlığı arttırılan AH lar sarılarak deneylere devam edilecektir.

Tablo 3.35: Yapılan 17 deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.0735897	592
2	250	13.05	95	2.98	0.0313684	610
3	350	12.12	133	3.16	0.0237594	653
4	500	11.33	189	3.33	0.017619	470
5	600	10.5	226	3.53	0.0156195	429
6	100	13.51	39	2.94	0.0753846	452
7	250	13.07	39	3.01	0.0771795	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.0820513	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.0876923	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.0917949	2152
11	100	13.4	20	2.75	0.1375	584
12	250	12.95	20	2.94	0.147	1442
13	350	11.8	20	3.15	0.1575	2407
14	500	11.1	20	3.35	0.1675	2548
15	600	10.4	20	3.5	0.175	2932
16	600	10.33	10.5	3.24	0.3085714	8090
17	600	7.28	10.5	3.66	0.3485714	5220



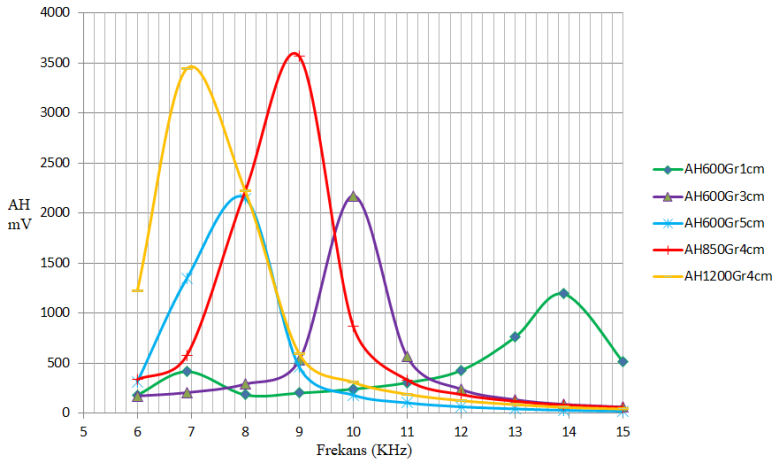
Şekil 3.78: Yapılan 17 deney sonuçları.

3.3.3.10. 50 Gr. 1 cm. 0.5 mm. VH İle AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH850Gr4cm-AH1200Gr4cm Deneyleri

Yeni sarılan VH 50 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 0.5 mm. halka çapı 20 cm. ve direnci 3.3 Ω 'dur. AH 'lar ise; Önceki deneylerde kullandığımız 600 gr 1 cm. 600 gr 3 cm. 600 gr 5 cm. ve yeni sarılan AH halkaları 850 gr 4 cm. ve 1200 gr 4 cm. dir. VH ve AH merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.36:'da ve Şekil 3.79:'da grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin AH 'da ağırlık (sarım sayısı artışı) arttıkça ve sarım yüksekliğinin artması, aynı ohm dirence sahip olsalar bile sarım şeklinin frekansı etkilediği görülmektedir. AH halkalarının sarım yüksekliği arttıkça, aynı ağırlığın arttığı gibi etkin frekans azalmaktadır.

Tablo 3.36: 50 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm- AH850Gr4cm-AH1200Gr4cm deney sonuçları (AH=mV).

Frekans (KHz)	AH 600Gr1cm	Frekans (KHz)	AH 600Gr3cm	Frekans (KHz)	AH 600Gr5cm	Frekans (KHz)	AH 850Gr4cm	Frekans (KHz)	AH 1200Gr4cm
6	182	6	172	6	315	7	338	7	1224
6.921	416	7	207	7	1351	8	581	7.714	3445
8	184	8	292	7.233	2146	9	2220	8	2220
9	202	9	529	8	462	9.26	3566	9	593
10	241	10.115	2173	9	182	10	869	10	310
11	305	11	566	10	104	11	333	11	190
12	428	12	240	11	65	12	187	12	126
13	760	13	136	12	44	13	120	13	87
13.9	1193	14	90	13	30	14	83	14	60
15	513	15	62	14	21	15	59	15	42

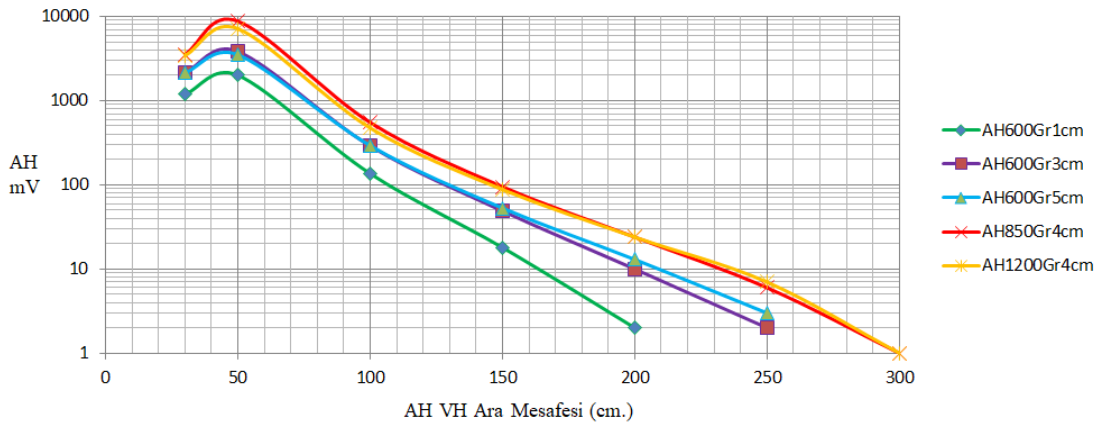


Şekil 3.79: 50 gr. 1 cm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm- AH850Gr4cm- AH1200Gr4cm deney sonuçları.

VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde okunan mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.37:'de ve grafiği Şekil 3.80:'de yer almaktadır. Önceki deneylerde VH ve AH arası 50 cm. de 8090 mV okunurken şimdiki deneylerde bu değer 8800 mV 'a yükselmiş ve yine önceki deneylerde 250 cm. uzaklıkta 1 mV okunurken şimdiki deneylerde 7 mV 'a yükselmiştir. 300 cm. uzaklıkta ağırlığı arttırılan iki halkada 1 mV değerleri ölçülmüştür. VH50gr1cm0.5mm ile AH850gr4cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir.

Tablo 3.37: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV'tur).

VH-AH Mesafe (cm)	AH600Gr1cm	AH600Gr3cm	AH600Gr5cm	AH850Gr4cm	AH1200Gr4cm
30	1193	2173	2146	3566	3445
50	2007	3848	3513	8800	7160
100	136	290	293	551	474
150	18	49	53	95	88
200	2	10	13	24	24
250		2	3	6	7
300				1	1

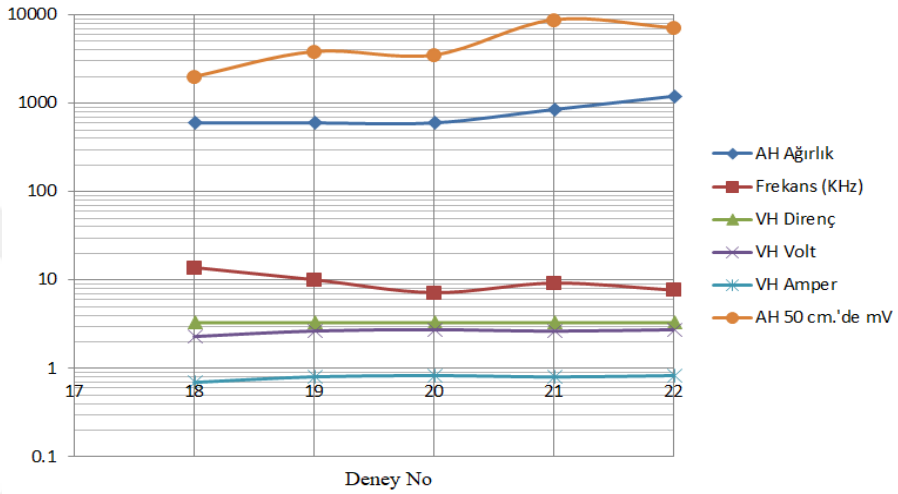


Şekil 3.80: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları.

VH50gr1cm0.5mm ile AH600Gr1cm, AH600Gr3cm, AH600Gr5cm, AH850Gr4cm ve AH1200Gr4cm deneylerinde sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10.2 V çıkışta VH 'da oluşan voltaj, VH 'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH 'da ölçülen mV değerleridir. 5 deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.38:'de ve grafiği Şekil 3.81:'de yer almaktadır. VH (direnç sabit) sabit olduğu halde eşit ağırlıklı AH 'larda, yükseklik ve ağırlık mV değerini etkilemiştir. 4cm yükseklikli AH 'larda okunan mV değeri daha yüksektir.

Tablo 3.38: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
18	600	13.9	3.3	2.3	0.70	2007
19	600	10.12	3.3	2.66	0.81	3848
20	600	7.23	3.3	2.75	0.83	3513
21	850	9.26	3.3	2.65	0.80	8800
22	1200	7.71	3.3	2.75	0.83	7160

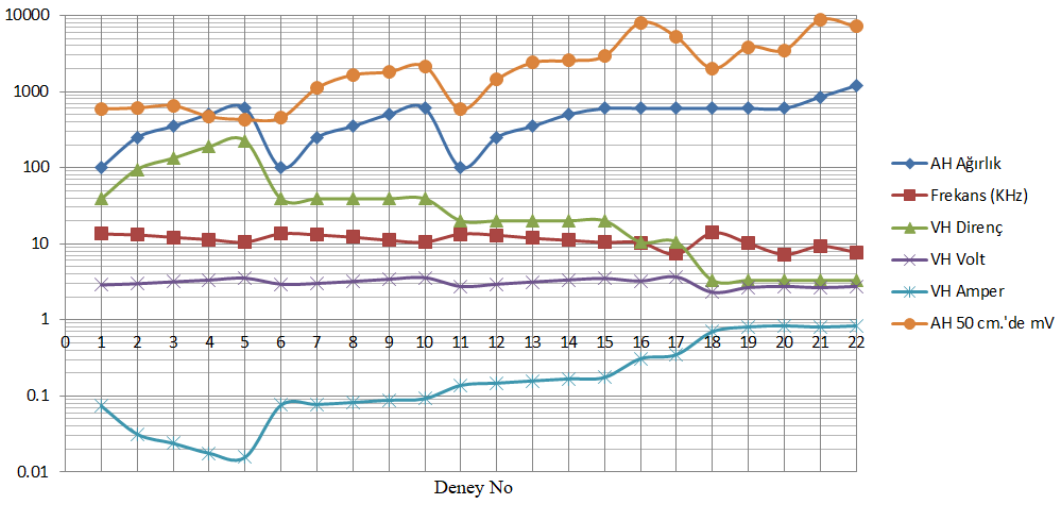


Şekil 3.81: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları.

AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam 22 deney gerçekleştirdik. Yapılan 22 deney sonuçları Tablo 3.39: ve görsel grafikleri Şekil 3.82:'de yer almaktadır. Son 5 deneyde, VH'nın ağırlığının azaltılması, direncini de azaltmıştır, amper artmıştır, AH 50 cm. 'de okunan mV değeri de en yüksek değere ulaşmıştır. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken, ikinci grup deneylerde 2152 mV genlik değeri, üçüncü grup deneylerde 2932 mV, dördüncü grup deneylerde 8090 mV ve 21. Deneyde 8800 mV genlik değerine ulaşılmıştır. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe ikinci grup deneylerde 2 m. 'ye, üçüncü grup deneylerde 2.5 m. 'de 1 mV iken, 16. deneyde 2.5 m. 'de 6 mV ve 21 ile 22. Deneylerde 3 m. mesafesine ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bir sonraki deneyde, VH'nın direncini düşürmek amacıyla 1 mm. çaplı bobin teli ile 50 gr yeni bir VH ve ağırlığı arttırılan AH lar sarılarak deneylere devam edilecektir.

Tablo 3.39: Yapılan 22 deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.07	592
2	250	13.05	95	2.98	0.03	610
3	350	12.12	133	3.16	0.02	653
4	500	11.33	189	3.33	0.02	470
5	600	10.5	226	3.53	0.02	429
6	100	13.51	39	2.94	0.08	452
7	250	13.07	39	3.01	0.08	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.08	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.09	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.09	2152
11	100	13.4	20	2.75	0.14	584
12	250	12.95	20	2.94	0.15	1442
13	350	11.8	20	3.15	0.16	2407
14	500	11.1	20	3.35	0.17	2548
15	600	10.4	20	3.5	0.18	2932
16	600	10.33	10.5	3.24	0.31	8090
17	600	7.28	10.5	3.66	0.35	5220
18	600	13.9	3.3	2.3	0.70	2007
19	600	10.12	3.3	2.66	0.81	3848
20	600	7.23	3.3	2.75	0.83	3513
21	850	9.26	3.3	2.65	0.80	8800
22	1200	7.71	3.3	2.75	0.83	7160



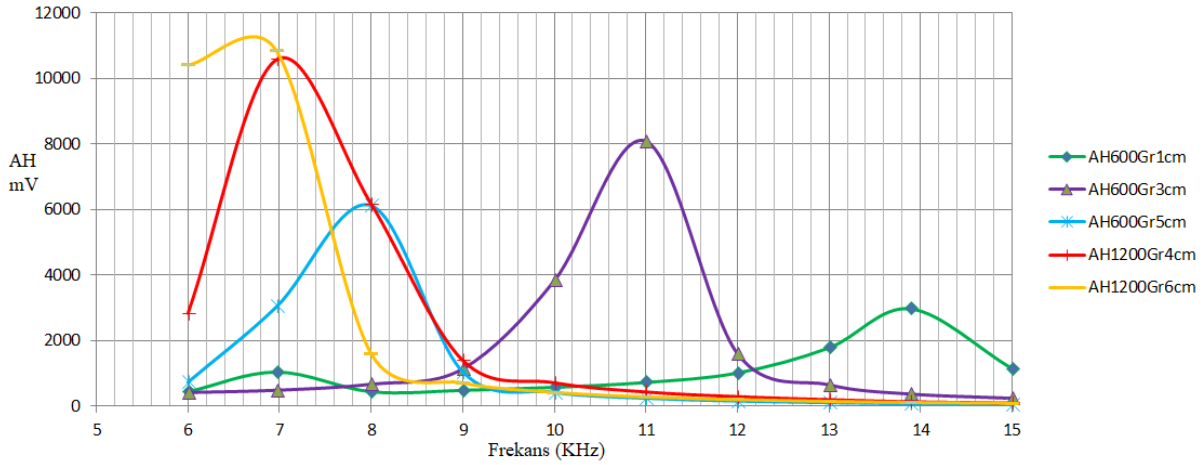
Şekil 3.82: Yapılan 22 deney sonuçları.

3.3.3.11. 50 Gr. 1 cm. 1 mm. VH İle AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm Deneyleri

Yeni sarılan VH 50 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 1 mm. halka çapı 20 cm. ve direnci 1.6 Ω 'dur. AH 'lar ise; Önceki deneylerde kullandığımız 600 gr 1 cm. 600 gr 3 cm. 600 gr 5 cm. 1200 gr 4 cm. ve yeni sarılan AH 1200 gr 6 cm. dir. VH ve AH merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.40:'da ve Şekil 3.83:'de grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin ilk 3 deneyde 600 gr AH 'larda aynı ağırlıkta olmalarına rağmen sarım yüksekliğinin artması frekansı düşürdüğü, yine 1200 gr AH larda da sarım yüksekliğinin artması frekansı düşürdüğü görülmektedir.

Tablo 3.40: 50 gr. 1 cm. 1 mm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm deney sonuçları (AH=mV).

Frekans (KHz)	AH 600Gr1cm	Frekans (KHz)	AH 600Gr3cm	Frekans (KHz)	AH 600Gr5cm	Frekans (KHz)	AH 1200Gr4cm	Frekans (KHz)	AH 1200Gr6cm
6	447	6	423	6	737	7	2838	7	10400
6.968	1046	7	492	7	3040	7.68	10570	7.065	10830
8	447	8	675	7.215	6120	8	6170	8	1603
9	490	9	1143	8	1054	9	1402	9	716
10	580	10	3830	9	427	10	719	10	429
11	729	10.223	8080	10	248	11	440	11	288
12	1018	11	1608	11	163	12	296	12	208
13	1784	12	656	12	114	13	205	13	154
13.89	2973	13	377	13	81	14	142	14	120
15	1145	14	247	14	60	15	100	15	97

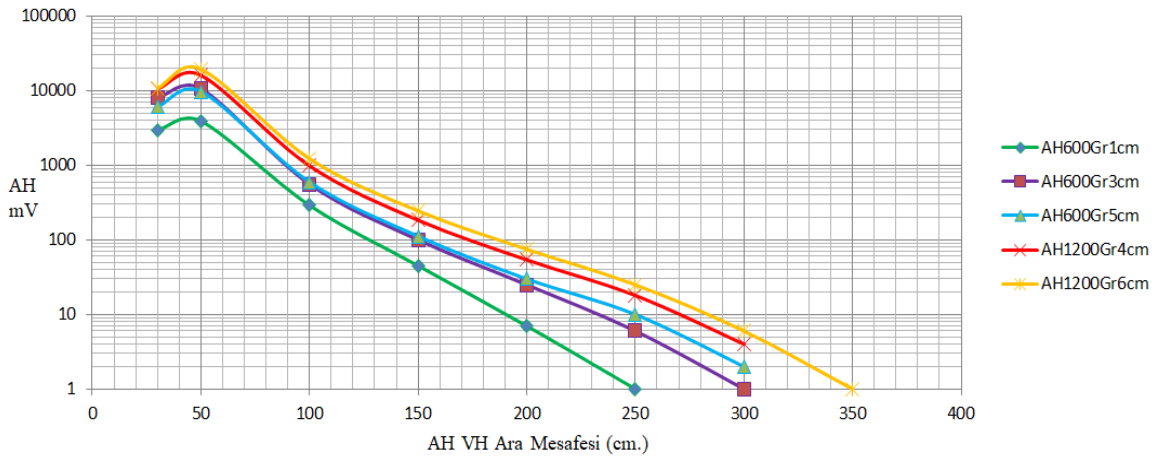


Şekil 3.83: 50 gr. 1 cm. 1 mm. VH ile AH600Gr1cm-AH600Gr3cm-AH600Gr5cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm deney sonuçları.

VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde okunan mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.41:'de ve grafiği Şekil 3.84:'de yer almaktadır. Önceki deneylerde VH ve AH arası 50 cm. de 8800 mV okunurken şimdiki deneylerde bu değer 19150 mV 'a yükselmiş ve yine önceki deneylerde 300 cm. uzaklıkta 1 mV okunurken şimdiki deneylerde 6 mV 'a yükselmiştir. 350 cm. uzaklıkta ağırlığı ve yüksekliği arttırılan halkada 1 mV değerleri ölçülmüştür. VH50gr1cm1mm ile AH1200gr6cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir.

Tablo 3.41: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV'tur).

VH-AH Mesafe (cm)	AH 600Gr1cm	AH 600Gr3cm	AH 600Gr5cm	AH 1200Gr4cm	AH 1200Gr6cm
30	2973	8080	6120	10570	10830
50	3916	10700	9800	16150	19510
100	291	558	597	984	1227
150	45	100	112	184	245
200	7	25	30	54	75
250	1	6	10	18	25
300		1	2	4	6
350					1



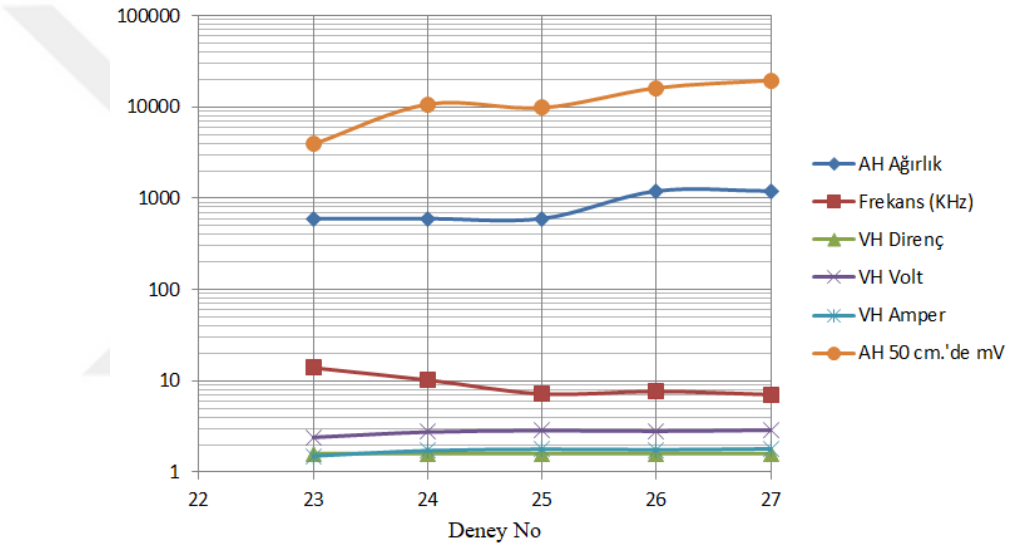
Şekil 3.84: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları.

VH50gr1cm1mm ile AH600Gr1cm, AH600Gr3cm, AH600Gr5cm, AH1200Gr4cm ve AH1200Gr6cm deneylerinde sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10.2 V çıkışta VH 'da oluşan voltaj, VH 'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH 'da ölçülen mV değerleridir. 5 deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.42:'de ve grafiği Şekil 3.85:'de yer almaktadır. VH (direnç sabit) sabit olduğu halde

frekansa bağlı daha yüksek voltaj geçen 7.07 KHz etkin frekanslı AH1200Gr6cm ölçümünde en yüksek amper ve mV değeri ölçümlenmiştir.

Tablo 3.42: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
23	600	13.89	1.6	2.41	1.51	3916
24	600	10.22	1.6	2.76	1.73	10700
25	600	7.22	1.6	2.86	1.79	9800
26	1200	7.68	1.6	2.82	1.76	16150
27	1200	7.07	1.6	2.89	1.81	19510



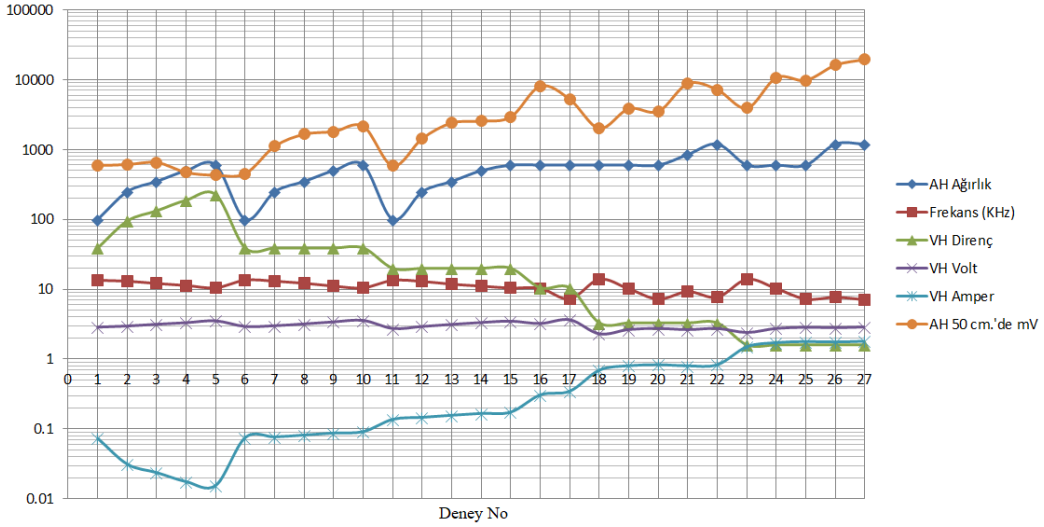
Şekil 3.85: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları.

AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam 27 deney gerçekleştirdik. Yapılan 27 deney sonuçları Tablo 3.43: ve görsel grafikleri Şekil 3.86:'da yer almaktadır. Son 5 deneyde, VH 'nın ağırlığının azaltılması, direncini de azaltmıştır, amper artmıştır, AH 50 cm. 'de okunan mV değeri de en yüksek değere ulaşmıştır. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken, ikinci grup deneylerde 2152 mV genlik değeri, üçüncü grup deneylerde 2932 mV, dördüncü grup deneylerde 8090 mV, beşinci grup deneylerde 8800 mV ve 27. Deneyde 19150 mV genlik değerine ulaşılmıştır. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe ikinci grup deneylerde 2 m. 'ye, üçüncü grup deneylerde 2.5 m. 'de 1 mV iken, 16. deneyde 2.5 m. 'de 6 mV ve 21 ile 22. deneylerde 3 m. ve 27. Deneyde 3.5 m. mesafesine ulaşmıştır. Şekil 3.86: dikkatle incelediğimizde ilk deneylerde amper, direnç ve volt değerleri birbirinden uzakta iken, son deneylerde örtüşmeye

başlamışlardır. Ohm yasasına göre direnç azaldıkça amper yükselecektir. Diğer taraftan AH larda ağırlık artışı ve yükseklik artışı da mV artışı ve AH VH indükleme ara mesafesini arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre bir sonraki deneyde, VH 'nın direncini düşürmek amacıyla 1.2 mm. çaplı bobin teli ile yeni bir VH ve ağırlığı arttırılan AH lar sarılarak deneylere devam edilecektir.

Tablo 3.43: Yapılan 27 deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm. 'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.07	592
2	250	13.05	95	2.98	0.03	610
3	350	12.12	133	3.16	0.02	653
4	500	11.33	189	3.33	0.02	470
5	600	10.5	226	3.53	0.02	429
6	100	13.51	39	2.94	0.08	452
7	250	13.07	39	3.01	0.08	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.08	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.09	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.09	2152
11	100	13.4	20	2.75	0.14	584
12	250	12.95	20	2.94	0.15	1442
13	350	11.8	20	3.15	0.16	2407
14	500	11.1	20	3.35	0.17	2548
15	600	10.4	20	3.5	0.18	2932
16	600	10.33	10.5	3.24	0.31	8090
17	600	7.28	10.5	3.66	0.35	5220
18	600	13.9	3.3	2.3	0.70	2007
19	600	10.12	3.3	2.66	0.81	3848
20	600	7.23	3.3	2.75	0.83	3513
21	850	9.26	3.3	2.65	0.80	8800
22	1200	7.71	3.3	2.75	0.83	7160
23	600	13.89	1.6	2.41	1.51	3916
24	600	10.22	1.6	2.76	1.73	10700
25	600	7.22	1.6	2.86	1.79	9800
26	1200	7.68	1.6	2.82	1.76	16150
27	1200	7.07	1.6	2.89	1.81	19510



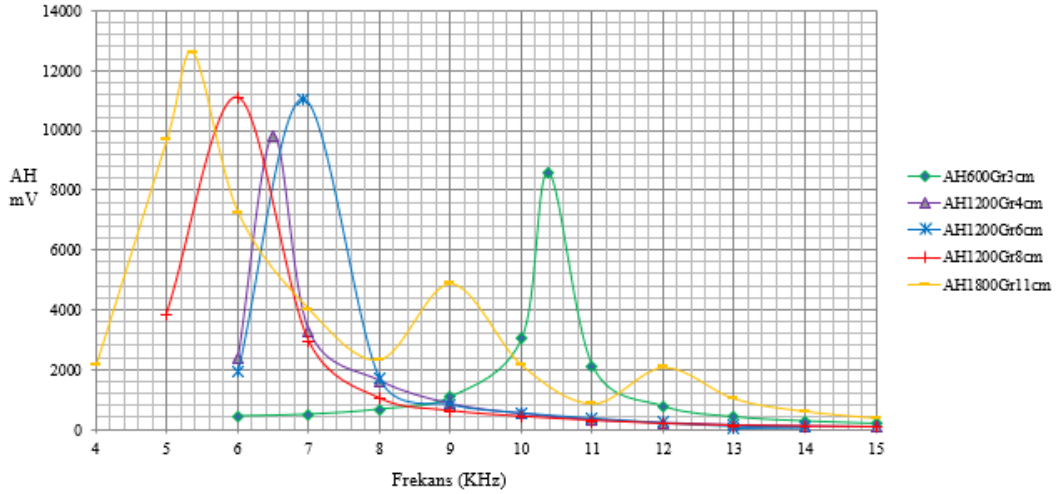
Şekil 3.86: Yapılan 27 deney sonuçları.

3.3.3.12. 500 Gr. 1 cm. 1.2 mm. VH İle AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm-AH1800Gr11cm Deneyleri

Yeni sarılan VH 500 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 1.2 mm. halka çapı 20 cm. ve direnci 1 Ω 'dur. AH 'lar ise, önceki deneylerde kullandığımız 600 gr 3 cm. 1200 gr 4 cm. 1200 gr 6 cm. halkalara ek olarak yeni sarılan 1200 gr 8 cm. ve 1800 gr 11 cm. dir. VH ve AH merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.44:'de ve Şekil 3.87:'de grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin ağırlığın artması ile frekansı düşürdüğü, mV genlik değerlerini arttırdığı görülmektedir.

Tablo 3.44: 500 gr. 1 cm. 1.2 mm. VH ile AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm- AH1800Gr11cm deney sonuçları (AH=mV).

Frekans (KHz)	AH 600Gr3cm	Frekans (KHz)	AH 1200Gr4cm	Frekans (KHz)	AH 1200Gr6cm	Frekans (KHz)	AH 1200Gr8cm	Frekans (KHz)	AH 1800Gr11cm
6	444	6	2360	6	1922	5	3826	4	2146
7	500	6.496	9800	6.92	11037	6	11108	5	9687
8	674	7	3293	8	1706	7	2963	5.365	12571
9	1085	8	1621	9	841	8	1027	6	7254
10	3044	9	851	10	562	9	609	7	4025
10.374	8600	10	522	11	389	10	416	8	2340
11	2100	11	316	12	231	11	284	9	4866
12	766	12	217	13	122	12	175	10	2148
13	412	13	141	14	84	13	118	11	868
14	270	14	103	13	51	14	91	12	2075
15	190	15	81			15	66	13	1026
								15	387

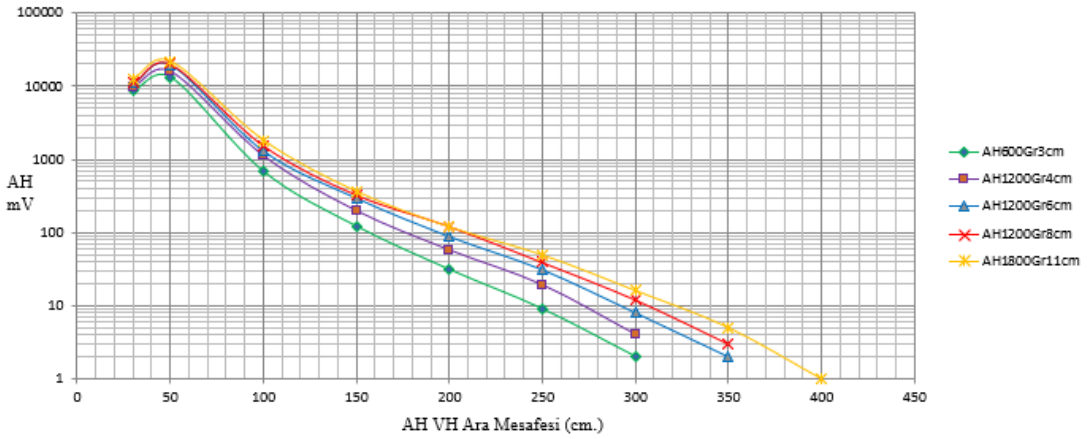


Şekil 3.87: 500 gr. 1 cm. 1.2 mm. VH ile AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm-AH1800Gr11cm deney sonuçları.

VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde okunan mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.45:'de ve grafiği Şekil 3.88:'de yer almaktadır. Önceki deneylerde VH ve AH arası 50 cm. de 19150 mV okunurken şimdiki deneylerde bu değer 21643 mV 'a yükselmiş ve yine önceki deneylerde 300 cm. uzaklıkta 6 mV okunurken şimdiki deneylerde 16 mV 'a yükselmiştir. 350 cm. uzaklıkta ağırlığı ve yüksekliği arttırılan halkada 5 mV, 400 cm. uzaklıkta ağırlığı ve yüksekliği arttırılan halkada 1 mV değerleri ölçülmüştür. VH500gr1cm1.2mm ile AH1800gr11cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir.

Tablo 3.45: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları (AH değerleri mV 'tur).

VH-AH Mesafe (cm)	AH600Gr3cm	AH1200Gr4cm	AH1200Gr6cm	AH1200Gr8cm	AH1800Gr11cm
30	8600	9806	11037	11108	12571
50	13280	15865	19802	20084	21643
100	680	1108	1309	1538	1805
150	121	196	296	326	361
200	31	57	88	121	118
250	9	19	31	39	49
300	2	4	8	12	16
350			2	3	5
400					1

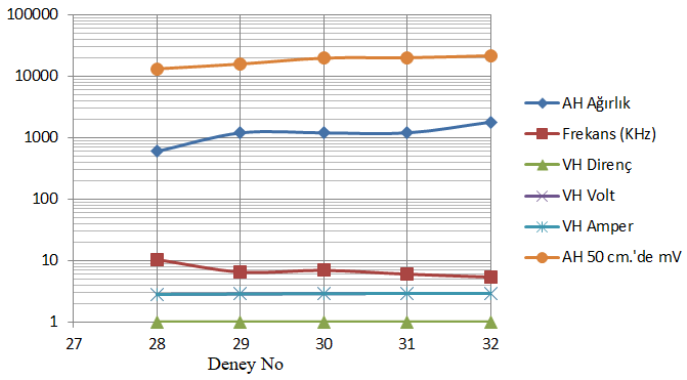


Şekil 3.88: VH ile AH farklı mesafelerde deney sonuçları.

VH500gr1cm1.2mm ile AH600Gr3cm, AH1200Gr4cm, AH1200Gr6cm, AH1200Gr8cm ve AH1800Gr11cm deneylerinde sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10.2 V çıkışta VH 'da oluşan voltaj, VH'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH 'da ölçülen mV değerleridir. 5 deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.46:'da ve grafiği Şekil 3.89:'da yer almaktadır. VH (direnç sabit) sabit olduğu halde frekansa bağlı daha yüksek voltaj geçen 5.37 KHz etkin frekanslı AH1800Gr11cm ölçümünde en yüksek amper ve mV değeri ölçümlenmiştir.

Tablo 3.46: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
28	600	10.37	1	2.82	2.82	13280
29	1200	6.5	1	2.86	2.86	15865
30	1200	6.92	1	2.9	2.90	19802
31	1200	6	1	2.91	2.91	20084
32	1800	5.37	1	2.93	2.93	21643



Şekil 3.89: VH50gr1cm0.5mm ile AH halkaları deney sonuçları.

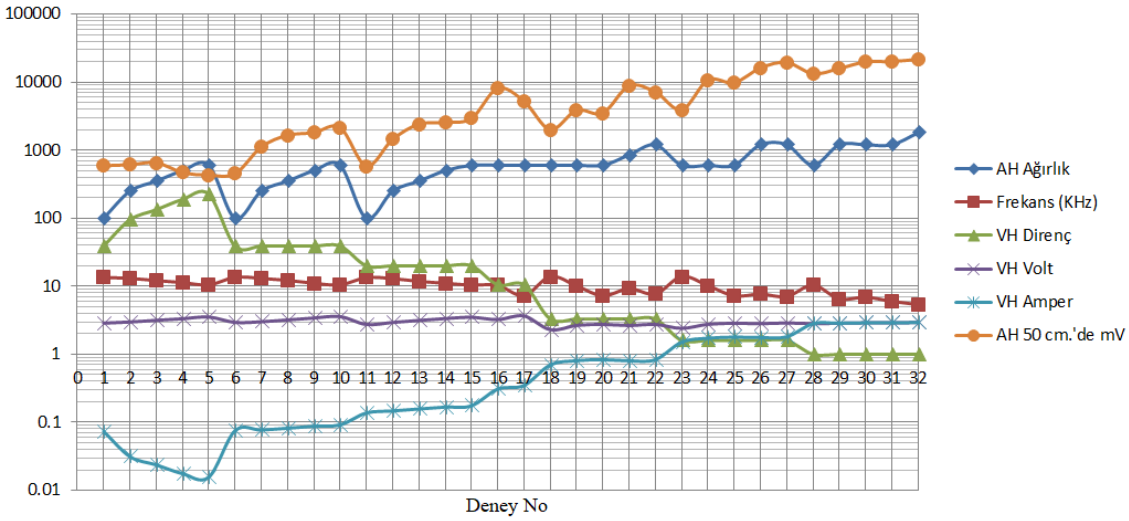
AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam 32 deney gerçekleştirdik. Yapılan 32 deney sonuçları Tablo 3.47: ve görsel grafikleri Şekil 3.90:'da yer almaktadır. Son 5 deneyde, VH 'nın bobin teli çapı 1 mm. 'den 1.2 mm. 'ye arttırılması, direncini de azaltmıştır, amper artmıştır, AH ların ağırlığının artması da frekansı alçaltmış, geçen voltaj değeri artmıştır. AH 50 cm. 'de okunan mV değeri de en yüksek değere ulaşmıştır. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken, ikinci grup deneylerde 2152 mV genlik değeri, üçüncü grup deneylerde 2932 mV, dördüncü grup deneylerde 8090 mV, beşinci grup deneylerde 8800 mV, altıncı grup deneylerde 19150 mV ve 32. Deneyde 21643 mV genlik değerine ulaşılmıştır. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe ikinci grup deneylerde 2 m. 'ye, üçüncü grup deneylerde 2.5 m. 'de 1 mV iken, 16. deneyde 2.5 m. 'de 6 mV ve 21 ile 22. deneylerde 3 m. 27. Deneyde 3.5 m. Ve 32. Deneyde 4 m mesafesine ulaşmıştır. Şekil 3.86: dikkatle incelediğimizde ilk deneylerde amper, direnç ve volt değerleri birbirinden uzakta iken, son deneylerde örtüşmeye başlamışlar, direnç 1 Ω değerine düşünce geçen voltaj amper değerine eşit olmuştur. Ohm yasasına göre direnç azaldıkça amper yükselecektir. Diğer taraftan AH larda ağırlık artışı ve yükseklik artışı da mV artışı ve AH VH indükleme ara mesafesini arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre VH500Gr1cm1.2mm verici halkası ile, AH1800Gr11cm0.3mm alıcı halkası olarak Toptepe Tümülüslerinde ölçüm çalışmalarında kullanılacaktır. Ölçüm çalışmalarında AH ve VH halkaları ara mesafesi 1 m. düşünülmüştür. Bunun nedeni ise; eğer AH ve VH halkalarının merkezleri arası mesafeyi 50 cm. de tutarsak VH dan gelen indüksiyon 21643 mV olacak yerden gelen ikincil alanların 21643 mV oranı çok düşük kalacaktır. İkincil alanların 1 m. Mesafede 1805 mV VH dan gelen indüksiyona oranı ise 50 cm. ye göre çok daha yüksek olacak, bu sayede ikincil alanlar daha yüksek oranda görülebilecektir. VH AH ara mesafesini 1 m. den daha uzun tutmak ise Tümülüs gibi eğimli, dik yamaçlı, yürümenin bile zor olduğu arazi koşullarında ölçüm yapabilmek açısından kullanışlı değildir. Halkalar tek parça ahşap malzemenin otomatik tornada iki tarafı çember şeklinde ve çemberlerin merkez aralığı 1 m. olacak şekilde kesilmiştir, Şekil 3.90:'da görülmektedir.



Şekil 3.90: VH AH halkaların monte edildiği ahşap şase.

Tablo 3.47: Yapılan 32 deney sonuçları.

Deney No	AH Ağırlık	Frekans (KHz)	VH Direnç	VH Volt	VH Amper	AH 50 cm.'de mV
1	100	13.43	39	2.87	0.07	592
2	250	13.05	95	2.98	0.03	610
3	350	12.12	133	3.16	0.02	653
4	500	11.33	189	3.33	0.02	470
5	600	10.5	226	3.53	0.02	429
6	100	13.51	39	2.94	0.08	452
7	250	13.07	39	3.01	0.08	1115
8	350	12.2	39	3.2	0.08	1655
9	500	11.08	39	3.42	0.09	1807
10	600	10.5	39	3.58	0.09	2152
11	100	13.4	20	2.75	0.14	584
12	250	12.95	20	2.94	0.15	1442
13	350	11.8	20	3.15	0.16	2407
14	500	11.1	20	3.35	0.17	2548
15	600	10.4	20	3.5	0.18	2932
16	600	10.33	10.5	3.24	0.31	8090
17	600	7.28	10.5	3.66	0.35	5220
18	600	13.9	3.3	2.3	0.70	2007
19	600	10.12	3.3	2.66	0.81	3848
20	600	7.23	3.3	2.75	0.83	3513
21	850	9.26	3.3	2.65	0.80	8800
22	1200	7.71	3.3	2.75	0.83	7160
23	600	13.89	1.6	2.41	1.51	3916
24	600	10.22	1.6	2.76	1.73	10700
25	600	7.22	1.6	2.86	1.79	9800
26	1200	7.68	1.6	2.82	1.76	16150
27	1200	7.07	1.6	2.89	1.81	19510
28	600	10.37	1	2.82	2.82	13280
29	1200	6.5	1	2.86	2.86	15865
30	1200	6.92	1	2.9	2.90	19802
31	1200	6	1	2.91	2.91	20084
32	1800	5.37	1	2.93	2.93	21643



Şekil 3.91: Yapılan 32 deney sonuçları.

4. BULGULAR

Bu tez çalışması, Samsun ili, Canik ilçesi, Hasköy Toptepe mahallesinde yer alan, Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüslerinde, Arkeojeofizik ölçüm çalışmaları başvurumuzun, TC. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nce uygun görülmesi üzerine, 2021 yılında, Samsun İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nün denetiminde, 25-27 Ağustos tarihleri arasında Jeofizik ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüslerinin görünümü Şekil 4.1:'de yer almaktadır.



Şekil 4.1: Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüslerinin görünümü (https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/).

Tez çalışması kapsamında, Arkeojeofizik ölçüm çalışmalarında, Bölüm 3.3. ve Bölüm 3.2. de anlatılan Jeofizik araştırma yöntemlerinden, ERT Tomografi 3D ve ÇYHE yöntemler uygulanmıştır. Ölçüm çalışmalarının tamamında GPS cihazıyla ölçü noktalarının koordinatları alınmış ve değerlendirmeler bu koordinatlara göre yapılmıştır.

Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüslerin bulunduğu alanda, 2016 yılında çevre düzenleme projesi çalışmalarında, Küçük Tümülüs'te dromoslu mezar odası bulunmuş, kurtarma kazısı yapılarak 1. Derece arkeolojik sit alanı olarak tescil edilmiştir. Büyük Tümülüs'te ise olası

mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurları şimdiye kadar bulunamamıştır. Özellikle Toptepe Küçük Tümülüsü'nün dromusu ve mezar odası, jeofizik çalışmalar açısından laboratuvar niteliğindedir. Öncelikle Toptepe Küçük Tümülüsü'nde ÇYHE yöntemi ve ERT 3D yöntemi uygulanarak, özellikle ÇYHE yöntemin başarısı irdelenmiştir. Toptepe Küçük Tümülüsü'nde elde edilen başarılı sonuçlar akabinde Toptepe Büyük Tümülüsü'nde ÇYHE yöntemi ve ERT 3D yöntemi uygulanmıştır.

4.1. TOPTEPE KÜÇÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALARI

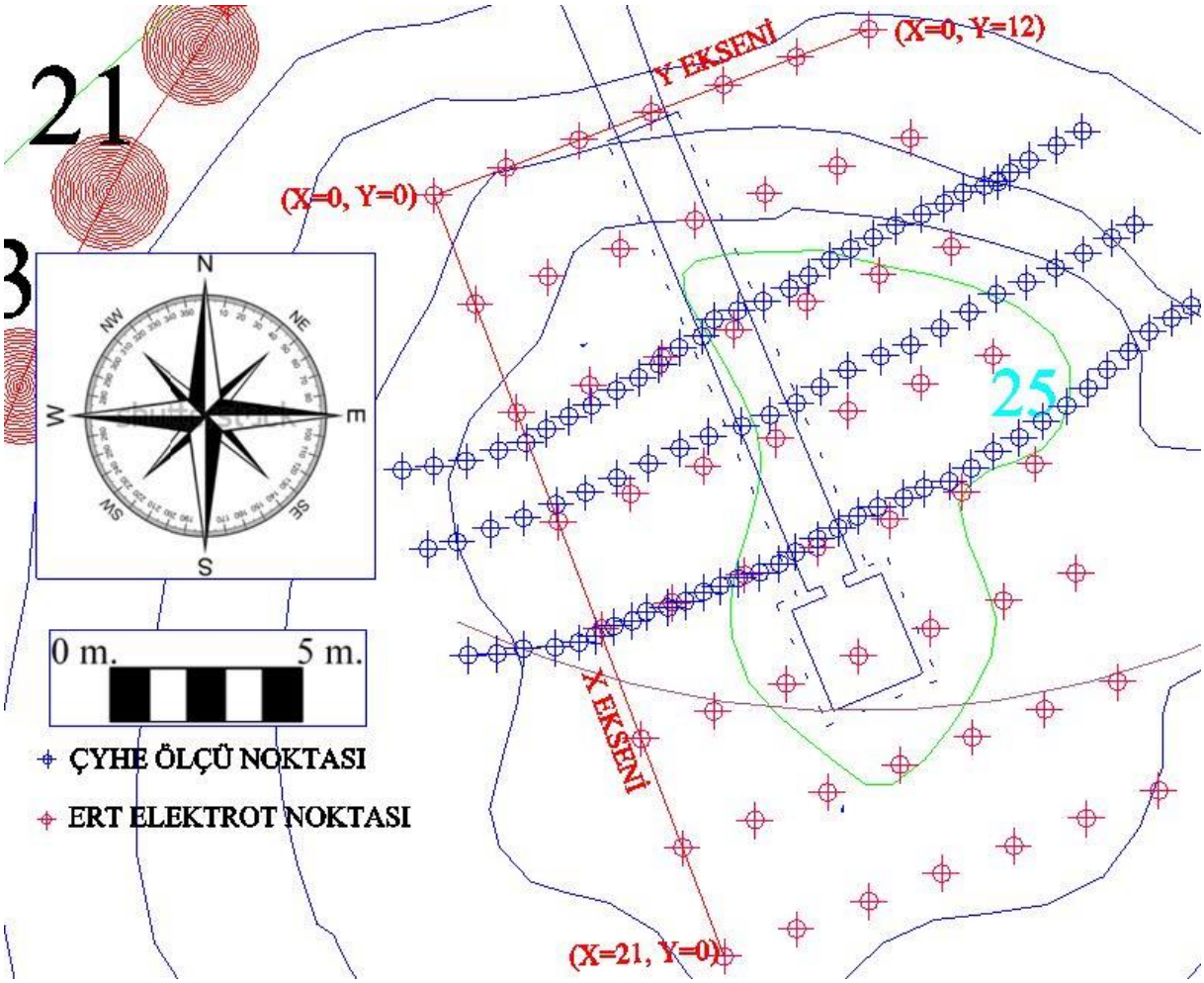
4.1.1. Toptepe Küçük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Çalışmaları

Toptepe Küçük Tümülüsü Büyük Tümülüsün güneybatısında, yaklaşık 60 m. çapında, 6 m. yüksekliktedir. Konumu Şekil 4.1:'de yer almaktadır. 2016 yılındaki Tümülüslerin bulunduğu alanda yapılan çevre düzenlemesi çalışmalarında Küçük Tümülüs'te 17 m. uzunluğunda, 1.5 m. genişliğinde ve 2.2 m. yüksekliğinde dromos, genişliği 2.55 m. uzunluğu 2.75 m. ve yüksekliği 2.8 m. ebatlarında mezar odası bulunmuştur. Tümülüsün olduğu alan I. derece arkeolojik sit alanı olarak tescil dilmiştir. Tümülüsün dromosu ve mezar odası içi boş herhangi bir dolgu malzemesi veya toprak bulunmamaktadır. Tümülüs inşa malzemesi volkanik aglomeradır. Volkanik aglomera, konglomeranın metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuştur, Tablo 2.11:'de metamorfiklerin özdirenç değerleri 8.000 ile 60.10^6 arasında verilmiştir. Oldukça yüksek özdirenç değerine sahip tümülüs inşa malzemesi, dromos ve mezar odasının içinin de boş olması, sonsuza yaklaşan özdirenç değeri ile tümülüs yığmasının özdirenç değerlerinden oldukça yüksek bir zıtlık oluşturmaktadır. Toptepe Küçük Tümülüsü Şekil 4.2:'de yer almaktadır.



Şekil 4.2: Toptepe Küçük Tümülüsü görünümü.

Toptepe Küçük Tümülüsü'nde, Arkeojeofizik araştırmalar kapsamında ÇYHE yöntemi uygulanmıştır. Vaziyet planı Şekil 4.3:'te görüldüğü üzere, tümülüsün 1.5 m. genişliğinde dromosunu dik kesecek şekilde kuzeydoğu güneybatı doğrultulu 75 cm. ölçü noktası aralıklı, takribi 20 m. profil uzunluğunda, 3 paralel profilde ölçümler alınmıştır. Vaziyet planında dromos, mezar odası çizimi yer almakta olup, ÇYHE ölçü noktaları mavi renkteki artı işareti ile gösterilmiştir.



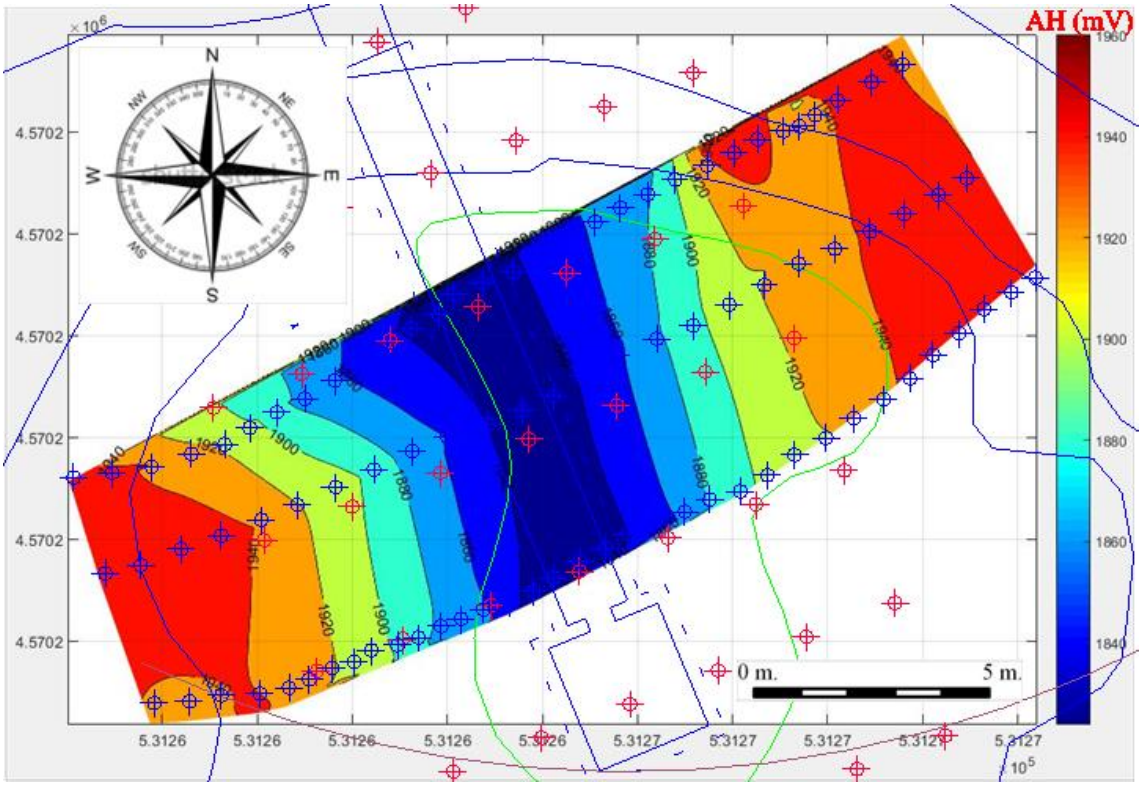
Şekil 4.3: Küçük Tümülüs dromosunu dik kesen ÇYHE ölçü noktaları (mavi renk artı işaretleri).

ÇYHE ölçüm çalışmalarında, ölçü alındıktan hemen sonra arkadan gelen GPS cihazı ile ölçü noktasının koordinatı kaydedilmiştir. Bu işlem 3 paralel hat boyunca, önce ÇYHE mV değeri sonra GPS koordinatı ölçümü şeklinde tekrarlanmıştır. Ölçüm çalışmalarının resmi Şekil 4.4:'te yer almaktadır.



Şekil 4.4: Küçük Tümülüs ÇYHE ölçümü ve GPS koordinat alımı.

Toptepe Küçük Tümülüsü'nde ÇYHE ölçümleri ve GPS ölçü noktaları koordinat alımları tamamlandıktan sonra, elde edilen ÇYHE mV değerlerinin, koordinatlara karşılık olarak kontur haritası, Matlab 'da (https://matlab.mathworks.com/) yazılan kodla çizdirilmiştir. Matlab kodu EK1.'de yer almaktadır. ÇYHE yöntemi mV değerlerinin kontur dağılımı Şekil 4.5:'te yer almaktadır.

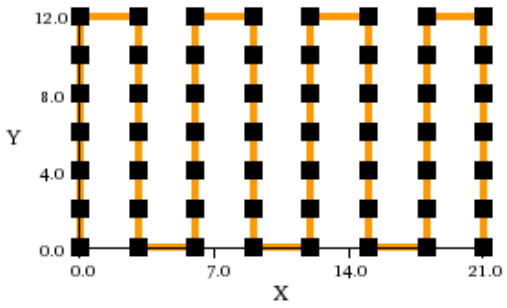


Şekil 4.5: Küçük Tümülüs ÇYHE yöntemi AH mV kontur haritası.

ÇYHE yöntemi mV kontur haritası ve sağında yer alan mV renk lejantını incelediğimizde, mV değerlerinin 1820 mV ile 1960 mV arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle dromosun olduğu orta bölümde mV değerlerinin 1820 mV değerlerine doğru azaldığı, dromostan uzaklaştıkça 1950 mV değerlerine doğru arttığı görülmektedir. Tümülüs inşa malzemesinin çok yüksek özdirençli yapıda olması ve dromosun içinin boşluk olması, iletken ortam bulunmaması, Eddy akımlarının oluşamaması ve buna bağlı ikincil manyetik alanın oluşamaması nedeniyle, AH 'da ölçümlenen gerilim sadece VH 'dan kaynaklanan birincil manyetik alan değeridir.

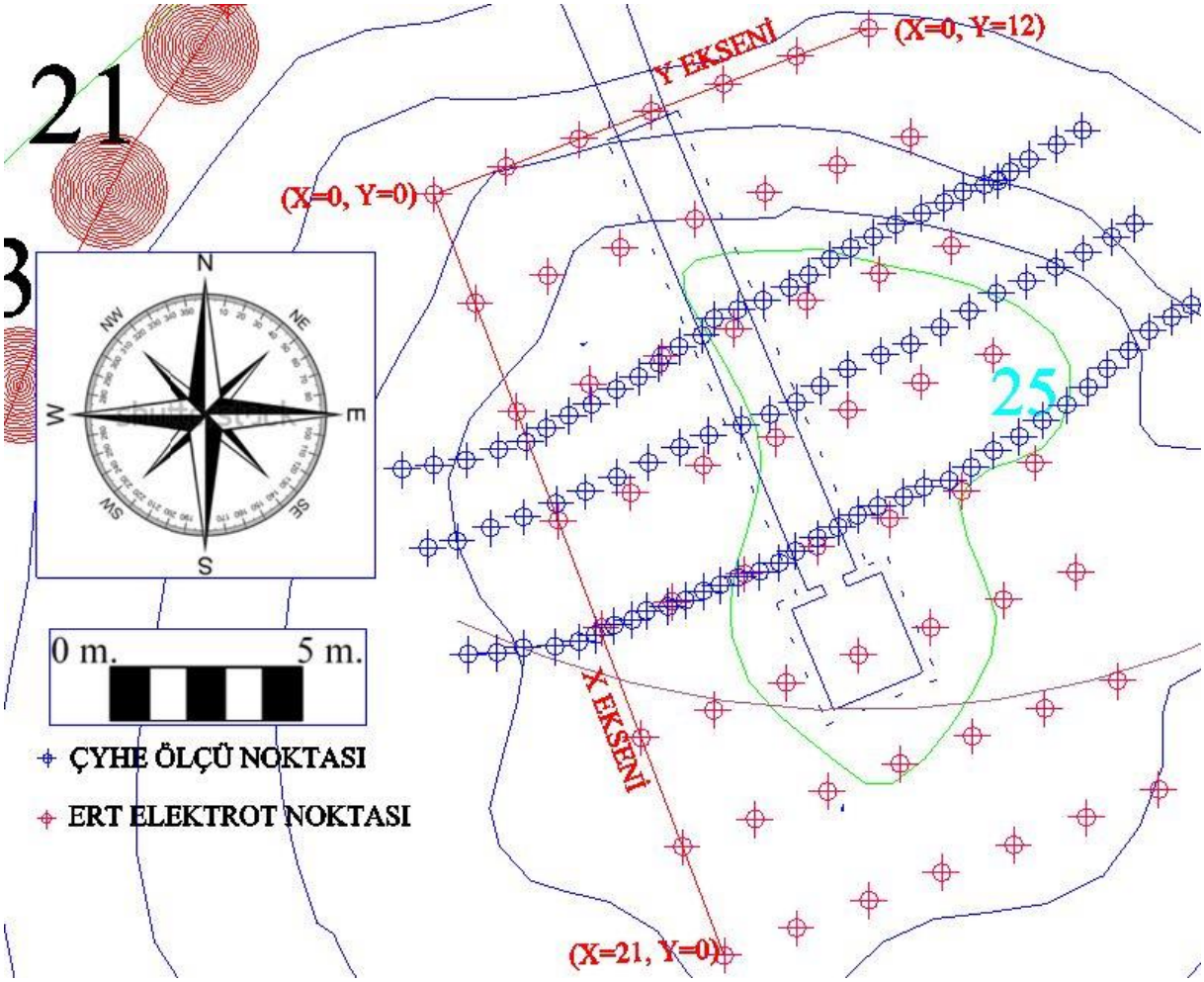
4.1.2. Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D Çalışmaları

Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D çalışmalarında, Tümülüsün dromos girişi, dromos ve mezar odasını alansal olarak kapsayacak şekilde bir geometri oluşturulmaya çalışılmıştır. Bölüm 3.1.3. 3D Elektrik özdirenç dizilimleri ve modelleme bölümünde, modelleme çalışmalarında, genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odası varsayımı yapılmıştı. Model ebatları Toptepe Küçük Tümülüsü'nün ebatlarına yakın olması, sadece daha uzun bir dromos olduğu dikkate alınarak, dromosu ve mezar odasını dik kesen y ekseni boyunca elektrot aralıkları modeldeki gibi 2 m. dromosun ve mezar odasının uzanım doğrultusundaki x ekseninde elektrot aralıkları 3 m. seçilmiştir. Ölçüm çalışmalarında 56 elektrotlu, AgiSupersting R1 özdirenç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm öncesi 56 elektrota göre komut dosyası oluşturulmuş, planlanan ölçü geometrisine göre diğer dizilimlerin de benzetimi (İngilizce karşılığı simulation) yapılarak en derine ulaşabilen pol pol dizilime karar verilmiştir. Benzetimde tahmin edilen araştırma derinliği 14.51 m. ölçüler 2 şer kez alınacak şekilde ve toplam 1540 veri elde edilecek şekilde komut dosyası oluşturulmuştur. Dizilim geometrisi Şekil 4.6:'da yer almaktadır.



Şekil 4.6: Pol pol dizilim komut dosyası elektrotların geometrisi (Elektrotlar siyah kare, kablo turuncu renktedir).

Toptepe Küçük Tümülüsü'nde gerçekleştirilen ERT 3D çalışmasında, elektrotların konumu vaziyet planında Şekil 4.7:'de yer almaktadır.

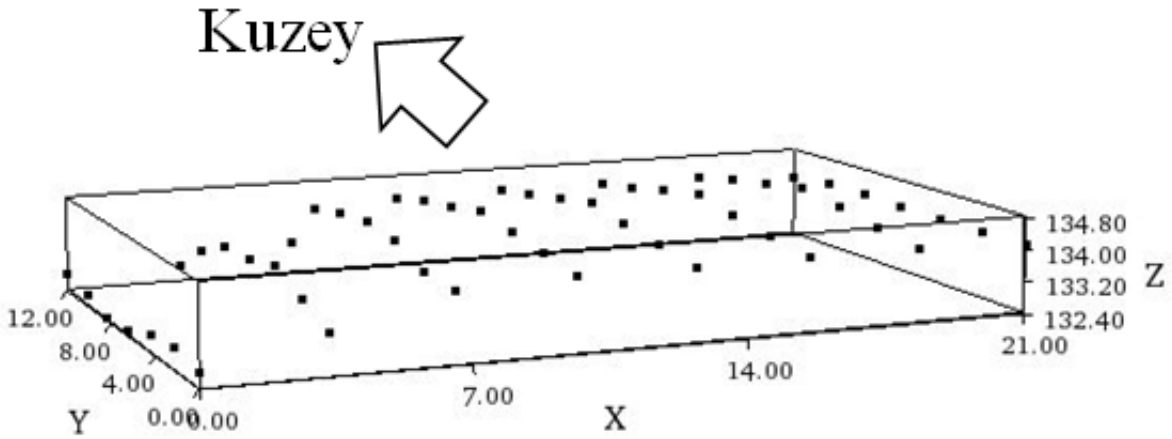


Şekil 4.7: Dromos ve mezar odası üzerinde elektrotların geometrisi (kırmızı renk artı işaretleri).

Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D ölçüm çalışmalarında her bir elektrotun koordinatı alınarak, değerlendirmelerde kot değerleri dikkate alınmıştır. Ölçüm çalışmalarının resmi Şekil 4.8:'de yer almaktadır. ERT 3D ölçüm çalışmasında alınan kot değerlerine göre elektrotların konumunun 3D görünümü Şekil 4.9:'da yer almaktadır.



Şekil 4.8: ERT 3D ölçüm çalışması ve koordinat alımı.



Şekil 4.9: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların 3D görünümü (elektrotlar siyah nokta).

ERT 3D çalışmalarında, Şekil 4.6:'daki gibi kablo serimi yapıldıktan, 56 elektrot komut dosyasında planlanan geometride yerlerine çakıldıktan sonra, dizilimin eksi x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa B akım elektrotu ve artı x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa N potansiyel elektrotu çakılarak sonsuz olarak tanımlanan elektrotların da çakılması yapılmıştır. Sonsuzdaki B akım elektrotunun, çalışma sahamızdan uzak olması ve geçecek

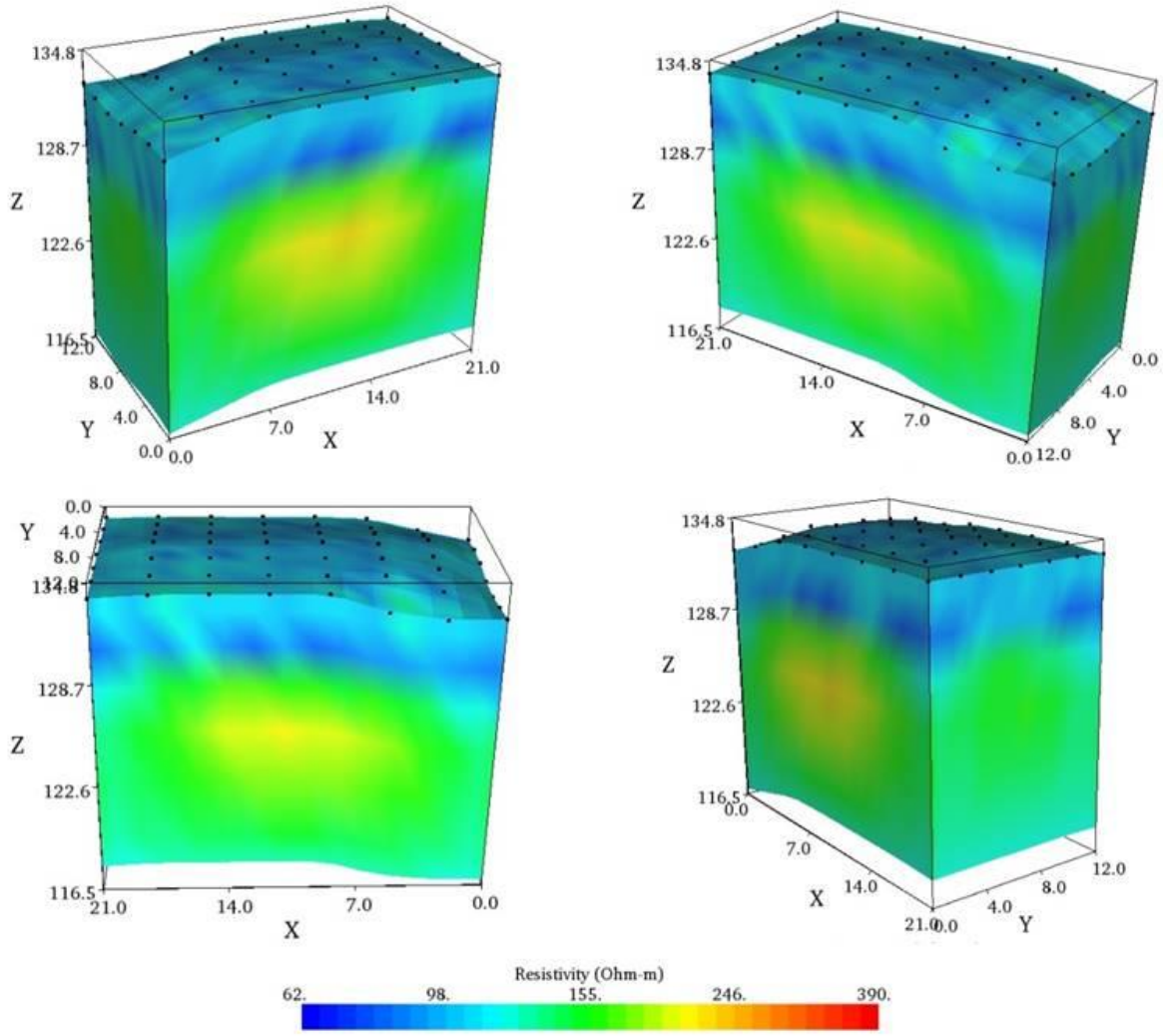
akıma temas edilmemesi gerektiğini gösteren “Dikkat Yüksek Voltaj” uyarı işareti de asılarak çalışma hazırlıklarına devam edilmiştir.

ERT 3D ölçümlerine başlamadan önce her bir elektrotun kontak direnci ölçülerek, yüksek direnç gösteren elektrotlar kontrol edilmiştir. Ohm yasasına göre yüksek direnç gösteren elektrottan düşük akım geçecektir ve ölçümler güvenilir olmayacaktır. Bölüm 3.3.’te VH deneylerinde de hatırlanacağı üzere, direnç yüksek olunca amper düşmektedir. Elektrotların yerle iyi teması, gerektiğinde iletkenliği arttıracak sıvı takviyesi yapılması veya elektrotun yerinin değiştirilmesi ile düşük direnç değerlerine ulaşana kadar kontak direnç testleri yapılmaya devam edilmelidir. Bu işlemin yapılması, akım elektrotlarına en yüksek akımın verilmesini ve yüksek gerilim değerlerinin okunmasını sağlayacak, ölçü hassasiyeti en yüksek seviyeye ulaşacaktır. Şekil 4.10: ölçü öncesi yapılan kontak direnç testini gösteren resimdir.



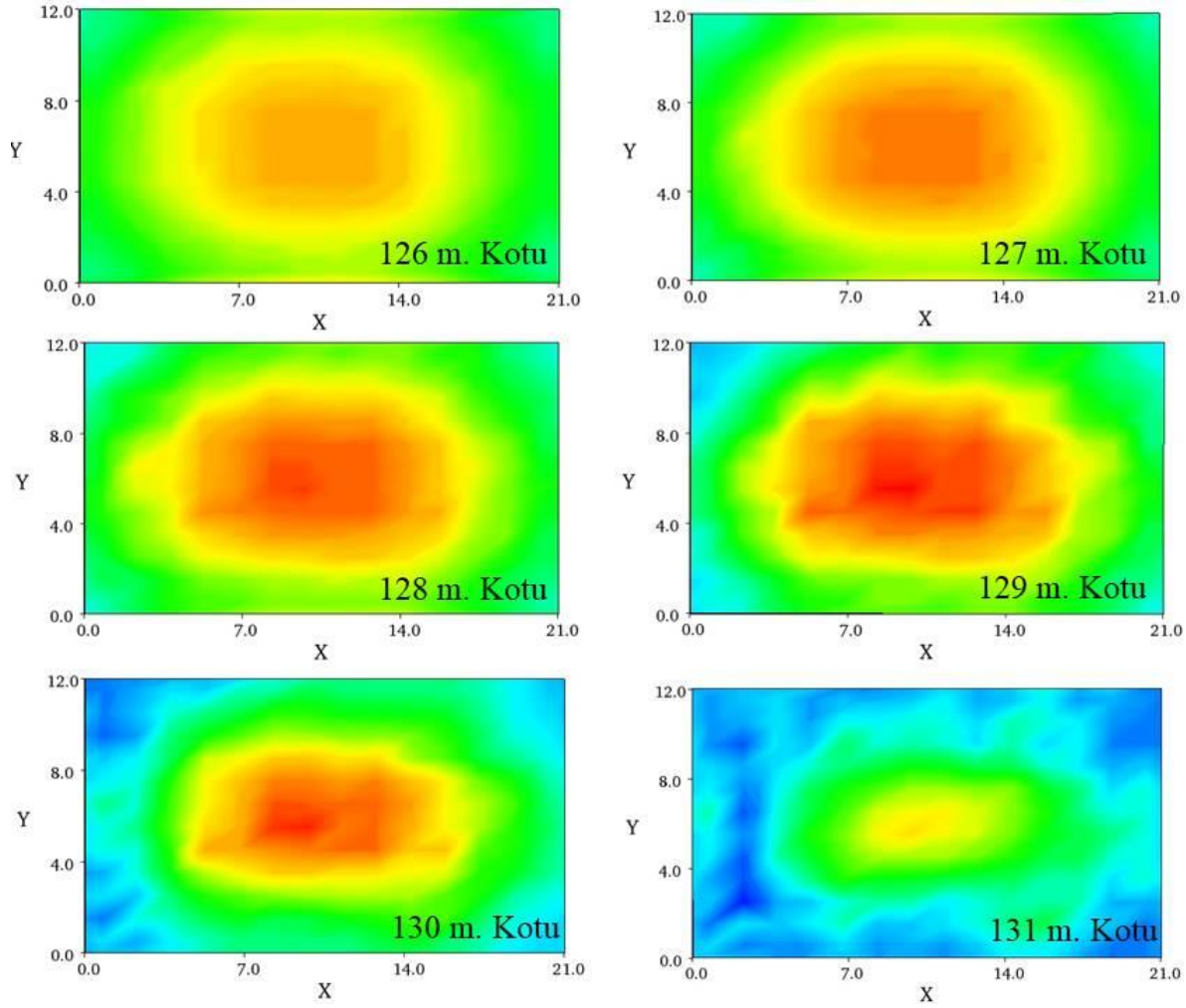
Şekil 4.10: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların kontak direnç ölçümü.

ERT 3D ölçüm çalışması tamamlandıktan sonra, elde edilen veri dosyası EarthImager 3D ters çözüm programı ile ters çözüm işlemleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen 3D hacimsel özdirenç ters çözüm görünümünün 4 farklı açılardan görünümü Şekil 4.11:’de yer almaktadır. Tümülüs yığmasının olduğu seviyede düşük özdirençli, tümülüs yapı elemanlarının olduğu orta derinlikte ise özdirenç değerlerinin artmaya başladığı görülmektedir.



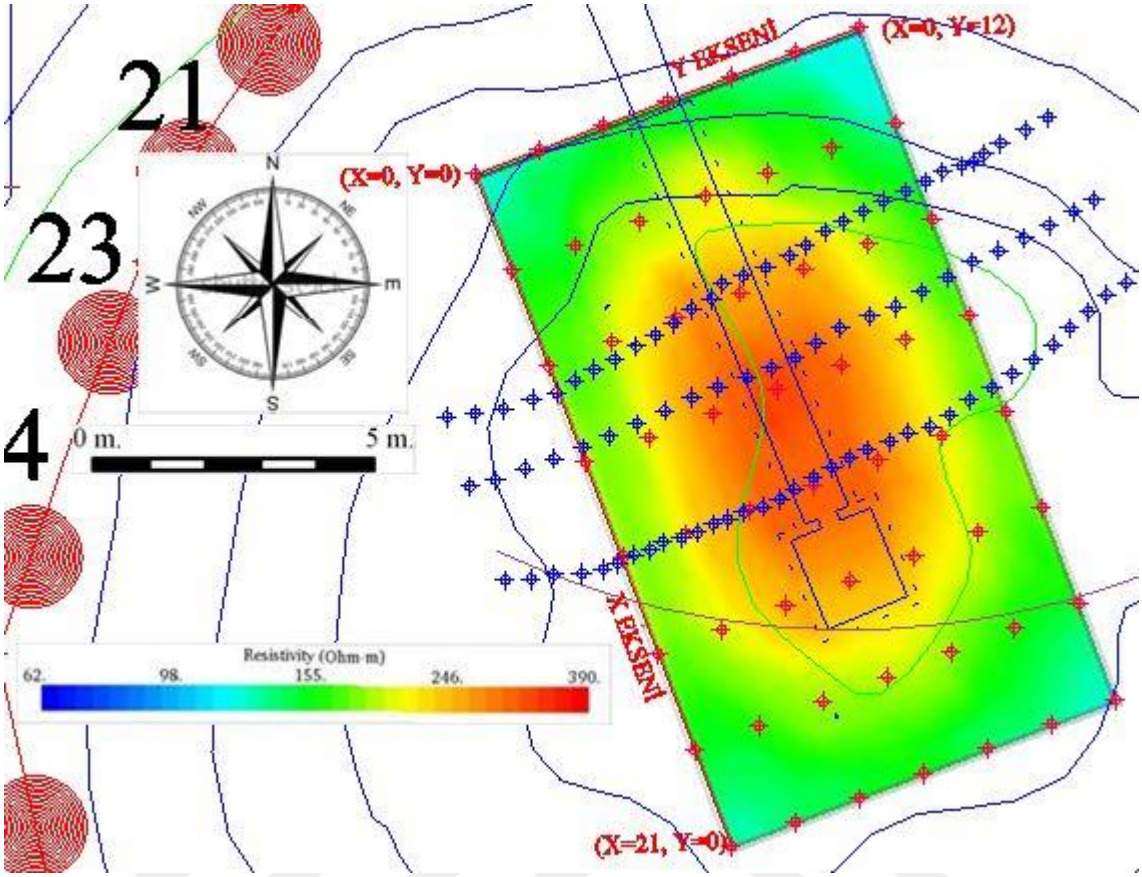
Şekil 4.11: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan ter çözüm görüntüsü.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün iç kısımlarını daha net görebilmek amacıyla x-y kesitleri, çoklu x-y, y-z, x-z kesitleri, tek y-z ve çapraz yönlü kesitler de oluşturulmuştur. 3D hacimsel özdirenç görüntüsünden alınan x-y kesitleri Şekil 4.12:'te yer almaktadır. Aşağıdan yukarıya doğru yer alan kesitlerde, orta bölümde elips şeklinde yüksek özdirençli seviyeler görüntülenmiştir. Dromos, mezar odası ve içlerindeki boşluğun neden olduğu yüksek özdirençli seviyeler özellikle 126 m. ile 130 m. kotları arasında daha belirgindir.



Şekil 4.12: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı kotlarda x-y kesitleri.

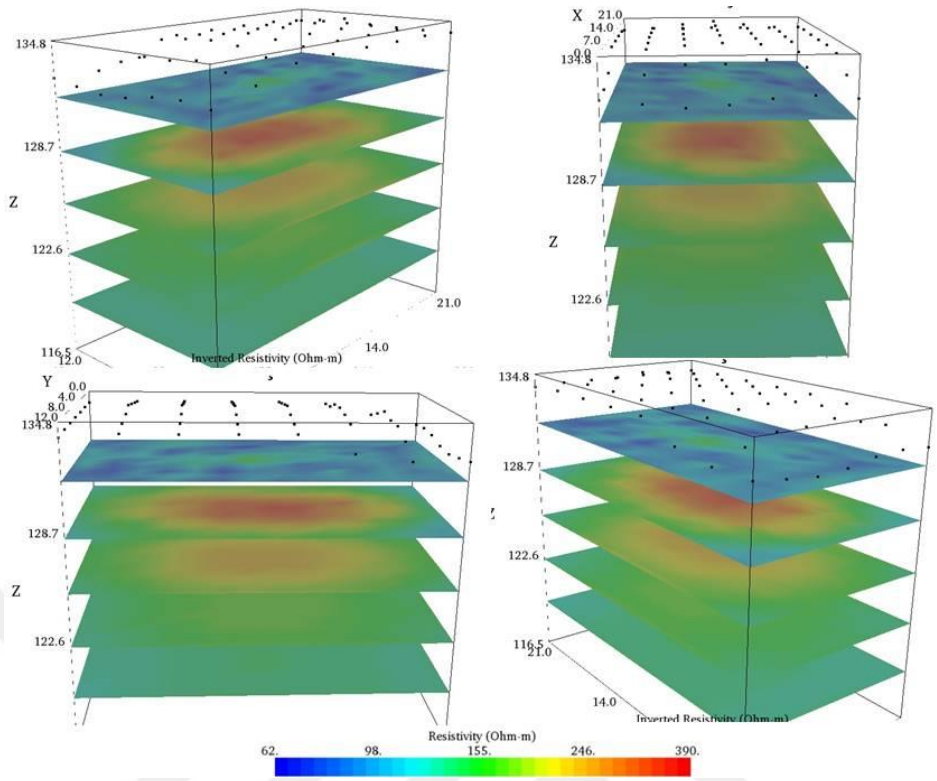
ERT 3D ölçümleri neticesinde oluşturulan kesitlerden 128 m. kotu x-y kesiti (özdirenç dağılımı kat haritası) Vaziyet planında ölçüm alanı üzerine işlenmiştir. Dromos ve mezar odasının bulunduğu yerde yüksek özdirençli seviyeler görülmektedir (Şekil 4.13:).



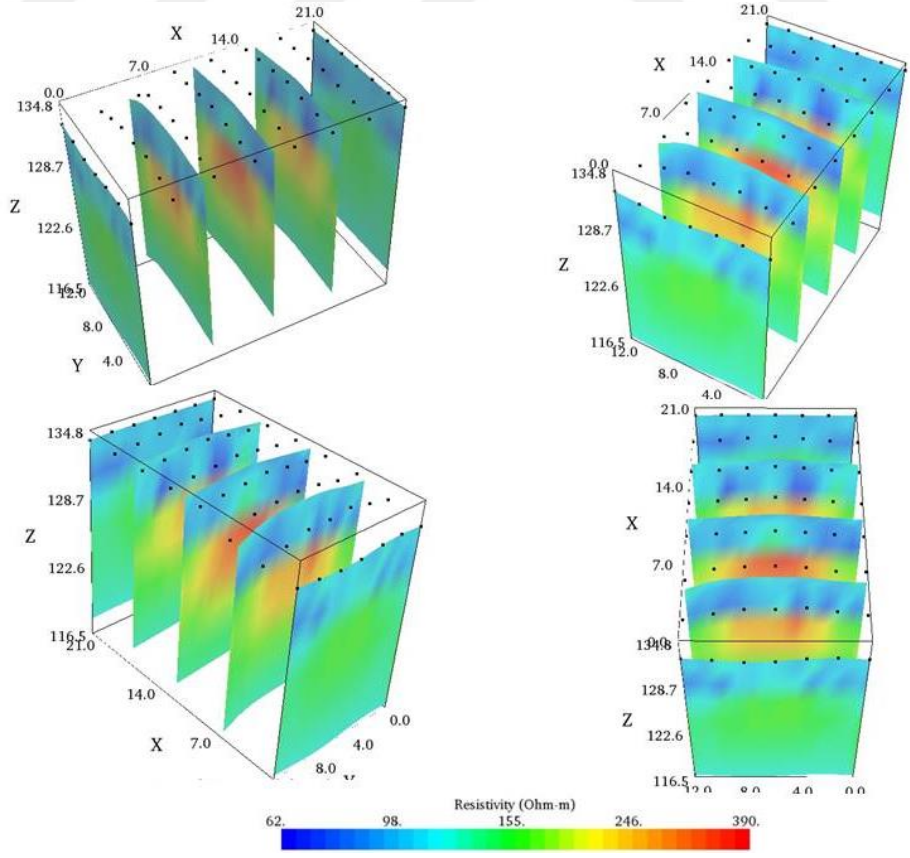
Şekil 4.13: Küçük Tümülüs ERT 3D 128 m. kotu gerçek özdirenç kat haritası.

Çoklu x-y kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.14:'de görülmektedir.

Çoklu y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.15:'de görülmektedir.

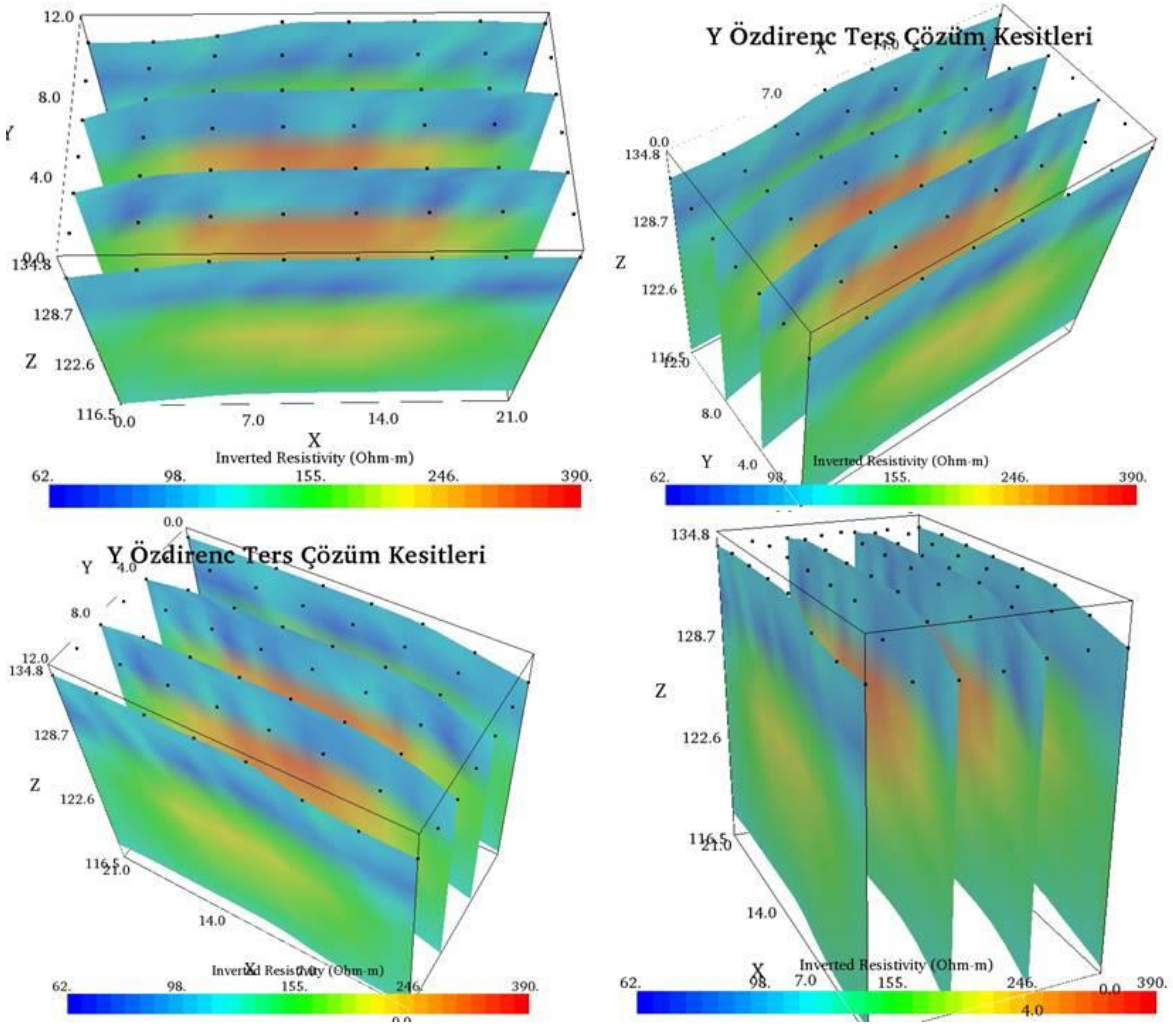


Şekil 4.14: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-y kesitleri.



Şekil 4.15: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu y-z kesitleri.

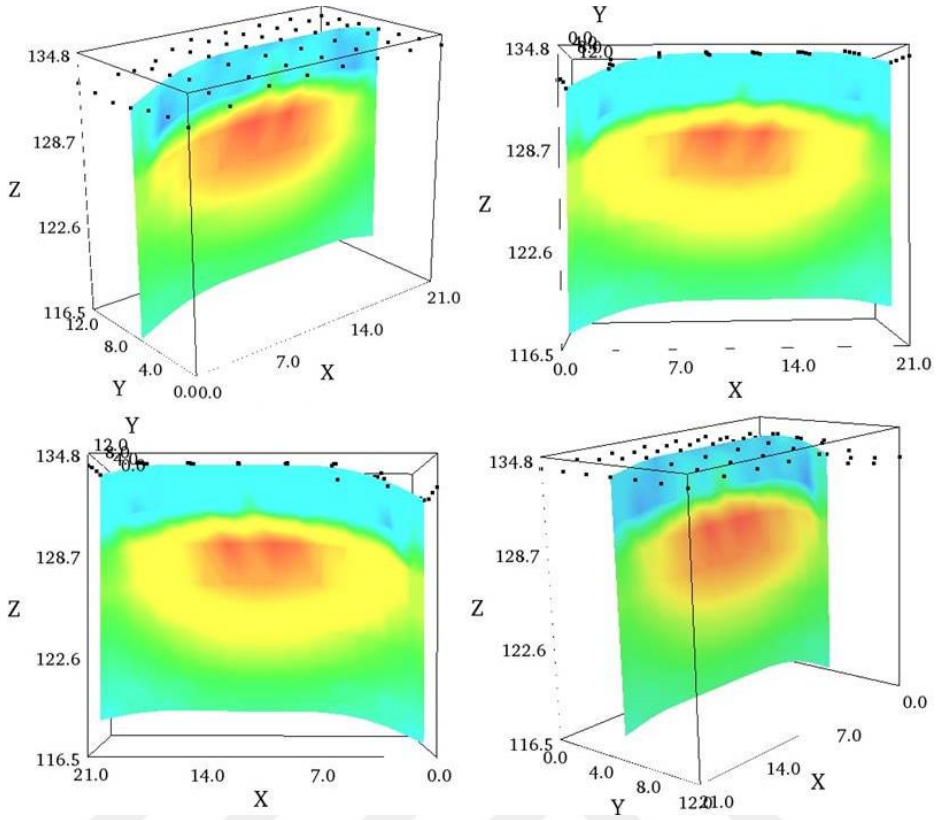
Çoklu x-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.16:'da görülmektedir.



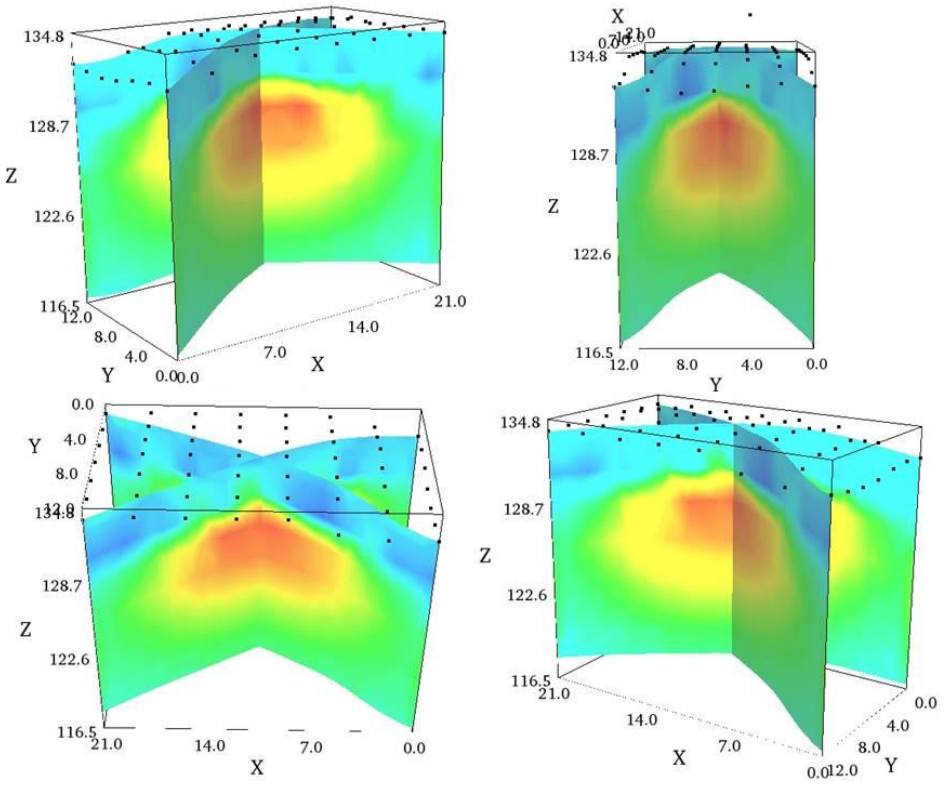
Şekil 4.16: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-z kesitleri.

Y ekseninin orta noktasından geçen y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.17:'da görülmektedir.

Çapraz yönlü kesitlerin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.18:'de görülmektedir.

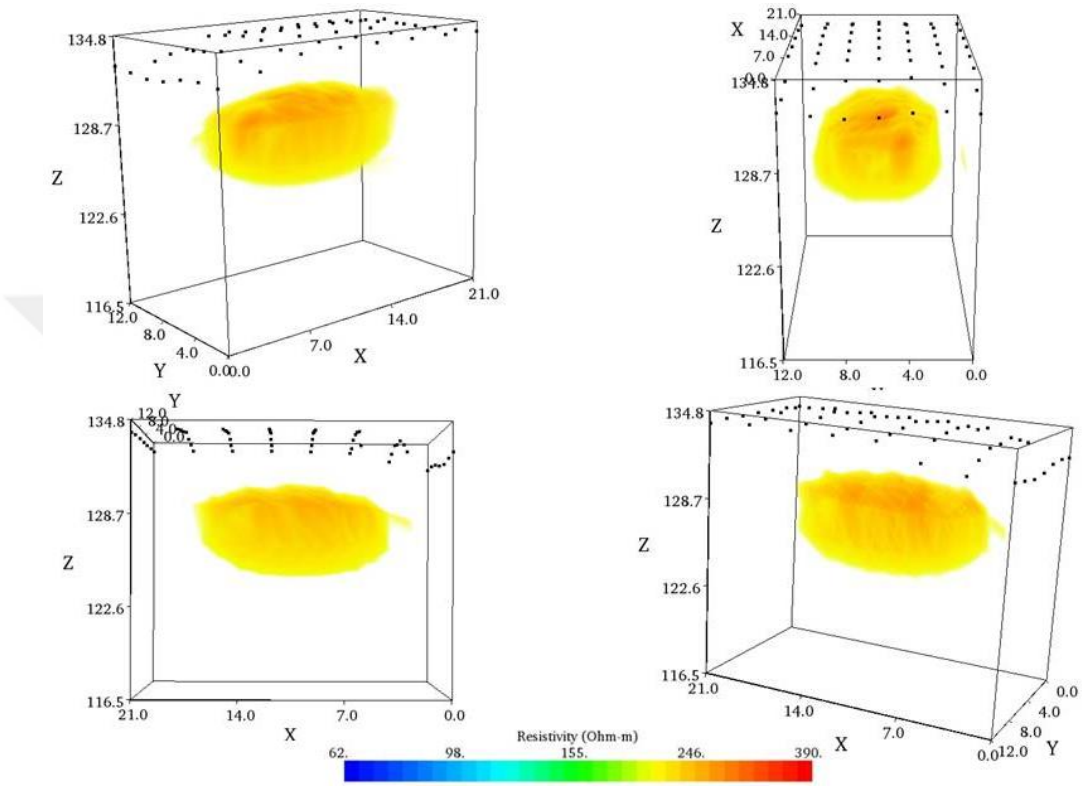


Şekil 4.17: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü y-z kesitleri.



Şekil 4.18: Küçük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çapraz yönlü kesitleri.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün (Şekil 4.11:) iç kısımlarını kesitler haricinde, daha net görebilmek amacıyla, sadece yüksek özdirençli değerler 3D hacim içerisinde tutulmuş, orta ve düşük özdirenç değerleri çıkartıldığında, tümülüsün dromosu ve mezar odasının neden olduğu yüksek rezistiviteli kütle (hacim) Şekil 4.19:'da yer almaktadır.



Şekil 4.19: Sadece yüksek özdirençli seviyelerin farklı açılardan 3D görünümü.

4.2. TOPTEPE BÜYÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMALARI

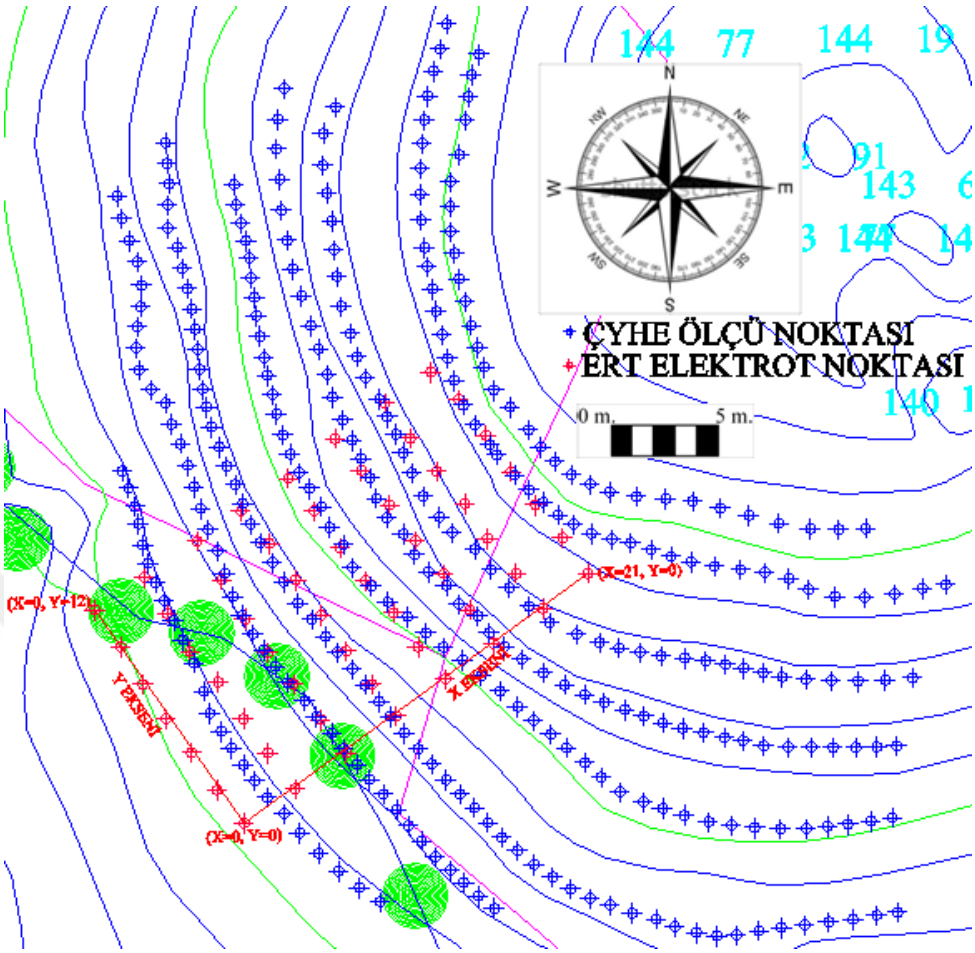
4.2.1. Toptepe Büyük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Çalışmaları

Toptepe Büyük Tümülüsü, yaklaşık 115 m. çapında, 20 m. yüksekliktedir. Konumu Şekil 4.1:'de yer almaktadır. Toptepe Büyük Tümülüsü 'de I. derece arkeolojik sit alanındadır. Toptepe Büyük Tümülüsü'nde, Küçük Tümülüs'te yer alan dromos, mezar odası v.b. tümülüs yapı elemanları olup olmadığı günümüze değin bilinmemektedir. Toptepe Büyük Tümülüsü resmi Şekil 4.20:'de yer almaktadır. Toptepe Küçük Tümülüsü'nde, Arkeojeofizik araştırmalar kapsamında uygulanan ÇYHE yönteminde elde edilen başarılı sonuçlar akabinde Toptepe Büyük Tümülüsü'nde de ÇYHE yöntem uygulanmıştır.



Şekil 4.20: Toptepe Büyük Tümülüsü görünümü.

Toptepe Büyük Tümülüsü'nde, Arkeojeofizik araştırmalar kapsamında uygulanan ÇYHE yöntemi vaziyet planı Şekil 4.21:'de görüldüğü üzere, tümülüsün ancak güneybatı yamacında uygulanabilmiştir. Zira tümülüsün diğer kısımları çok yoğun dikenli sık çalı ve bitki örtüsü ile kaplıdır (Şekil 4.22:). Samsun Büyükşehir Belediyesi temizlik ekiplerince ölçüm için açılabilen alan ancak vaziyet planında görülen mavi artı ile işaretli ölçü noktalarının olduğu alandır. Mevcut bitki örtüsünün tamamının temizlenmesi için iş makinası v.b. araçlar gerekli olup, insan gücü ve taşınabilir ot kesme aletleri ile ancak tümülüsün güneybatı yamacı ölçüm için uygun hale getirilmiştir.



Şekil 4.21: Büyük Tümülüs ÇYHE yöntem ölçü noktaları (mavi renk artı işaretleri).



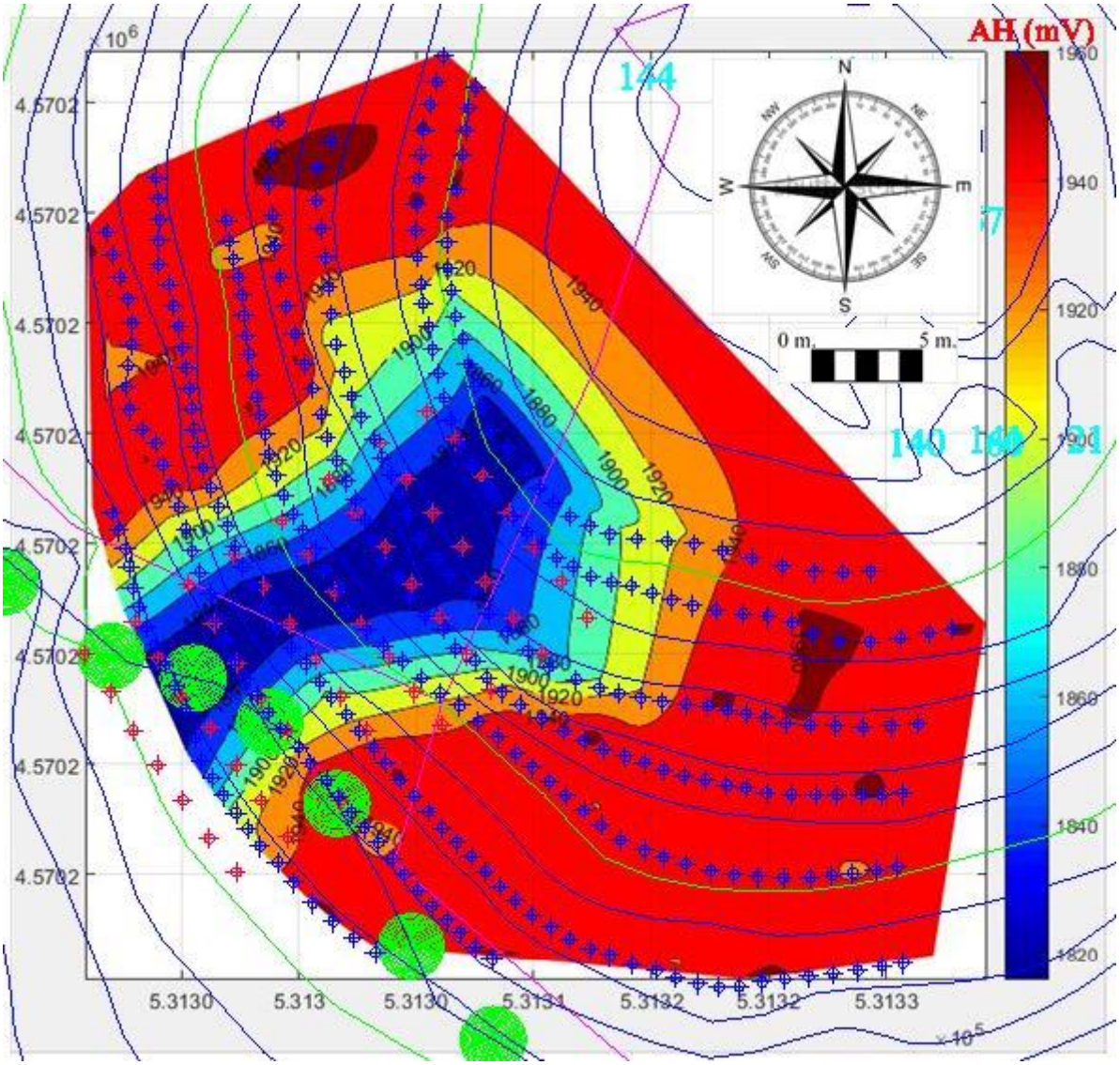
Şekil 4.22: Büyük Tümülüs'ü kaplayan yoğun dikenli, sık çalı ve bitki örtüsü.

ÇYHE ölçüm çalışmalarında, Küçük Tümülüs'te yapıldığı gibi, ölçü alındıktan hemen sonra arkadan gelen GPS cihazı ile ölçü noktasının koordinatı kaydedilmiştir. Bu işlem tüm noktalarda, önce ÇYHE mV değeri sonra GPS koordinatı ölçümü şeklinde tekrarlanmıştır. Ölçüm çalışmalarının resmi Şekil 4.23:'de yer almaktadır.



Şekil 4.23: Büyük Tümülüs ÇYHE ölçümü ve GPS koordinat alımı.

Toptepe Büyük Tümülüsü'nde ÇYHE ölçümleri ve GPS ölçü noktaları koordinat alımları tamamlandıktan sonra, elde edilen ÇYHE mV değerlerinin, koordinatlara karşılık olarak kontur haritası Matlab 'da (https://matlab.mathworks.com/) yazılan kodla çizdirilmiştir. Matlab kodu EK2.'de yer almaktadır. ÇYHE yöntemi mV değerlerinin kontur dağılımı Şekil 4.24:'de yer almaktadır.

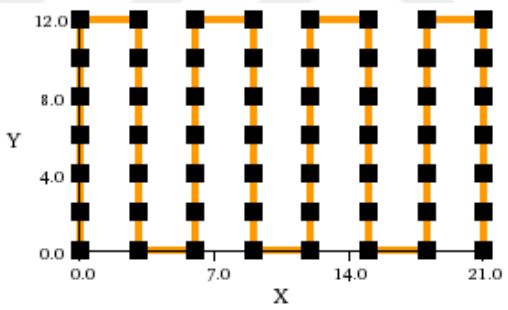


Şekil 4.24: Büyük Tümülüs ÇYHE yöntemi AH mV kontur haritası.

ÇYHE yöntemi mV kontur haritası ve sağında yer alan mV renk lejantını incelediğimizde, mV değerlerinin 1815 mV ile 1960 mV arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Kontur haritasının orta bölümünden güneybatıya doğru uzanan bölümünde mV değerlerinin 1815 mV değerlerinde veya yakın olduğu, diğer alanlarda daha yüksek 1960 mV değerlerine yakın mV dağılımı görülmektedir. 1815 mV değerler ölçümlenen alanın iletken ortam bulunmayan, Eddy akımlarının oluşmadığı ve buna bağlı ikincil manyetik alanın oluşamaması nedeniyle, AH ’da ölçümlenen en düşük gerilim, Küçük Tümülüs ÇYHE ölçümlerinde olduğu gibi sadece VH ‘dan kaynaklanan birincil manyetik alan değeri olduğu düşünülmüştür. En düşük mV değerleri ölçümlenen alan merkeze alınacak şekilde ERT 3D ölçüm çalışmaları planlanmıştır.

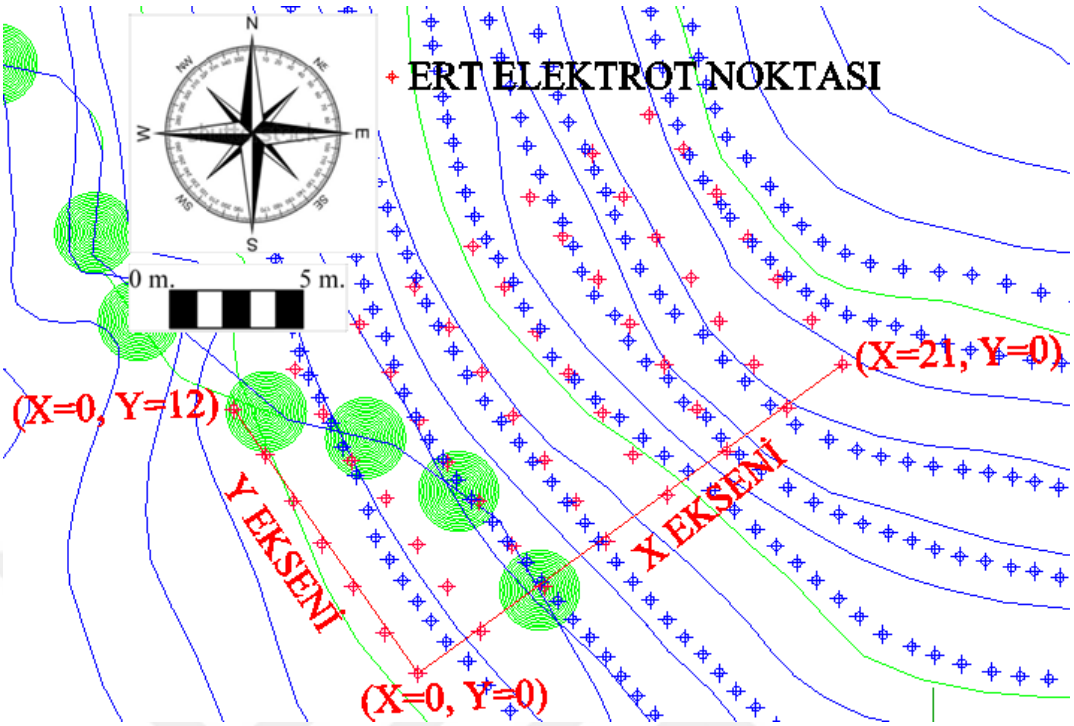
4.2.2. Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D Çalışmaları

Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D çalışmalarında, ÇYHE yöntem sonuçlarında elde edilen iletken olmayan alanı, Tümülüs mimari yapı unsurlarının yer alabileceği olası alanı kapsayacak şekilde bir geometri oluşturulmaya çalışılmıştır. Toptepe Küçük Tümülüsü'nde uygulanan geometri ve dizilimin uygun olacağına karar verilmiştir. Tümülüsün eteğinde eğime paralel olası dromosu dik kesecek şekilde y ekseni boyunca elektrot aralıkları 2 m. ve tümülüsün eteğinden yukarı doğru x ekseninde elektrot aralıkları 3 m. seçilmiştir. Ölçüm çalışmalarında Toptepe Küçük Tümülüsü'nde olduğu gibi, 56 elektrotlu, AgiSupersting R1 özdirenç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm öncesi 56 elektrota göre komut dosyası oluşturulmuş, planlanan ölçü geometrisine göre diğer dizilimlerin de benzetimi (İngilizce karşılığı simulation) yapılarak en derine ulaşabilen pol pol dizilime karar verilmiştir. Benzetimde tahmin edilen araştırma derinliği 14.51 m. ölçüler 2 şer kez alınacak şekilde ve toplam 1540 veri elde edilecek şekilde komut dosyası oluşturulmuştur. Dizilim geometrisi Şekil 4.25:'de yer almaktadır.



Şekil 4.25: Pol pol dizilim komut dosyası elektrotların geometrisi (Elektrotlar siyah kare, kablo turuncu renktedir).

Toptepe Büyük Tümülüsü'nde gerçekleştirilen ERT 3D çalışmasında, elektrotların konumu vaziyet planında Şekil 4.26:'da yer almaktadır. Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D ölçüm çalışmalarında her bir elektrotun koordinatı alınarak, değerlendirmelerde kot değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Ölçüm çalışmalarının ve koordinat alımı resmi Şekil 4.27:'de yer almaktadır. ERT 3D çalışmalarında Şekil 4.25: deki gibi kablo serimi yapıldıktan sonra, 56 elektrot komut dosyasında planlanan geometride yerlerine çakılmıştır. Dizilimin eksi x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa B akım elektrotu ve artı x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa N potansiyel elektrotu çakılarak sonsuz olarak tanımlanan elektrotların da çakılması tamamlanmıştır.

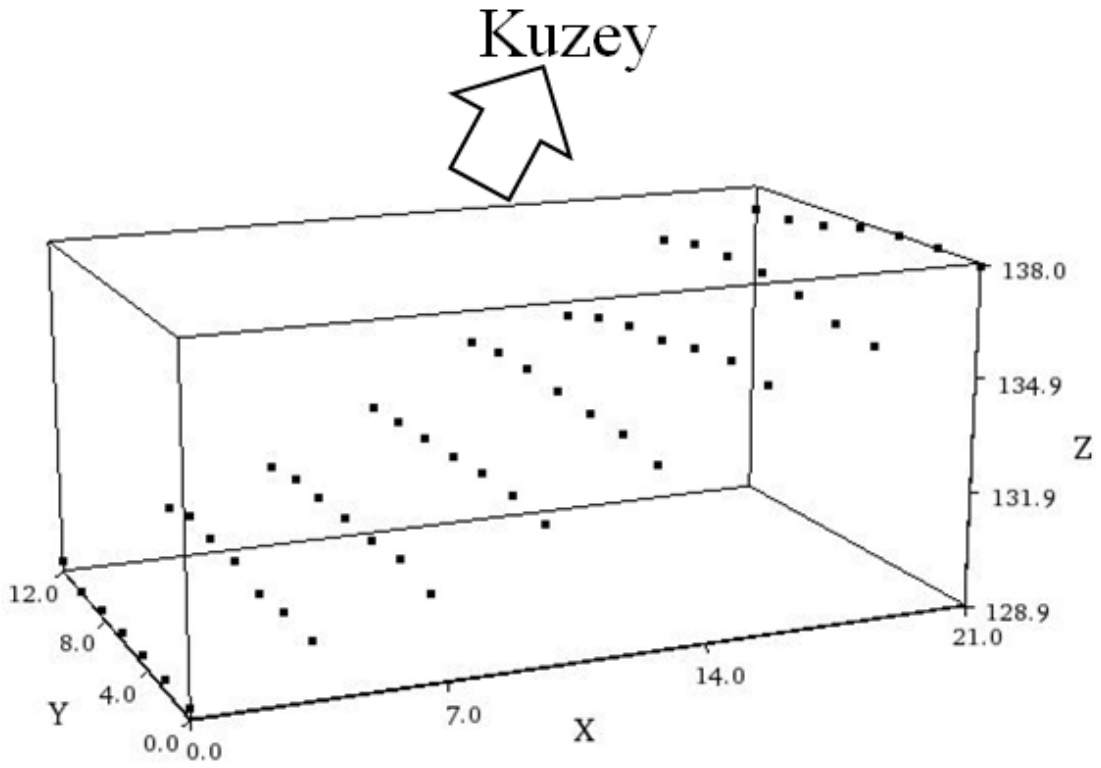


Şekil 4.26: Büyük Tümülüs ERT 3D ölçümü elektrotların geometrisi (kırmızı renk artı işaretleri).



Şekil 4.27: ERT 3D ölçüm çalışması ve koordinat alımı.

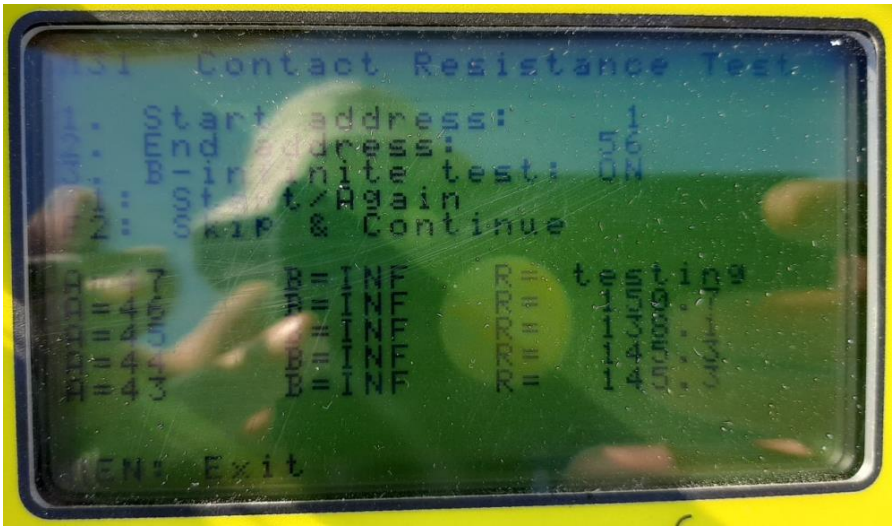
ERT 3D ölçüm çalışmasında alınan kot değerlerine göre elektrotların konumunun 3D görünümü Şekil 4.28:'de yer almaktadır.



Şekil 4.28: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların 3D görünümü (elektrotlar siyah nokta).

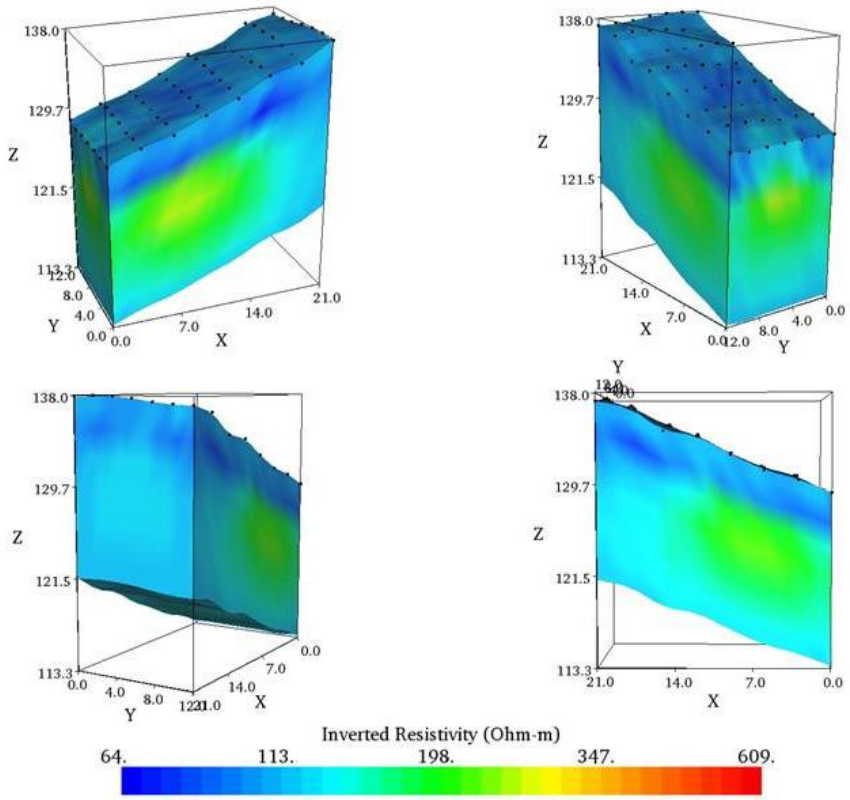
Sonsuzdaki B akım elektrotunun, çalışma sahamızdan uzak olması ve geçecek akıma temas edilmemesi gerektiğini gösteren "Dikkat Yüksek Voltaj" uyarı işareti de asılarak çalışma hazırlıklarına devam edilmiştir.

ERT 3D ölçümlerine başlamadan önce her bir elektrotun kontak direnci ölçülerek, yüksek direnç gösteren elektrotlar kontrol edilmiştir. Ohm yasasına göre yüksek direnç gösteren elektrottan düşük akım geçecektir ve ölçümler güvenilir olmayacaktır. Bölüm 3.3.'te VH deneylerinde de hatırlanacağı üzere, direnç yüksek olunca amper düşmektedir. Elektrotların yerle iyi teması, gerektiğinde iletkenliği arttıracak sıvı takviyesi yapılması veya elektrotun yerinin değiştirilmesi ile düşük direnç değerlerine ulaşana kadar kontak direnç testleri yapılmaya devam edilmelidir. Bu işlemin yapılması, akım elektrotlarına en yüksek akımın verilmesini ve yüksek gerilim değerlerinin okunmasını sağlayacak, ölçü hassasiyeti en yüksek seviyeye ulaşacaktır. Şekil 4.29: ölçü öncesi yapılan kontak direnç testini göstermektedir.



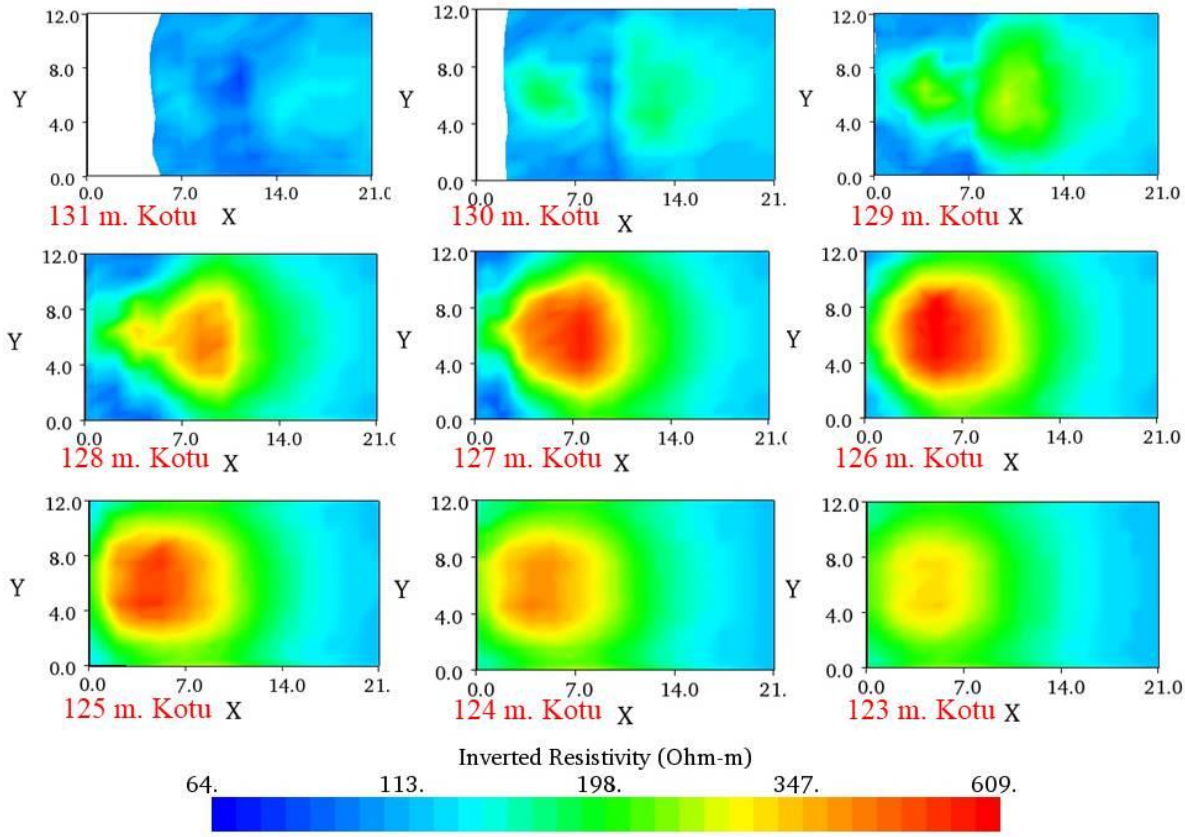
Şekil 4.29: ERT 3D ölçüm çalışması elektrotların kontak direnç ölçümü.

ERT 3D ölçüm çalışması tamamlandıktan sonra, elde edilen veri dosyası EarthImager 3D ters çözüm programı ile ters çözüm işlemleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen 3D hacimsel özdirenç ters çözüm görünümlerin 4 farklı açılardan görünümü Şekil 4.30:'da yer almaktadır. ERT 3D ölçü alanında, Tümülüsün etek kısmında yüzeyden yaklaşık 4 m. derinlikte özdirenç değerlerinin artmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 4.30: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan ter çözüm görüntüsü.

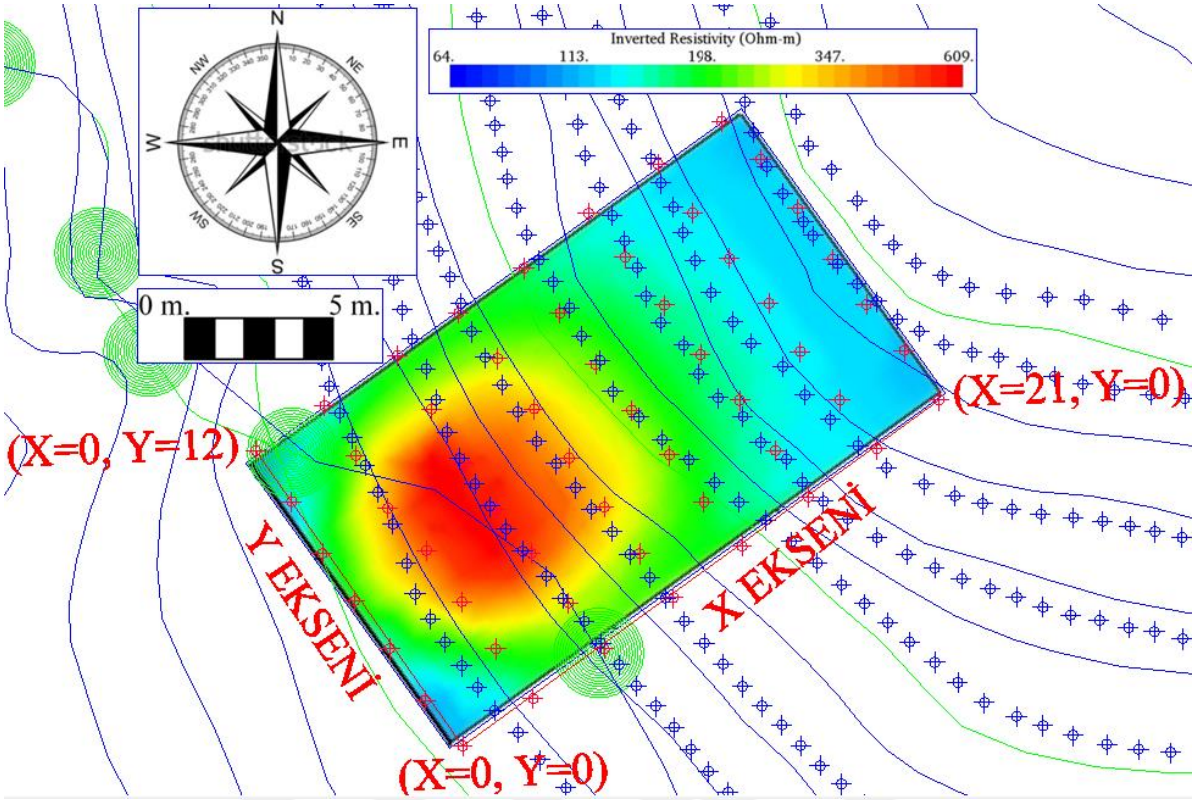
Özdirenç ters çözüm görüntüsünün iç kısımlarını daha net görebilmek amacıyla x-y kesitleri, çoklu x-y, y-z, x-z kesitleri, tekli y-z ve çapraz yönlü kesitler de oluşturulmuştur. 3D hacimsel özdirenç görüntüsünden alınan x-y kesitleri Şekil 4.31:'de yer almaktadır. Üst kottan alt kota doğru yer alan kesitlerde, ölçü alanında alt orta bölümde 124 m. ile 128 m. kotları arasında yüksek özdirençli seviyeler görüntülenmiştir.



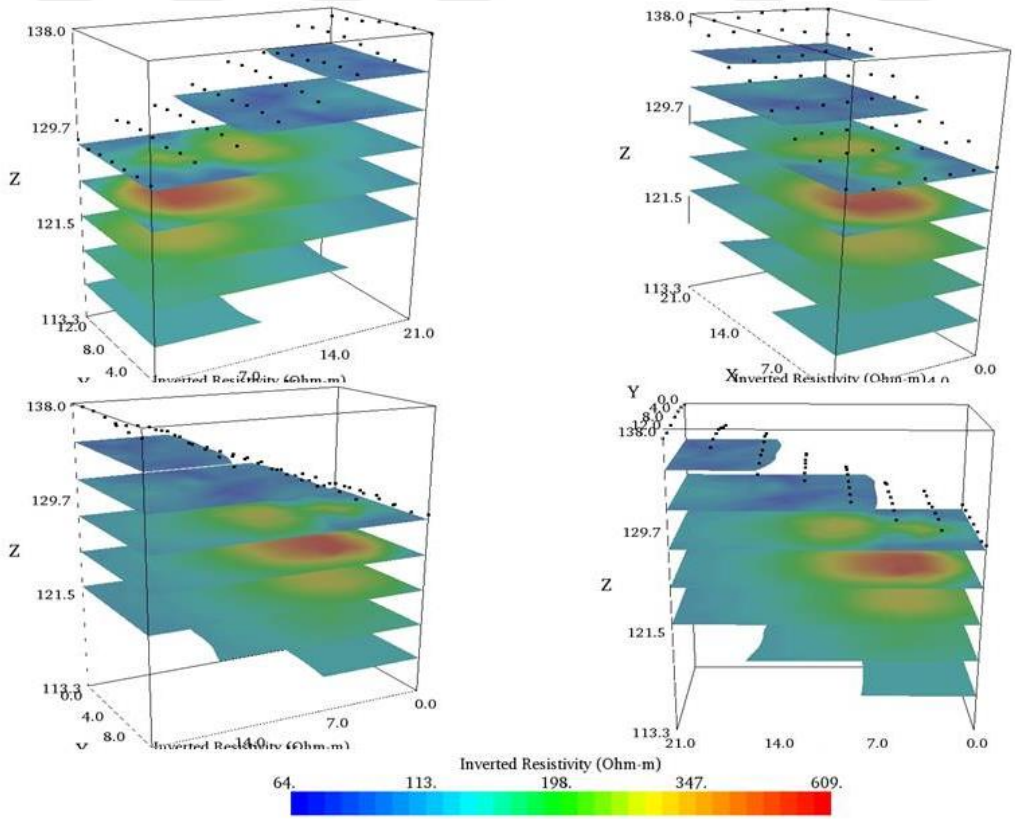
Şekil 4.31: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı kotlarda x-y kesitleri.

ERT 3D ölçümleri neticesinde oluşturulan kesitlerden 126 m. kotu x-y kesiti (özdirenç dağılımı kat haritası) Vaziyet planında ölçüm alanı üzerine işlenmiştir. Tümülüsün eteğinde alt orta bölümde yüksek özdirençli seviyeler görülmektedir (Şekil 4.32:).

Çoklu x-y kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda ölçü alanında, tümülüsün etek kısmında alt orta bölümde yüksek özdirençli seviyeler Şekil 4.33:'de görülmektedir.

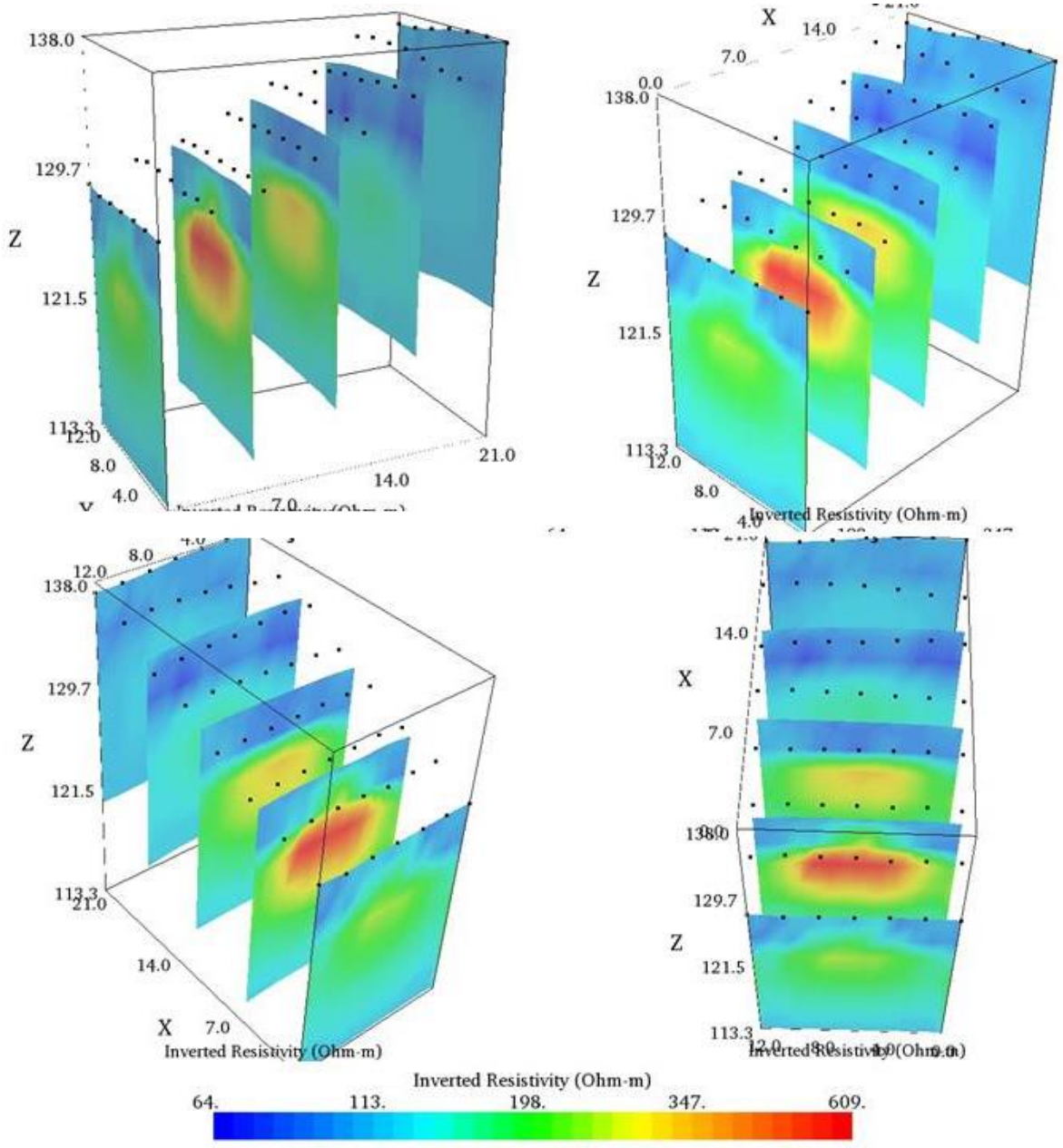


Şekil 4.32: Büyük Tümülüs ERT 3D 126 m. kotu gerçek özdirenç kat haritası.



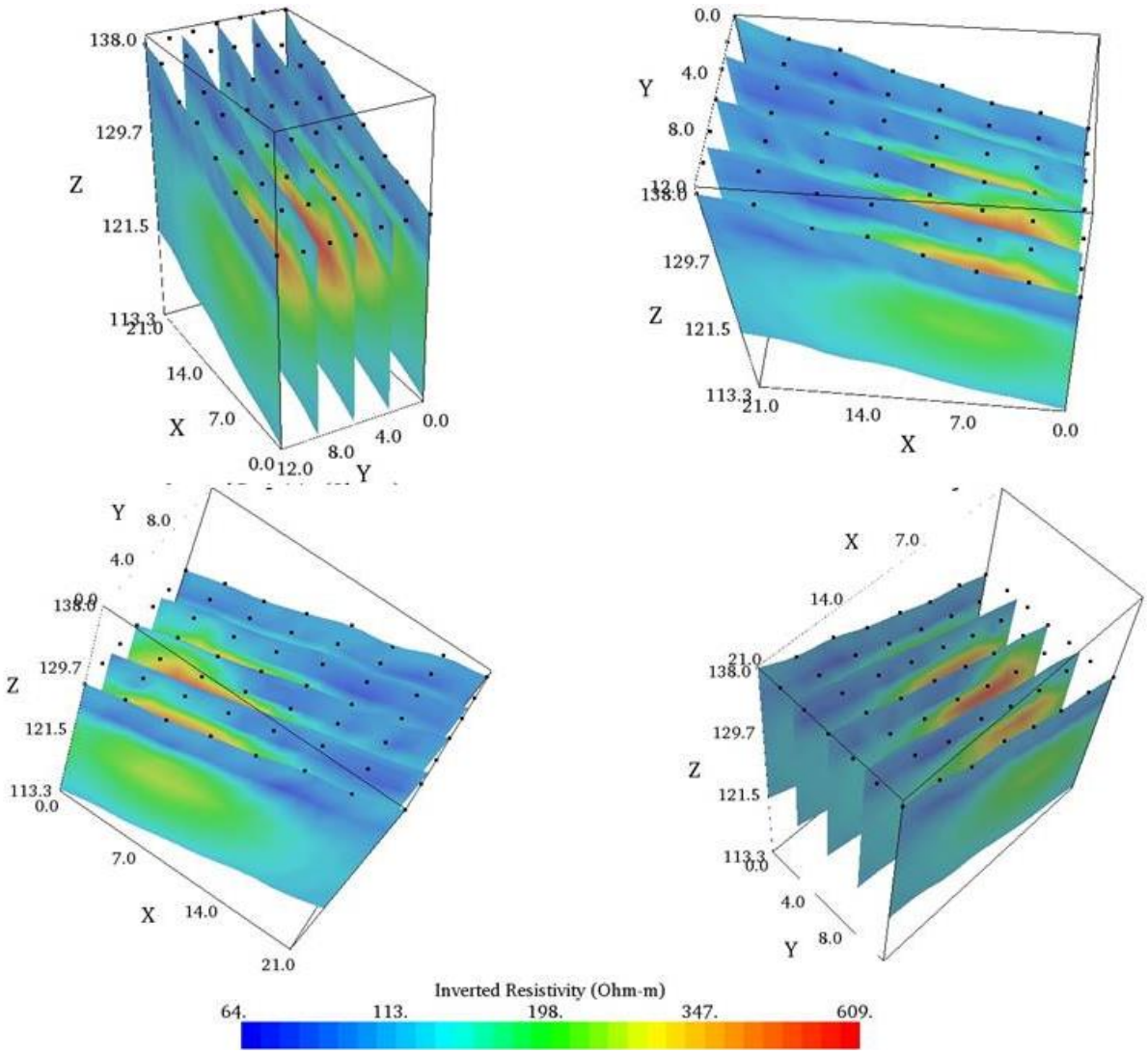
Şekil 4.33: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-y kesitleri.

Çoklu y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün etek kısmında, ölçü alanının alt orta bölümünde yüksek özdirençli seviyeler Şekil 4.34:'de görülmektedir.



Şekil 4.34: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu y-z kesitleri.

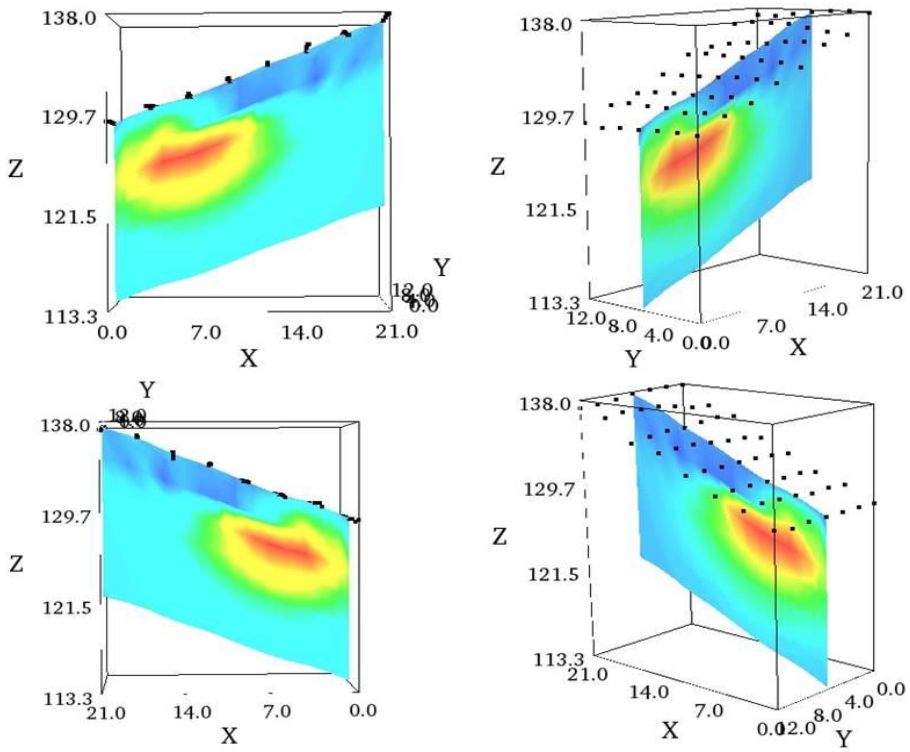
Çoklu x-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.35:'de görülmektedir.



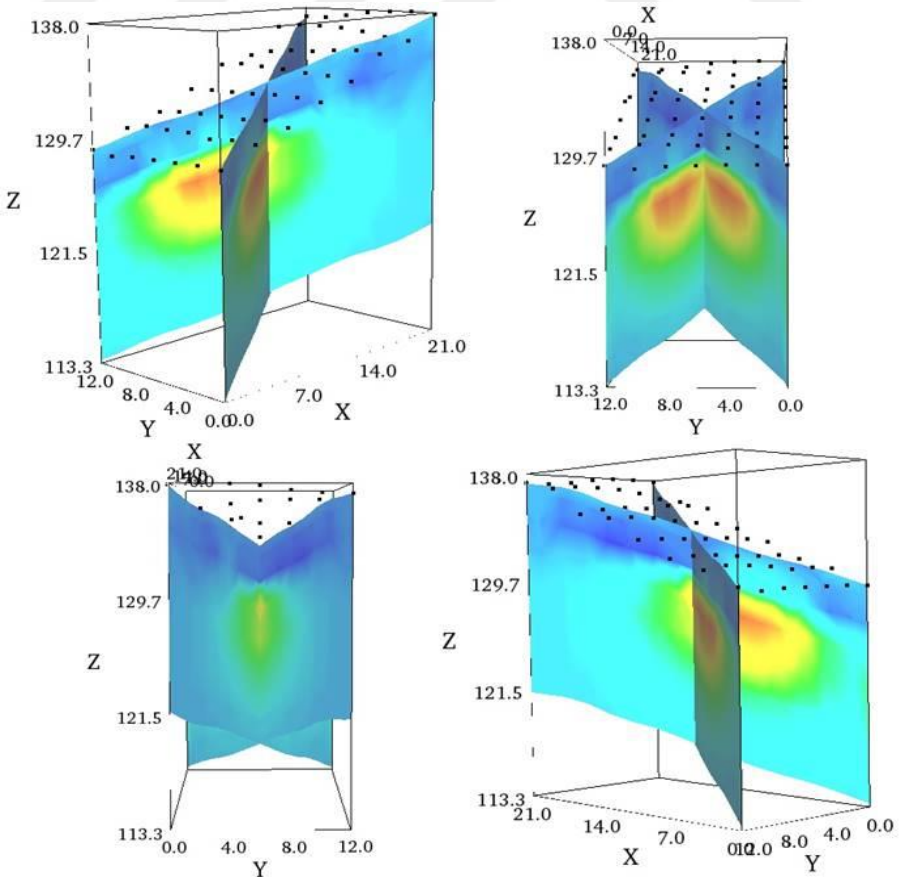
Şekil 4.35: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çoklu x-z kesitleri.

Y ekseninin orta noktasından geçen y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.36:'da görülmektedir.

Çapraz yönlü kesitlerin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.37:'de görülmektedir.

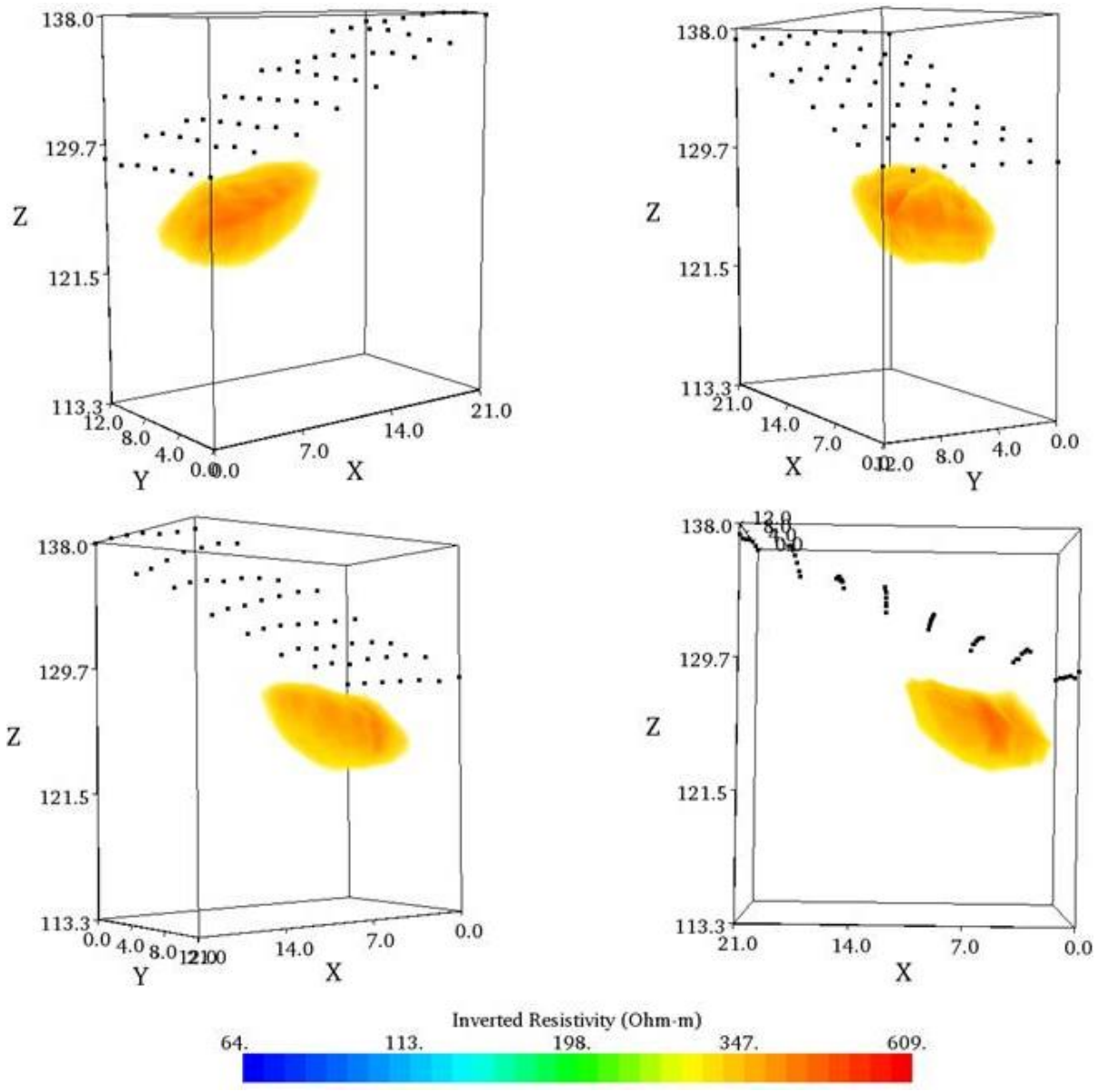


Şekil 4.36: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü y-z kesitleri.



Şekil 4.37: Büyük Tümülüs ERT 3D farklı açılardan görünümlü çapraz yönlü kesitleri.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün (Şekil 4.30:) iç kısımlarını kesitler haricinde daha net görebilmek amacıyla, sadece yüksek özdirençli değerler 3D hacim içerisinde tutulmuş, orta ve düşük özdirenç değerleri çıkartıldığında, tümülüsün eteğinde, ölçü alanının alt orta bölümünde yüksek rezistiviteli kütle (hacim) Şekil 4.38:'de yer almaktadır.



Şekil 4.38: Sadece yüksek özdirençli seviyelerin farklı açılardan 3D görünümü.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Toptepe Tümülüsleri, Samsun İli, Canik İlçesi, Hasköy-Toptepe Mahallesinde yer almaktadır. Büyük Tümülüs ve Küçük Tümülüs olmak üzere iki tümülüsten oluşmaktadır. Tezimin konusu olan Toptepe Tümülüsleri Arkeojeofizik ölçüm çalışmaları başvurumuzun, TC. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nce uygun görülmesi üzerine, 2021 yılında, Samsun İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nün denetiminde, 25-27 Ağustos tarihleri arasında Toptepe Tümülüslerinde Jeofizik ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 2016 yılında Tümülüslerin bulunduğu alanda çevre düzenleme projesi çalışmalarında, Küçük Tümülüs'te dromoslu mezar odası bulunmuş, kurtarma kazısı yapılarak 1. Derece arkeolojik sit alanı olarak tescil edilmiştir. Büyük Tümülüs'te ise olası mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurları şimdiye kadar bulunamamıştır. Tezin amacı, Arkeojeofizik ölçümler gerçekleştirerek, Büyük Tümülüsün olası mezar odası, dromos v.b. mezar yapı unsurlarının yerlerini belirlemektir. Özellikle Toptepe Küçük Tümülüsü'nün dromusu ve mezar odası, jeofizik çalışmalar açısından laboratuvar niteliğindedir. Öncelikle Toptepe Küçük Tümülüsü'nde ÇYHE yöntemi ve ERT 3D yöntemi uygulanarak, ÇYHE yöntemin başarısı irdelenmiştir. Toptepe Küçük Tümülüsü'nde elde edilen başarılı sonuçlar akabinde Toptepe Büyük Tümülüsü'nde ÇYHE yöntemi ve ERT 3D yöntemi uygulanmıştır.

5.1. TÜMÜLÜSLERDE JEOFİZİK ARAŞTIRMALAR

Tümülüslerde Arkeojeofizik araştırmalar son 30 yıldan günümüze devam etmektedir. Bu araştırmalarda ilk yıllarda Elektrik yöntemler kullanılırken, Jeofizik Mühendisliği'ndeki ilerlemelere bağlı olarak Elektromanyetik, Manyetik, Sismik, Yer Radarı yöntemleri de araştırmacılar tarafından uygulanmaktadır. Orlando (1987) İtalya Roma'da Sabine Nekropol 'unda dromoslu mezar yerlerini belirlemek amacıyla Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner profil yöntemini uygulamıştır. Başokur (1992) Magnesia ve Meandrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin Üç Gerilim yöntemini uygulamıştır. Drahor (1992) Ahmetli-Çiftlikkırı Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner Profil ölçümü ve Schlumberger Düşey Elektrik Sondaj yöntemini uygulamıştır. Pınar ve Akçığ (1992) Kösemtuğ Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner Profil ölçümü ve Schlumberger Düşey Elektrik Sondaj yöntemini

uygulamışlardır. Drahor (1993) Lüleburgaz Kepirtepe Tümülüsü'nde Doğru Akım Özdirenç yönteminin twin dizilimini uygulamıştır. Erdoğan (1995) Kocaeli Üçtepeler Tümülüsü'nde Elektrik özdirenç Schlumberger Profil ölçüm yöntemini uygulamışlardır. İlkışık ve diğ. (1995) Enez Çataltepe Tümülüsü'nde Elektromanyetik VLF ve Doğru Akım Özdirenç yönteminin Wenner Profil ölçümü yöntemini uygulamışlardır. Akçığ ve Pınar (1995) yine Kösemtuğ Tümülüsü'nde Manyetik ve Doğal Potansiyel yöntemlerini uygulamışlardır. Tsokas ve diğ. (1995) Kuzey Yunanistan'da, Messiano ve Agios Athanassios Tümülüslerinde Sismik Kırılma yöntemini uygulamışlardır. Gugler ve diğ. (1996) Celtic Tümülüsü'nde elektromanyetik yöntemi uygulamışlardır. Ercan (1999) Denizli Eğmir Tümülüsünde, Doğru Akım Özdirenç, Elektromanyetik, Radyometrik, Manyetik, Gradiometrik ve Yer Radarı yöntemlerini uygulamıştır. Papadopoulos ve diğ. (2009) tümülüslerde farklı dizilimlerde yüzeyde doğrudan 3D ERT ölçüm ve 3D ters çözüm modelleme çalışmaları yapmışlardır. Akca ve diğ. (2010) Samsun Baruthane Tümülüslerinde Doğru Akım Özdirenç yöntemini uygulamışlardır. Papadopoulos ve diğ. (2010) tümülüslerde farklı dizilimlerde 2D ERT hatlardan 3D ters çözüm modelleme çalışmaları yapmışlardır. Tsourlos ve diğ. (2014) tümülüslerde farklı grid uygulamalarının 2D ERT hatlardan 3D ters çözüm modelleri ile etkinliğini araştırmışlardır. Ştefan ve diğ, (2017) Kuzey Trakya'da Tümülüslerde 2D ERT ve uzaktan algılama yöntemlerini uygulamışlardır. Tsokas ve diğ. (2018) Kuzey Yunanistan'da Kastas Tümülüsü'nde 2D ERT ölçümleri ve 3D ters çözüm çalışmaları gerçekleştirmiştir. Pazzi ve diğ, (2019) Tuscany İtalya'da Vetulonia yakınındaki bir tümülüste ERT 2D ölçüm 3D modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir.

5.2. TÜMÜLÜSLERİN TARİHSEL DÖNEMLERE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Arkeologlar Anadolu'da yer alan Tümülüsleri Frig Dönemi, Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers Dönemi ve Helenistik Dönem olarak dört grupta incelemektedirler (Öztekin, 2006), (Uğur, 2012), (Avşar, 2016).

5.2.1. Frig Dönemi Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri

Frig Dönemi Tümülüslerinde doğal zemin içerisinde kare veya kareye yakın çukurlar açmışlar ve bu Tümülüslerin çoğunda bu çukurların içerisine kare veya dikdörtgen şekilde ağaçtan mezar odaları inşa etmişler, nadiren doğal zemin üzerine mezar odası inşa edilmiştir. Bazı Tümülüslerde Mezar çukurunun içerisine mezar odası inşa edilmemiştir. Mezar odası inşa

edilenlerde mezar odalarının üstü de ağaçlarla kapatıldıktan sonra, mezar odasının tamamı moloz taşlarla, çakıl taşı, iri yassı yerel taş yığınları kullanılarak örtülmüş, taş malzemenin yanında kamış, hasır, ince kum ve kil de kullanarak örtmüşlerdir. Bazı mezar odalarının üstünün kapatılmadığı ve bazı mezar odalarının altına da moloz taşlar serildiği bilinmektedir. Mezar odası inşasında demir bağlayıcılar da kullanmışlardır. Bazı mezar odalarının üstünde ağaçtan çatı da mevcuttur. Mezar odası ve onu çevreleyen taş yığınlarının üzerine kil katmanı örtmüşler devamında toprak olarak tariflenen malzeme ile Tümülüs yığması oluşturulmuştur. Frig Dönemi Tümülüslerinde, yığma toprak, kil, kum, çakıl gibi ne tür bir malzeme ile oluşturulduğu, üzeri taşlarla veya moloz taşlarla örtülü ahşap mezar odası yapısında kullanılan malzemeye göre özdirenç değerleri birbirine yaklaşacak veya uzaklaşacak, ahşap mezar yapısının yıkılmadan içerisinin boşluk içermesi durumunda ise, özdirenç zıtlığında önemli bir etken olacaktır. Ayrıca, soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, ahşap mezar odası içerisine girecek yüzeysuları gibi bir çok etken özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

5.2.2. Lidya Krallık Dönemi Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri

Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde kireçtaşı, mermer, kumtaşı, andezit, küfekitaşı ve şist gibi malzemeler kullanılarak yapılmış mezar odaları görülmektedir. Bu malzemeler yakın çevrelerindeki ocaklarda yer almaktadır (Dinç, 1993). Güre Velişin Tepe Tümülüsü'nde ise anakaya oyularak mezar odası inşa edilmiştir. Karnıyarık Tepe Tümülüsü, Güre Basmacı Tümülüsü ve Güre Velişin Tepe Tümülüsü'nde Krepis olarak adlandırılan, basamak anlamındaki, Tümülüs yığmasının çevresini istinat duvarı gibi saran, muhtemelen yığmanın zamanla eteklere doğru yayılmasının önüne geçmek amacıyla inşa edilmiş duvar gibi sıralı dairesel yapılardır. Karnıyarık Tepe Tümülüsü'nde Krepis çapı 90 m. ve duvar yüksekliği 1,81 m. dir. Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinin tamamında Krepis mevcut değildir. Güre Basmacı Tümülüsü'nde Dromos olarak adlandırılan, mezar odasına geçişi sağlayan yol anlamına gelen dar geçit mevcuttur. Dromosun uzunluğu 2 m., genişliği 1,1 m. dir (Öztekin, 2006). Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde Tablo 2.3:'de yer alan yığma malzemesi çoğunlukla moloz taş-toprak, taş-toprak veya çakıl-sert toprak ile oluşturulduğu

görülmektedir. Az bir kısmında sadece toprak ile yığma yapılmıştır. Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de toprak, 8-1.700 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüsün içerisinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos ve mezar odasının inşasında kullanılan malzemelerin özdirenç değerlerine baktığımızda, kireçtaşı 50-10.000.000 Ωm aralığında, mermer 10-250.000.000 Ωm aralığında, kumtaşı 1-640.000.000 Ωm aralığında, andezit 45.000-1.700.000 Ωm aralığında, şist 20-10.000 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs yapı unsurlarının inşa malzemelerinin özdirenç değerlerinin tümülüs yığma malzemelerinin özdirenç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 2.3:'de yer alan mezar odası ebatları da incelendiğinde taş malzemeden inşa edilmiş mezar odaları 1,27-2,47-1,49 m. ile 2,80-1,96-1,95 m. ebatları arasındadır. Çok yüksek özdirenç değerlerine sahip taş malzemeden inşa edilmiş mezar odaları, içlerinin boş olması durumunda çok daha yüksek özdirençli bir yapıda olacağı görülmektedir. Ancak, Frig Dönemi Tümülüslerinde de karşılaşıldığı gibi, Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde de soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, mezar odası içerisine girecek yüzeysuları, mezar yapılarının çökmesi, içerisine dolacak toprak, dolgu gibi malzemeler, özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

5.2.3. Greko-Pers Dönemi Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri

Greko Pers Dönemi Tümülüslerinin, Frig Dönemi ve Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerine göre Tümülüs yığma boyutları daha küçüktür. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde mezar inşa malzemesi taştır. Mermer, kireçtaşı, kumtaşı, küfekitaşı (maktralı kireçtaşı), şist ve andezit taş malzemeler ve ağaç, metal ve pişmiş toprak da inşa malzemeleri arasındadır. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde, krepis, dromos, sundurma, mezar odası ve çatı gibi yapı elemanlarının en çok değiştiği ve buna bağlı farklılıklar görülen dönemdir (Uğur, 2012). Greko Pers Dönemi Tümülüslerine ait Öztekin (2006) 'dan derlenen mezar odası ebatları, dromos ebatları Tablo 2.4: 'te verilmiştir. Beylerbeyi I ve İkiztepe Tümülüsleri anakayaya oyularak inşa edilmiş, diğer Tümülüslerde mermer, kireçtaşı, kalker, andezit ve tüf inşa malzemeleri kullanmışlardır. Mezar odası ebatları çoğunlukla 2 m. ile 3 m. uzunluklardadır. Dromos uzunlukları 1,80 m. ile 10 m. arası uzunluklardadır. Dromos inşa edilme sayısı ve

dromos uzunluklarının Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerine göre arttığı ve uzadığı söylenebilir. Greko Pers Tümülüslerinde uzun dromoslar yanında ön oda ve sundurma yapı elemanları da mevcuttur. Tablo 2.5: 'te Greko Pers Tümülüslerinin ön oda ebatları, sundurma ebatları ve Tümülüs yığması özellikleri yer almaktadır. Mezar odasının önünde yer alan ön oda ebatları 1,20 m. genişlik, 1,40 m. uzunluk ve 1,65 m. yükseklik (Yıldızlar Tepesi Tümülüsü) ile 5,83 m. genişlik, 4,83 m. uzunluk (Kırklareli B Tümülüsü) arasında yer almaktadır. Sundurma ebatları 1,30 m. genişlik, 1,0 m. uzunluk ve 1,90 m. yükseklik ile (BT 89 Tümülüsü), 1,40 m. genişlik, 2,40 m. uzunluk ve 2,10 m. yükseklikler (Bekçitepe Tümülüsü) arasında yer almaktadır. Tümülüs yığma malzemelerinin dolgu toprak, toprak, moloz taş malzemeler kullanıldığı görülmektedir. Greko Pers Tümülüslerinde kare veya dikdörtgen formda mezar odaları çoğunlukta olmakta birlikte, dairesel formda inşa edilmiş olanlar da vardır. Tablo 2.6: 'da dairesel formda inşa edilmiş Tümülüslerin çap ve yükseklikleri yer almakta, ayrıca bu Tümülüslerin dromos ebatları ile yığma malzemesi özellikleri de yer almaktadır. Kırklareli B Tümülüsü 6,80 m. çapında ve 6,60 m. yüksekliktedir. Kırklareli B Tümülüsü 'nün planı Şekil 2.7: 'de yer almaktadır. Greko Pers Tümülüslerinde sadece lahit çıkan Tümülüsler de vardır. Gümüşçay Kızöldün ve Akalan Tümülüslerinde ikişer lahit bulunmuştur. Lahitlerin ebatları ve lahit inşa malzemesi Tablo 2.7: 'de yer almaktadır. Gümüşçay Kızöldün Tümülüsü 'nden çıkan lahitler mermerden inşa edilmiş olup, lahitlerden birinin görünümü Şekil 2.8:'de yer almaktadır. Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde Tablo 2.5: ve Tablo 2.6:'da yer alan yığma malzemesi özellikleri çoğunlukla toprak ve dolgu toprak ile oluşturulduğu görülmektedir. Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de toprak, 8-1.700 Ωm aralığında, dolgu toprak 10-100 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüsün içerisinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos, sundurma, ön oda ve mezar odasında kullanılan malzemelerin özdirenç değerlerine baktığımızda; mermer 10-250.000.000 Ωm aralığında, kireçtaşı 50-10.000.000 Ωm aralığında, kalker (kireçtaşı) 50-10.000.000 Ωm aralığında, andezit 45.000-1.700.000 Ωm aralığında, tüf 2.000-100.000 Ωm aralığında, kumtaşı 1-640.000.000 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs yapı unsurlarının inşa malzemelerinin özdirenç değerlerinin tümülüs yığma malzemelerinin özdirenç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, Tablo 2.4:, Tablo 2.5:, Tablo 2.6: ve Tablo 2.7: 'de verilen dromos, ön mezar odası, sundurma, mezar odası ve lahit ebatları 1-2 m. ile 2-3 m. ebatları arasında olup 5-6 m. 'ye ulaşan ebatlar da mevuttur. Çok yüksek özdirenç değerlerine sahip taş malzemeden inşa edilmiş mezar yapıları, içlerinin boş olması durumunda

çok daha yüksek özdirençli bir yapıda olacağı görülmektedir. Ancak, Greko Pers Dönemi Tümülüslerinde de, Frig Dönemi ve Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde görülen, soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, mezar odası içerisine girecek yüzeysuları, mezar yapılarının çökmesi, içerisine dolan toprak ve dolgu gibi malzemeler, özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

5.2.4. Helenistik Dönem Tümülüsleri ve Jeofizik Açıdan Özellikleri

Helenistik Dönem Tümülüs yığmaları 2-3 m. ile 50 m. arası yüksekliklerde ve 15 m. ile 150 m. arası çaplarda olabilmektedir. Krepis, dromos, ön oda ve mezar odası Helenistik Dönem Tümülüslerinde de önemli Tümülüs yapı unsurlarıdır (Uğur, 2012). Dromos, ön oda ve mezar odası ebatları Tablo 2.8: ’de yer almakta olup dromos uzunlukları 2 m. (Toptaş Tümülüsü) ile 14.4 m. (Devebağırtan Tümülüsü) uzunluğa ulaşabilmektedir. Helenistik Dönem Tümülüs yığmalarında toprak yığmadan başka moloz yığma taşlarda kullanılmış, bu durum daha çok Sesönk, Karakuş ve Nemrud Tümülüslerinin yer aldığı Adıyaman bölgesinde görülmektedir. Kullanılan mezar inşa malzemeleri ve tümülüs yığması malzemeleri Tablo 2.9:’da yer almaktadır. Helenistik Dönem Tümülüslerinde de tümülüsün kendi mezar yapıları harici sonraki dönemlerde lahit ve mezarlar gömülmüştür. Tablo 2.10:’da mezar ve lahit bulunan Tümülüsler, ebatları ve malzeme özellikleri yer almaktadır. Helenistik Dönem Tümülüslerine Jeofizik açıdan baktığımızda Tablo 2.9:’da yer alan yığma malzemesi özellikleri büyük öneme sahiptir. Toprak ile yığma yapılmış Tümülüslerde mevcuttur. Yığma malzemelerinin bazı tümülüslerde özellikle üst seviyelerde taş kaplama, moloz taş, mıcır katmanları, kaya örgü ile oluşturulduğu görülmektedir. Bu tür durumlarda yığma malzemesinin özellikleri, Tümülüsün merkezinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş krepis, dromos, ön mezar odası ve mezar odasının fiziksel özelliklerine yaklaşmaktadır. Yapı elemanlarının taş malzemesi ile tümülüs yığma malzemesinin fiziksel özellikleri (özdirenç) birbirine yaklaştığı zaman tümülüs yapı elemanlarının belirlenmesi, ancak yapı elemanları içerisinde boşluk bulunması durumunda, diğer bir ifade ile odaların çökmemiş, içerisine yığma malzemesi dolmamış, kısaca sağlam bir şekilde içleri boş olması durumunda yüksek özdirençli olmaları durumunda elektrik yöntemler ile mezar yapılarını belirlemek mümkün olacaktır. Ayrıca, Tablo 2.8:’de

verilen dromos, ön mezar odası, mezar odası ebatları dikkate alındığında ölçümlerde örnekleme aralıkları iyi seçilmeli ölçüm öncesi tablolarda yer alan geometrik ebatlar ve malzeme özellikleri (özdirenç) dikkate alınarak modelleme yapılarak ideal ölçüm metodu ve örnekleme aralığı önceden belirlendiği takdirde başarılı sonuçlar elde edilebilir. Helenistik Dönem Tümülüslerinde de Lidya Krallık Dönemi ve Greko Pers Dönemi Tümülüslerindeki gibi olası mezar yapı unsurları inşa edilirken metal bağlayıcılar da kullanıldığı, mezar odası içerisine metal eşyaların da konulduğu bilinmektedir. Özdirenç farklılığı ve metalik malzemeler, elektromanyetik ve manyetik yöntemlerin de uygulanabileceğini göstermektedir. Toprak ile yığma yapılmış Tümülüslerde Tablo 2.11: ve Tablo 2.12:'de toprak, 8-1.700 Ωm aralığında, tümülüs yığmasının altında yer alan mezar yapı elemanlarından kireçtaşı 50-10.000.000 Ωm aralığında, kalker (kireçtaşı) 50-10.000.000 Ωm aralığında, basalt 10-13.000.000 Ωm aralığında, tüf 2.000-100.000 Ωm aralığında, kumtaşı 1-640.000.000 Ωm aralığında andezit 45.000-1.700.000 Ωm aralığında yer almaktadır. Tümülüs yığmasının sadece toprak yığması olması durumunda, Tümülüs yapı unsurlarının inşa malzemelerinin özdirenç değerlerinin tümülüs yığma malzemelerinin özdirenç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ancak özellikle üst seviyelerde taş kaplama, moloz taş, mıcır katmanları, kaya örgü ile tümülüs yığması oluşturulmuş Tümülüsler de yığma malzemesinin özdirenci, Tümülüsün içinde yer alan taş malzeme ile inşa edilmiş mezar yapı unsurlarının özdirencine yaklaşmaktadır. Yapı elemanlarının özdirenç değerleri ile Tümülüs yığma malzemesinin özdirenci birbirine yaklaştığı zaman Tümülüs yapı elemanlarının belirlenmesi ancak yapı elemanları içerisinde boşluk bulunması durumunda, diğer bir ifade ile odaların çökmemiş, içerisine yığma malzemesi dolmamış, kısaca sağlam bir şekilde içleri boş olması durumunda elektrik yöntemler ile mezar yapılarını belirlemek mümkün olabilir. Ayrıca, Tablo 2.8:'de verilen dromos, ön mezar odası, mezar odası ebatları dikkate alındığında ölçümlerde örnekleme aralıkları iyi seçilmeli ölçüm öncesi tablolarda yer alan geometrik ebatlar ve malzeme özellikleri (özdirenç) dikkate alınarak modelleme yapılarak ideal ölçüm metodu ve örnekleme aralığı önceden belirlendiği takdirde başarılı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, Helenistik Dönem Tümülüslerinde de, Greko Pers Dönemi, Frig Dönemi ve Lidya Krallık Dönemi Tümülüslerinde görülen, soyguncuların tümülüslerde kaçak kazı, kaçak tünel açma faaliyetleri, tarımsal veya yapılaşma amaçlı faaliyetlerle oluşan toprağın sıkışması, aşındırılması, göçükler, binlerce yıllık süreçte yaşanan depremler, doğa olayları, bitki ve ağaçların neden olduğu etkiler, mezar odası içerisine girecek yüzeysuları, mezar yapılarının

çökmesi, içerisine dolacak toprak, dolgu gibi malzemeler, özdirenç değerlerini etkileyecektir. DAÖ yöntemi yanında diğer Jeofizik araştırma yöntemlerinin de uygulanması araştırmalarda fayda sağlayacaktır.

5.3. TOPTEPE TÜMÜLÜSLERİNDE UYGULANAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

5.3.1. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi, yer altının özdirenç dağılımını belirlemeye çalışan bir yöntemdir. Yere çakılan iki paslanmaz çelik elektrota, bir akü veya jeneratör vasıtası ile verilen güçle çalışan verici, elektrotlar ile yere akım gönderir. Geçen akım ampermetre üzerinden gönderildiğinde iletilen akım miktarı amper cinsinden ölçülür. Yere çakılan diğer iki elektrot bir voltmetreye bağlandığında oluşan gerilim (potansiyel farkı) volt cinsinden ölçülür. Ohm yasasına göre ölçülen gerilimin, ölçülen akıma oranı, yerin direncini verir birimi Ω 'dur. Elektrotlar pek çok farklı şekillerde belirli bir düzende yere çakılabilir ve bu farklı uygulamalara dizilim şekli veya türü denir. Elektrotların birbirlerinin konumlarına göre bir dizi hesaplamalarla geometrik faktör olarak adlandırılan değer hesaplanır. Geometrik faktör dirençle çapıldığında yerin belirli bir derinlikteki özdirenci ölçülmüş olur. Bu özdirenç değerine de görünür özdirenç denir birimi Ωm 'dir. Elektrik özdirenç ölçümleri, yer altındaki jeolojik tabakaların kalınlığı, birden fazla tabakaların derinlikleri, fay, karstik boşluk, ayrışma v.b. jeolojik problemlerin çözülmesi, yeraltısuyu, jeotermal, geoteknik, maden, çevre sorunları, Arkeojeofizik ve diğer pek çok mühendislik ve bilimsel araştırmalarda Jeofizik Mühendislerince uygulanmaktadır. Elektrik özdirenç yönteminde yeraltı katmanlarının veya birbirinden farklı tabakaların, farklı elektriksel özelliklere (özdirenç) sahip olması gerekmektedir. Farklı elektriksel özellikler yoksa (özdirenç zıtlığı veya kontrastı), jeolojik katmanlar, tabakalar, v.b. jeolojik problemler ayırt edilemez (Berge, 2005).

5.3.1.1. 3D ERT Dizilimleri ve Modelleme

3D elektrik özdirenç dizilimlerinin 2D elektrik özdirenç dizilimlerden farkı, sadece x yönünde değil, hem x, hem de y yönlerinde, sabit elektrot aralığı ve sabit paralel hat aralığı veya elektrot aralığının iki katı kadar daha arttırılarak (Yang ve Lagmanson, 2006) sahaya elektrotlarımızı çakıyoruz. 3D dizilimlerde, ölçü yapabilmek için çok sayıda elektrotlara, bu elektrotların sayısı kadar kapasiteli kablolara ve önceden komut dosyası ile hazırlanan ve planlanan ölçüm işlemini yapabilecek cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Tez çalışmasında 56

elektrotlu, x yönünde 8, y yönünde 7 elektrotun yer aldığı 3D dizilimlerde model çalışmaları yapılmıştır. Bu bölümde 3D ERT dizilimleri, tez konumuz kapsamında özellikle Lidya Krallık Dönemi, Greko Pers ve Helenistik Dönem Tümülüslerinde görülen dromos ve mezar odası yapıları ve inşa malzemeleri de dikkate alınarak modelleme yapılarak incelenmiştir. Modellemede, genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odası varsayımı yapılmıştır.

5.3.1.1.1. Dipol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme

Dipol Dipol 3D ERT komut dosyası EarthImager 3D programıyla oluşturulmuştur. X yönünde 8, y yönünde 7 elektrot olacak şekilde toplam elektrot sayısı 56'dır. Elektrot aralığı 2 m., tahmini ölçü süresi 4:16:34, veri sayısı 1790 ve tahmini araştırma derinliği 3,23 m. dir. EarthImager 3D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.26:'da görülmektedir. Kırmızı renkli blok 2.000 Ωm ve genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odasını temsil etmekte, bloğun çevre özdirenci 250 Ωm ile tümülüs yığmasını temsil etmektedir. Bu modele % 1 gürültü eklenerek dipol dipol 3D ERT model ölçümü ters çözüm sonucunda, yakınsama eğrisi ve ters çözüm özdirenç modeli Şekil 3.27:'de yer almaktadır. 8. Yineleme sonucunda % 1.6 hata oranı ile üstte yakınsama eğirisi ve ters çözüm özdirenç modeli altta görülmektedir. Modele uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda, yapay model Şekil 3.28: (a) da, ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan çapraz kesitler Şekil 3.28: (b) de yer almakta olup modeldeki yüksek özdirençli blok çapraz kesitlerde görülmektedir. Ters çözümde bulunan modelin alttan görünümü Şekil 3.28: (c) de yer almakta olup, bloğun olduğu lokasyonda yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Ters çözümde bulunan modele düşük özdirençli 400 Ωm 'nin altındaki özdirençleri kapatarak sadece yüksek özdirenci göster dediğimizde elde edilen küp model Şekil 3.28: (d) de yer almakta olup, modeldeki yüksek özdirençli bloğun bulunduğu yerde yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Özdirenç lejantı Şekil 3.28: (e) de yer almaktadır. Modelde tümülüs yığması 250 Ωm olarak verilmiştir ve ters çözüm sonucunda elde edilen 3D küp modelde de özdirenç dağılımı 250 Ωm civarındadır. Elde edilen kesitler, 3D görünümlere göre Dipol dipol 3D ERT dizilimi ters çözüm sonuçları, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını başarılı bir şekilde görüntülemiştir. Ancak araştırma derinliğinin 3,23 m. sığ olması, yöntemin 3-4 m. yükseklikli tümülüslerde bile uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Sonsuza

elektrot çakılmaması bir avantaj gibi görünse de, veri sayısı çokluğundan dolayı ölçüm süresi değişmemektedir.

5.3.1.1.2. Pol Dipol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme

Pol Dipol 3D ERT komut dosyası EarthImager 3D programıyla oluşturulmuştur. X yönünde 8, y yönünde 7 elektrot ve eksi sonsuzda 1 elektrot (B) olacak şekilde toplam elektrot sayısı 57'dir. Elektrot aralığı 2 m., tahmini ölçü süresi 2:40:49, veri sayısı 1122 ve tahmini araştırma derinliği 4,95 m. dir. EarthImager 3D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.29:'da görülmektedir. Kırmızı renkli blok 2.000 Ωm ve genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odasını temsil etmekte, bloğun çevre özdirenci 250 Ωm ile tümülüs yığmasını temsil etmektedir. Bu modele % 1 gürültü eklenerek pol dipol 3D ERT model ölçümü ters çözüm sonucunda, yakınsama eğrisi ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri Şekil 3.30:'da yer almaktadır. 2. Yineleme sonucunda % 0,97 hata oranı ile yakınsama eğrisi üstte ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri altta görülmektedir. Modele uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda, yapay model Şekil 3.31: (a) da, ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan 3D kesitler Şekil 3.31: (b) de yer almakta olup modeldeki yüksek özdirençli blok çapraz kesitlerde görülmektedir. Ters çözümde bulunan modelin alttan görünümü Şekil 3.31: (c) de yer almakta olup, bloğun olduğu lokasyonda yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Ters çözümde bulunan modele düşük özdirençli 400 Ωm 'nin altındaki özdirençleri kapatarak sadece yüksek özdirenci göster dediğimizde elde edilen küp model Şekil 3.31: (d) de yer almakta olup, modeldeki yüksek özdirençli bloğun bulunduğu yerde yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Özdirenç lejantı Şekil 3.31: (e) de yer almaktadır. Modelde tümülüs yığması 250 Ωm olarak verilmiştir ve ters çözüm sonucunda elde edilen 3D küp modelde de özdirenç dağılımı 250 Ωm civarındadır. Elde edilen kesitler, 3D görünümlere göre pol dipol 3D ERT dizilimi ters çözüm sonuçları, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

5.3.1.1.3. Pol Pol 3D ERT Dizilimi ve Modelleme

Pol Pol 3D ERT komut dosyası EarthImager 3D programıyla oluşturulmuştur. X yönünde 8, y yönünde 7 elektrot, eksi sonsuzda 1 elektrot (B) ve artı sonsuzda 1 elektrot (N) olacak şekilde toplam elektrot sayısı 58'dir. Elektrot aralığı 2 m., tahmini ölçü süresi 3:40:44, veri sayısı

1540 ve tahmini araştırma derinliği 11,06 m. dir. EarthImager 3D araştırma planlayıcısında oluşturulan yapay özdirenç modeli Şekil 3.32:'de görülmektedir. Kırmızı renkli blok 2.000 Ωm ve genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odasını temsil etmekte, bloğun çevre özdirenci 250 Ωm ile tümülüs yığmasını temsil etmektedir. Bu modele % 1 gürültü eklenerek pol pol 3D ERT model ölçümü ters çözüm sonucunda, yakınsama eğrisi ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri Şekil 3.33:'de yer almaktadır. 1. Yineleme sonucunda % 0,97 hata oranı ile üstte ve ters çözüm sonucunda elde edilen x-y kesitleri altta görülmektedir. Modele uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda, yapay model Şekil 3.34: (a) da, ters çözüm işlemi sonucunda oluşturulan 3D kesitler Şekil 3.34: (b) de yer almakta olup modeldeki yüksek özdirençli blok 3D kesitlerde görülmektedir. Ters çözümde bulunan modelin çapraz kesitlerde görünümü Şekil 3.34: (c) de yer almakta olup, bloğun olduğu lokasyonda yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Ters çözümde bulunan modele düşük özdirençli 275 Ωm 'nin altındaki özdirençleri kapatarak sadece yüksek özdirenci göster dediğimizde elde edilen küp model Şekil 3.34: (d) de yer almakta olup, modeldeki yüksek özdirençli bloğun bulunduğu yerde yüksek özdirençli yapı görülmektedir. Özdirenç lejantı Şekil 3.34: (e) de yer almaktadır. Modelde tümülüs yığması 250 Ωm olarak verilmiştir ve ters çözüm sonucunda elde edilen 3D küp modelde de özdirenç dağılımı 250 Ωm civarındadır. Elde edilen kesitler, 3D görünümlere göre pol pol 3D ERT dizilimi ters çözüm sonuçları, 250 Ωm tümülüs yığması içinde, 2.000 Ωm dromos veya mezar odasını başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

5.3.2. Yatay Halka Elektromanyetik Yöntem

Yatay halka elektromanyetik yöntemi (YHEM), İngilizce karşılığı HLEM (Horizontal loop electromagnetic method), Slingram olarak da bilinmektedir. YHEM yöntemi 35 Hz ile 60 kHz frekansları arasında çalışabilen, frekans ortamı elektromanyetik yöntemdir. YHEM yöntemi adını halka şeklinde sarım sayısı çok fazla olan iki adet bobinlerden almıştır. Bu bobinlerden ilkine (Verici halka) bir sinyal jeneratörü veya verici ile sinüs biçimli gerilim (voltaj) uygulandığında, uygulanan gerilimin frekansına, bobinin direncine bağlı olarak bobini oluşturan bobin telinde (izoleli yalıtılmış bakır v.b. iletken tel) bir akım oluşur. Bobin telinde oluşan frekansa bağlı dalgalı (alternatif) akım da, telin çevresinde frekansına bağlı yönü değişen bir manyetik alan meydana getirir. Bobinin merkezinden geçen, her yöne yayılan, telde oluşmuş akımın frekansında, aşağı ve yukarı yönde yer değiştiren bu manyetik alana

birincil manyetik alan denir ve H_p (H magnetic primary) ifadesi ile gösterilir. Birincil alan yer içerisine nüfuz eder etmez indüksiyon olayı meydana gelir. İletken ortamlar üzerinde, birincil manyetik alan indüksiyon olayı neticesinde birincil manyetik alan yönüne dik, birincil manyetik alanın çevresini saracak şekilde (iletken kütlenin geometrisi veya kabaca halka şeklinde) elektrik akımlarının (Eddy currents) oluşmasına neden olur. Oluşan Eddy akımları iletkenliğe bağlı olarak çok güçlü veya ortamın çok dirençli olmasına bağlı olarak çok zayıf oluşur. İletken ortamı, yer altında uçları birbirine bağlı, az veya çok sarımlı gizli bir bobin veya kablo yığını varmış gibi düşünebiliriz. Birincil alanın neden olduğu Eddy akımları oluşurken oluşum yönüne (akımın akış yönü) dik veya oluşum yönünün çevresinde (halka şeklinde) ikincil manyetik alan meydana gelir. İkincil manyetik alan H_s (H magnetic secondary) ile ifade edilir. YHEM yönteminde kullanılan ikinci halka da (alıcı halka) çok sarımlı bir bobindir. İkinci halkada oluşan birincil ve ikincil manyetik alanların toplamından bir dizi hesaplamalarla ikincil manyetik alan (H_s) hesaplanır. YHEM yönteminde ikinci manyetik alanın birincil manyetik alana oranı (H_s/H_p) gerçel ve sana bileşenler % cinsinden sonuç olarak kaydedilir (Özürlan ve diğ, 2005). YHEM yönteminde, verici alıcı halkalarla, birincil alanın, Eddy akımlarının, iletken kütle ve ikincil alanın oluşumu Şekil 3.35:'de yer almaktadır. YHEM yöntemi, yeraltındaki iletken ve dirençli ortamların ayırt edilmesinde, kırık-çatlak, fay v.b. süreksizliklerin araştırılmasında, yeraltısuyu, jeotermal, maden, çevre sorunları, mühendislik jeofiziği ve arkeoloji alanlarında Jeofizik mühendislerince kullanılmaktadır (Özürlan ve diğ, 2005). YHEM yöntemi uygulamalarında alıcı verici halkalar arası sabit tutularak kaydırma, alıcı verici aralıkları bir merkez noktaya göre kademeli açılarak ve yüksek frekanstan düşük frekansa doğru ölçümler yapılarak delgi, paralel hatlar veya çok sayıda delgi sonuçları dikkate alınarak haritalama ölçümleri gerçekleştirilir. YHEM yöntemi verici ve alıcı halkaların ölçüm düzenekleri Şekil 3.36:'da yer almaktadır. Uygulamada en çok kullanılan halka konumu, uygulama kolaylığı ve ölçüm hızı nedeniyle, Şekil 3.36:-1'deki verici ve alıcı halkanın yatay konumda olduğu düzenektir. YHEM yöntemini uygulayan cihazların bir kısmı yüzeye yakın sığ derinlikli araştırmalarda kullanılırken, 400 m. ve üstü derinliklere (1500 m.) ulaşabilen çok sayıda frekansta ölçü yapabilen cihazlar da geliştirilmiş ve araştırmacılar tarafından YHEM yöntemi uygulanmaktadır (Özürlan ve diğ, 2005). YHEM yönteminde yapılan ölçümlerde, yerdeki iletken kütleden kaynaklanan ikincil manyetik alanın, birinci halkada oluşan birincil manyetik alana oranı (H_s/H_p) % cinsinden birimsiz olarak iki bileşen ölçülür. Bu bileşenler gerçel (real)

ve sanal (imaginary) bileşenlerdir. Gerçel ve sanal bileşenlerin iletken bir kütle üzerinde ölçülecek kuramsal eğrisi Şekil 3.37:'de yer almaktadır.

5.3.3. Çift Yatay Halka Elektromanyetik Yöntemi (ÇYHE)

Tez konumuz olan Toptepe Büyük ve Küçük Tümülüsleri, eğimli dik yamaçlı yapısı, sık çalı, bitki örtüsü, üzerinde yürümenin bile çok zor olması ve büyüklükleri dikkate alındığında, hızlı bir şekilde tek bir kişinin ölçü yapabileceği YHEM yöntemine benzer bir ölçüm cihazı ve ekipmanları tasarlanmıştır. Tez kapsamında, Çift Yatay Halka Elektromanyetik olarak adlandırdığımız (ÇYHE) bir ölçüm cihaz ve ekipmanları tarafımızca geliştirilmiştir. ÇYHE yöntemde verici olarak sinyal jeneratörü ve alıcı olarak multimetre kullanılmıştır. Yatay halkalar ise tarafımızca sarılarak, çok sayıda deney ve test işlemlerinden sonra sinyal jeneratörü ve voltmetre ile uyumlu ve verimli bir şekilde çalışan, ölçümler için ideal bir ekipman haline getirilmiştir.

5.3.3.1. ÇYHE Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar

ÇYHE yönteminde kullanılan ekipmanlar, 12 Volt 7 Ah (amper-saat) taşınabilir motor aküsü, 150 watt DC-AC inverter (çevirici), 0.1 Hz ile 2.2 MHz arası frekanslarda, 1.2-10.2 arası volt çıkışlı, sinüs, üçgen ve kare biçimli dalga üretebilen sinyal jeneratörü, 1 mV ile 750 V arası ölçü yapabilen AC frekansı gösterebilen multimetre, verici ve alıcı halkalar için 0.3-1.2 mm. arası çaplarda bobin telleri, halkaların sarıldığı makaralar için mukavva, halkaların üzerine yerleştirildiği ahşap şase ve ölçü noktalarının koordinatlarını almak için GPS'dir. ÇYHE yöntemi kullanılan ekipmanlar Şekil 3.43:'de yer almaktadır.

5.3.3.2. 500 Gr. 1 cm. 1.2 mm. VH İle AH600Gr3cm-AH1200Gr4cm-AH1200Gr6cm-AH1200Gr8cm-AH1800Gr11cm Deneyleri

AH-VH halka deneyleri sonucunda en son sarılan VH 500 gr. ağırlıkta, 1 cm. yükseklikte, bobin teli çapı 1.2 mm. halka çapı 20 cm. ve direnci 1 Ω 'dur. AH 'lar ise, önceki deneylerde kullandığımız 600 gr 3 cm. 1200 gr 4 cm. 1200 gr 6 cm. halkalara ek olarak yeni sarılan 1200 gr 8 cm. ve 1800 gr 11 cm. dir. VH ve AH merkezleri arası 30 cm. de iken etkin frekans belirleme deney sonuçları Tablo 3.44:'de ve Şekil 3.87:'de grafik gösterimi yer almaktadır. Etkin frekans değerlerinin ağırlığın artması ile frekansı düşürdüğü, mV genlik değerlerini arttırdığı görülmektedir. VH-AH çiftlerinin etkin frekanslarında, sinyal jeneratörü ile 10.2 V

gerilim uygulanırken halkaların farklı ara mesafelerinde okunan mesafeye bağlı mV değerleri Tablo 3.45:'de ve grafiği Şekil 3.88:'de yer almaktadır. Önceki deneylerde VH ve AH arası 50 cm. de 19150 mV okunurken şimdiki deneylerde bu değer 21643 mV 'a yükselmiş ve yine önceki deneylerde 300 cm. uzaklıkta 6 mV okunurken şimdiki deneylerde 16 mV 'a yükselmiştir. 350 cm. uzaklıkta ağırlığı ve yüksekliği arttırılan halkada 5 mV, 400 cm. uzaklıkta ağırlığı ve yüksekliği arttırılan halkada 1 mV değerleri ölçülmüştür. VH500gr1cm1.2mm ile AH1800gr11cm halkaları en verimli deney sonucunu vermiştir. VH500gr1cm1.2mm ile AH600Gr3cm, AH1200Gr4cm, AH1200Gr6cm, AH1200Gr8cm ve AH1800Gr11cm deneylerinde sonuçlar; ağırlık, etkin frekans, halkaların direnç değerleri, sinyal jeneratöründe 10.2 V çıkışta VH 'da oluşan voltaj, VH 'dan geçen amper ve AH VH arası 50 cm iken AH 'da ölçülen mV değerleridir. 5 deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 3.46:'da ve grafiği Şekil 3.89:'da yer almaktadır. VH (direnç sabit) sabit olduğu halde frekansa bağlı daha yüksek voltaj geçen 5.37 KHz etkin frekanslı AH1800Gr11cm ölçümünde en yüksek amper ve mV değeri ölçümlenmiştir. AH ve VH deneylerimizde, şu ana kadar toplam 32 deney gerçekleştirdik. Yapılan 32 deney sonuçları Tablo 3.47: ve görsel grafikleri Şekil 3.90:'da yer almaktadır. Son 5 deneyde, VH 'nın bobin teli çapı 1 mm. 'den 1.2 mm. 'ye arttırılması, direncini de azaltmıştır, amper artmıştır, AH 'ların ağırlığının artması da frekansı alçaltmış, geçen voltaj değeri artmıştır. AH 50 cm. 'de okunan mV değeri de en yüksek değere ulaşmıştır. İlk deneylerde AH'da 429 mV genlik değeri ölçümlenmişken, ikinci grup deneylerde 2152 mV genlik değeri, üçüncü grup deneylerde 2932 mV, dördüncü grup deneylerde 8090 mV, beşinci grup deneylerde 8800 mV, altıncı grup deneylerde 19150 mV ve 32. Deneyde 21643 mV genlik değerine ulaşılmıştır. AH VH arası indüksiyon mesafesi ilk deneylerde en fazla 1.5 m. iken bu mesafe ikinci grup deneylerde 2 m. 'ye, üçüncü grup deneylerde 2.5 m. 'de 1 mV iken, 16. deneyde 2.5 m. 'de 6 mV ve 21 ile 22. deneylerde 3 m. 27. Deneyde 3.5 m. Ve 32. Deneyde 4 m mesafesine ulaşmıştır. Şekil 3.86: dikkatle incelediğimizde ilk deneylerde amper, direnç ve volt değerleri birbirinden uzakta iken, son deneylerde örtüşmeye başlamışlar, direnç 1 Ω değerine düşünce geçen voltaj amper değerine eşit olmuştur. Ohm yasasına göre direnç azaldıkça amper yükselecektir. Diğer taraftan AH larda ağırlık artışı ve yükseklik artışı da mV artışı ve AH VH indükleme ara mesafesini arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre VH500Gr1cm1.2mm verici halkası ile, AH1800Gr11cm0.3mm alıcı halkası olarak Toptepe Tümülüslerinde ölçüm çalışmalarında kullanılacaktır. Ölçüm çalışmalarında AH ve VH halkaları ara mesafesi 1 m. düşünülmüştür.

Bunun nedeni ise; eğer AH ve VH halkalarının merkezleri arası mesafeyi 50 cm. de tutarsak VH dan gelen indüksiyon 21643 mV olacak yerden gelen ikincil alanların 21643 mV 'a oranı çok düşük kalacaktır. İkincil alanların 1 m. Mesafede 1805 mV VH dan gelen indüksiyona oranı ise 50 cm. ye göre çok daha yüksek olacak, bu sayede ikincil alanlar daha yüksek oranda görülebilecektir. VH AH ara mesafesini 1 m. Den daha uzun tutmak ise Tümülüs gibi eğimli, dik yamaçlı, yürümenin bile zor olduğu arazi koşullarında ölçüm yapabilmek açısından kullanışlı değildir. Halkalar tek parça ahşap malzemenin otomatik tornada iki tarafı çember şeklinde ve çemberlerin merkez arası 1 m. olacak şekilde kesilmiştir Şekil 3.90:'da görülmektedir.

5.4. TOPTEPE KÜÇÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMA SONUÇLARI

5.4.1. Toptepe Küçük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Sonuçları

Toptepe Küçük Tümülüsü Büyük Tümülüsün güneybatısında, yaklaşık 60 m. çapında, 6 m. yüksekliktedir. Konumu Şekil 4.1:'de yer almaktadır. 2016 yılındaki Tümülüslerin bulunduğu alanda yapılan çevre düzenlemesi çalışmalarında Küçük Tümülüs'te 17 m. uzunluğunda, 1.5 m. genişliğinde ve 2.2 m. yüksekliğinde dromos, genişliği 2.55 m. uzunluğu 2.75 m. ve yüksekliği 2.8 m. ebatlarında mezar odası bulunmuştur. Tümülüsün olduğu alan I. derece arkeolojik sit alanı olarak tescil dilmiştir. Tümülüsün dromosu ve mezar odası içi boş herhangi bir dolgu malzemesi veya toprak bulunmamaktadır. Tümülüs inşa malzemesi volkanik aglomeradır. Volkanik aglomera, konglomeranın metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuştur, Tablo 2.11:'de metamorfiklerin özdirenç değerleri 8.000 ile 60.10^6 arasında verilmiştir. Oldukça yüksek özdirenç değerine sahip tümülüs inşa malzemesi, dromos ve mezar odasının içinin de boş olması, sonsuza yaklaşan özdirenç değeri ile tümülüs yığmasının özdirenç değerlerinden oldukça yüksek bir zıtlık oluşturmaktadır. Toptepe Küçük Tümülüsü Şekil 4.2:'de yer almaktadır.

Toptepe Küçük Tümülüsü'nde, Arkeojeofizik araştırmalar kapsamında ÇYHE yöntemi uygulanmıştır. Vaziyet planı Şekil 4.3:'te görüldüğü üzere, tümülüsün 1.5 m. genişliğinde dromosunu dik kesecek şekilde kuzeydoğu güneybatı doğrultulu 75 cm. ölçü noktası aralıklı, takribi 20 m. profil uzunluğunda, 3 paralel profilde ölçümler alınmıştır. Vaziyet planında dromos, mezar odası çizimi yer almakta olup, ÇYHE ölçü noktaları mavi renkteki artı işareti ile gösterilmiştir.

ÇYHE ölçüm çalışmalarında, ölçü alındıktan hemen sonra arkadan gelen GPS cihazı ile ölçü noktasının koordinatı kaydedilmiştir. Bu işlem 3 paralel hat boyunca, önce ÇYHE mV değeri sonra GPS koordinatı ölçümü şeklinde tekrarlanmıştır. Ölçüm çalışmalarının resmi Şekil 4.4:'te yer almaktadır.

Toptepe Küçük Tümülüsü'nde ÇYHE ölçümleri ve GPS ölçü noktaları koordinat alımları tamamlandıktan sonra, elde edilen ÇYHE mV değerlerinin, koordinatlara karşılık olarak kontur haritası, Matlab 'da (https://matlab.mathworks.com/) yazılan kodla çizdirilmiştir. Matlab kodu EK1.'de yer almaktadır. ÇYHE yöntemi mV değerlerinin kontur dağılımı Şekil 4.5:'te yer almaktadır.

ÇYHE yöntemi mV kontur haritası ve sağında yer alan mV renk lejantını incelediğimizde, mV değerlerinin 1820 mV ile 1960 mV arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle dromosun olduğu orta bölümde mV değerlerinin 1820 mV değerlerine doğru azaldığı, dromostan uzaklaştıkça 1950 mV değerlerine doğru arttığı görülmektedir. Tümülüs inşa malzemesinin çok yüksek özdirençli yapıda olması ve dromosun içinin boşluk olması, iletken ortam bulunmaması, Eddy akımlarının oluşamaması ve buna bağlı ikincil manyetik alanın oluşamaması nedeniyle, AH 'da ölçümlenen gerilim sadece VH 'dan kaynaklanan birincil manyetik alan değeridir. ÇYHE yöntemi Toptepe Küçük Tümülüsü'nün dromosunu başarılı bir şekilde görüntülemiştir.

ÇYHE yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri, ÇYHE yöntemi deneylerinde de sıkça değinilen direnç değeridir. VH ve AH bobinlerinin dirençleri, hava sıcaklığına diğer bir ifade ile sıcaklık değerine karşı duyarlıdır. Emaye bobin teli üreticileri ürünün teknik özelliklerini gösteren tablolarda, telin direnç değerini, 20 derecede sıcaklıktaki direnç değeri şeklinde belirtirler (https://www.emtel.com.tr/emaye-bobin-tellerinin-boyutsal-verileri/). Sıcaklıktaki ani değişimler, kesit alanının azalmasına ve direncin artmasına neden olacağı için, hava sıcaklığındaki ani değişimler ÇYHE ölçümlerini olumsuz yönde etkileyecektir. Hava sıcaklığının nispeten düşük olduğu sabah erken saatlerde ölçü yapılması ÇYHE yöntemden en yüksek verim alınmasını sağlayacaktır.

5.4.2. Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D Sonuçları

Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D çalışmalarında, Tümülüsün dromos girişi, dromos ve mezar odasını alansal olarak kapsayacak şekilde bir geometri oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bölüm 3.1.3. 3D Elektrik özdirenç dizilimleri ve modelleme bölümünde, modelleme çalışmalarında, genişliği 2 m., yüksekliği 2.5 m. ve uzunluğu 4 m. olan bir dromos ve mezar odası varsayımı yapılmıştı. Model ebatları Toptepe Küçük Tümülüsü'nün ebatlarına yakın olması, sadece daha uzun bir dromos olduğu dikkate alınarak, dromosu ve mezar odasını dik kesen y ekseni boyunca elektrot aralıkları modeldeki gibi 2 m. dromosun ve mezar odasının uzanım doğrultusundaki x ekseninde elektrot arası 3 m. seçilmiştir. Ölçüm çalışmalarında 56 elektrotlu, AgiSupersting R1 özdirenç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm öncesi 56 elektrota göre komut dosyası oluşturulmuş, planlanan ölçü geometrisine göre diğer dizilimlerin de benzetimi (İngilizce karşılığı simulation) yapılarak en derine ulaşabilen pol pol dizilime karar verilmiştir. Benzetimde tahmin edilen araştırma derinliği 14.51 m. ölçüler 2 şer kez alınacak şekilde ve toplam 1540 veri elde edilecek şekilde komut dosyası oluşturulmuştur. Dizilim geometrisi Şekil 4.6:'da yer almaktadır.

Toptepe Küçük Tümülüsü'nde gerçekleştirilen ERT 3D çalışmasında, elektrotların konumu vaziyet planında Şekil 4.7:'de yer almaktadır. Toptepe Küçük Tümülüsü ERT 3D ölçüm çalışmalarında her bir elektrotun koordinatı alınarak, değerlendirmelerde kot değerleri dikkate alınmıştır. Ölçüm çalışmalarının resmi Şekil 4.8:'de yer almaktadır. ERT 3D ölçüm çalışmasında alınan kot değerlerine göre elektrotların konumunun 3D görünümü Şekil 4.9:'da yer almaktadır.

ERT 3D çalışmalarında, Şekil 4.6:'daki gibi kablo serimi yapıldıktan, 56 elektrot komut dosyasında planlanan geometride yerlerine çakıldıktan sonra, dizilimin eksi x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa B akım elektrotu ve artı x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa N potansiyel elektrotu çakılarak sonsuz olarak tanımlanan elektrotların da çakılması yapılmıştır. Sonsuzdaki B akım elektrotunun, çalışma sahamızdan uzak olması ve geçecek akıma temas edilmemesi gerektiğini gösteren "Dikkat Yüksek Voltaj" uyarı işareti de asılarak çalışma hazırlıklarına devam edilmiştir.

ERT 3D ölçümlerine başlamadan önce her bir elektrotun kontak direnci ölçülerek, yüksek direnç gösteren elektrotlar kontrol edilmiştir. Ohm yasasına göre yüksek direnç gösteren elektrottan düşük akım geçecektir ve ölçümler güvenilir olmayacaktır. Bölüm 3.3.'te VH deneylerinde de hatırlanacağı üzere, direnç yüksek olunca amper düşmektedir. Elektrotların yerle iyi teması, gerektiğinde iletkenliği arttıracak sıvı takviyesi yapılması veya elektrotun yerinin değiştirilmesi ile düşük direnç değerlerine ulaşana kadar kontak direnç testleri

yapılmaya devam edilmelidir. Bu işlemin yapılması, akım elektrotlarına en yüksek akımın verilmesini ve yüksek gerilim değerlerinin okunmasını sağlayacak, ölçü hassasiyeti en yüksek seviyeye ulaşacaktır. Şekil 4.10: ölçü öncesi yapılan kontak direnç testini gösteren resimdir.

ERT 3D ölçüm çalışması tamamlandıktan sonra, elde edilen veri dosyası EarthImager 3D ters çözüm programı ile ters çözüm işlemleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen 3D hacimsel özdirenç ters çözüm görünümlerin 4 farklı açılardan görünümü Şekil 4.11:'de yer almaktadır. Tümülüs yığmasının olduğu seviyede düşük özdirençli, tümülüs yapı elemanlarının olduğu orta derinlikte ise özdirenç değerlerinin artmaya başladığı görülmektedir.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün iç kısımlarını daha net görebilmek amacıyla x-y kesitleri, çoklu x-y, y-z, x-z kesitleri, tek y-z ve çapraz yönlü kesitler de oluşturulmuştur. 3D hacimsel özdirenç görüntüsünden alınan x-y kesitleri Şekil 4.12:'te yer almaktadır. Aşağıdan yukarıya doğru yer alan kesitlerde, orta bölümde elips şeklinde yüksek özdirençli seviyeler görüntülenmiştir. Dromos, mezar odası ve içlerindeki boşluğun neden olduğu yüksek özdirençli seviyeler özellikle 126 m. ile 130 m. kotları arasında daha belirgindir. ERT 3D ölçümleri neticesinde oluşturulan kesitlerden 128 m. kotu x-y kesiti (özdirenç dağılımı kat haritası) Vaziyet planında ölçüm alanı üzerine işlenmiştir. Dromos ve mezar odasının bulunduğu yerde yüksek özdirençli seviyeler görülmektedir (Şekil 4.13:).

Çoklu x-y kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.14:'de görülmektedir.

Çoklu y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.15:'de görülmektedir.

Çoklu x-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.16:'da görülmektedir.

Y ekseninin orta noktasından geçen y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu

seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.17:'de görülmektedir.

Çapraz yönlü kesitlerin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.18:'de görülmektedir.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün (Şekil 4.11:) iç kısımlarını kesitler haricinde, daha net görebilmek amacıyla, sadece yüksek özdirençli değerler 3D hacim içerisinde tutulmuş, orta ve düşük özdirenç değerleri çıkartıldığında, tümülüsün dromosu ve mezar odasının neden olduğu yüksek rezistiviteli kütle (hacim) Şekil 4.19:'da yer almaktadır.

Arkeojeofizik laboratuvarı özelliğindeki Toptepe Küçük Tümülüsü, ERT 3D ölçüm çalışmaları ve ters çözüm işlemlerinden sonra elde edilen kesitler, kat haritaları ve 3D hacimsel görünümler sonucunda, model çalışmalarında olduğu gibi başarılı bir şekilde görüntülenmiştir.

5.5. TOPTEPE BÜYÜK TÜMÜLÜSÜ ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMA SONUÇLARI

5.5.1. Toptepe Büyük Tümülüsü ÇYHE Yöntemi Sonuçları

Toptepe Büyük Tümülüsü, yaklaşık 115 m. çapında, 20 m. yüksekliktedir. Konumu Şekil 4.1:'de yer almaktadır. Toptepe Büyük Tümülüsü 'de I. derece arkeolojik sit alanındadır. Toptepe Büyük Tümülüsü'nde, Küçük Tümülüs'te yer alan dromos, mezar odası v.b. tümülüs yapı elemanları olup olmadığı günümüze değin bilinmemektedir. Toptepe Büyük Tümülüsü resmi Şekil 4.20:'de yer almaktadır. Toptepe Küçük Tümülüsü'nde, Arkeojeofizik araştırmalar kapsamında uygulanan ÇYHE yönteminde elde edilen başarılı sonuçlar akabinde Toptepe Büyük Tümülüsü'nde de ÇYHE yöntem uygulanmıştır.

Toptepe Büyük Tümülüsü'nde, Arkeojeofizik araştırmalar kapsamında uygulanan ÇYHE yöntemi vaziyet planı Şekil 4.21:'de görüldüğü üzere, tümülüsün ancak güneybatı yamacında uygulanabilmiştir. Zira tümülüsün diğer kısımları çok yoğun dikenli sık çalı ve bitki örtüsü ile kaplıdır (Şekil 4.22:). Samsun Büyükşehir Belediyesi temizlik ekiplerince ölçüm için açılabilen alan ancak vaziyet planında görülen mavi artı ile işaretli ölçü noktalarının olduğu alandır. Mevcut bitki örtüsünün tamamının temizlenmesi için iş makinası v.b. araçlar gerekli

olup, insan gücü ve taşınabilir ot kesme aletleri ile ancak tümülüsün güneybatı yamacı ölçüm için uygun hale getirilmiştir.

ÇYHE ölçüm çalışmalarında, Küçük Tümülüs'te yapıldığı gibi, ölçü alındıktan hemen sonra arkadan gelen GPS cihazı ile ölçü noktasının koordinatı kaydedilmiştir. Bu işlem tüm noktalarda, önce ÇYHE mV değeri sonra GPS koordinatı ölçümü şeklinde tekrarlanmıştır. Ölçüm çalışmalarının resmi Şekil 4.23:'de yer almaktadır.

Toptepe Büyük Tümülüsü'nde ÇYHE ölçümleri ve GPS ölçü noktaları koordinat alımları tamamlandıktan sonra, elde edilen ÇYHE mV değerlerinin, koordinatlara karşılık olarak kontur haritası Matlab 'da (https://matlab.mathworks.com/) yazılan kodla çizdirilmiştir. Matlab kodu EK2.'de yer almaktadır. ÇYHE yöntemi mV değerlerinin kontur dağılımı Şekil 4.24:'de yer almaktadır.

ÇYHE yöntemi mV kontur haritası ve sağında yer alan mV renk lejantını incelediğimizde, mV değerlerinin 1815 mV ile 1960 mV arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Kontur haritasının orta bölümünden güneybatıya doğru uzanan bölümünde mV değerlerinin 1815 mV değerlerinde veya yakın olduğu, diğer alanlarda daha yüksek 1960 mV değerlerine yakın mV dağılımı görülmektedir. 1815 mV değerler ölçümlenen alanın iletken ortam bulunmayan, Eddy akımlarının oluşmadığı ve buna bağlı ikincil manyetik alanın oluşamaması nedeniyle, AH 'da ölçümlenen en düşük gerilim, Küçük Tümülüs ÇYHE ölçümlerinde olduğu gibi sadece VH 'dan kaynaklanan birincil manyetik alan değeri olduğu düşünülmüştür. En düşük mV değerleri ölçümlenen alan merkeze alınacak şekilde ERT 3D ölçüm çalışmaları planlanmıştır.

5.5.2. Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D Sonuçları

Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D çalışmalarında, ÇYHE yöntem sonuçlarında elde edilen iletken olmayan alanı, Tümülüs mimari yapı unsurlarının yer alabileceği olası alanı kapsayacak şekilde bir geometri oluşturulmaya çalışılmıştır. Toptepe Küçük Tümülüsü'nde uygulanan geometri ve dizilimin uygun olacağına karar verilmiştir. Tümülüsün eteğinde eğime paralel olası dromosu dik kesecek şekilde y ekseni boyunca elektrot aralıkları 2 m. ve tümülüsün eteğinden yukarı doğru x ekseninde elektrot aralıkları 3 m. seçilmiştir. Ölçüm çalışmalarında Toptepe Küçük Tümülüsü'nde olduğu gibi, 56 elektrotlu, AgiSupersting R1 özdirenç ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm öncesi 56 elektrota göre komut dosyası

oluşturulmuş, planlanan ölçü geometrisine göre diğer dizilimlerin de benzetimi (İngilizce karşılığı simulation) yapılarak en derine ulaşabilen pol pol dizilime karar verilmiştir. Benzetimde tahmin edilen araştırma derinliği 14.51 m. ölçüler 2 şer kez alınacak şekilde ve toplam 1540 veri elde edilecek şekilde komut dosyası oluşturulmuştur. Dizilim geometrisi Şekil 4.25:'de yer almaktadır.

Toptepe Büyük Tümülüsü'nde gerçekleştirilen ERT 3D çalışmasında, elektrotların konumu vaziyet planında Şekil 4.26:'da yer almaktadır. Toptepe Büyük Tümülüsü ERT 3D ölçüm çalışmalarında her bir elektrotun koordinatı alınarak, değerlendirmelerde kot değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Ölçüm çalışmalarının ve koordinat alımı resmi Şekil 4.27:'de yer almaktadır. ERT 3D çalışmalarında Şekil 4.25: deki gibi kablo serimi yapıldıktan sonra, 56 elektrot komut dosyasında planlanan geometride yerlerine çakılmıştır. Dizilimin eksi x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa B akım elektrotu ve artı x ekseni istikametinde 100 m. uzaklığa N potansiyel elektrotu çakılarak sonsuz olarak tanımlanan elektrotların da çakılması tamamlanmıştır. ERT 3D ölçüm çalışmasında alınan kot değerlerine göre elektrotların konumunun 3D görünümü Şekil 4.28:'de yer almaktadır. Sonsuzdaki B akım elektrotunun, çalışma sahamızdan uzak olması ve geçecek akıma temas edilmemesi gerektiğini gösteren "Dikkat Yüksek Voltaj" uyarı işareti de asılarak çalışma hazırlıklarına devam edilmiştir.

ERT 3D ölçümlerine başlamadan önce her bir elektrotun kontak direnci ölçülerek, yüksek direnç gösteren elektrotlar kontrol edilmiştir. Ohm yasasına göre yüksek direnç gösteren elektrottan düşük akım geçecektir ve ölçümler güvenilir olmayacaktır. Bölüm 3.3.'te VH deneylerinde de hatırlanacağı üzere, direnç yüksek olunca amper düşmektedir. Elektrotların yerle iyi teması, gerektiğinde iletkenliği arttıracak sıvı takviyesi yapılması veya elektrotun yerinin değiştirilmesi ile düşük direnç değerlerine ulaşana kadar kontak direnç testleri yapılmaya devam edilmelidir. Bu işlemin yapılması, akım elektrotlarına en yüksek akımın verilmesini ve yüksek gerilim değerlerinin okunmasını sağlayacak, ölçü hassasiyeti en yüksek seviyeye ulaşacaktır. Şekil 4.29: ölçü öncesi yapılan kontak direnç testini göstermektedir.

ERT 3D ölçüm çalışması tamamlandıktan sonra, elde edilen veri dosyası EarthImager 3D ters çözüm programı ile ters çözüm işlemleri gerçekleştirildikten sonra elde edilen 3D hacimsel özdirenç ters çözüm görünümlerin 4 farklı açılardan görünümü Şekil 4.30:'da yer almaktadır.

ERT 3D ölçü alanında, Tümülüsün etek kısmında yüzeyden yaklaşık 4 m. derinlikte özdirenç değerlerinin artmaya başladığı görülmektedir.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün iç kısımlarını daha net görebilmek amacıyla x-y kesitleri, çoklu x-y, y-z, x-z kesitleri, tekli y-z ve çapraz yönlü kesitler de oluşturulmuştur. 3D hacimsel özdirenç görüntüsünden alınan x-y kesitleri Şekil 4.31:'de yer almaktadır. Üst kottan alt kota doğru yer alan kesitlerde, ölçü alanında alt orta bölümde 124 m. ile 128 m. kotları arasında yüksek özdirençli seviyeler görüntülenmiştir. ERT 3D ölçümleri neticesinde oluşturulan kesitlerden 126 m. kotu x-y kesiti (özdirenç dağılımı kat haritası) Vaziyet planında ölçüm alanı üzerine işlenmiştir. Tümülüsün eteğinde alt orta bölümde yüksek özdirençli seviyeler görülmektedir (Şekil 4.32:).

Çoklu x-y kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda ölçü alanında, tümülüsün etek kısmında alt orta bölümde yüksek özdirençli seviyeler Şekil 4.33:'de görülmektedir.

Çoklu y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün etek kısmında, ölçü alanının alt orta bölümünde yüksek özdirençli seviyeler Şekil 4.34:'de görülmektedir.

Çoklu x-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.35:'de görülmektedir.

Y ekseninin orta noktasından geçen y-z kesitlerinin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.36:'da görülmektedir.

Çapraz yönlü kesitlerin farklı açılardan görünümlerine baktığımızda yine önceki kesitlerdeki gibi, tümülüsün dromosu ve mezar odasının olduğu seviyede yüksek özdirençli seviyeler görülmekte, diğer seviyelerde özdirenç değerinin azaldığı Şekil 4.37:'de görülmektedir.

Özdirenç ters çözüm görüntüsünün (Şekil 4.30:) iç kısımlarını kesitler haricinde daha net görebilmek amacıyla, sadece yüksek özdirençli değerler 3D hacim içerisinde tutulmuş, orta ve

düşük özdirenç değerleri çıkartıldığında, tümülüsün eteğinde, ölçü alanının alt orta bölümünde yüksek rezistiviteli kütle (hacim) Şekil 4.38:'de yer almaktadır.

Toptepe Büyük Tümülüsü, ERT 3D ölçüm çalışmaları ve ters çözüm işlemlerinden sonra elde edilen kesitler, kat haritaları ve 3D hacimsel görünümler sonucunda koordinatlı vaziyet planında da yer alan kat haritasındaki yüksek özdirençli olası dromos ve veya mezar odası koordinatlarında Müze Müdürlüğü'nce arkeolojik kazı yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Akca, İ., Gündoğdu, N.Y., 2010, Samsun-Baruthane Tümülüslerinin Doğru Akım Özdirenç Yöntemi İle İncelenmesi, *Yerbilimleri,* 31 (3), 205–215.

Akçığ, Z., Pınar, R., 1995, Bandırma-Kösemtuğ Tümülüsünde Manyetik ve SP Uygulamaları, *Jeofizik,* 9,10, 1-5.

Atkinson, R. J. C., 1952, Methodeselectriques de prospection en archeologie, in Laming, A., Ed., La Decovertde Passe: *Picard,* 59-70.

Avşar, G., 2016, *Anadolu Tümülüsleri'nin Tipolojik Açıdan İncelenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Başokur, A.T., 1992, Magnesia Ad Meandrum (Ortakla) Argavlı Tümülüsü'nde Jeofizik Araştırmalar, *8. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 1992, Ankara, Ankara, Ankara Üniversitesi Basımevi, ISBN:975-17-1150-9, 71-80.

Berge, M.A., 2005, *İki-Boyutlu Özdirenç Ters Çözüm Modellemesi*, Tez (Yüksek Lisans), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bora, A., 2015, *Bithynia Bölgesi Tümülüsleri*, Tez (Doktora), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Candansayar, M.E., 2016, *JFM316 Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notu*, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü.

Çalışkan, D., 2016, *Anadolu'da M. Ö. 6.-5. Yüzyıllarda İnşa Edilen Tümülüslerden Örnekler ve Mimari İçerikleri*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dey, A., Morrison, H. F. 1979a, Resistivity Modeling For Arbitrarily Shaped Two-Dimensional Structures, *Geophysical Prospecting,* 27, 106 -136.

Dinç, R., 1993, *Lydia Tümülüsleri*, Tez (Doktora), Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Drahor, M.G., 1992, Ahmetli-Çiftlikkırı Tümülüsü Özdirenç Araştırması-1991, *8. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 1993, Ankara, Ankara, Ankara Üniversitesi Basımevi, ISBN:975-17-1150-9, 103-132.

Drahor, M.G., 1993, Lüleburgaz-Kepirtepe Tümülüsü Özdirenç Araştırması-1992, 9. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 1994, Ankara, Ankara, Ankara Üniversitesi Basımevi, ISBN:975-17-1431-1, 13-22.

Ercan, A., 1999, Eğmir Helenistik (Lidya) Dönemi Yatırında (Tümülüs) Arkeojeofizik Araştırmalar Denizli-Türkiye, *Jeofizik,* 13, 31-49.

Erdoğan, A., Gündoğdu, O., 1995, Kocaeli Üçtepeler Tümülüsünde Jeofizik Araştırma, *Jeofizik*, 9,10, 13-17.

Gugler, F.M.I.A., Gex, P., 1996, Electromagnetic Survey Of A Celtic Tumulus, *Journal Of Applied Geophysics*, 35, 15-25.

Howell, M., 1966, A Soil Conductivity Meter: *Archaeometry*, 9, 20-23.

İlkışık, M., Bayrak, M., Başaran, S., Başokur, A.T., Ulugergerli, E., 1995, Enez-Çaltepe Tümülüsü'nde Elektromagnetik-VLF ve Elektrik Araştırmalar, *Jeofizik*, 9,10, 19-23.

Klein, J., Lajoie, J., (1980). Electromagnetic Prospecting for minerals. Practical geophysics for the Exploration geologists. *Northwest Mining Association, Spokane*, 239 -290

Küçükduvan, S., 2019, *Patara Antik Kenti, Yeraltındaki, Roma Villalarının Jeofizik (Elektrik Özdirenç Yöntemi Tomografi Tekniği Ve Yer Radarı) İle Belirlenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Musson, C. R., 1968, A Geophysical Survey At South Cadbury Castle, Somerset, Using The Howell Soil Conductivity Anomaly Detector: Prosp. *Archeol*.,3, 115-121

Orlando, L., Piro, S., Versino, L., 1987, Location of Sub-Surface Geoelectric Anomalies for Archaeological Work: A Comparison between Experimental Arrays and Interpretation Using Numerical Methods, *Geoexploration*, 24, 227-237.

Özürlan, G., Ulugergerli, E.U., 2005, *Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler*, Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN:975-511-433-5.

Öztekin, İ. E., 2006, *M.Ö. I. Binde Anadolu'da Tümülüs Geleneğinin Kronolojik Gelişimi ve Coğrafi Yayılımı*, Tez (Yüksek Lisans), Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Papadopoulos, N.G., Yi, M.J., Kim, J.H., Tsokas, G.N., Tsourlos, P., Sarris, A., 2009, Tumuli Exploration Using Surface 3D Electrical Resistivity Tomography, *ArcheoSciences, 33*, 129-132.

Papadopoulos, N.G., Yi, M.J., Kim, J.H., Tsourlos, P., Tsokas, G.N., 2010, Geophysical Investigation Of Tumuli By Means Of Surface 3D Electrical Resistivity Tomography, *Journal Of Applied Geophysics*, 70, 192-205.

Pazzi, V., Ciani L., Cappuccini, L., Ceccatelli, M., Patrizi, G., Guidi, G., Casagli, N., Catelani, M., 2019, ERT Investigation Of Tumuli: Does The Errors In Locating Electrodes Influence The Resistivity ?, *23th International Conference On Metrology For Archaeology And Cultural Heritage*, 4-6 Aralık Florence İtalya, ISBN: 978-92-990084-5-4, 527-532.

Pınar, R., Akçığ, Z., 1992, Kösemtuğ Tümülüsü'nün Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, *8. Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 1992, Ankara, Ankara, Ankara Üniversitesi Basımevi, ISBN:975-17-1150-9, 133-155.

Reynolds, J. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, England, ISBN 0-471-96802-1 (cloth), ISBN:0-471-95555-8 (pbk).

Scollar, I., 1962, Electromagnetic Prospecting Methods In Archaeology: Archaeometry, 5, 146-153.

Ştefan, M.M., Sirbu, V., Ştefan, D., 2017, Tumuli, Roads And Plots. Decoding the Monumental Funerary Space Of The 4th-3rd Centuries BC Kallatis, *Journal of Ancient History and Archaeology*, 4, 1, 52-84.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed.*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0 521 33938 3.

Tezel, O., 2021, *Elektrik Prospeksiyon Ders Notu*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği.

Tsokas, N.G., Tsourlos, I.P., Kim, J.H., Yi, M.J., Vargemezis, G., Lefantzis, M., Fikos, E., Peristeri, K., 2018, ERT Imaging Of The Interior Of The Huge Tumulus Of Kastas In Amphipolis (Northern Greece), *Archaeological Prospection*, 25, 347-361.

Tsokas, N.G., Papazachos, C.B., Vafidis, A., Loukoyiannakis, M.Z., 1995, The Detection Of Monumental Tombs Buried In Tumuli By Seismic Refraction, *Geophysics*, 60,6. 1735-1742.

Tsourlos, P., Papadopoulos, N., Yi, M.J., Kim, J.H., Tsokas, G., 2014, Comparison Of Measuring Strategies For The 3-D Electrical Resistivity Imaging Of Tumuli, *Journal Of Applied Geophysics*, 101, 77-85.

Uğur, H., 2012, *Garipler Tümülüsü*, Tez (Yüksek Lisans), Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

URL 1., https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/32678/mod_resource/content/0/12.%20HAFTA-MANYET%C4%B0ZMA.pdf, [Ziyaret Tarihi: 21 Aralık 2021]

URL 2., https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/, [Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2021]

URL 3., https://matlab.mathworks.com/, [Ziyaret Tarihi: 17 Aralık 2021]

URL 4., https://www.emtel.com.tr/emaye-bobin-tellerinin-boyutsal-verileri/, [Ziyaret Tarihi: 17 Aralık 2021]

Yang, X., Lagmanson, M., 2006, Comparison Of 2D And 3D Electrical Resistivity Imaging Methods, SAGEEP, 2006, Seattle WA, 1-10.

Yıldırım, Ş., 2008, *Doğu Trakya'da Mezar Tepelerinin Ortaya Çıkışı ve Gelişimi*, Tez (Doktora), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Yüksel, F.A., Dönmez, Ş., Bal-Tarhan, O., Keçeli, Z., 2009, Amasya-Oluz Höyük 2008 Yılı Arkeojeofizik Araştırmaları ve Coğrafî Bilgi Sistemi (CBS) Uygulamaları, *25.*

Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 2009 Denizli, Ankara, Merkez Repro İç ve Dış Tic. Ltd. Şti., ISBN:1017-7671, 165-179.

EKLER

EK1. Matlab ÇYHE Küçük Tümülüs konturlama kodu

```
clc, clear all, close all;
dATA=[531271.5791   4570161.89  1920;
531270.9208 4570161.5183    1960;
531270.1983 4570161.1348    1945;
531269.72   4570160.8183    1957;
531269.3907 4570160.5849    1910;
531269.053  4570160.4788    1930;
531268.5011 4570160.3067    1946;
531268.0085 4570160.0228    1961;
531267.4359 4570159.7473    1953;
531266.7626 4570159.4577    1901;
531266.1823 4570159.1431    1874;
531265.6022 4570158.8595    1866;
531265.0714 4570158.5637    1868;
531264.5218 4570158.1579    1852;
531264.0226 4570157.8389    1849;
531263.3438 4570157.4999    1838;
531262.6849 4570157.2606    1827;
531262.0754 4570157.0295    1824;
531261.769  4570156.6009    1828;
531261.1743 4570156.3085    1836;
531260.6635 4570155.88  1844;
531260.1322 4570155.533 1849;
531259.5601 4570155.2065    1863;
531258.9267 4570154.8188    1871;
531258.3342 4570154.5331    1890;
531257.7621 4570154.2066    1907;
531257.2291 4570153.8539    1918;
531256.5262 4570153.6539    1930;
531255.6866 4570153.3822    1935;
531254.8502 4570153.2569    1957;
531254.0347 4570153.1525    1949;
531254.703  4570151.1267    1955;
531255.4557 4570151.2976    1951;
531256.3111 4570151.6393    1958;
531257.1577 4570151.9217    1949;
531258.0068 4570152.2637    1939;
531258.7688 4570152.5787    1922;
531259.579  4570152.9505    1913;
531260.3892 4570153.3223    1895;
531261.1994 4570153.7159    1871;
531261.9439 4570154.0221    1860;
531262.7979 4570154.2846    1841;
531263.5205 4570154.5689    1826;
531264.1994 4570154.875 1830;
531264.8179 4570155.2965    1843;
531265.5186 4570155.7339    1855;
531266.3741 4570156.0881    1878;
531267.1405 4570156.3724    1893;
531267.907  4570156.8098    1917;
531268.6515 4570157.2253    1919;
```

EK1. Devamı

```
531269.3741 4570157.6846    1935;
531270.1405 4570157.9908    1929;
531270.885  4570158.3625    1951;
531271.6068 4570158.7356    1955;
531272.3336 4570159.1315    1952;
531272.9283 4570159.4835    1949;
531274.3866 4570157.3794    1958;
531273.8793 4570157.0724    1950;
531273.2953 4570156.7193    1954;
531272.7717 4570156.2068    1957;
531272.2184 4570155.7463    1949;
531271.7265 4570155.255 1941;
531271.1732 4570154.8098    1939;
531270.543  4570154.4107    1929;
531269.9537 4570153.9915    1918;
531269.2869 4570153.633 1915;
531268.7149 4570153.2007    1903;
531268.1429 4570152.861 1896;
531267.4936 4570152.6911    1882;
531266.968  4570152.4286    1862;
531266.3032 4570152.197 1850;
531265.7775 4570151.9654    1838;
531265.2828 4570151.6566    1829;
531264.7417 4570151.3787    1825;
531264.1812 4570151.0364    1826;
531263.7646 4570150.7408    1830;
531263.2506 4570150.5132    1851;
531262.7048 4570150.3634    1868;
531262.2332 4570150.1654    1877;
531261.8083 4570150.0097    1871;
531261.3307 4570149.7705    1894;
531260.8909 4570149.6098    1899;
531260.333  4570149.5027    1911;
531259.9729 4570149.2611    1925;
531259.5017 4570149.1269    1919;
531259.0202 4570148.8856    1937;
531258.5908 4570148.7051    1935;
531257.9765 4570148.5834    1944;
531257.1588 4570148.5471    1936;
531256.4864 4570148.4201    1929;
531255.7414 4570148.3838    1937];
hassasiyet=0.01;
[xq,yq] = meshgrid(min(dATA(:,1)):hassasiyet:max(dATA(:,1)),
min(dATA(:,2)):hassasiyet:max(dATA(:,2)));
vq = griddata(dATA(:,1),dATA(:,2),dATA(:,3),xq,yq,'natural');
figure
contourf(xq,yq,vq,'ShowText','on')
colormap(jet)
grid on, colorbar
```

EK2. Matlab ÇYHE Büyük Tümülüs konturlama kodu

```
clc, clear all, close all;
dATA=[531309.135    4570214.629    1816;
531308.373  4570215.425 1819;
```

531307.934 4570216.4795   1835;
531307.6242 4570217.387 1851;
531307.3285 4570218.4001   1859;
531307.0794 4570219.5239   1879;
531306.7733 4570220.5447   1891;
531306.5535 4570221.7388   1904;
531306.3862 4570222.7445   1919;
531306.3595 4570223.8977   1935;
531306.3779 4570225.0434   1949;
531306.7905 4570226.2794   1962;
531307.0602 4570227.8798   1958;
531307.2016 4570228.9667   1949;
531307.3431 4570229.9667   1953;
531307.6914 4570230.9231   1958;
531309.9848 4570213.5857   1831;
531310.5379 4570212.7838   1846;
531311.1847 4570212.1107   1858;
531311.9487 4570211.506 1872;
531312.8196 4570211.0864   1889;
531313.7366 4570210.7037   1901;
531314.9575 4570210.5004   1911;
531316.3183 4570210.3861   1920;
531317.552 4570210.2845   1928;
531318.8365 4570209.967 1942;
531317.4906 4570207.4765   1939;
531318.5523 4570207.2767   1955;
531319.7679 4570207.123 1948;
531320.8911 4570207.0001   1959;
531321.9989 4570206.7081   1962;
531322.9067 4570206.2164   1966;
531324.1223 4570205.8783   1959;
531325.5071 4570205.8476   1957;
531326.8745 4570205.9993   1956;
531328.166 4570206.2522   1962;
531329.2296 4570206.4292   1958;
531307.5083 4570213.8238   1829;
531306.9735 4570214.7303   1837;
531306.5359 4570215.8634   1852;
531306.2459 4570216.8822   1868;
531305.9989 4570217.9869   1879;
531305.7207 4570219.0569   1891;
531305.5371 4570220.0925   1906;
531305.2989 4570221.143 1915;
531305.1801 4570221.9952   1925;
531305.0181 4570223.2617   1941;
531304.9749 4570224.4483   1954;
531304.9962 4570225.6507   1963;
531305.0718 4570226.8049   1950;
531306.1921 4570232.3199   1958;
531305.8942 4570231.1657   1951;
531305.5963 4570230.1423   1954;
531305.322 4570228.9944   1961;
531305.1671 4570227.8878   1957;
531305.124 4570210.524 1823;
531305.8502 4570209.55 1827;
531306.452 4570208.8454   1829;
531307.505 4570208.071 1835;
531308.2464 4570207.121 1840;
531309.0857 4570206.2967   1853;

EK2. Devamı

```
531310.0089 4570205.4306    1865;
531310.9601 4570204.6901    1872;
531312.205  4570204.1453    1890;
531313.2484 4570203.7574    1906;
531314.1584 4570203.5027    1916;
531315.1322 4570203.3117    1925;
531316.1002 4570203.1496    1940;
531317.1917 4570203.0316    1956;
531318.1597 4570202.9159    1966;
531319.0662 4570202.7531    1951;
531319.9009 4570202.5679    1957;
531320.8051 4570202.371 1961;
531321.6862 4570202.1684    1960;
531322.7857 4570202.0683    1958;
531323.955  4570202.0212    1949;
531325.1904 4570201.9836    1959;
531326.4484 4570202.0209    1953;
531327.7026 4570202.1339    1958;
531304.596  4570211.5933    1829;
531304.1897 4570212.5213    1839;
531303.8689 4570213.3738    1854;
531303.445  4570214.1852    1864;
531303.1102 4570214.9898    1880;
531302.4715 4570215.9851    1899;
531301.0728 4570228.4826    1964;
531300.5105 4570227.269 1969;
531300.4743 4570225.8017    1958;
531300.6738 4570224.5156    1949;
531300.8919 4570223.2198    1952;
531301.0007 4570221.8975    1937;
531301.1277 4570220.6657    1927;
531301.3273 4570219.2862    1909;
531301.7473 4570218.0226    1916;
531302.0538 4570216.9553    1901;
531303.4412 4570209.5262    1823;
531304.202  4570208.769 1827;
531304.706  4570207.822 1832;
531305.3567 4570207.0222    1838;
531306.185  4570206.402 1853;
531306.7706 4570205.5351    1870;
531307.6332 4570204.985 1886;
531308.1582 4570204.2183    1903;
531308.8562 4570203.571 1921;
531309.674  4570202.9933    1931;
531310.6524 4570202.3618    1936;
531311.6397 4570201.804 1953;
531312.5671 4570201.3558    1964;
531313.4646 4570200.9973    1954;
531314.4219 4570200.6587    1946;
531315.2919 4570200.3746    1953;
531316.1743 4570200.0494    1960;
531317.0881 4570199.7872    1949;
531318.0545 4570199.6088    1942;
531319.0208 4570199.3675    1940;
531319.8821 4570199.2312    1943;
531320.8275 4570199.0004    1957;
531321.9553 4570198.9365    1955;
```

EK2. Devamı

```
531323.0372 4570198.926 1951;
531324.0351 4570198.9155    1966;
531325.096  4570198.926 1959;
531326.0575 4570198.9384    1947;
531326.9718 4570198.9922    1940;
531302.9514 4570210.4093    1836;
531302.6521 4570211.3604    1850;
531302.244  4570212.2571    1863;
531301.8346 4570213.0946    1880;
531301.3993 4570214.0321    1900;
531300.9232 4570215.0919    1919;
531300.6783 4570216.138 1932;
531300.2832 4570217.3132    1947;
531299.9295 4570218.3866    1961;
531299.4925 4570219.7658    1952;
531299.0919 4570221.0108    1959;
531298.8247 4570222.3224    1948;
531298.5576 4570223.723 1933;
531298.4908 4570225.1459    1944;
531298.3350 4570226.5465    1963;
531298.4018 4570227.9249    1959;
531298.6916 4570229.3564    1946;
531301.8480 4570207.2310    1830;
531302.7171 4570206.3773    1841;
531303.4864 4570205.6231    1857;
531304.3839 4570204.9544    1875;
531305.2387 4570204.2003    1894;
531306.0508 4570203.5457    1910;
531306.9358 4570202.9560    1921;
531307.7906 4570202.2303    1940;
531308.6597 4570201.5189    1956;
531309.4717 4570200.7932    1950;
531310.2268 4570200.1672    1949;
531310.9983 4570199.5332    1956;
531311.7249 4570198.8929    1958;
531312.5654 4570198.2099    1939;
531313.3348 4570197.5412    1942;
531314.2181 4570196.8724    1955;
531315.2907 4570196.4114    1953;
531316.1740 4570196.0984    1949;
531317.1713 4570195.7854    1940;
531318.2967 4570195.4866    1943;
531319.3545 4570195.3164    1949;
531320.4230 4570195.2167    1950;
531321.6054 4570195.1598    1945;
531322.8022 4570195.1883    1941;
531323.7852 4570195.2737    1935;
531324.7255 4570195.3733    1945;
531325.7841 4570195.5155    1940;
531326.7671 4570195.6720    1944;
531301.4254 4570208.2711    1829;
531300.8053 4570209.0756    1838;
531300.4129 4570210.0253    1853;
531299.8545 4570210.8845    1869;
531299.3857 4570211.6138    1884;
531298.9782 4570212.4580    1904;
531298.6364 4570213.3424    1917;
```

EK2. Devamı

```
531298.3412 4570214.3199    1928;
531298.1548 4570215.2198    1943;
531297.9218 4570216.0887    1962;
531297.7664 4570216.9110    1957;
531297.5790 4570217.8968    1959;
531297.4081 4570218.8433    1948;
531297.3149 4570219.6967    1957;
531297.1596 4570220.5811    1951;
531297.0967 4570221.5207    1946;
531296.9271 4570222.3130    1941;
531296.7045 4570223.1386    1930;
531296.4820 4570223.9643    1949;
531296.3860 4570224.9120    1945;
531298.6770 4570206.5540    1828;
531299.3212 4570205.5707    1839;
531299.9654 4570204.8302    1858;
531300.6097 4570204.0289    1878;
531301.1445 4570203.3248    1900;
531301.8373 4570202.5600    1910;
531302.4208 4570201.8074    1923;
531303.0781 4570201.0374    1940;
531303.6007 4570200.3575    1955;
531304.2328 4570199.5806    1962;
531304.8892 4570198.8522    1957;
531305.5215 4570198.1540    1949;
531306.1657 4570197.4135    1946;
531306.8099 4570196.7579    1954;
531307.4785 4570196.1267    1951;
531308.1023 4570195.4451    1939;
531308.7465 4570194.7652    1948;
531309.4637 4570194.1583    1945;
531310.2306 4570193.5003    1953;
531311.0936 4570192.9297    1960;
531311.9230 4570192.3797    1949;
531312.8225 4570191.9427    1958;
531313.7462 4570191.6392    1952;
531314.7673 4570191.2628    1947;
531315.8612 4570190.9836    1939;
531316.7277 4570190.6412    1941;
531317.7365 4570190.3741    1949;
531318.6725 4570190.2163    1956;
531319.5841 4570190.2527    1964;
531320.6173 4570190.4469    1960;
531321.6505 4570190.6047    1957;
531322.7323 4570190.7140    1953;
531323.8384 4570190.8597    1950;
531324.9593 4570190.9824    1954;
531326.0533 4570191.1766    1952;
531327.0136 4570191.3102    1950;
531298.1619 4570207.4543    1823;
531297.5953 4570208.3674    1841;
531297.1438 4570209.2332    1860;
531296.7832 4570210.1721    1881;
531296.4355 4570211.0466    1900;
531296.0355 4570211.9017    1917;
531296.0355 4570211.9017    1931;
531295.6984 4570212.7907    1948;
```

EK2. Devamı

```
531295.3343 4570213.7200    1957;
531295.0918 4570214.6351    1955;
531294.9297 4570215.4636    1948;
531294.7948 4570216.3795    1958;
531294.7004 4570217.2954    1952;
531294.5790 4570218.2247    1939;
531294.4305 4570219.1597    1943;
531294.2282 4570220.1026    1954;
531293.9986 4570221.0352    1960;
531293.7693 4570222.0050    1957;
531293.3243 4570222.9074    1951;
531293.3240 4570223.9790    1945;
531293.3779 4570224.9353    1958;
531293.2835 4570225.8646    1950;
531293.2160 4570226.8407    1939;
531296.7520 4570205.0030    1821;
531296.3199 4570205.8834    1825;
531295.9569 4570206.9538    1840;
531295.6285 4570207.9896    1858;
531295.1778 4570208.9818    1879;
531294.8321 4570209.9485    1894;
531294.5383 4570210.9498    1915;
531294.2444 4570211.9338    1934;
531293.8977 4570212.9430    1952;
531293.5002 4570213.8407    1961;
531293.2236 4570214.8247    1951;
531292.5668 4570215.4462    1955;
531291.9963 4570216.3439    1944;
531291.8567 4570217.3713    1936;
531291.9258 4570218.3553    1929;
531292.0814 4570219.2702    1945;
531292.0987 4570220.2542    1957;
531291.9254 4570221.3491    1938;
531291.5452 4570222.3159    1953;
531291.1995 4570223.3344    1962;
531290.9920 4570224.3702    1949;
531297.2522 4570204.1519    1828;
531297.7523 4570203.4119    1846;
531298.2896 4570202.6533    1865;
531298.8453 4570201.9132    1886;
531299.6419 4570201.0807    1908;
531300.1791 4570200.3406    1930;
531300.9027 4570199.5750    1949;
531301.4399 4570198.8534    1964;
531302.0512 4570198.1318    1960;
531302.6255 4570197.4288    1943;
531303.2749 4570196.7566    1928;
531303.8863 4570196.0536    1940;
531304.4420 4570195.3135    1944;
531305.0358 4570194.5854    1949;
531305.6842 4570193.8824    1952;
531306.3696 4570193.2533    1957;
531306.9809 4570192.6798    1956;
531307.6664 4570192.0507    1952;
531308.4074 4570191.4772    1939;
531294.5260 4570202.8160    1820;
531294.9770 4570201.5030    1834;
```

EK2. Devamı

```
531295.2600 4570200.4830    1841;
531295.7814 4570199.6683    1853;
531296.2607 4570198.8872    1873;
531296.8167 4570198.1020    1891;
531297.3381 4570197.3797    1917;
531297.9015 4570196.5986    1911;
531298.7023 4570195.8798    1927;
531299.4150 4570194.9666    1944;
531300.2890 4570194.0265    1956;
531301.2168 4570193.1939    1965;
531302.1605 4570192.4483    1948;
531303.1286 4570191.7902    1943;
531294.0220 4570203.8787    1826;
531293.6020 4570204.7736    1835;
531293.1679 4570205.6825    1852;
531292.7464 4570206.5164    1870;
531292.4104 4570207.4114    1889;
531292.1584 4570208.2643    1907;
531291.9764 4570209.2431    1926;
531291.8084 4570210.0402    1941;
531291.5135 4570210.8848    1960;
531291.2195 4570211.6678    1952];
hassasiyet=0.01;
[xq,yq] = meshgrid(min(dATA(:,1)):hassasiyet:max(dATA(:,1)),
min(dATA(:,2)):hassasiyet:max(dATA(:,2)));
vq = griddata(dATA(:,1),dATA(:,2),dATA(:,3),xq,yq,'natural');
figure
contourf(xq,yq,vq,'ShowText','on')
colormap(jet)
grid on, colorbar
```