

Çok Katmanlı Gömülü Arkeolojik Kalıntıların Araştırılmasında Elektrik Özdirenç Yöntemi: Aydın Küçüktepe Höyük Örneği

Hasan KARAASLAN^{1*} 

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

(Alınış / Received: 03.07.2024, Kabul / Accepted: 04.09.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.12.2024)

Anahtar Kelimeler

Arkeojeofizik,
Özdirenç Tomografi,
Jeoarkeoloji,
Höyük,
Aydın

Özet: Yer altında gömülü arkeolojik alanların görüntülenmesinde, sağladığı yüksek çözünürlük ve tahribatsız uygulama yetenekleriyle jeofizik yöntemlerden olan elektrik özdirenç yöntemi kanıtlanmış etkinliğe sahiptir. Bu çalışma, elektrik özdirenç verileri kullanılarak Aydın İli'nin Koçarlı ilçesinde yer alan Küçüktepe Höyük alanında gömülü arkeolojik yapıların görüntülenmesini amaçlamaktadır. . İnceleme alanında paralel 29 profilde Wenner elektrot dizilimine göre ölçülen iki- ve üç-boyutlu özdirenç verilerinin hem iki hem de üç-boyutlu ters çözümleri yapılarak yeraltı özdirenç dağılımı belirlenmiştir. Daha sonra, özdirenç kat haritaları veya başka bir deyişle üç-boyutlu derinlik kesitleri ile görselleştirme yapılarak, yeraltındaki gömülü arkeolojik kalıntılara karşılık gelen özdirenç belirtiler yorumlanmıştır. Bunların 0,5 m derinlikte başlayan 30x40x4 metrelik boyutlarda dikdörtgen şekilli yapı ile 6 metre seviyesinde 13x20x3 metrelik duvar türü D-B uzanımlı prizmatik bir yapıya karşılık geldiği anlaşılmıştır. Sonuç olarak, kesitlerdeki yüksek özdirenç belirtiler, Höyük alanındaki katmanlı yapının varlığını ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla jeofiziğin elektriksel özdirenç tomografi yöntemi, çok katmanlı bir arkeolojik alanda bile yapıya hasar vermeden etkili sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Electrical Resistivity Method in the Investigation of Multi-Layered Buried Archaeological Remains: Aydın Küçüktepe Höyük Example

Keywords

Archaeogeophysics,
Resistivity Tomography,
Geoarchaeology,
Ancient Settlement (Höyük),
Aydın

Abstract: The electrical resistivity method, one of the geophysical methods that can be applied in the field non-destructively, has high resolution and proven effectiveness in investigating archaeological sites. In this study, electrical resistivity tomography research was conducted to determine the buried structures in the Aydın Küçüktepe Höyük area. Underground resistivity distribution was determined by performing both two- and three-dimensional inverse solutions of two- and three-dimensional resistivity data measured according to the Wenner electrode array in 29 parallel profiles in the study area. Then, by visualizing resistivity floor maps, or in other words, three-dimensional depth sections, resistivity anomalies corresponding to buried archaeological remains underground were interpreted. These remains correspond to a rectangular structure with dimensions of 30x40x4 meters starting at 0.5 m depth and a wall-type E-W extending prismatic structure with dimensions of 13x20x3 meters at the 6-meter depth. Therefore, the electrical resistivity tomography method of geophysics has produced effective results even in a multi-layered archaeological site.

1. Giriş

Günümüzde arkeolojik prospeksiyonda kullanılan jeofizik yöntemler sağladıkları önemli avantajlar nedeniyle öne çıkmaktadır [1,2]. Uygulanması ucuz, kolay ve hızlı olan jeofizik yöntemler, arkeolojik

kalıntılara herhangi bir zarar vermeden bu yapıları tespit edilebilir ve kazı çalışmalarına yön verebilir [3]. Bu nedenlerden dolayı jeofizikte "arkeojeofizik" kavramı dahi ortaya çıkmıştır. Ek olarak, son yarım asırda jeofizik yöntemlerde yaşanan muazzam teknolojik ve bilimsel ilerlemeler, yeraltı

*İlgili yazar: hkaraaslan@sakarya.edu.tr

araştırmalarında daha güvenilir sonuçlara ulaşmayı mümkün kılmıştır. Buna paralel olarak jeofizik yöntemler çevresel problemler, maden aramaları, zemin etütleri gibi birçok alanda sıklıkla başvurulan bir araç haline gelmiştir.

İnsan-çevre-kültür ilişkisinin doğrudan konu edildiği mevzulardan biri olan gömülü arkeolojik yapıların bulunduğu alanlar bu tür çevre problemlerinden birini teşkil etmektedir. Bahsedilen jeofizik ilerlemeler, arkeolojik çalışmalarda da önemli bir dönüşüme yol açmıştır. Arkeolojik alanlarda yapılan incelemeler, çeşitli disiplinlerin bir araya geldiği karmaşık çalışmalardır. Bu disiplinler arasında hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, coğrafi bilgi sistemleri, jeofizik, jeomorfoloji ve jeokimya gibi alanlar bulunmaktadır. Yüzeyle uygulanabilen jeofizik yöntemlerin kullanılmaya başlamasıyla birlikte, arkeolojik kazı çalışmaları yeni bir boyut kazanmıştır.

Gömülü yapılar ile gömülü oldukları jeolojik ortam arasında yapay veya doğal olarak fiziksel bir farklılığın mevcut olması jeofizik tekniklerin cevap üretmesini sağlayan esas sebeptir. Anomali kavramı ile ifade edilen bu olgu, temel uygulamalı jeofizik paradigmasını da açıklamaktadır. Buna göre çevresel faktörlere göre değişen bu fiziksel belirti (elektrik özdirenç, manyetik süseptibilite, sismik dalga hızı vb.) bir takım jeofizik teknikler ile yüzeyden ölçülebilir ve gömülü yapıların tespitine imkan verebilir [1, 4, 5,6].

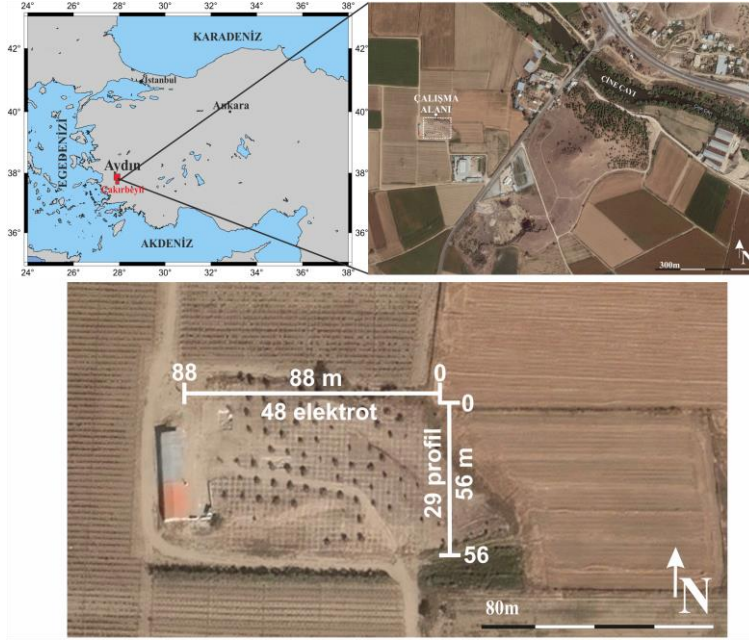
Kayaçalarda özdirenç çeşitliliği gözeneklilik, su içeriği, kil içeriği, çatlak yapısı vb. özelliklerin farklılığından kaynaklanır. Gömülü arkeolojik yapıların bulunduğu alanlarda bina yapıtaşları blokları ile onları örten toprak arasındaki bariz özdirenç farklılıkları oluşmaktadır. Bundan ötürü arkeojeofizikte en yaygın kullanılan yöntemlerden biri elektrik özdirenç (rezistivite) yöntemidir. Gömülü arkeolojik yapıların çoğunluğu 0,5 ile 2 metre derinliğinde yer alırlar. Fakat farklı zamansal dönemlere ait yapı bulundurabilen çok katmanlı yerleşimlerde, farklı seviyelerde farklı fiziksel ve geometrik özelliklerde gömülü arkeolojik yapılar mevcut olabilir. Elektrik özdirenç yöntemiyle, gömülü bu tür yapılar kazılmadan önce yeryüzünde

yapılan ölçümlerle görüntülenebilir. Yöntem, arkeolojik alanlarda duvarların, boşlukların ve diğer yapıların aydınlatılmasında oldukça sık bir şekilde kullanılmaktadır [7, 8, 9, 10]. Yöntemin başarısı, gömülü arkeolojik hedeflerin (duvarlar, yollar, binalar vb.) elektrik direnç özellikleri ile çevre ortamın özdirenç özellikleri arasındaki farka bağlıdır. Jeofizik donanımlardaki teknolojik ilerlemelere bağlı olarak, çok elektrotlu sistemler aracılığıyla bir alandaki verilerin daha hızlı ve kolay bir şekilde elde edilmesine olanak tanıyan elektrik özdirenç tomografisi (ERT) ölçümleri arkeolojik alanlarda yeraltına ait elektrik özdirenç dağılımlarının elde edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [6, 7, 11, 12, 13].

Bu çalışma, ERT tekniğini kullanarak Aydın İli Koçarlı ilçesinde 88x56 metrelik bir boyutta yer alan çok katmanlı bir arkeolojik yerleşim (Höyük) modellemesini sunmaktadır. Gömülü yapıların derinlik ve geometrik yapı bilgisi, çok katmanlı arkeolojik yapıların anlaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır ve bu çalışmanın amacı, bu karmaşık arkeolojik yapıyı ana hatlarıyla tanımlamaktır. Bu sayede ortaya çıkarılmasına katkı sunulacak yapının literatüre kazandırılması ve jeofizik yöntemin çevre-arkeoloji araştırmalarında kullanımının önemi de ortaya konacaktır.

2. Çalışma Alanı Tarihsel Arka Planı ve Genel Jeolojisi

Tüm Batı Anadolu'da olduğu gibi Aydın ve yakın çevresindeki yerleşme yapısında meydana gelen asıl değişmelerin başlangıcı, M.Ö. 1200 yıllarında Balkanlarda oluşan Kavimler göçüyle başlamıştır [14]. Balkanlarda yaşayan Traklar, boğazlar yoluyla ya da daha güneyde Ege Denizi'nden geçerek Batı Anadolu'ya ulaşmışlardır [15]. Trak kabileleri göçebe olmalarına rağmen, Büyük Menderes Ovası'nın kenarlarına yerleşmeler kurarak göçebelikten vazgeçmiş ve buradaki tarıma uygun şartların da yardımıyla tarla kültürüne yönelmişlerdir [16]. Aydın'ın temelini oluşturan Tralleis antik şehri de bu yerleşmelerden biri olmuştur.



Şekil 1. Yer bulduru haritası ve çalışma alanı (Google Earth' den düzenlenerek)

Küçük Tepe Höyük, Aydın ilinin Koçarlı ilçesi Çakırbeyli Köyü sınırları içerisinde Çine Çayı' nın hemen yakınında yer alan bir höyüktür (Şekil 1). Aydın il merkezine uzaklığı yaklaşık 11 km'dir [17,18]. Aydın ve çevresinde birçok Antik kent bulunmaktadır. Anadolu'nun iç kısımlarını Ege Denizi limanlarına ve Menteşe yöresini Menderes Ovası'na bağlayan kavşak noktasında stratejik bir konumda olması ve etki alanında çok zengin bir tarımsal potansiyelin bulunması Aydın'ı tarih boyunca önemli kılmıştır. Yeraltında gömülü yaklaşık 30x40m boyutlarında bir yapının varlığı araştırılan bu çalışma alanı, yaklaşık 5000 m²'lik bir alanı kapsamaktadır. Alanın hakim jeolojik unsuru Menderes Masifi temelinde yer alan paleozoyik yaşlı gnays birimidir [19]. Bu metamorfik kayaların üzerinde uyumsuzluk dokanakları ile Neojen ve Kuvaterner yaşlı örtü birimleri yer almaktadır. Alüvyon örtü yüzeyde toz haline gelmiş gnays zerrecikleri ve çakıl boyutlarında kalsit, kuvars, granit parçalarından oluşmaktadır. Alanın bu özellikleri düşünüldüğünde gömülü yapıya ait yapıtaşlarının bölgede var olan bu jeolojik birimlerden elde edildiği görülecektir. Dolayısıyla bu yapı taşlarından oluşan Höyük yapısı ile gömülü yapıları kaplayan örtü birimi arasında yeterli oranda özdirenç farkının oluşması jeofizik tekniklerin güvenilir sonuçlar üretmesine imkan tanıyacaktır.

3. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanında yeraltında gömülü olabilecek arkeolojik yapıların geometrisi ve yeraltı yapısının incelenmesinde jeofizik yöntemlerden ERT yöntemi kullanılmıştır. Alandaki gömülü yapıları tanımlamak için iki-boyutlu (2-B) veri toplama düzeneğinde birbirine paralel olarak toplanan ERT profilleri ile üç-boyutlu (3-B) veri elde edilmesi de sağlanmıştır. Bu şekilde paralel olarak gerçekleştirilen 2-B ERT ölçümlerinden 3-B modele ulaşılması yarı-tam 3-B

özdirenç veri seti olarak adlandırılmakta ve sıklıkla kullanılmaktadır [1, 7, 12, 20].

Çalışma alanında ERT verisi ölçümü arazi şartları dikkate alınarak muhtemel gömülü yapıları dik kesecek doğrultuda 45 elektrotlu bir sistem (ARES GF çok kanallı rezistivite cihazı) ile Wenner dizilimi kullanılarak 29 profil üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1-2). Çalışma alanında oluşturulan karelejlarda profiller arası uzaklık 2 m olarak uygulanmıştır. Burada profiller arası uzaklığın en küçük elektrot aralığından düşük olmaması [21] sağlanarak 3-B veri oluşumuna yönelik imkan sağlanmıştır. Fakat yöntemin doğası gereği yatay veri kapsamının derinlikle azalmasından dolayı üretilen 3-B veride derinlik arttıkça tanımlanabilen bölge daralmaktadır. Wenner elektrot dizilimi arkeojeofizik araştırmalarda en çok kullanılan dizilimlerden biridir [3]. Açılımın tam orta noktasına denk gelen kısımda yeraltına ilişkin maksimum çözünürlük üretebilen dizilimin sinyal gücü diğer bütün dizilimlerden daha yüksek olması sebebiyle iyi çözünürlük üretmektedir [22]. Bu tür bir özellik gürültünün çok fazla olduğu alanlarda (arkeolojik alanlar gibi) etkili çözümler üretmeye oldukça katkı sunabilir.



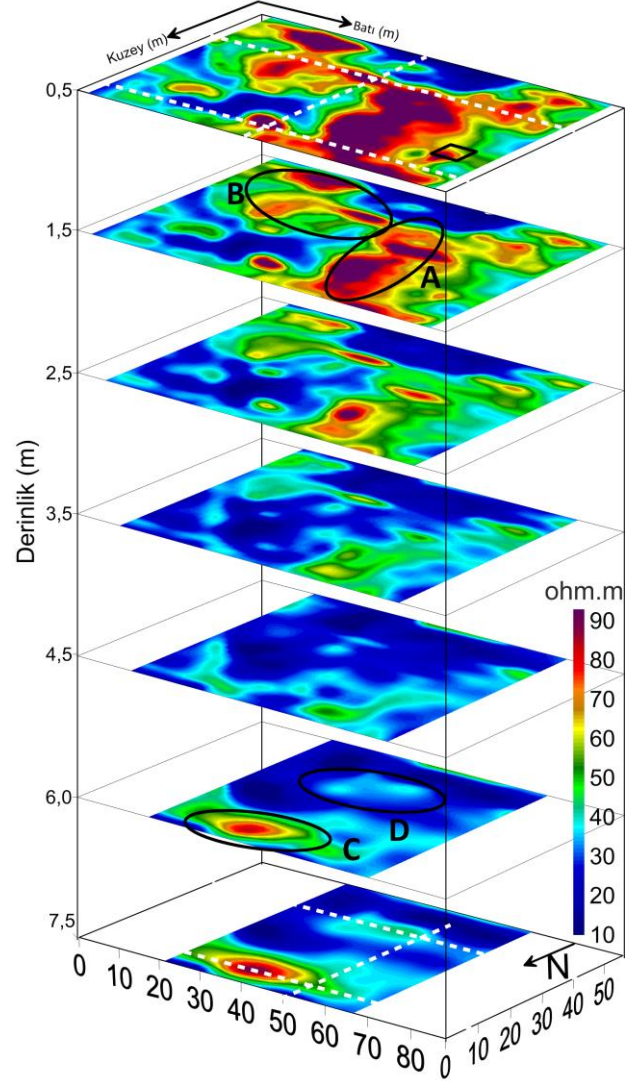
Şekil 2. Üstte - Küçüktepe Höyük' te jeofizik araştırma için oluşturulan kareyaj ve boyutları (Her bir kare 2x2 m boyutlarındadır). Altta - Şekil 5' te yer alan 3-B perspektif için oluşturulan hatlar, bakış yönleri (a)-(b) ve arkeolojik kazı alanı (Siyah dörtgen).

2 m elektrot aralığı ile toplamda her biri 88 metrelik D-B yönlü elektrik profiller üzerinde özdirenç değişimleri kaydedilmiştir (Şekil 2). Her bir profilde 315 adet veri olacak şekilde toplamda 9135 adet özdirenç verisi kaydedilmiştir. Elektrot aralığının 2 m olarak tercih edilmesiyse gömülü yapıları bir bütün olarak görüntüleyip yapılara ilişkin ana hatları tespit etme yetkinliği amaçlanmıştır. Ölçülen veriler en küçük kareler ters çözüm yöntemini esas alan Res2Dinv ve Res3Dinv [23, 24] yazılımlarıyla değerlendirilmiştir. Ters çözümde gözlenen ve hesaplanan özdirenç değerleri arasındaki hata farkının mutlak değerinin (ABS) yinelemeli bir şekilde en aza indirilmesi amaçlanmaktadır [25, 26]. Birçok araştırmacı model sınırlarının keskin-köşeli sınırlardan oluştuğu durumlarda robust ters çözüm (L1 norm) ile daha doğru sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir [1, 2, 11, 20].

4. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çalışma alanında Höyük üzerinde gerçekleştirilen 29 adet 2B ERT profilinden elde edilen 3-B veriye ait ters-çözüm sonucu Şekil 3'te derinlik seviye haritaları şeklinde verilmiştir. 3-B ters çözüm süreci en fazla 5 yineleme ile tamamlanırken mutlak hata değeri %3.00 ile sonuca varılmıştır. Elde edilen 3B ERT seviye haritaları ile yaklaşık 8 metreye kadar karşılaşılan özdirenç değişimleri gözlenmiştir. Buna göre

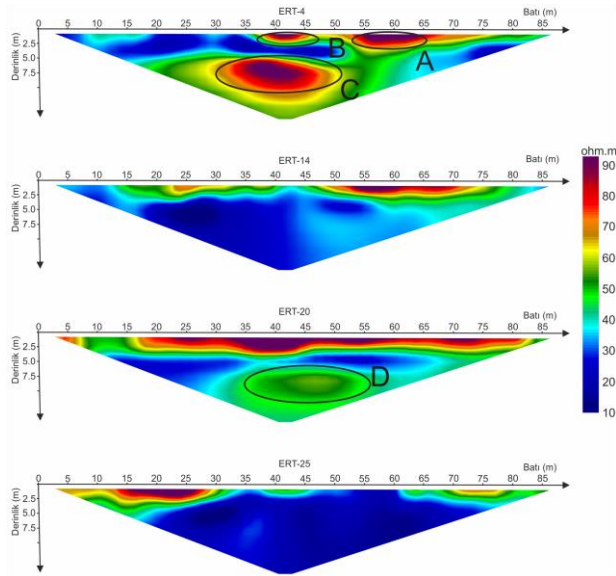
arkeolojik yapılara işaret edebilecek özdirenç farklılıkları tespit edilmiştir. Özellikle seviye haritalarında görece yüksek özdirençler ile temsil edilen alanların, bölgesel jeolojiye uygun olan kayalardan elde edilen arkeolojik yapı taşlarına dair bir tanımlama gösterdiği ilk bakışta göze çarpmaktadır. Şekil 3' te yer alan ve özdirenç değerleri 10-150 ohm.m arasında yer alan seviyeler 0.5 m, 1.5 m, 2.5 m, 3.5 m, 4.5 m, 6 m ve 7.5 m derinliklerine ait özdirenç değişimlerini göstermektedir.



Şekil 3. 3-B ters çözüm sonuçlarından elde edilen 0.5 m, 1.5 m, 2.5 m, 3.5 m, 4.5 m, 6 m ve 7.5 m derinliklere ait özdirenç seviye haritaları (Şekil üzerindeki beyaz kesikli çizgiler ile gösterilen hatlar 3-B perspektif görünüşü için oluşturulan hatları temsil etmektedir. Ayrıca A, B, C ve D ile verilen siyah elipsler, gömülü yapılara ait anomalileri temsil etmektedir. 0.5 m kesitindeki siyah dikdörtgen Şekil 2' de gösterilen arkeolojik kazı alanını temsil etmektedir.)

Bahsedilen özdirenç değişim karakterlerinden 12-32 ohm.m ile belirlenen düşük özdirenç dağılımı, arkeolojik yapı kalıntılarını saran ve örten doğal alüvyon toprağı temsil etmektedir. Özdirenç değerlerinin genel olarak düşük düzeyde elde edilmesinde Çine Çayı'nın oluşturduğu havzada yer alan çalışma alanındaki su içeriğinin etkili olduğu

söylenbilir. Çevresine göre göreceli yüksek özdirenç gösteren alanların (>32 ohm.m) olası arkeolojik yapı kalıntılarına karşılık geldiği düşünülmektedir. Bu alanlar A, B, C ve D harfleriyle isimlendirilerek siyah elipsler ile gösterilmiştir. 0.5 m derinlikli haritada süreksizlik sergileyen özdirenç dağılımı arkeolojik alanlarda karşılaşılan moloz yapılar işaret etmektedir. Bununla beraber bu derinlikten 2.5 m derinliğine kadar devam eden yüksek özdirenç sahip alanlar (A, B, C ve D alanları) gömülü arkeolojik yapılar karşılık gelmektedir. 0.5-2.5 metrelerdeki haritaların kuzey sınırında tespit edilen yüksek özdirençli A ve B alanlarıyla sınırlanan K-G uzanımlı yapı, kesitlerin ortasında doğuya doğru devam etmiş ve devamında D-B uzanımlı bir yönelim sergilemiştir. Yaklaşık 30 m eni, 40 m boyu ve 4 m yüksekliği ile tipik bir arkeolojik duvar yapısını andıran bu özdirenç karakteri ilerleyen derinliklerden 3.5 m ve 4.5 m seviyelerinde ortadan kaybolmaya başlamıştır.

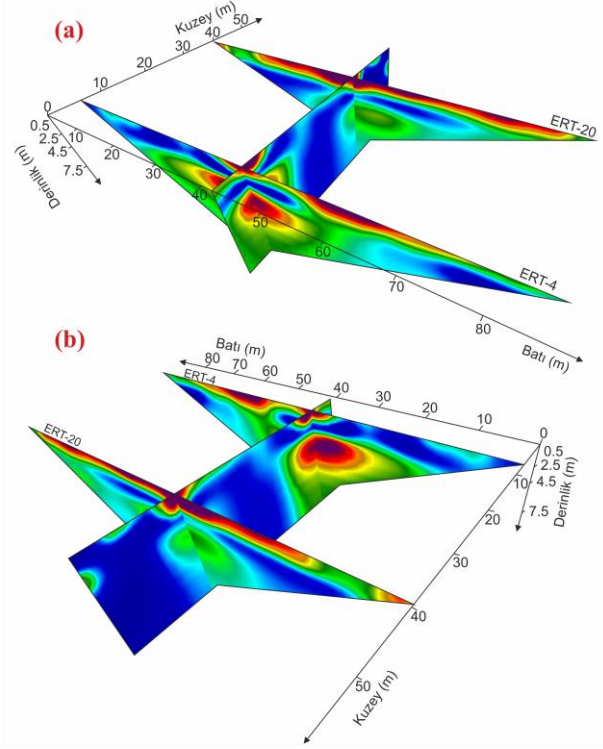


Şekil 4. ERT-4, 14, 25 ve 29 profillerinden elde edilen 2B özdirenç kesitleri. (A, B, C ve D elipsleri ile Şekil 3'teki alanlar gösterilmiştir.)

6 m derinliğe ait kesitte alanın kuzey kenarında C alanı ile gösterilen yüksek özdirençli bir yapı belirmiştir. Yaklaşık 13 m eni, 20 m boyu ve 3 m yüksekliği ile tespit edilen ve höyük tipi yapılarda sıklıkla karşılaşılan bu tür bir alanın [1, 9], yüzeydeki yerleşimden farklı bir katmana ait ikinci bir yerleşimin gömülü arkeolojik yapılarına ait olduğu düşünülebilir. Bu yapının hemen güneyinde beliren göreceli özdirenç yükselimi (D alanı) düzgün yapısal bir şekle işaret etmekle beraber net bir özdirenç kontrastı oluşturmadığı için muhtemel yapısal alan olarak bahse konu edilebilir.

Bahse konu olan anomaliler Şekil 4' te alanda genel özdirenç karakterini özetleyebilecek şekilde seçilen 2-B özdirenç kesitleri üzerinde de gösterilmiştir. Buna göre ERT-4 kesitinde ilk katmanda yer alan A ve B anomalileri ile ikinci katmanda yer alan C anomalisi açık bir şekilde görülmektedir. ERT-20 kesitine doğru

ERT-14 te yatayda kaybolan C anomalisi dikkat çekerken ERT-20 kesitinde D anomalisi belirlemektedir. Yüzeyde ise A ve B anomalilerinin birleştiği görülmektedir. ERT-25 kesitinde ise D anomalisi de kaybolmuş ve yapı ile ilgili anomalilerden ziyade örtü toprağa ilişkin özdirenç değerleri baskın hale gelmiştir.



Şekil 5. 3-B ERT perspektif diyagramları. (a) ve (b) Şekil 2' de yer alan bakış yönlerine göre farklı açılardan oluşturulmuştur.

Özdirenç kesitlerinde yorumlanan bu yapılar, Şekil 3' te yer alan kesikli çizgiler üzerindeki hatlardan elde edilen 3-B ERT perspektif (fence) diyagram üzerinde ayrıca modellenmiştir (Şekil 5). Bu model ERT ile ortaya çıkarılan yapıların birbirleriyle tutarlı olduğunu ve kesişme noktalarında birbirlerine uyum sağladığını göstermektedir. Yüzeyde tespit edilen yapılardan sonra aşağıdaki katmanlarda kuzey kenarda beliren ve bu yapının güneyinde tespit edilen özdirenç yükselimi alanları net bir şekilde görülmektedir. Bununla beraber tüm kesitlerde belirlenen yapıların, 2 m elektrot aralığından dolayı ayrıntılı olarak değil de bütünsel olarak tespit edildiğine dikkat edilmelidir. Buna göre tespit edilen bu alanlar aslında birçok küçük yapının bütünsel birleşimini temsil eden anomaliler olabilirler.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, gömülü yapıların aranmasında yer elektrik özdirenç parametresini esas alan jeofizik yöntem ile bir alanın yer altı modelinin aydınlatılmasını konu edinmiştir. Elde edilen yer elektrik kesitleri ve seviye haritalarıyla tespit edilen gömülü yapıların yer altındaki geometrik

uzanımlarının 3-B kestirimleri sunulmuştur. Höyük alanlarında sıklıkla karşılaşılan farklı katmanlı yapı modelleriyle örtüşen özdirenç karakterleri ortaya çıkarılmıştır. İlk katmana ait yapıların boyutu 30x40x4 m olarak tespit edilirken ikinci katmanda gömülü olan yapının boyutu ise 13x20x3 m olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları, tahribatsız olarak uygulanabilen jeofizik yöntemlerden elektrik özdirenç çalışmalarının arkeolojik alanlarda gömülü olduğu düşünülen yapıların fiziksel ve geometrik özelliklerinin belirlenmesinde sağladığı faydaları açık bir şekilde göstermektedir. Alanda yapılan jeofizik tespitler arkeolojik gerçekliğe imkan tanıyacak kazı çalışmalarını ile kanıtlanmalıdır. Sonuçlara göre alanda seçilen kısımlarda daha küçük elektrot aralıkları ile gerçekleştirilecek çalışmalar daha detaylı gömülü yapı analizleri sağlayacaktır. Ayrıca, tarım alanları arasında kalan bölgenin statüsünün belirlenmesi çevresel olarak ekonomik alanların belirlenmesini ve zaman-ışgücü ve maliyet kaybını ortadan kaldıracaktır.

Teşekkür

Araştırma sırasında arazi çalışmalarında destek olan rahmetli hocam Dr. Can Karavul' a ve tüm kazı ekibine teşekkür ederim.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.

Kaynakça

- [1] Berge, M. A., Drahor, M. G. 2011. Electrical Resistivity Tomography Investigations of Multilayered Archaeological Settlements: Part II – A Case from Old Smyrna Höyük, Turkey. *Archaeological Prospection* 18(4), 291-302.
- [2] Karaaslan, H., Karavul, C. 2018. Usefulness of electrical and magnetic methods in finding buried structure of the Alabanda Ancient Cistern in Çine Town, Aydın City, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* 11, 178.P. 2008.
- [3] Karavul, C., Karaaslan, H., Demirkol, A. 2016. Investigation of structures in the Alabanda Bouleuterion by electrical resistivity method. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 511.
- [4] Candansayar, M. E., Başokur, A. T. 2001. Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey. *Geophysical Prospecting*, 49(1), 13-25. 2004.

- [5] Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Şeren, A., Kaya, M. A., Lightfoot, C. S. 2014. Geomagnetic and geoelectrical prospecting for buried archaeological remains on the Upper City of Amorium, a Byzantine city in midwestern Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11(1), 015012.
- [6] Papadopoulos, N. G., Tsourlos, P., Papazachos, C., Tsokas, G. N., Sarris, A., Kim, J. H. 2011. An algorithm for fast 3D inversion of surface electrical resistivity tomography data: application on imaging buried antiquities. *Geophysical Prospecting*, 59(3), 557-575.
- [7] Karaaslan, H. 2020. Edge detection for the buried archaeological structures with the geophysical image processing method in the Alabanda Ancient Cistern in Turkey. *Archaeological Prospection*, 27(3), 275-284.
- [8] Papadopoulos, N. G., Tsourlos, P., Tsokas, G. N., Sarris, A. 2006. Two-dimensional and three-dimensional resistivity imaging in archaeological site investigation. *Archaeological Prospection*, 13(3), 163-181.
- [9] Tonkov, N., Loke, M. H. 2006. A resistivity survey of a burial mound in the 'Valley of the Thracian Kings'. *Archaeological Prospection*, 13(2), 129-136.
- [10] Drahor, M. G., Berge, M. A., Kurtulmuş, T. Ö., Hartmann, M., Speidel, M. A. 2008. Magnetic and electrical resistivity tomography investigations in a Roman legionary camp site (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey. *Archaeological Prospection*, 15(3), 159-186.
- [11] Drahor, M. G., Kurtulmuş, T. Ö., Berge, M. A., Hartmann, M., Speidel, M. A. 2008b. Magnetic imaging and electrical resistivity tomography studies in a Roman military installation found in Satala archaeological site, northeastern Anatolia, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, 35(2), 259-271.
- [12] Rabbel, W., Erkul, E., Stümpel, H., Wunderlich, T., Pasteka, R., Papco, J., Niewöhner, P., Barış, Ş., Çakın, O., Pekşen, E. 2015. Discovery of a byzantine Church in Iznik/Nicaea, Turkey: an educational case history of geophysical prospecting with combined methods in urban areas. *Archaeological Prospection* 22, 1-20.
- [13] Yılmaz, S., Balkaya, Ç., Cakmak, O., Oksum, E. 2019. GPR and ERT explorations at the archaeological site of Kılıç village (Isparta, SW Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 170, 103859.
- [14] Uğur, A. 2003. Aydın Şehrinin Kuruluşu ve Gelişme Evreleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 41-62.

- [15] Mansel, A. M. 1995. Ege ve Yunan Tarihi, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.
- [16] Tunçdilek, N. 1986. Türkiye’de Yerleşmenin Evrimi, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3367, İstanbul.
- [17] Yaylalı, S., Akkan, Y., Tütüncüler, Ö., Erdan, E. 2015. Çakırbeyli-Küçüktepe Höyük 2014 Yılı Kazı Çalışması. 37. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu, 11-15 Mayıs, Erzurum, 417-432.
- [18] Yaylalı, S., Akkan, Y., Tütüncüler Bircan, Ö., Erdan, E. 2017. Çakırbeyli-Küçüktepe Höyük 2015-2016 Çalışmaları. 39. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu, 22-26 Mayıs, Bursa, 113-132.
- [19] Dora, O. Ö., Kun, N., Candan, O. 1992. Menderes Masifi’nin metamorfik tarihçesi ve jeotektonik konumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 1-14.
- [20] Yılmaz, S., Oksüm, E., Cakmak, O., Dogan, O., Tekelioglu, E. 2018. Preliminary results of an integrated archaeo-geophysical survey on the basis of ancient finds unearthed by an illegal excavation at Kılıç Ören site (Isparta, Turkey). Archaeological Prospection, 25, 197-207.
- [21] Loke, M. H. 2010. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. <https://www.geotomosoft.com/downloads.php> (Erişim Tarihi: 28.06.2020)
- [22] Zhou, B., Dahlin, T. 2003. Properties and effects of measurement errors on 2D resistivity imaging surveying. Near surface geophysics, 1(3), 105-117.
- [23] Loke M. H., Barker R. D. 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
- [24] Loke M. H., Barker, R. D. 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion techniques. Geophysical Prospecting, 44, 499-524.
- [25] Loke, M. H., Acworth, I., Dahlin, T. 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2-D electrical imaging surveys. Exploration Geophysics 34: 182-187.
- [26] Olayinka, A. I., Yaramanci, U. 2000. Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. Journal of Applied Geophysics, 45, 63-81.