

Sillyon antik kenti stadyum alanındaki olası arkeolojik kalıntıların manyetik, yer radarı ve öz direnç çalışmaları ile araştırılması

Investigation of possible archaeological remains in the stadium area of the ancient city of Sillyon with magnetic, ground penetrating radar and resistivity studies

Engin ERÇETİN *¹ 

¹ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Avcılar Yerleşkesi, 34320 İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 11.06.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 28.07.2023

Öz

Arkeolojik alanlarda jeofizik çalışmalar, yeraltında gömülü kültürel mirasların konum ve geometrilerinin araştırılmasında klasik arkeolojik tekniklere göre daha ekonomik, hızlı ve ayrıca tahribatsız çözüm sunan etkin arkeojeofizik yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları manyetik, yer elektrik ve yer radarı (GPR) yöntemleridir. Bu çalışmada, Antalya'nın Serik ilçesi, Pamfilya bölgesinde Aspendos ile Perge'nin ortasında bulunan Sillyon antik kentinin Stadyum alanında olası gömülü arkeolojik yapı kalıntılarının görüntülenmesi için arkeojeofizik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda çalışma alanında arkeojeofiziğin tahribatsız yöntemlerinden olan düşey gradiyometrik manyetik toplam alan, dipol-dipol iki boyutlu elektrik öz direnç ve yer radarı yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular çerçevesinde kazı çalışmalarına yön verebilecek saptamalar gerçekleştirilmiştir. Stadyum bölgesinin orta kısmında tribünlere ait manyetik anomali bulguları elde edilmiş, yine stadyumun kuzey cephesinde ise alanı diklemesine kesen su akış yolu bulunduğu düşünülmektedir. Bu çalışma, Sillyon antik kentinin tarihi ve arkeolojik önemine katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Gradiyometrik manyetik yöntem, Sillyon, Yer radarı

Abstract

Geophysical studies in archaeological areas use effective archeogeophysical methods that offer a more economical, faster and non-destructive solution compared to classical archaeological techniques in investigating the location and geometry of buried cultural heritages. The most common of these are magnetic, ground electric and ground penetrating radar (GPR) methods. In this study, an archeogeophysical study was carried out to display possible buried archaeological remains in the Stadium area of the ancient city of Sillyon, located in the Pamphylia region of Antalya's Serik district, in the middle of Aspendos and Perge. In this context, vertical gradiometric magnetic total field, dipole-dipole two-dimensional electrical resistivity and ground radar methods, which are non-destructive methods of archeogeophysics, were used in the study area. Within the framework of the findings obtained, determinations were made that could guide the excavation works. Magnetic anomaly findings of the stands were obtained in the middle part of the stadium area, and it is thought that there is a water flow path that cuts the area vertically on the north side of the stadium. This study contributes to the historical and archaeological importance of the ancient city of Sillyon.

Keywords: Gradiometric magnetic method, Sillyon, Georadar

* Engin-Erçetin; engin.ercetin@ogr.iuc.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Arkeoloji, eski uygarlıkları keşfetmemizi ve anlamamızı sağlayan bir bilim dalıdır. Geleneksel olarak arkeologlar, yerin altına gömülü eserleri ve yapıları ortaya çıkarmak için önce yüzey araştırmaları yapmışlar, ardından bulunan sonuçlara göre kazım işlemine başlamışlardır. Ancak teknolojinin gelişmesiyle birlikte jeofizik bilimi, gömülü arkeolojik kalıntıları tespit etmek ve haritalamak için çeşitli bilimsel teknikler kullanarak arkeoloji bilimine zamandan ve maliyetten kazanmak adına yaklaşımlar sunmaktadır. Arkeolojik kültürel mirasın korunmasında jeofizik, her biri farklı türdeki yeraltı özelliklerini tespit etmek için tasarlanmış bir dizi yöntemi kapsar. Kullanılan en temel teknikler, yer radarı, yer elektrik ve manyetik yöntemlerdir.

Arkeolojik alanların araştırılmasında jeofizik yöntemlerden faydalanılması 1940'lı yıllara dayanır. Arkeolojik bir alanda ilk olarak [Atkinson \(1946\)](#) çalışmasında uygulanan elektrik özdirenç uygulamasından itibaren bu alandaki jeofizik uygulamalar giderek daha çeşitlenmiş ve sık kullanılır hale gelmiştir ([Wynn,1986](#)). [Pecchioli vd. \(2020\)](#) çalışmasında kültürel mirasın araştırılması ve korunması ile ilgili jeofiziğin yanı sıra sismolojiye de değinerek koruma kapsamında deprem gibi dinamik yükler karşısında arkeolojinin aradığı cevapların yanıtlanabileceğinden bahsetmişlerdir. Jeofizik yöntemlerin sahada uygulanması konusunda ise [Martorana vd. \(2023\)](#) genelleştirilmiş bir iş akış şeması oluşturmuşlar, yer elektirik özdirenç, yer radarı ve manyetik yöntemler arasında çözünürlük, araştırma derinliği, araştırma alanı, maliyet ve zaman karşılaştırması yapmışlardır. Kültürel mirasın araştırılması ve korunmasında elde edilen sonuçların doğruluğu ile ilgili çalışmalar ise hem sayısal ortamda modelleme çalışması yapılarak hem de arazi çalışmalarını bu modellemeler ile karşılaştırarak [Eppelbaum \(2022\)](#) tarafından başarılı bir şekilde gösterilmiştir.

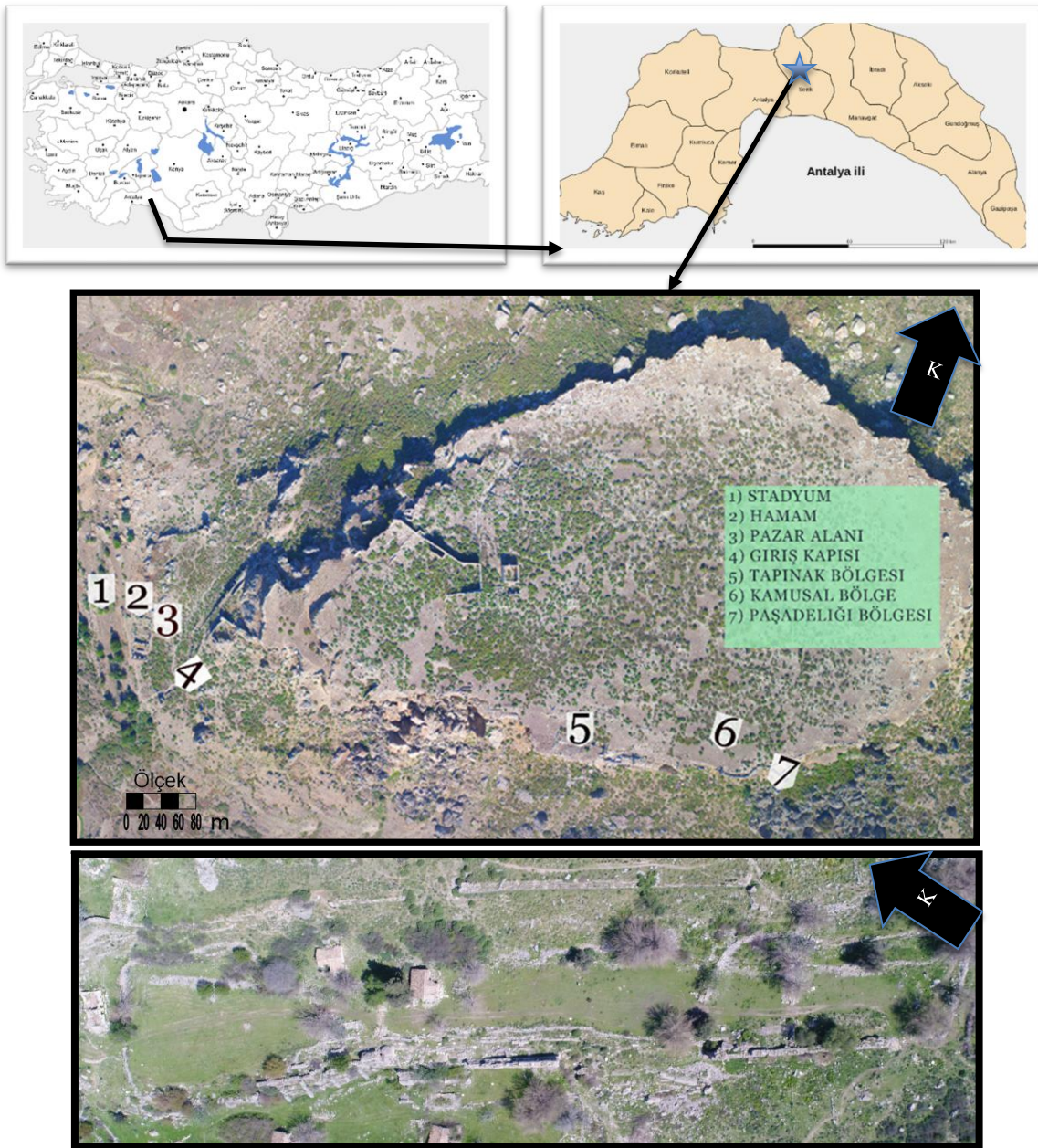
Dünya genelinde arkeolojik alanlarda jeofizik çalışmaların birçok başarılı uygulaması vardır. Örneğin 2015 yılında [Evangelista vd. \(2017\)](#) İtalya' nın Napoli şehrinde bulunan bir kültürel miras olan Santa Maria del Carmine kilisesinde zemin araştırmaları yapmışlardır. Çan kulesi ve kilisenin zeminini kapsayacak şekilde jeoradar çalışmaları yapılmış, özdirenç yöntemi ile zeminin yapısı belirlenmiştir. Yıkılma tehlikesi olan bu çan kulesi ile ilgili geoteknik hesapların yapılması gerektiğine kanaat getirmişlerdir. Deiana ve Previato (2023) ise İtalya'nın kuzeydoğu bölgesinde eski bir Roma tiyatrosunu yer elektrik özdirenç ve yer radarı yöntemleriyle araştırmışlar ve başarılı sonuçlar sunmuşlardır. [Piro vd. \(2023\)](#) İtalya' nın Roma şehrinde, Tusculum arkeolojik sahasında yaptıkları çalışma ile 400 MHz antene sahip yer radarı ile yüksek çözünürlükte sonuçlar elde etmişler ve bu çalışmalarını özdirenç ve manyetik yöntemler ile pekiştirerek araştırma sahasındaki gömülü yapısal bütünlüğü göstermeye çalışmışlardır. Türkiye'de ise [Sayın vd., 1995](#) yılında yayınladıkları çalışma ile Manyetik ve Doğal Uçlaşma (SP) yöntemi ile Menekçe Çatağı Höyüğünde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Kazı çalışmaları da gerçekleştirilen bu bulgularda, Troya 2 olarak isimlendirilen açmalarda, çatısı büyük kiremitlerle örtülmüş helenistik döneme ait yapılar ve fırın bulunmuştur. [Sayın vd. \(1997\)](#), yaptıkları çalışmada manyetik gradiometre ölçümlerine farklı filtreler uygulayarak verilerin yorumunu kolaylaştırmışlardır.

[Rabbel vd. \(2015\)](#) ise İznik gölünde bulunan Bizans kilisesinde yer radarı ve özdirenç yöntemlerinin yanı sıra, manyetik ve gravimetrik çalışmalar da gerçekleştirmişler ve birbirleri ile uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. [Yılmaz vd. \(2018\)](#) ise Isparta ilinde bulunan Kılıç ören yerinde yer radarı, manyetik yöntem ve yer elektrik yöntemi ile başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, Antalya ili Serik ilçesi sınırlarında yer alan Sillyon antik kentinin öncelikli araştırma sahalarından biri olan Stadyum alanında olası gömülü arkeolojik yapı kalıntılarının araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bir manyetik, yer elektrik ve yer radarı çalışmasının sonuçları sunulmaktadır. Sillyon antik kenti oldukça engebeli ve yüksek bir tepeye kurulmuş olmasından dolayı kale şehir olarak adlandırıldığı da bilinmektedir ([Özdemir & Taşkiran, 2021](#)). Şehrin batı cephesinde bulunan Stadyum, Roma İmparatorluk Dönemi zamanında kamusal kullanım amaçlı olarak inşa edilen, kent gelişimine uygun şekilde, halkın sosyalleşme alanı olarak 254 metre uzunluğunda ve 48 metre genişliğinde şehrin en büyük yapısıdır ([Taşkiran, 2021](#)). Özellikle batı yamacında bulunan doğal su kaynakları ve jeolojik koşullar, Roma imparatorluğu'nun savunma sistemini oluşturmuş ve stadyum, roma hamamı gibi önemli kamu binalarının inşa edilmesine sebebiyet vermiştir. Ayrıca bu jeolojik koşullar, Roma imparatorluğu zamanında savunma sisteminin de şekillendirmiştir ([Taşkiran & Bacanlı, 2022](#)). Arkeolojik sahalarda gerçekleştirilen jeofizik çalışmaların önemi ise, gömülü özellikleri yapıları ortaya çıkarma, eski uygarlıklar hakkındaki bilgimizi genişletme ve gelecek nesiller için değerli kültürel mirası koruma becerisinde yatmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak [Deiana vd.](#)

(2018), Rizzo vd. (2018), Herrmann vd. (2017), Masini vd. (2017), Casana vd. (2014), Dirix vd. (2013) gösterilebilir.

Silyon antik kentinde ilk çalışmalar [Lurje \(1959\)](#) tarafından, şehirde bulunan yazıtların çevirileri ile ilgili olurken, bu çalışmaya ek olarak [Van Bremen \(1994\)](#) ise Silyon yazıtlarında bulunan bir aile ile ilgili olarak ayrıntılı araştırmalar yapmıştır. Silyon antik kentinde yüzey araştırmaları ise [Özer ve Taşkiran \(2009\)](#) önderliğinde başlamıştır. Bahsedilen bu ve diğer çalışmalarda, farklı kültürel katmanların bulunduğu oldukça ilginç ve karmaşık bir topoğrafyaya sahip olan Silyon antik kentinde jeofizik araştırmalar gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle, bu çalışmada çeşitli ölçeklerde ve yerlerde jeofizik araştırmalar yapılmıştır. Çalışma alanlarındaki yıkıntılar, uzun ve sert bitki örtüsü ve eğimli arazi nedeniyle sınırlandırmalar olsa da iyi sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle manyetik çalışmalarda, toprak yüzeye değmeksizin havadan yapılan ölçümler olduğu için jeoradar yöntemine göre veri elde etmek daha kolaydır. Bu çalışma Silyon antik kentinde gerçekleştirilen ilk jeofizik çalışma olup, kültürel mirasın araştırılması amacıyla, zamandan ve maliyetten kazanılarak, kazı çalışmalarına yön vermesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Silyon antik kenti uydu fotoğrafı üzerinde stadyum bölgesi ve jeofizik çalışma alanının gösterimi (Google Earth-2019)

Figure 1. Representation of the geophysical study areas and the stadium area on the satellite photo of the ancient city of Silyon

2. Uygulanan jeofizik yöntemler

2. Applied geophysical methods

Bu çalışma kapsamında, arazi koşulları ve topoğrafik özellikler göz önünde bulundurularak, jeofizik yöntemler arasında çoğunlukla manyetik yöntem tercih edilmiştir. Bununla birlikte, arkeolojik yapılardaki alterasyondan kaynaklanan kaya kopmaları ve yüzeyde yaygın arkeolojik kalıntıların varlığı, çalışma alanının bitki örtüsü gibi faktörler yer radarı ölçümlerini kısıtlamıştır. Bu nedenle yer radarı yöntemi ancak ölçüme uygun alanlarda gerçekleştirilmiştir. Dipol-dipol iki boyutlu öz direnç yöntemi ise diğer veriler ışığında sadece odaklanılmak istenen alanlarda uygulanmıştır. Çalışma alanlarında toplanan, düşey gradiyometrik manyetik, dipol-dipol iki boyutlu öz direnç ve yer radarı verilerinin değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için ölçümler aynı karelej sisteminde elde edilmiştir.

Manyetik yöntem ilk olarak 1950'lerde kullanılmaya başlandı ve halen arkeolojik sorunların çözümüne yönelik araştırmalarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Manyetik yöntem, yeraltındaki yapıların ve etrafındaki toprak malzeme ile arasındaki süseptibilite kontrastını ve yapıların şekillerindeki farklılıkları nedeniyle meydana gelen manyetik alan değişimlerini ölçmek için kullanılır. Fırınlara, ocaklara, yanma çukurlarına, demir mineralleri ve özellikle pişmiş kilden yapılmış su kanalları, tuğla, kiremit ve çanak çömlekler bu yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ölçüm tekniği olarak düşey gradiyometrik manyetik ölçüm tekniği kullanılmıştır. Bu ölçüm tekniği, aynı düşey ekseninde üst üste konumlandırılmış iki farklı algılayıcı manyetik sensörün okuma değerlerinin farkları esasına dayanmakta ve böylece sığ derinlikteki yapıların araştırılmasında etkin olmaktadır (Şekil 2).



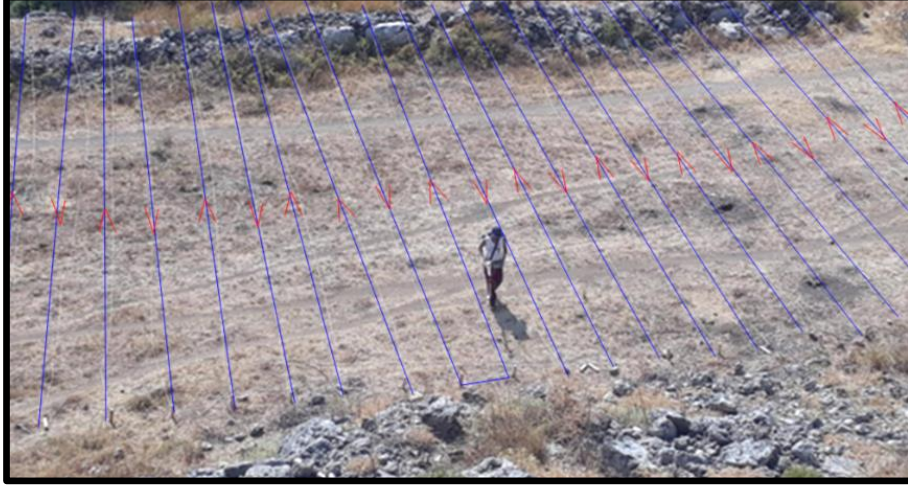
Şekil 2. Geometrics G-858 sezyum manyetometresi ve ölçüm alımı

Figure 2. Geometrics G-858 cesium magnetometer and measurement

Proton ve fluxgate manyetometreleri, arkeolojik araştırmalarda kullanılmaya başlanan ilk manyetometreler olarak bilinmekle beraber, 0.1 nT duyarlılıkta ölçümler yapabilmektedir. Alkali-buharlı manyetometreler, Picotesla (pT) mertebesinde ölçüm yaparlar. Kullanılan alkali metallere göre bu manyetometreler sezyum veya potasyum manyetometreleri olarak adlandırılır. Bu çalışmada Geometrics G-858 sezyum manyetometresi kullanılmıştır. Bu cihaz 0.001 nT hassasiyetli, 250.000 ölçü kapasiteli, harici GPS ile konumlandırma imkânı sunan ve gradiyometrik ölçüm tekniğine uygun olarak tasarlanmıştır. Cihaza ve ölçüm tekniğine ilişkin arazi çalışmasından bir görünüm Şekil 2'de gösterilmiştir. Çalışma sahasında manyetik ölçümler, 0.5 metre profil aralıklarında toplam stadyum kuzey bölgesinde 96 hat, stadyum orta zemin bölgesinde 134 hat, stadyum orta tribün bölgesinde 130 hat boyunca zig-zag ölçüm tekniğinde ve profiller üzerinde saniyede 10 ölçüm ile sürekli okuma modunda gerçekleştirilmiştir. Ölçü düzenine ilişkin arazi çalışmasından bir görünüm Şekil 3'te gösterilmiştir.

Yakın yüzey araştırmaları için kullanılan ikincil bir yöntem olan yer radarı yöntemi, yüksek frekanslı elektromanyetik bir yöntemdir. Yer içinde ilerleyen elektromanyetik dalgalar, anomali oluşturabilecek

herhangi bir nesne ile karşılaştıklarında yansıma ve saçılmaya uğrayarak tekrar yüzeye geri ulaşırlar. Ardından, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı tarafından zamanla kaydedilir ve elde edilen izler yorumlanır. Bu yöntem arkeolojik sahalarda temel duvarların ve boşlukların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada yer radarı ölçümleri için GSSI SIR 3000 marka yer radarı sistemi ve 400 Mhz anten kullanılmıştır. Ölçümler 0.5 metre aralıklı birbirine paralel hatlar boyunca zig-zag ölçü düzeniyle gerçekleştirilmiştir. Yer radarı ölçümlerine ilişkin arazi çalışmasından bir görünüm Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Stadyum orta bölgesinde manyetik ölçümlerin alındığı profillerin gösterimi
Figure 3. Display of profiles where magnetic measurements are taken in the stadium middle area



Şekil 4. GSSI SIR-3000 yer radarı cihazı ile stadyum bölgesinde ölçü alımı
Figure 4. Measurement in the stadium area with GSSI SIR-3000 ground penetration radar

Elektrik yöntem arkeolojik sahalarda gömülü kültürel mirasın tahribatsız olarak araştırılmasında yine yaygın olarak kullanılan diğer bir jeofizik yöntemdir. Araştırılan yapıya göre çeşitli elektrot dizilimleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada, olası yapı kalıntılarının konumlarının araştırılması için yanal yöndeki öz direnç değişimlerini belirleyebilmek amacıyla dipol-dipol elektrot dizilimi uygulanmıştır. Bu dizilimde ölçümler akım elektrotları ve potansiyel elektrotları arası 1 metre olacak şekilde 12 metrelik hat üzerinde potansiyel elektrotların kaydırılması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Geoves marka cihaz ile stadyum bölgesinde ölçü alımı
Figure 5. Measurement in the stadium area with Geoves

3. Gradiyometrik manyetik, dipol-dipol iki boyutlu öz direnç ve yer radarı ölçüm bulguları

3. Gradiometric magnetic, dipole-dipole two dimension resistivity and ground penetrating radar measurement findings

Sillyon antik kentinde gömülü kalmış kültürel mirasın araştırılmasına yönelik çalışmalar Şekil 6'da verilmiştir. 1 numaralı mor renk ile çizilmiş alan stadyum kuzey manyetik ölçüm alanı, 2 numaralı siyah renk ile çizilmiş alan stadyum kuzey yer radarı ölçüm alanı, 3 numaralı siyah renk ile çizilmiş alan stadyum orta yer radarı ölçüm alanı, 4 numaralı mor renk ile çizilmiş alan stadyum orta zemin manyetik ölçüm alanı, 5 numaralı mor renk ile çizilmiş alan ise stadyum orta tribün manyetik ölçüm alanıdır. Dipol-dipol iki boyutlu öz direnç ölçü hatları ise, E1, E3 ve E4 olarak mavi renkle gösterilmiştir. Manyetik, yer radarı ve dipol-dipol ölçülerinin gösterildiği haritalar farklı renk skalaları kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 6. Stadyum bölgesinde düşey gradiyometrik manyetik, öz direnç ve jeoradar ölçümlerinin alındığı alanlar (1) stadyum kuzey manyetik, (2) stadyum kuzey yer radarı, (3) stadyum orta yer radarı, (4) stadyum orta zemin manyetik, (5) stadyum orta tribün manyetik

Figure 6. Vertical Gradiometric magnetic, resistivity and ground radar measurements area in the stadium (1) Stadium north magnetic, (2) Stadium north ground radar, (3) Stadium middle ground radar, (4) Stadium middle ground magnetic, (5) Stadium center grandstand magnetic

3.1. Gradiyometrik manyetik bulguları

3.1 Gradiometric magnetic measurement findings

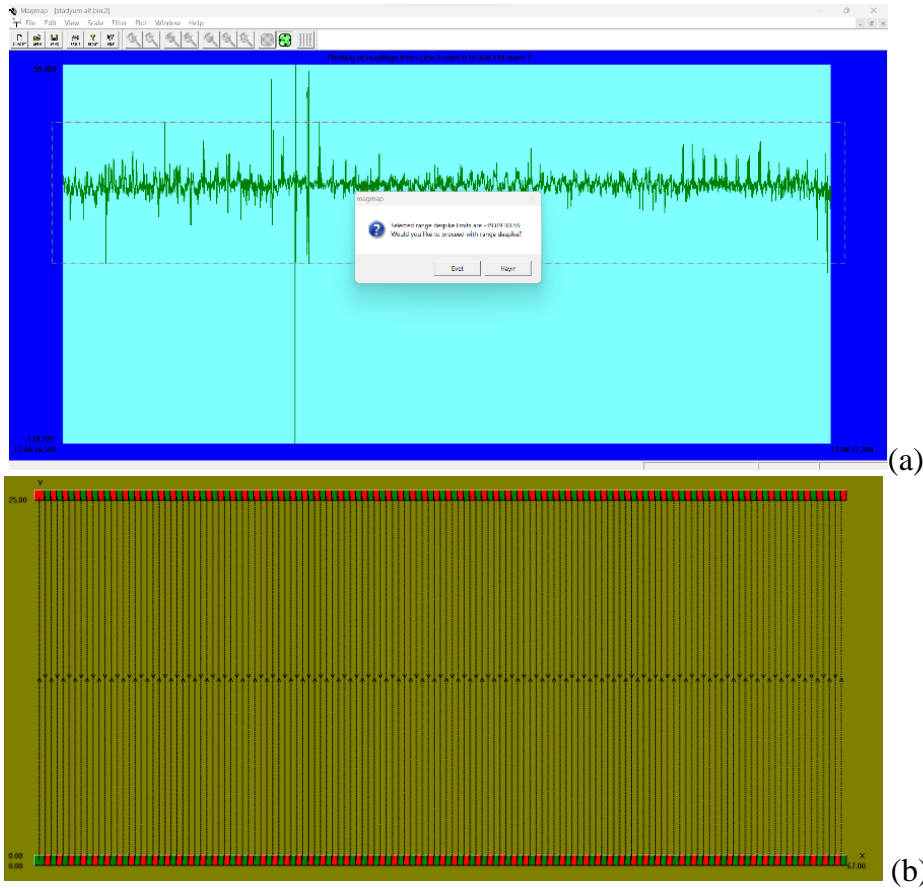
Stadyum olarak tanımlanan alanda, mor bir çizgi ile sınırlanan stadyum kuzey bölgesinde 96 hat, stadyum orta zemin bölgesinde 134 hat, stadyum orta tribün bölgesinde 130 hat üzerinde düşey gradiyometrik manyetik ölçümleri alınmıştır. Elde edilen düşey gradiyometrik manyetik anomali haritalarında, mavi renk düşük değerli anomalileri gösterirken, yüksek değerli anomaliler kırmızı renk kullanılarak ayrılmıştır.

Düşey gradiyometrik manyetik ölçümlerin verileri Magmap programında okutulmuş, geometrileri oluşturulmuş, bozucu etkilerin giderilmesi (range despike) ile baskın olan gürültülü veriler temizlenmiş, ardından Geosoft Oasis montaj programında yukarı analitik uzanım işlemi gerçekleştirilip, kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Veri işlem akış diyagramı

Figure 7. Data processing diagram



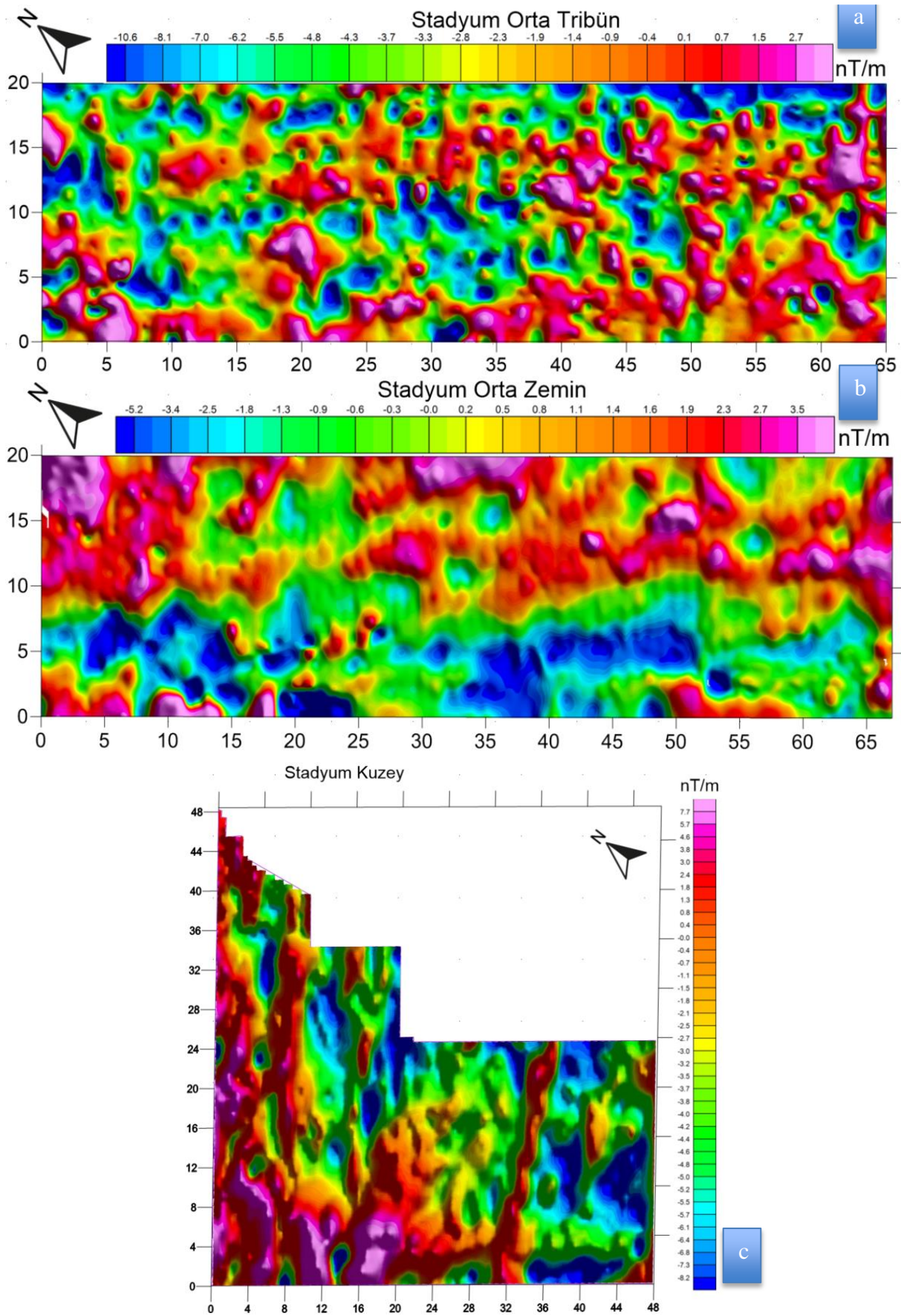
Şekil 8. (a)Bozucu etkilerin giderilmesi (range despike) ve (b) ölçü profillerinin gösterimi

Figure 8. (a) removal of disruptive effects (range despiking) and (b) measurement profiles

Tablo 1. Manyetik yöntemde gerçekleştirilen filtrelemelere ilişkin değerler

Table 1. Values for filtering performed in the magnetic method

Yukarı analitik uzanım	Kutba indirgeme		
Yukarı uzanım değeri	0.2	Eğim açısı (inklinasyon)	46.1417
		Sapma açısı (deklınasyon)	3.267

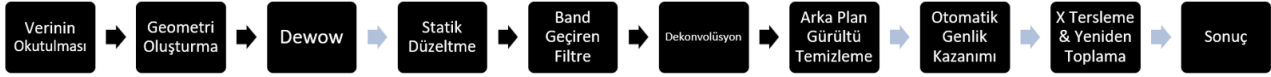


Şekil 9. Manyetik yöntem bulguları (a) stadyum orta tribün, (b) stadyum orta zemin, (c) stadyum kuzey
Figure 9. Magnetic method elements (a) stadium middle tribune, (b) stadium middle ground, (c) stadium north

3.2. Yer radarı bulguları

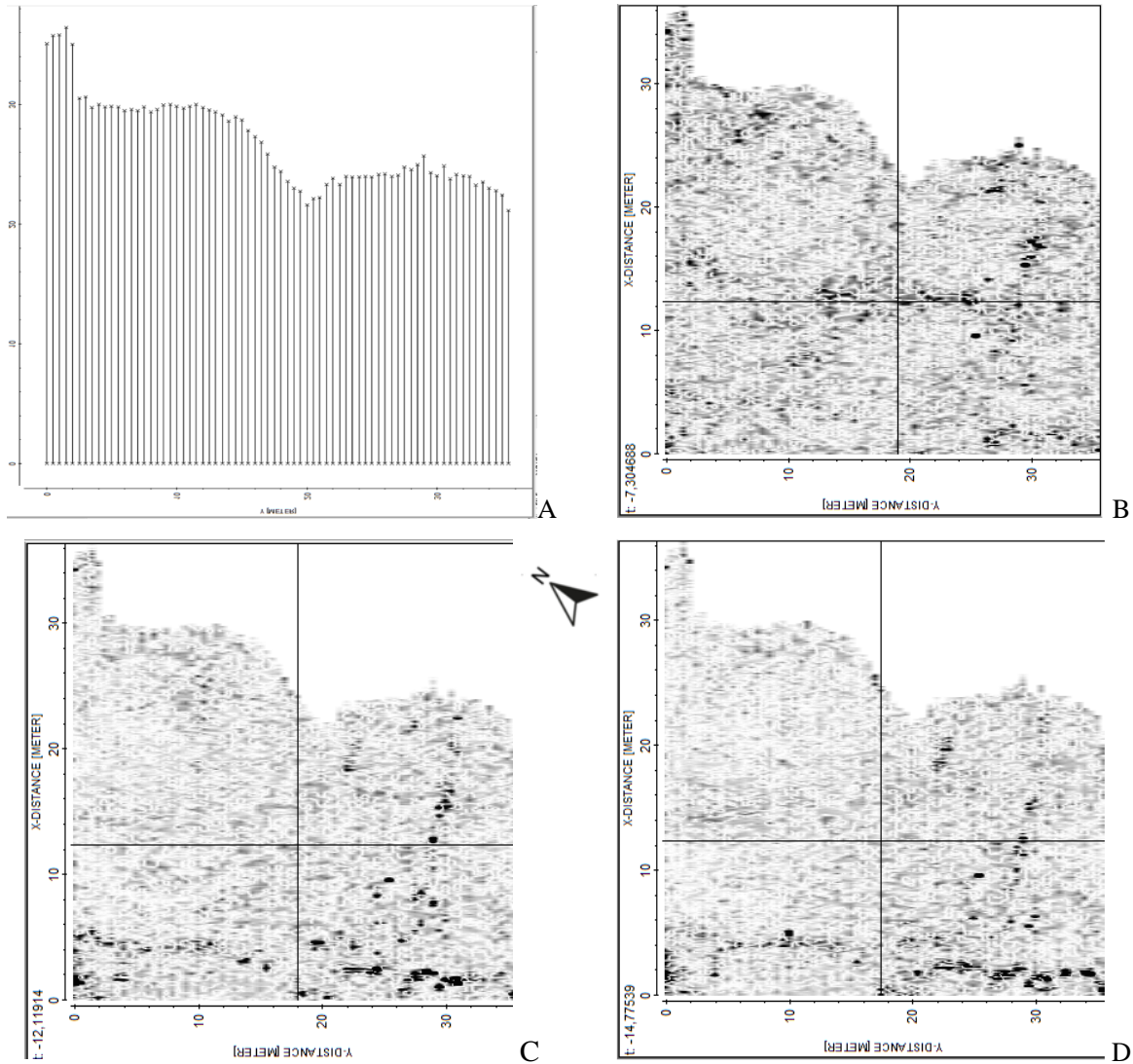
3.2. Ground penetrating radar measurement findings

Yer radarı kat haritalarında, siyah yüksek genlikli sinyalleri temsil ederken, düşük genlikli sinyalleri ise beyaz renk temsil etmektedir. Manyetik ölçümler ile karşılaştırma yapmak ve bağlantı kurmak için sınırları siyah çizgilerle gösterilen alanlarda yer radarı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6). Hem satdum kuzey hem de satdum orta bölge çalışmada, ölçümler birbirine paralel 0.50 metre aralıklı profiller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Jeoradar ölçümlerinde ise ilk olarak Reflexw programında. dzt uzantısından .dat uzantısına dönüştürülüp, geometrileri tanımlanmıştır. Sonrasında ise akım dewow, statik düzeltme, band geçiren filtre (band-pass), dekonvolüsyon ve arka plan gürültü temizleme (back ground removal) işlemleri uygulanarak, otomatik genlik kazanımları (AGC) gerçekleştirilmiştir (Şekil 10). En son aşamasında ise zig-zag yöntemi ile ölçü alınmasından dolayı, çift haneli datalar ters çevirilip, resampling komutu ile tüm datalar bir yere toplanılmıştır.



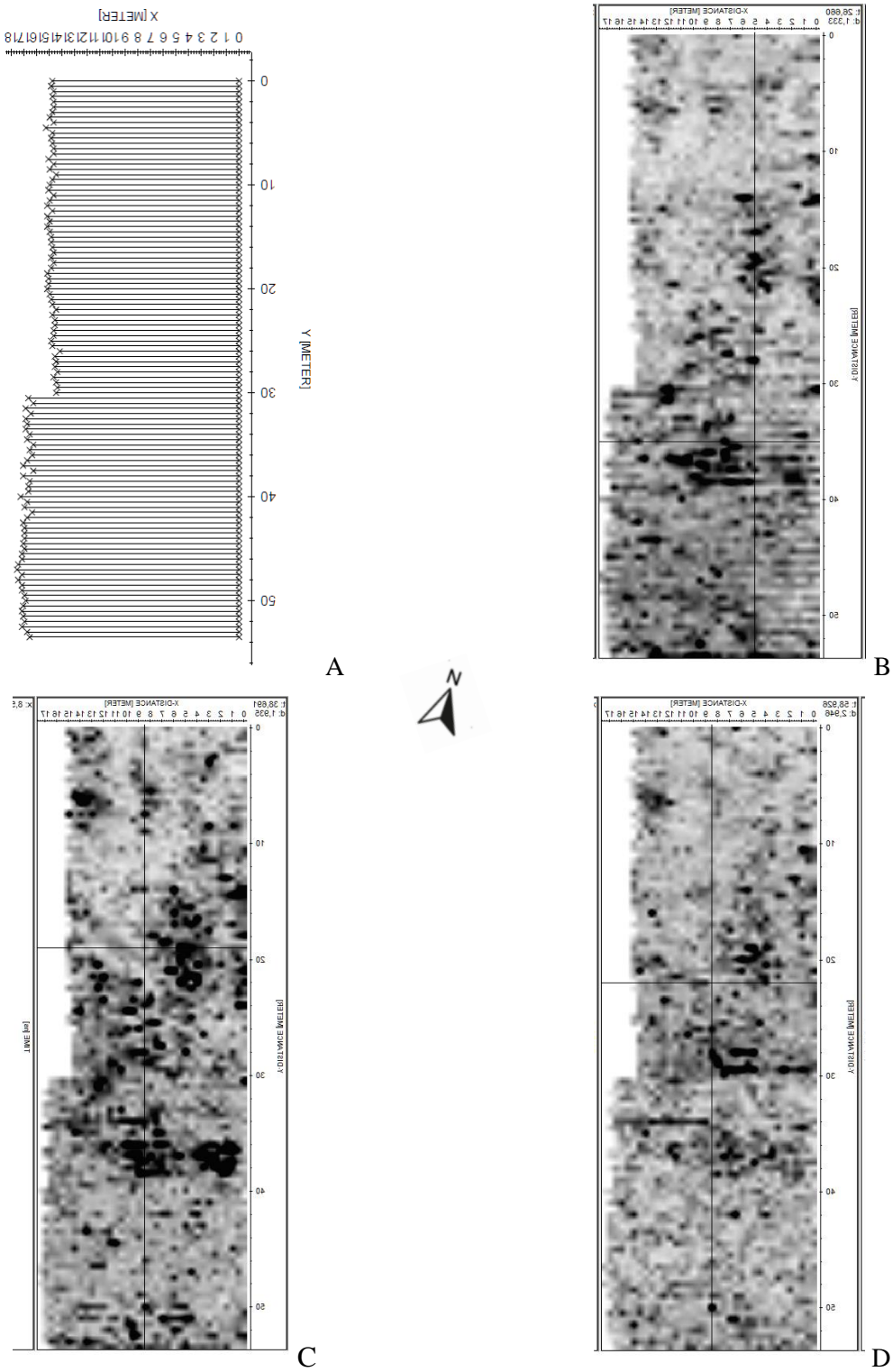
Şekil 10. Veri işlem akış diyagramı

Figure 10. Data processing diagram



Şekil 11. Stadyum kuzey bölgesi yer radarı kesitleri (a) ölçü profilleri, (b) 0,35 m., (c) 0,58 m., (d) 0,73 m.

Figure 11. Ground radar sections of the stadium north area (a) measurement profiles, (b) 0.35 m., (c) 0.58 m., (d) 0.73 m.



Şekil 12. Stadyum orta bölgesi yer radarı kesitleri (a) ölçü profilleri, (b) 1,33 m., (c) 1,93 m., (d) 2,94 m.

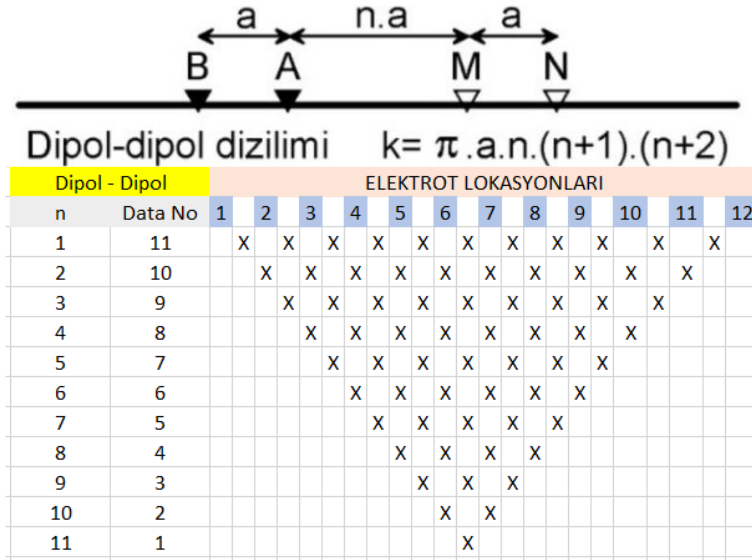
Figure 12. Ground radar sections of the stadium middle area (a) measurement profiles, (b) 1,33 m., (c) 1,93 m., (d) 2,94 m.

3.3. Yer elektrik öz direnç bulguları

3.3. Ground electric resistivity measurement findings

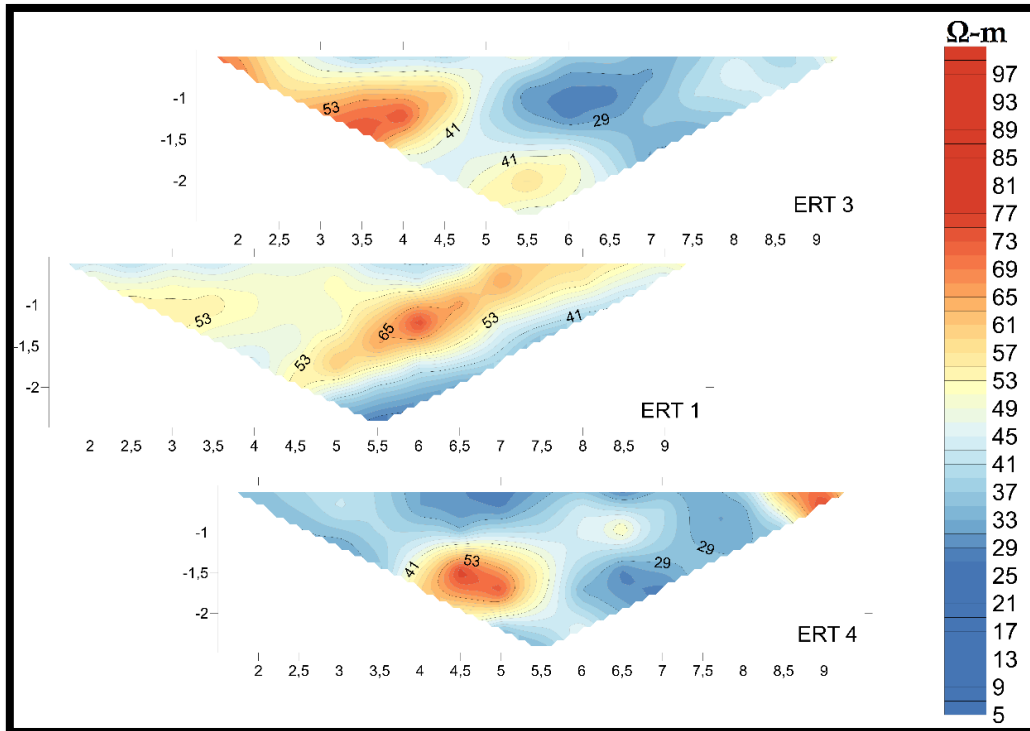
Manyetik yöntem ve yer radarı ölçümlere ek olarak iki boyutlu dipol-dipol öz direnç çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elektrik yöntemler arkeolojik sahalarda gömülü kalmış kültürel mirasın araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırılan konuya göre elektrot dizimleri çeşitli varyasyonlarda

uygulanmaktadır. Söz konusu çalışma sahasında düşey yönde bir değişimden, yanal yönde bir değişimin araştırıldığı için, dipol-dipol dizilimi ile akım elektrotları ve potansiyel elektrotları arası 1 metre olacak şekilde 12 metrelik hat üzerinde potansiyel elektrotları kaydırılarak, manyetik ve yer radarı ölçü profillerine dik olacak şekilde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda amaç, manyetik ve yer radarı kat haritalarında gözlemlenen anomalilerin düşey kesitlerini irdelemektir. Akım ve potansiyel elektrotlarının arası birer metre olacak şekilde, akım elektrotları başta, potansiyel elektrotları ise kaydırmalı olacak şekilde 12 metrelik hat üzerinde ölçüm alınmıştır. Dipol-dipol iki boyutlu öz direnç yönteminde ise renk skalası düşük öz dirençli kısımlar mavi renkte yüksek öz dirençli kısımlar ise kırmızı renkte olacak şekilde ayrılmıştır.



Şekil 13. İki boyutlu dipol-dipol ölçü formülü ve elektrot şematığı (Griffiths ve Barker, 1993'ten değiştirilmiştir)

Figure 13. Two dimension dipole-dipole measurement formula and electrode scheme (revised via Griffiths ve Barker, 1993)



Şekil 14. Stadyum bölgesinde dipol-dipol iki boyutlu öz direnç sonuçları

Figure 14. Dipole-dipole two dimension resistivity anomaly maps in the stadium

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Arkeolojik alanlarda jeofizik çalışmalar, geleneksel kazı tekniklerine göre çok sayıda avantaj sunarak arkeoloji bilimine yardımcı olmaktadır. Kazıdan farklı olarak, jeofizik yöntemler sahanın fiziksel olarak bozulmasını gerektirmediği için, kazı sırasında zarar görebilecek hassas eserlerin ve yapıların korunmasına yardımcı olmaktadır. Jeofizik araştırmalar, geniş alanları nispeten hızlı bir şekilde kapsayarak, arkeologların tam ölçekli kazılara başlamadan önce potansiyel ilgi alanlarını belirlemelerine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım zamandan ve kaynaklardan tasarruf elde ettirirken, daha odaklı kazı stratejileri sağlar.

Bu çalışmada Sillyon antik kenti stadyum alanında olası gömülü arkeolojik kalıntıların görüntülenmesi amacıyla arkeolojik sahalarda tahribatsız araştırma kapsamında manyetik yöntem, yer radarı yöntemi ve yer elektrik yöntemlerinin kullanıldığı bir arkeojeofizik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bazı ölçüm alanlarında mevcut yıkıntılar, yoğun bitki örtüsü ve topoğrafik şartlar özellikle yer radarı uygulamasının bir kısım ölçülerinin gerçekleştirilmesini sınırlandırmıştır. Verilerin korelasyonlarının yapılabilmesi için aynı karelej sistemi kullanılmaya çalışılmıştır. Ancak, arkeolojik alanlardaki yıkıntılar ve zeminin düz olmaması nedeniyle ölçüler birebir örtüşmemiştir.

Bu çalışmada stadyumun kuzeyinde, ortasında ve tribünlerde olmak üzere 3 farklı alanda ölçüler yapılmıştır (Şekil 6).

Tribün Bölümü: Şekil 6' da 5 numara ile gösterilmiş bölümdür. 65 metre uzunluğunda ve 20 metre genişliğinde bir alanı kaplamaktadır. Şekil 17' de verilen düşey gradiyent manyetik anomali haritasına bakıldığında manyetik anomalilerde yatay birbirlerine paralel çizgisellikler harita üzerinde takip edilebilmektedir. Harita üzerinde beyaz kesikli çizgilerle bu alanlar işaretlenmiş ve B1 ve B2 olarak adlandırılmıştır. Bu anomaliler ölçü profillerine diktir. Dolayısıyla bu anomalilerin gürültü olarak değerlendirilmeyip bu alanların stadyumun tribünleri olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Bu alanın taşlık ve eğimin fazla olması nedeniyle jeoradar ve ERT çalışması yapılamamıştır.

Kuzey Bölümü: Şekil 6' da 1 ve 2 olarak belirtilen karelej alanında sırasıyla manyetik ve radar yöntemiyle ölçüler alınmıştır. Ayrıca E1, E3 ve E4 ile gösterilen 3 adet profil boyunca 2D dipol-dipol rezistivite alınmıştır. Şekil 18' de stadyumun kuzey bölümünde yapılan radar ölçülerinden elde edilen kat haritalarının yanında düşey gradiyent manyetik anomali haritası ve 2D dipol-dipol sonuçlarına da yer verilmiştir. Düşey gradiyent manyetik anomali haritasının güney kısmında verev olarak yüksek bir anomali izlenmiştir. Harita üzerinde bu hat siyah kesikli çizgilerle işaretlenmiştir. Bu hat aynı şekil üzerinde verilen 2D GPR profillerinden elde edilen 0.35m, 0.58 m ve 0.73 m kat haritalarında da izlenmektedir. Ayrıca Şekil 17' de bu hat üzerinde E1, E3 ve E4 hatlarının sonuçları verilmiştir. Dipol-dipol iki boyutlu görünür öz direnç veri işleminin neticesinde ise görüldüğü üzere birbirine paralel olarak dizilmiş üç farklı hatta da, bulunduğu düşük öz dirençli homojen zeminle karşılaştırıldığında, yüksek öz direnç değerine sahip, silindirik şeklinde bir yapı gözlemlenmiştir. Bu yapı ise tahmini olarak yüzeyden 1.50 m aşağıdadır. Genişliği ise 0.5 m çapındadır. Yanı sıra ERT sonuçlarında görüldüğü üzere ERT 4 isimli öz direnç haritasında, düşük öz direnç değerlerine sahip alanın, diğer iki profile göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bulunan anomalilerin çoğunun yeraltında gömülü kalmış duvar kalıntılarına işaret ettiği düşünülmektedir.

Orta Bölümü: Şekil 9' da stadyum bölgesinin orta kısmının düşey gradiyent manyetik anomalisi haritasını göstermektedir. Haritanın yukarı kısmında irili ufaklı birbirleriyle ilişkili anomaliler izlenmektedir. Stadyumun oturma alanlarında bulunan blok halindeki sıralı taş malzemenin bu anomalilere sebep olduğu düşünülmektedir. Ancak çalışma alanının yüzeyinde bulunan taş ve kaya döküntülerinin izleri de olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, yer radar verilerinin bu bölgedeki 1,93 m derinliği için elde edilen kat haritasında, anomalisi az belirgin olmasına karşın aynı alanın manyetik verisinde anomali varlığı gözlemlenmektedir (Şekil 12).

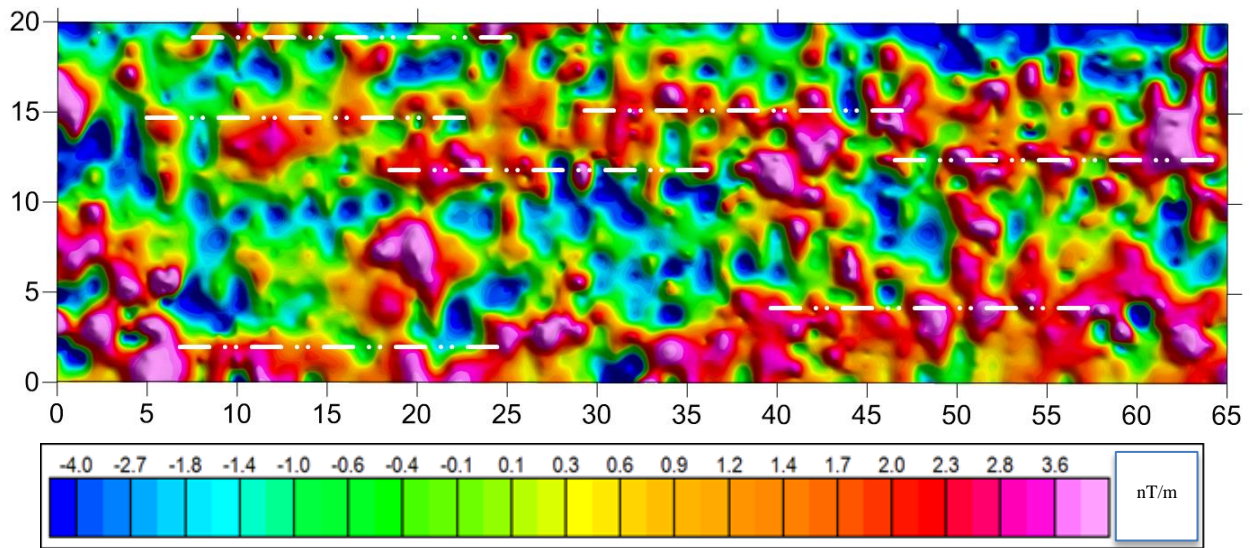
Şekil 15'te tribün bölgesinde gerçekleştirilen kazı çalışmaları, Şekil 16'da ise kazı planlaması yapılan tribünlerin görüntüsü bulunmaktadır.



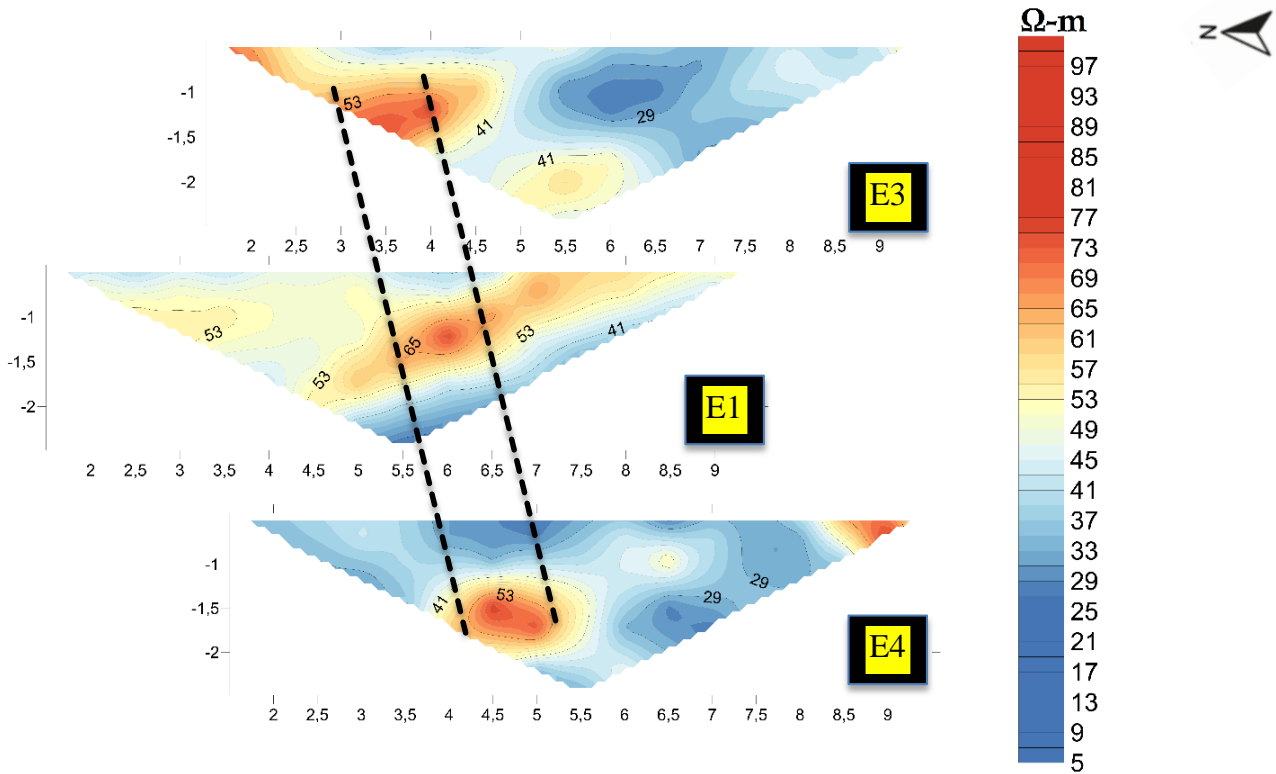
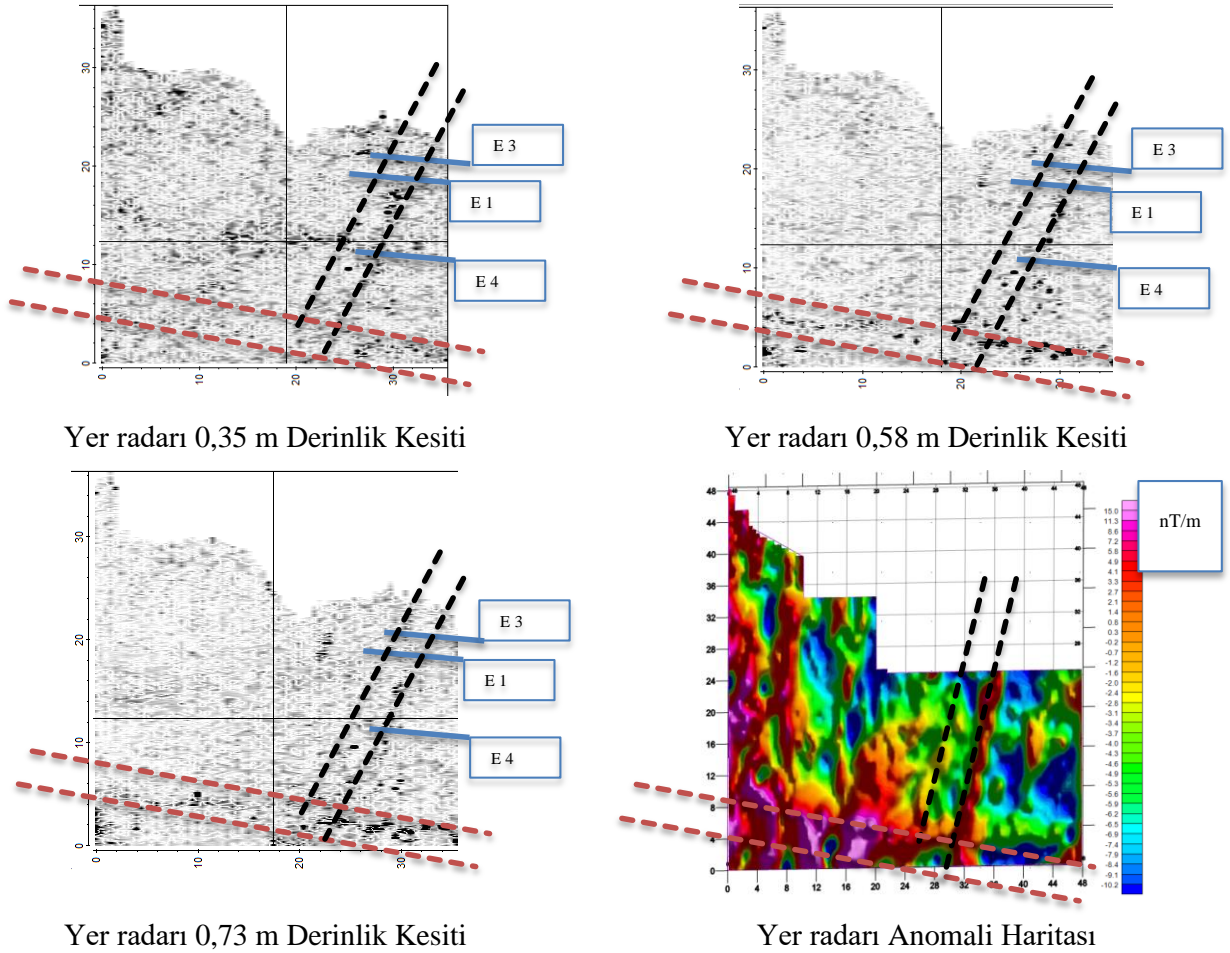
Şekil 15. Stadyum tribün bölgesinde gerçekleştirilen kazı çalışmaları
Figure 15. Excavations carried out in the stadium grandstand area



Şekil 16. Stadyum tribün bölgesinde kazılması planlanan alan
Figure 16. The area planned to be excavated in the stadium tribune area

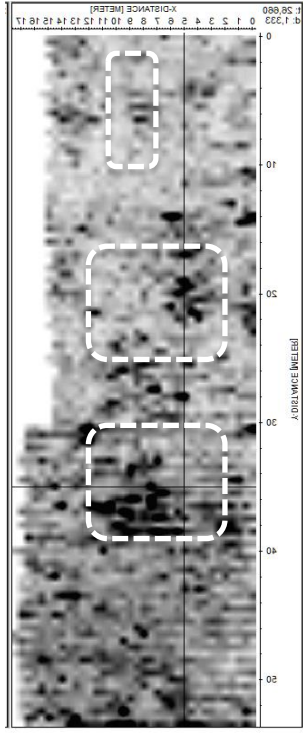


Şekil 17. Stadyum tribün bölgesinde düşey gradiyometrik manyetik anomali haritaları
Figure 17. Vertical gradiometric magnetic measurements anomaly maps in the stadium grandstand area

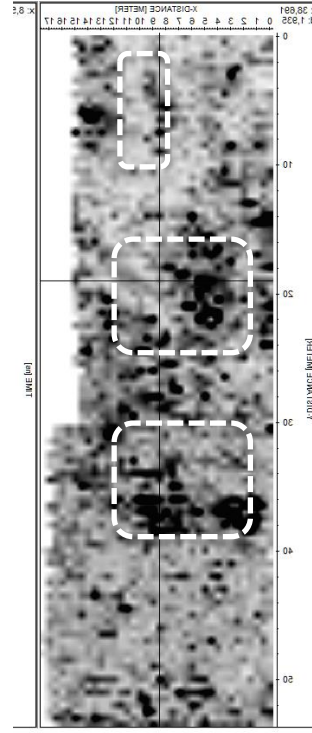


Şekil 18. Stadyum kuzey bölgesinde düşey gradiyometrik manyetik ve jeoradar kesitleri

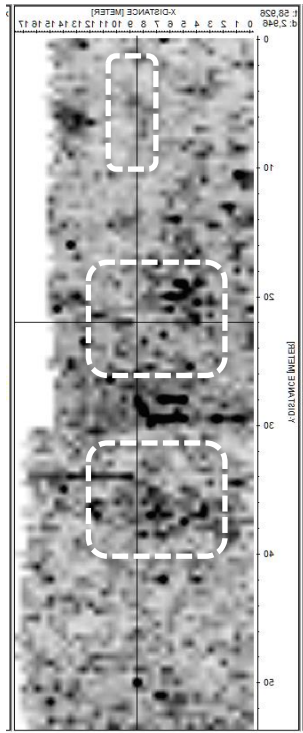
Figure 18. Vertical gradiometric magnetic and ground radar measurements anomaly maps in the stadium tribune area



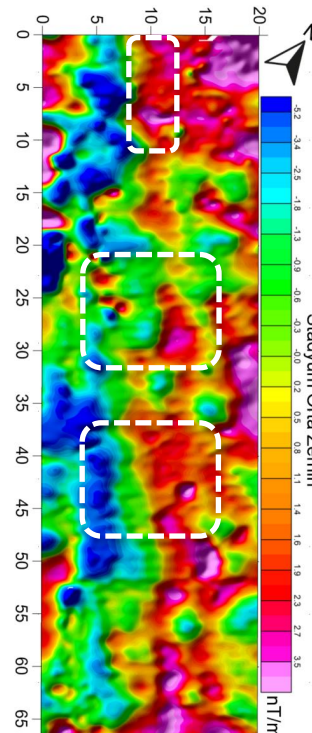
Yer radarı 1,33 m Derinlik Kesiti



Yer radarı 1,93 m Derinlik Kesiti



Yer radarı 2,94 m Derinlik Kesiti



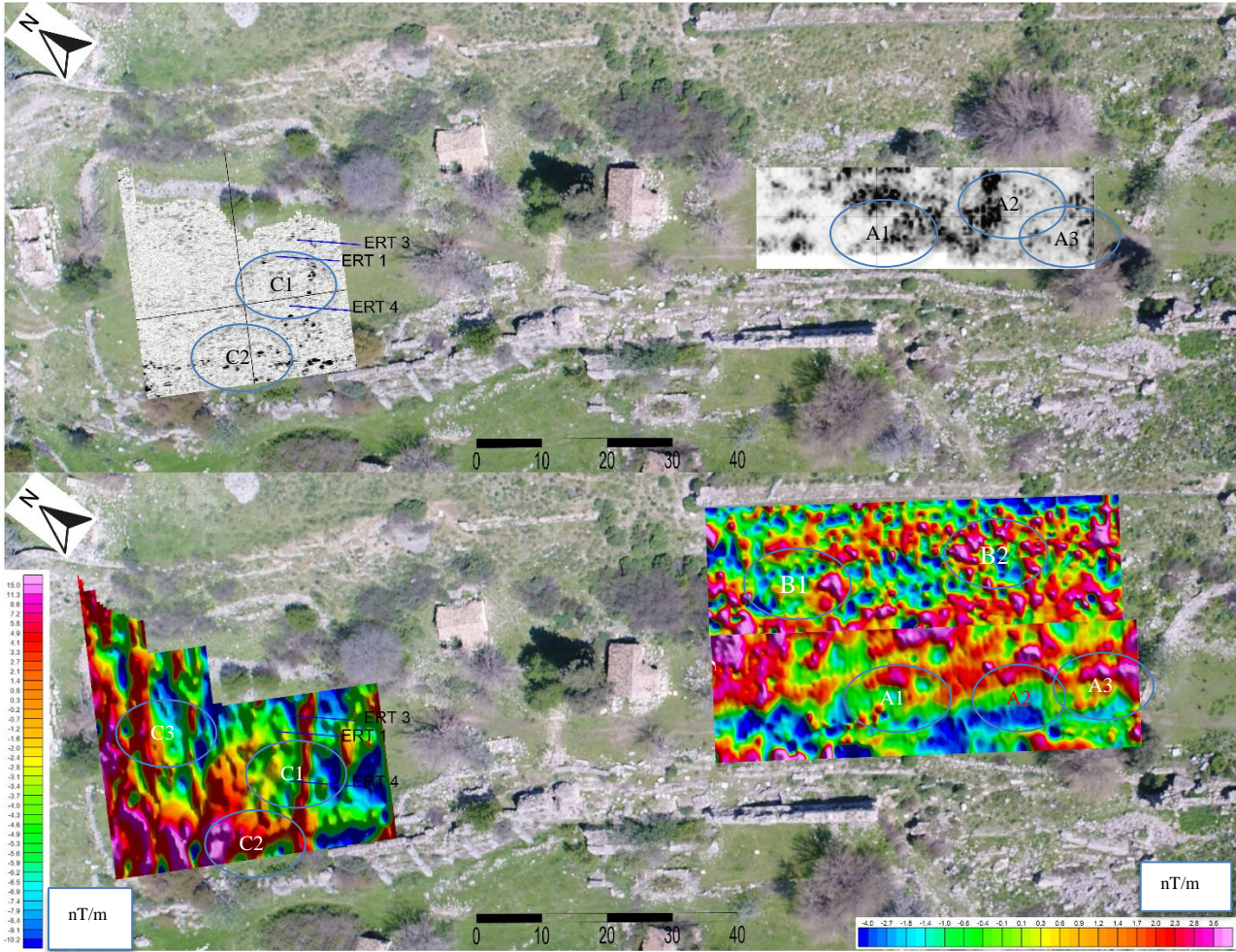
Manyetik Anomali Haritası

Şekil 19. Stadyum tribün bölgesinde düşey gradiyometrik manyetik anomali haritaları

Figure 19. Vertical gradiometric magnetic measurements anomaly maps in the stadium grandstand area

Şekil 19' da stadyum alanına ait jeoradar ve manyetik ölçüler birlikte değerlendirilmiştir. Yukarıda tarif edilen manyetik ve jeoradar kat haritalar üzerinde tespit edilen anomaliler bir yapı ile ilişkilendirilmiş ve harflerle gösterilmiştir. A1, A2, A3 ve A4 ile gösterilen bölgeler stadyumun orta alanı olup hem radar hem manyetik verilerde bir anomali olarak karşımıza çıkmaktadır. Stadyum ortasında gerek manyetik ve gerekse yer radarı

kat haritalarında satdyumun ortasında düzenli bir yapıya işaret eden anomaliler izlenmiştir. Özellikle manyetik haritada A2 ile gösterilen anomalinin yeraltındaki muhtemel duvarlara ya da yamaçtan yıkılan kaya bloklara ait olduğu düşünülmektedir (Şekil 20). Roma dönemi stadyum modelleri incelendiği zaman stadyumun ortasında bulunan dikili taş figürleri göze çarpmaktadır. Muhtemel duvar kalıntıları olarak düşünülen A2 anomalisi, antik çağlarda dikili taşın ayakta durduğu platform olarak değerlendirilebilir. Fakat yapılan araştırmalar neticesinde Sillyon kentinde nüfus yoğunluğu çevre kentlere göre daha az olması sebebiyle tarihsel açıdan böyle bir yapı olası görünmemektedir (Wimmer, 2016). O yüzden söz konusu anomalinin yıkılmış kaya bloklar olduğu üzerine yoğunlaşmıştır. Yine bu noktada stadyumun sınırlarının korunmuş olması ve jeomorfolojik açıdan herhangi bir yıkıntının olmadığı bölgede bulunması da yorum kısmını sınırlamaktadır.



Şekil 20. Stadyum bölgesinde düşey gradiometrik manyetik ve jeoradar ölçümleri anomali haritaları

Figure 20. Vertical gradiometric magnetic and ground radar measurements anomaly maps in the stadium area

Stadyum bölgesinin orta kısmının tribün bölgesinde ise, irili ufaklı birçok anomali katmanlarda görülebilir durumdadır. Stadyumun oturma alanlarında bulunan blok halindeki sıralı taş malzemenin bu anomalilere sebep olduğu düşünülmektedir. Ancak çalışma alanının yüzeyinde bulunan taş ve kaya döküntülerinin izleri de olduğu düşünülmektedir. Roma Hamamı ile stadyum bölgesinin arasında kalan tribün bölgesinde hamamdan yıkılmış olan kaya bloklar tribün bölgesine doğru devrilmiştir. Bu kaya bloklar ölçü alma şartlarını sınırlamaktadır. Anomali haritalarında negatif ve pozitif değerler ölçü hattına dik gelecek şekilde nizami sıralanmasının, kazı yapılan bölgenin güney cephesinde tribünlerin devam ettiğine ilişkin gösterge olarak yorumlanmıştır. İleriki bir kazı döneminde bu çalışmadan elde edilen bulgular ışığında çalışma sahasının arkeologları tarafından bir kazı planlaması düşünülmektedir.

Stadyum bölgesinin kuzey alanında ise, stadyumu diklemesine kesen bir su yolu olduğu olduğu düşünülmektedir. Manyetik anomali haritaları ve jeoradar sonuçlarında C1 isimli anomalinin açılı bir şekilde

KD-GB uzanımlı olduğu görülmektedir. Jeoradar sonuçlarında 0,73 metre derinliğe kadar devam eden anomali daha derinlerde bastırılmakta olup, gözlemlenmemektedir. Fakat elektrik yöntemin neticesinde derinlik analizi 1,50 metre derinliğe kadar devam ettiğini göstermektedir. Su taşıma amacıyla yamaçtan ovaya doğru inşa edilmiş olduğu düşünülen bu su kanalının, Roma döneminin mimarisine uygun olmadığı için, Bizans İmparatorluk dönemi ya da Osmanlı İmparatorluk döneminde, ovada bulunan köye içme suyu sağlamak ya da verimli tarım arazilerinin sulamak amacıyla inşa edildiği düşünülmektedir. Yamaç aşağı boyunca süzülen yer altı ve yer üstü sularının stadyumun güneybatı kısmında surların olduğu bölgede birikme gösterdiği düşünülmekte olup, bu su kanalının surlarla birleştiği noktada ise yıkılmalar meydana gelmiştir. Özdirenç değerlerine göre killi-siltli bir yapısı olduğu düşünülen stadyum bölgesinin içi, su beslenimi ile şişmeye maruz kalıp, surların olduğu bölgeyi yamaç aşağıya doğru ilerletmektedir. Deprem gibi dinamik yükler etkisinde ise alanda göçmeler ve stabilite problemleri ortaya çıkmaktadır.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (İÜCBAP) tarafından 35071 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Bu araştırma, yazarın doktora tez çalışmasının bir parçasını oluşturmaktadır. Yazar, arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Zihni Mümtaz Hisarlı'ya, yüzey araştırması başkanı Dr. Murat Taşkiran'a ve tüm kazı ekibine desteklerinden dolayı teşekkür eder.

Semboller (Gerekli durumlarda veya tercihen kullanılır)

Symbols

nT; nanoTesla

cm; Santimetre

Ωm; Ohm-Metre

MHz; MegaHertz

Yazar katkısı

Author contribution

Engin Erçetin: Makalenin her aşaması ve değerlendirilmelerinde katkı sağlamıştır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Casana, J., Kantner, J., Wiewel, A., & Cothren, J. (2014). Archaeological aerial thermography: a case study at the Chacoera Blue J community, New Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 45, 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.015>
- Deiana, R., Leucci, G., & Martorana, R. (2018). New perspectives on geophysics for archaeology: A special issue. *Surveys in Geophysics*, 39, 1035-1038. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9500-4>
- Deiana, R., & Previato, C. (2023). Geophysical surveys for archaeological research in urban areas: The case of the roman theatre in Padua. *Heritage*, 6(2), 946-956. <https://doi.org/10.3390/heritage6020052>

- Dirix, K., Muchez, P., Degryse, P., Kaptijn, E., Mušič, B., Vassilieva, E., & Poblome, J. (2013). Multi-element soil prospection aiding geophysical and archaeological survey on an archaeological site in suburban Sagalassos (SW-Turkey). *Journal of Archaeological Science*, 40(7), 2961-2970. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.02.033>
- di Santolo, A. S., Evangelista, L., Silvestri, F., Cavuoto, G., Di Fiore, V., Punzo, M., & Evangelista, A. (2015). Investigations on the stability conditions of a tuff cavity: the Cimitero delle Fontanelle in Naples. *Rivista Italiana di Geotecnica XLIX*, (3), 28-46.
- Eppelbaum, L. (2022). System of potential geophysical field application in archaeological prospection. S. D'Amico & V. Venuti (Eds.), *Handbook of Cultural Heritage Analysis*, 771-809. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60016-7_27
- Evangelista, L., de Silva, F., d'Onofrio, A., Di Fiore, V., Silvestri, F., di Santolo, A. S., & Tarallo, D. (2017). Application of ERT and GPR geophysical testing to the subsoil characterization of cultural heritage sites in Napoli (Italy). *Measurement*, 104, 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.042>
- Griffiths, D. H., & Barker, R. D. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of applied Geophysics*, 29(3-4), 211-226. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(93\)90005-J](https://doi.org/10.1016/0926-9851(93)90005-J)
- Herrmann, J. T., King, J. L., & Buikstra, J. E. (2014). Mapping the internal structure of Hopewell tumuli in the Lower Illinois River Valley through archaeological geophysics. *Advances in Archaeological Practice*, 2(3), 164-179. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.2.3.164>
- Jol, H. M. (Ed.). (2008). *Ground penetrating radar theory and applications*. Elsevier.
- Lurje, S. (1959). Burgfrieden in Sillyon. *Klio*, 37(1), 7-20. <https://doi.org/10.1524/klio.1959.37.jg.7>
- Martorana, R., Capizzi, P., Pisciotta, A., Scudero, S., & Bottari, C. (2023). An overview of geophysical techniques and their potential suitability for archaeological studies. *Heritage*, 6(3), 2886-2927. <https://doi.org/10.3390/heritage6030154>
- Masini, N., Capozzoli, L., Chen, P., Chen, F., Romano, G., Lu, P., & Lasaponara, R. (2017). Towards an operational use of geophysics for archaeology in Henan (China): Methodological approach and results in Kaifeng. *Remote Sensing*, 9(8), 809. <https://doi.org/10.3390/rs9080809>
- Özdemir, B. Ş., & Taşkıran, M. (2021). Sillyon'da Ares kültü. *Arkhaia Anatolika*, 4, 109-122. <https://doi.org/10.32949/Arkhaia.2021.28>
- Özer, E., & Taşkıran, M. (2010). Sillyon antik kenti ve çevresi yüzey araştırması 2009.
- Pappalardo, G., Imposa, S., Mineo, S., & Grassi, S. (2016). Evaluation of the stability of a rock cliff by means of geophysical and geomechanical surveys in a cultural heritage site (south-eastern Sicily). *Italian Journal of Geosciences*, 135(2), 308-323. <https://doi.org/10.3301/IJG.2015.31>
- Pecchioli, L., Panzera, F., & Poggi, V. (2020). Cultural heritage and earthquakes: Bridging the gap between geophysics, archaeoseismology and engineering. *Journal of Seismology*, 24, 725-728. <https://doi.org/10.1007/s10950-020-09936-1>
- Piro, S., Beolchini, V., Peña-Chocarro, L., & Pizzo, A. (2023). High resolution multi-methodological geophysical investigations to enhance the knowledge of Tusculum archaeological site (Roma, Italy). *Exploration Geophysics*, 2023,1-16. <https://doi.org/10.1080/08123985.2023.2210155>
- Rabbal, W., Erkul, E., Stümpel, H., Wunderlich, T., Pašteka, R., Papco, J., & 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), 1-20. <https://doi.org/10.1002/arp.1491>
- Rizzo, E., Santoriello, A., Capozzoli, L., De Martino, G., De Vita, C. B., Musmeci, D., & Perciante, F. (2018). Geophysical survey and archaeological data at Masseria Grasso (Benevento, Italy). *Surveys in Geophysics*, 39, 1201-1217. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9494-y>
- Solla, M., Gonçalves, L. M., Gonçalves, G., Francisco, C., Puente, I., Providência, P., & Rodrigues, H. (2020). A building information modeling approach to integrate geomatic data for the documentation and preservation of cultural heritage. *Remote Sensing*, 12(24), 4028. <https://doi.org/10.3390/rs12244028>

- Sayın, N., Tuncer, M., Orbay, N., Özdoğan, M., Özdoğan, A., Özçep, F. Menekşe Çatağında Arkeojeofizik Çalışmalar. *Jeofizik Dergisi*, 9(1).
- Taşkıran, M. (Ed.) (2021). *Sillyon çalışmaları II Pamphylia'nın mağrur kenti Sillyon (Karahisar-I Teke Kalesi) başlangıçtan günümüze bir kent panoraması (I)*. Ege Yayınları
- Taşkıran, M., & Bacanlı, Ü. G. (2022) Sillyon antik kenti su sistemi üzerine bir değerlendirme. *Mediterranean Journal of Humanities XII*, (2022), 143-163 <https://doi.org/10.13114/MJH.2022.579>
- Van Bremen, R. (1994). A family from Sillyon. *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, 43-56.
- Wimmer, M., Humann, I., & Martovitskaya, A. (2016). *Stadium Buildings*. DOM publishers.
- Wynn, J. C. (1986). A review of geophysical methods used in archaeology. *Geoarchaeology*, 1(3), 245-257. <https://doi.org/10.1002/gea.3340010302>
- Yılmaz, S., Oksum, E., Cakmak, O., Dogan, O., & Tekelioğlu, 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(3), 197-207. <https://doi.org/10.1002/arp.1702>