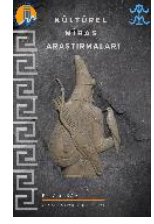




Kültürel Miras Araştırmaları
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/kulmira>
<https://www.kulmira.com/>
e-ISSN 2687-6094



Troya Antik Kenti'nde Arkeomanyetik İncelemeler

Aydın Büyüksaraç^{*1}, Zafer Akpınar², Özcan Bektaş³, Rüstem Aslan⁴

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan MYO, Çanakkale, Türkiye, e-mail: absarac@comu.edu.tr

² Balıkesir Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye, e-mail: zaferakpinar@gmail.com

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, e-mail: obektas@cumhuriyet.edu.tr

⁴ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enst., Osmanlı Arkeolojisi ABD. Çanakkale, Türkiye, e-mail: rustemaslan@comu.edu.tr

Kaynak Göster: Büyüksaraç, A., Akpınar, Z., Bektaş, Ö., & Aslan, R. (2025). Troya Antik Kenti'nde Arkeomanyetik İncelemeler. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 6(1), 32-42.

DOI: 10.59127/kulmira.1670968

Anahtar Kelimeler

Troya Ören Yeri
Paleoyangın
Arkeomanyetizma
Manyetik Duyarlılık
Isıl Kalıntı Mıknatıslanma

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.04.2025
Reviz: 28.04.2025
Kabul: 30.05.2025
Yayınlanma: 01.06.2025



Öz

Arkeomanyetizma, pişmiş arkeolojik malzemelerin manyetik özelliklerinin incelenmesi ve yorumlanmasına dayanan bir yöntemdir. Arkeolojik malzemelerin manyetik özelliklerinin incelenmesi, bunların bileşimi, kökeni ve paleoyangın koşulları hakkında da bilgiler edinmemizi sağlar. Bu teknik, demir oksitler açısından zengin olan ve birkaç yüz santigrat dereceye kadar ısıtılan belirli arkeolojik malzemelerin kararlı bir ısı kalıntı mıknatıslanmayı koruma kapasitesine dayanmaktadır. Bu mıknatıslanma bir sonraki ısıtmaya kadar arkeolojik malzemede saklı kalır ve son ısıtma-soğutma döngüsünün gerçekleştiği yer ve zamandaki geçmiş yer manyetik alanın yönü ve yoğunluğu hakkındaki bilgileri korumaktadır. Bu çalışma kapsamında Troya Ören yerinden uygun lokasyonlardan alınan yönlü ve yönsüz arkeolojik örneklerin manyetik özellikleri laboratuvarında analiz edilmiştir. Yanmış yapılara ait örneklerin χ değerleri $120-370 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ arasında iken, sediman örneklerin χ değerleri $48-90 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ arasında daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Diğer yandan yönlü örneklerin, Alternatif Alan (AF) demanyetizasyonu sırasında izole edilen vektörlerinin eğimi negatif olarak tespit edilmiştir.

Archaeomagnetic Investigations in the Ancient City of Troy

Keywords

Troy Ruins
Paleofire
Archaeomagnetism
Magnetic Susceptibility
Magnetization

Research Article

Received: 07.04.2025
Revised: 28.04.2025
Accepted: 30.05.2025
Published: 01.06.2025

Abstract

Archaeomagnetism is a method based on the study and interpretation of the magnetic properties of baked/burnt archaeological materials. The study of the magnetic properties of archaeological materials also provides information about their composition, origin and palaeofire conditions. This technique is based on the ability of certain archaeological materials, rich in iron oxides and heated to a few hundred degrees Celsius, to retain a stable thermal residual magnetisation. This magnetisation remains hidden in the archaeological material until the next heating, preserving information about the direction and intensity of the Earth's past magnetic field at the time and place where the last heating-cooling cycle took place. As part of this study, the magnetic properties of directional and non-directional archaeological samples taken from suitable locations at the Troy archaeological site were analysed in the laboratory. While the values of the samples belonging to the burnt structures χ were between $120-370 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, the values of the sediment samples χ were found to be between $48-90 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. On the other hand, the slope of the vectors isolated during alternating field (AF) demagnetisation of the directional samples was found to be negative.

1. Giriş

Anadolu'nun Ege kıyıları Holosen'deki kıyı değişimleri bakımından önemlidir. Bu kıyılardaki eski çağlarda kurulmuş olan yerleşim alanları bu değişimlerden etkilenmiş ve zamanla kıyı kenti özelliklerini yitirmişlerdir. Bu yerleşim alanlarından birisi olan Troya, Çanakkale'nin yaklaşık 35 km batı tarafında, Karamenderes (Scamender) nehrinin delta ovası üzerinde kurulu antik bir yerleşim alanıdır. [1] M.Ö. 3550 ile M.Ö. 500 zaman aralığında yerleşim yeri olarak kullanılan Troya'yı, Erken Tunç Çağı'ndan Roma İmparatorluğu'na kadar olan yaklaşık 3000 yıllık dönemi kapsayan eski dünya kronolojisinde önemli bir referans noktası olarak ifade etmektedir. Bu yönüyle, bu antik kentin bir yaşam alanı olarak zaman içerisindeki değişimlerini ortaya çıkarmak ve ölçmek eski uygarlıklar ile yaşadıkları çağın koşullarını keşfetmek ve anlamak açısından oldukça önemlidir. Arkeoloji ve kültür tarihi bakımından önemli bir yere sahip olan Troya bu yönü ile tarih boyunca önemli bilimsel araştırmalara da konu olmuştur.

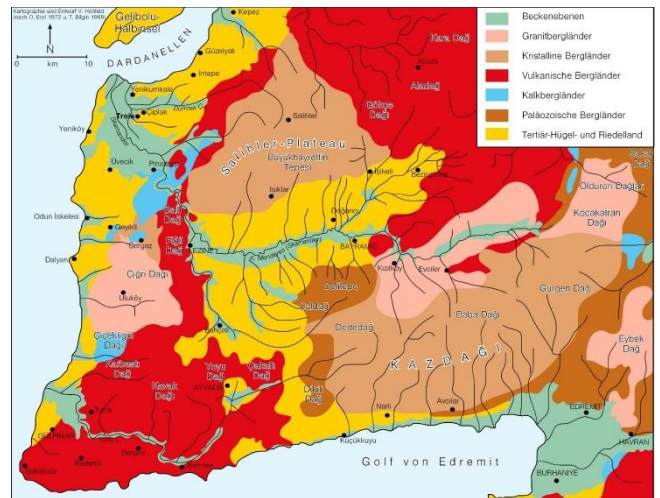
Bu çalışmayla Troya Ören Yeri'nin arkeomanyetik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Arkeomanyetizma, çanak çömlek, kaplar ve fırınlar gibi yanmış arkeolojik malzemelerden elde edilen bulgulara dayanarak geçmiş manyetik alanı belirlemeye odaklanır. Belirli bir bölge ve dönem için geniş ve iyi belirlenmiş bir arkeomanyetik alan, güvenilir bir tarihlendirme aracı olarak kullanılabilir. Arkeomanyetizmayı oluşturan temel olgu, yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılan kil bakımından zengin bazı arkeolojik malzemelerin, son soğumaları sırasında mevcut olan yer manyetik alanı hakkındaki bilgileri bünyesinde barındırma kabiliyetidir. Manyetit ve maghemit gibi demir oksit bakımından zengin malzemeler Curie sıcaklığının üzerinde ısıtılırsa, ortamdaki jeomanyetik alan yönünde kolayca mıknatıslanma kazanırlar. Arkeomanyetizma, dünyanın manyetik alanının yavaş zamansal değişimini gösteren jeofiziksel ve manyetik alanın, yanmış bir yapının soğuması sırasında pişmiş kil malzemede bulunan demir oksitler tarafından kaydedilmesini temsil eden iki olguya dayanır. Bu manyetik kayıt önemli bir kararlılığa sahip olmasının yanında aynı zamanda güçlü bir ısı kalıntısı mıknatıslanma (IKM) biçimindedir.

IKM'nin olduğu ortamın manyetik alanına paralel ve orantılı olduğu hipotezinden yola çıkarak, pişirilmiş kil ve yanmış malzemelerin laboratuvar ortamındaki manyetik analizleri, antik manyetik alanın belirlenmesini sağlamaktadır. Pişmiş kil, ocaklar, fırınlar, çanak-çömlek ve yangınlar sırasında yanmış tekrar soğumuş benzer malzemeler arkeolojik alanların benzer özellikleridir. Bu malzemeler arkeolojik alanlarda bol miktarda vardır ve antik alanlardaki arkeomanyetizma çalışmalarının ana malzemeleridir. Arkeomanyetizma, kronolojik olarak uygulamasının yanı sıra, yanmış malzemelerle ilgili saha oluşum süreçlerinin yeniden yapılandırılması için de önemli bir yöntemdir. Bu yöntemle, yanmış arkeolojik malzemeler tanımlanabilir, yerinde soğuyup soğumadıkları ve pişirme sıcaklıkları belirlenebilir.

1.1. Çalışma alanı

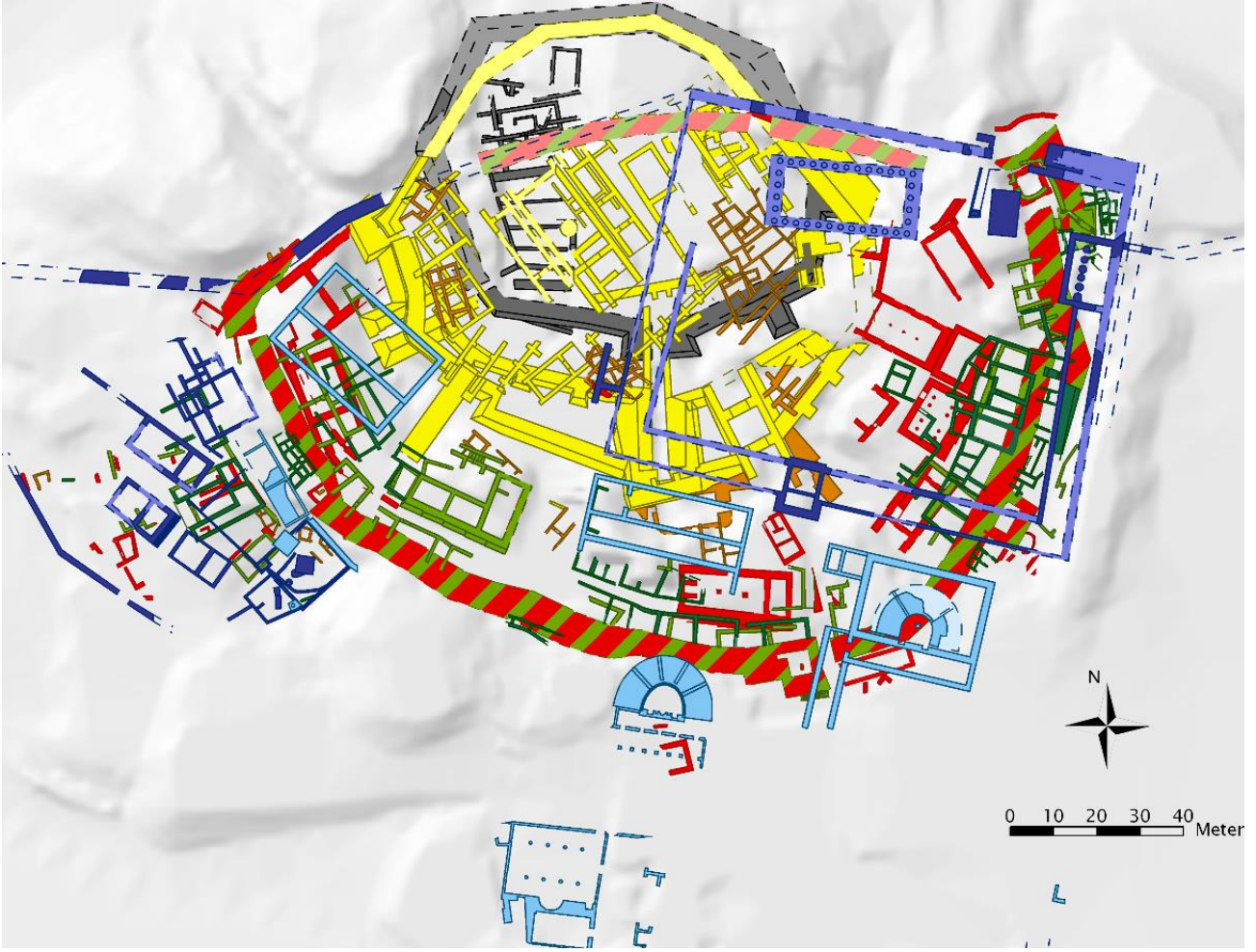
Çanakkale'ye yaklaşık 35 km mesafede bulunan Troya antik yerleşim alanı, Biga Yarımadası'nın batısında, Çanakkale Boğazı'nın batıda Ege Denizi ile birleştiği bölgenin güneyinde Karamenderes Deltasında yer almaktadır (Şekil 1). Biga Yarımadası üzerinde Troya yerleşim alanının yer aldığı bölge, antik dönemde Troas olarak bilinmektedir. Kuzeyinden Dümrek, güneybatısından Karamenderes nehirleri ile sınırlanan bu eski kent yerleşimi, Ege Denizi'ne kıyından 6 km ve Çanakkale Boğazı'na kıyından 4,5 km uzaklıkta oldukça stratejik bir konuma sahiptir.

Kuzeybatı Anadolu'da Biga Yarımadası üzerinde yer alan Troya, Homeros destanlarındaki popülerliği kadar, Erken Bronz çağından Bizans dönemine uzanan tarihi ve karmaşık stratigrafisiyle de bilinen çok evreli bir yerleşim olarak önemli bir antik kenttir. Troya Ören Yeri'ndeki ilk kazılar Alman Heinrich Schliemann tarafından 1871 yılında başlamış ve aralıklarla 1890 yılına kadar devam etmiştir. 1893-1894 yılları arasındaki kazılar ise Alman mimar ve arkeolog Wilhelm Dörpfeld tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu dönemden itibaren uzun bir aradan sonraki kazılar ise Amerikalı arkeolog Carl W. Blegen tarafından 1932-1938 yılları arasında yapılmıştır. Bunu takiben kazılara yaklaşık 50 yıllık bir arada verilmiş, sonrasında Tübingen Üniversitesi' den Manfred Korfmann tarafından yeniden başlatılmıştır.



Şekil 1. Troas Bölgesi'nin jeolojik haritası [1] (Şekil 10).

Bölgede yapılan arkeolojik araştırmalar [1], Troya ve çevresindeki yerleşim tarihinin Neolitik dönemde başladığını ortaya koymuştur. Hisarlık Tepe/Troya'daki yerleşimin tarihi ise MÖ. 3500'lerde başlayıp MS 14. yüzyılın başına kadar devam etmiştir. Bu anlamda arkeolojik yerleşim katmanı olarak 10 farklı dönem (Troya I-X) ve çok sayıdaki alt evrelerden oluşan bir stratigrafiye söz konusudur. (Şekil 2). Yaşam alanlarının inşasında Anadolu'da yaygın olduğu gibi, duvarlarda büyük ölçüde kerpiç kullanılmıştır. Yıkılan evlerin yeniden yapımında, kerpiç tekrar kullanıma uygun olmadığı için yıkılan eski evler düzeltilip, üstüne yeni binalar yapılmıştır. Bunun sonucunda da her inşa evresinde yükselen ve yaklaşık 16 metreyi geçen bir höyük meydana gelmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Troya yerleşim katmanları, [1] (Şekil 5).

Troya'da eskiden yeniye doğru birbiri üzerine inşa edilmiş farklı 10 ana yerleşim evresi yer almaktadır. Denizsel Troya kültürü olarak adlandırılan Troya I-III, Bu dönem M.Ö. 3000-M.Ö. 2100 dönemini kapsamaktadır. Troya IV-V, Anadolu karakterini yansıtan Troya Kültürü M.Ö. 2100'den M.Ö. 1700'lere kadar olan dönemi temsil etmektedir. M.Ö. 1700-M.Ö. 1100'lere kadar olan Troya VI-VII dönemi ise Yüksek Troya Kültürü olarak tanımlanmaktadır. Birkaç yüzyıllık bir yerleşme boşluğundan sonra M.Ö. 700'lerde başlayıp M.Ö. 85'lere kadar süren Troya VIII ise Grek yerleşmesi olarak ifade edilmiştir. Roma yerleşkesi olarak isimlendirilen Troya IX ise M.Ö. 85'lerden başlayıp, M.S. 500'lere kadar devam eden dönemi kapsamaktadır. 13. yüzyıldan başlayıp 14. yüzyıla kadar devam eden Troya X ise Bizans yerleşkesi olarak ifade edilmektedir [1].

2. Materyal Metod

2.1. Numunelerin toplanması ve analiz için hazırlanması

Paleomanyetizma ve arkeomanyetizma kayaçların geçmiş mıknatıslanma özelliklerinden hareketle zaman ve konum belirleme amaçlı kullanılan, yaygın veri ile çalışılması durumunda hassasiyeti yüksek sonuçlar ortaya koyabilmektedir. [2] Büyüksaraç vd. Kapadokya Bölgesi'nde yaptıkları çalışmada, Kapadokya'nın

tektonik evrimi ile ilgili önemli bulgular tanımlamışlardır. Bölge jeolojik açıdan ince bir tüf tabakası, ince bir bazalt tabakası ve tüf altında aşınmaya daha dayanıklı volkanik kayalardan oluşur. [7] Bölge kalın bir tüf tabakasından oluşur ve bu tabaka, alttaki tüften daha fazla aşınmaya dayanıklı olan ince bir bazalt veya diğer volkanik kaya tabakasıyla kaplıdır[8].



Şekil 3. Troya kentlerinin rekonstrüksiyonu [1] (Şekil 12. Resim Chr. Haussier).

Proje çalışmaları kapsamında Troya Antik Kenti'nde 10 adet serbest numune ve 2 adet yönlü numune 12

lokasyondan toplanan arkeomanyetik numuneler (Şekil 4), Bulgaristan Bilimler Akademisi'nde Paleomanyetizma-Arkeomanyetizma Laboratuvarı'nda analiz edilmek üzere Sofya'ya götürülmüştür. Alanda bulunan arkeolojik malzemelerin bütünlük oluşturmaması, kilden üretilmiş ocak vb. yapıların aşırı gevşek olmasından dolayı yalnızca 2 adet yönlü numune alınabilmektedir. Bu nedenle çoğunlukla numuneler serbest numune olarak alınmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında kalıntı mıknaatıslama ölçümüne hazırlamak için numuneler, seramik bir kap içerisinde ezilerek toz haline getirilmiştir (Şekil 5). Öncelikle numunelerin ölçüm sırasında içerisine konulacağı 2 cm³'lük silindirik plastik kaplar temizlenerek boş ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir.



Şekil 4. Troya Ören yerinden toplanan yönlendirilmiş ve serbest numunelerin alınması ve analize hazırlanması aşamaları



Şekil 5. Numunelerin seramik bir kap içerisinde ezilerek toz haline getirilmesi

Sonra bu numuneler 2 cm³'lük silindirik kalıplara doldurulup sıkıştırılarak ölçüm için hazırlanmıştır. Ölçüme hazırlığın son aşamasında ise kaplara doldurulup sıkıştırılarak ölçüme hazır hale getirilen numunelerin dolu ağırlığı ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Numuneler demanyetizasyon ölçümleri için de silindirik kaplar yerine sekizgen şekilli plastik kaplar kullanılarak aynı şekilde hazırlanmıştır (Şekil 6).

Serbest numunelerle birlikte fırın çatısından alınan iki adet yönlü numune ilk olarak, yerinde işaretlenen coğrafi yönelim korunarak alçı sabitlenmiştir. Alçı sertleştikten sonra, 2×2×2 cm'lik yönlendirilmiş kübik numuneler şeklinde kesilmiştir. Her bir numuneden alt iki numune daha oluşturulmuştur. Bunlar, malzemenin son pişirilmesi sırasında elde edilen birincil ısıl kalıntı mıknaatıslanmayı (IKM) elde etmek için doğal kalıntı mıknaatıslanmanın (DKM) kademeli alternatif alan (AF) demanyetizasyonu [3] için kullanılmıştır.



Şekil 6. Serbest numunelerin toz haline getirildikten sonra ölçüm için hazırlanma evresi

2.2. Numunelerin Kalıntı Mıknatıslanma Ölçümü

Kaya-manyetik ölçümler, Sofya Bulgaristan Bilimler Akademisi Ulusal Jeofizik, Jeodezi ve Coğrafya Enstitüsü'ndeki iş birliği ortağı Paleomanyetizma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Manyetik duyarlılık (K), MFK-1A kappabridge (AGICO Ltd., Çekya) kullanılarak iki frekansta ölçülmüştür (düşük-Klf 976 Hz ve yüksek-Khf 15616 Hz). Kütleye özgü manyetik duyarlılık (χ), hacime özgü duyarlılık (K)'nin numunenin ağırlığına göre normalleştirilmesiyle elde edilmiştir. Frekans bağımlı manyetik duyarlılık (χ_{fd}) ayrıca şu şekilde hesaplanmıştır: $\chi_{fd} = \chi_{lf} - \chi_{hf}$ veya yüzde frekans bağımlı manyetik duyarlılık $\% \chi_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100$. Ayrıca, numuneler Anhisteretik Kalıcı Mıknatıslanma (ARM) ve izotermal kalıcı mıknatıslanma (IRM) oluşturmak için kullanılmıştır. ARM, ARM ataşmanlı bir Mol-spin Minispin AF-demagnetizator (Molspin Ltd., İngiltere) kullanılarak sağlanmıştır. 100 mT'lık AF tepe genliği

ve 0,1 mT'lık zayıf ve kararlı bir doğru akım alanı uygulanmıştır. Anhisteretik duyarlılık (χ_{ARM}), ARM'nin uygulanan doğru akım alanının şiddetine bölünmesiyle hesaplanmıştır. IRM, 2T gücünde alan (doğru izotermal kalıcı mıknatıslanma SIRM) uygulayan ASC darbe mıknatıslayıcı Model IM-10-30 (ASC Scientific, ABD) kullanılarak indüklenerek, IRM200 mT'yı elde etmek için 200 mT'lık ters alan kullanılmıştır. S oranı [4], IRM200 mT kullanılarak, $S = \text{IRM200mT} / \text{SIRM}$ şeklinde hesaplanmıştır. Manyetik olarak sert kalıcılık taşıyan minerallerin mutlak konsantrasyonunun bir göstergesi olarak kullanılan [4], Sert İzotermal Kalıcı Mıknatıslanma (HIRM) parametresi, $\text{HIRM} = (\text{SIRM} - \text{IRM}_{0.2T}) / 2$ şeklinde hesaplanmıştır.

Bu ölçümler için önceden hazırlanan, silindirik kaplara sıkıştırılarak yerleştirilmiş olan numuneler kullanılmıştır. Bu numunelerin manyetik duyarlılıkları ölçülmüş, ölçüm sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2'de listelenmiştir.

Tablo 1. Serbest numunelere ait manyetik duyarlılık ölçümleri (**Frekans:976**). Holder ($\text{Re} = -1,29 \times 10^{-2}$) ve ($\text{Im} = 9,33 \times 10^{-8}$) olarak elde edilmiştir.

No	KRe Raw	KIm Raw	KRe Corr	KIm Corr	Phase	Mass	KRe Mass	KIm Mass	Range
21	$1,91 \times 10^{-3}$	$5,50 \times 10^{-5}$	$1,92 \times 10^{-3}$	$5,49 \times 10^{-5}$	1,64	10,58	$1,81 \times 10^{-6}$	$5,19 \times 10^{-8}$	3
22	$1,05 \times 10^{-3}$	$3,93 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-5}$	2,12	10,59	$1,00 \times 10^{-6}$	$3,70 \times 10^{-8}$	3
23	$4,04 \times 10^{-3}$	$1,58 \times 10^{-4}$	$4,05 \times 10^{-3}$	$1,58 \times 10^{-4}$	2,23	10,99	$3,69 \times 10^{-6}$	$1,44 \times 10^{-7}$	4
24	$1,58 \times 10^{-3}$	$4,75 \times 10^{-5}$	$1,59 \times 10^{-3}$	$4,74 \times 10^{-5}$	1,71	10,98	$1,45 \times 10^{-6}$	$4,32 \times 10^{-8}$	3
25	$9,03 \times 10^{-4}$	$4,31 \times 10^{-5}$	$9,16 \times 10^{-4}$	$4,30 \times 10^{-5}$	2,69	11,14	$8,22 \times 10^{-7}$	$3,86 \times 10^{-8}$	3
26	$3,82 \times 10^{-3}$	$1,39 \times 10^{-4}$	$3,83 \times 10^{-3}$	$1,39 \times 10^{-4}$	2,08	10,28	$3,73 \times 10^{-6}$	$1,35 \times 10^{-7}$	4
27	$1,85 \times 10^{-3}$	$5,26 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-3}$	$5,25 \times 10^{-5}$	1,62	10,87	$1,71 \times 10^{-6}$	$4,83 \times 10^{-8}$	3
28	$1,73 \times 10^{-3}$	$4,61 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-3}$	$4,60 \times 10^{-5}$	1,51	10,69	$1,63 \times 10^{-6}$	$4,30 \times 10^{-8}$	3
29	$1,91 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-4}$	$1,93 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-4}$	3,76	10,5	$1,83 \times 10^{-6}$	$1,20 \times 10^{-7}$	3
30	$1,92 \times 10^{-3}$	$8,27 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^{-3}$	$8,26 \times 10^{-5}$	2,45	11,42	$1,69 \times 10^{-6}$	$7,23 \times 10^{-8}$	3

Tablo 2. Serbest numunelere ait manyetik duyarlılık ölçümleri (**Frekans:15616**). Holder ($\text{Re} = -1,67 \times 10^{-2}$) ve ($\text{Im} = -3,03 \times 10^{-7}$) olarak elde edilmiştir.

No	KRe Raw	KIm Raw	KRe Corr	KIm Corr	Phase	Mass	KRe Mass	KIm Mass	Range
21	$1,82 \times 10^{-3}$	$9,23 \times 10^{-5}$	$1,84 \times 10^{-3}$	$9,26 \times 10^{-5}$	2,88	10,58	$1,74 \times 10^{-6}$	$8,75 \times 10^{-8}$	4
22	$9,83 \times 10^{-4}$	$6,56 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-3}$	$6,59 \times 10^{-5}$	3,77	10,59	$9,44 \times 10^{-7}$	$6,22 \times 10^{-8}$	4
23	$3,78 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-4}$	$3,79 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-4}$	3,2	10,99	$3,45 \times 10^{-6}$	$1,93 \times 10^{-7}$	4
24	$1,50 \times 10^{-3}$	$8,24 \times 10^{-5}$	$1,52 \times 10^{-3}$	$8,27 \times 10^{-5}$	3,11	10,98	$1,39 \times 10^{-6}$	$7,53 \times 10^{-8}$	4
25	$8,29 \times 10^{-4}$	$6,73 \times 10^{-5}$	$8,46 \times 10^{-4}$	$6,76 \times 10^{-5}$	4,57	11,14	$7,59 \times 10^{-7}$	$6,06 \times 10^{-8}$	4
26	$3,58 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^{-4}$	$3,60 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^{-4}$	3,06	10,28	$3,50 \times 10^{-6}$	$1,87 \times 10^{-7}$	4
27	$1,77 \times 10^{-3}$	$8,99 \times 10^{-5}$	$1,78 \times 10^{-3}$	$9,02 \times 10^{-5}$	2,9	10,87	$1,64 \times 10^{-6}$	$8,30 \times 10^{-8}$	4
28	$1,66 \times 10^{-3}$	$8,48 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{-3}$	$8,51 \times 10^{-5}$	2,91	10,69	$1,57 \times 10^{-6}$	$7,96 \times 10^{-8}$	4
29	$1,70 \times 10^{-3}$	$1,71 \times 10^{-4}$	$1,71 \times 10^{-3}$	$1,71 \times 10^{-4}$	5,71	10,5	$1,63 \times 10^{-6}$	$1,63 \times 10^{-7}$	4
30	$1,79 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-4}$	3,89	11,42	$1,58 \times 10^{-6}$	$1,07 \times 10^{-7}$	4

2.3. Demanyetizasyon Ölçümleri

Demanyetizasyon ölçümleri için, seramik kapta toz haline getirilip sekizgen plastik kaplara doldurularak sıkıştırılan numuneler kullanılmıştır. Ölçüme hazır hale getirilen bu numunelerin mıknatıslanma düzeyleri spinner manyetometresi kullanılarak x-z, y-z ve x-y doğrultularında üçer kez tekrarlanıp ortalamaları alınmıştır (Tablo 3).

Sonraki aşamada kayaç veya manyetik minerallere, şiddeti giderek sıfıra doğru azalan bir Alternatif Manyetik alan ile sabit şiddet ve yöne sahip bir dış alanın birlikte etkimesi sonucu kazanılan kalıcı mıknatıslanma çeşidi olan Anhisteritik Kalıcı Mıknatıslanma (AKM) düzeyini belirlemek için alternatif alan temizleme yöntemiyle ölçüme devam edilmiştir.

Tablo 3. Troya ören yeri serbest numunelere ait mıknatıslanma şiddet ölçüm sonuçları

TROYA/ 2-21				TROYA/ 2-22				TROYA/ 2-23			
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	5.42	0.60	0.02	Ortalama	2.88	0.20	0.10	Ortalama	11.72	1.62	-0.27
Modulus 545.6×10 ⁻³ A/m Prec 0.2ø 0.1%				Modulus 288.8×10 ⁻³ A/m Prec 0.2ø 0.1%				Modulus 1.183×10 ⁻³ A/m Prec 0.3ø 0.2%2,			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
6		0		4		2		8		-1	
TROYA/ 2-24				TROYA/ 2-25				TROYA/ 2-26			
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	4.31	0.29	-0.06	Ortalama	24.01	-2.02	-0.44	Ortalama	11.10	-0.67	0.42
Modulus 432.1×10 ⁻³ A/m Prec 0.4ø 0.2%				Modulus 240.9×10 ⁻³ A/m Prec 0.6ø 0.3%				Modulus 1.113E+00 A/m Prec 0.0ø 0.3%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
4		-1		355		-1		357		2	
TROYA/ 2-27				TROYA/ 2-28				TROYA/ 2-29			
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	4.71	-0.14	-0.01	Ortalama	4.20	0.08	-0.02	Ortalama	4.02	-0.67	0.39
Modulus 470.8×10 ⁻³ A/m Prec 0.4ø 0.2%				Modulus 420.5×10 ⁻³ A/m Prec 0.2ø 0.1%				Modulus 409.8×10 ⁻³ A/m Prec 9.0ø 5.0%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
358		0		1		0		351		5	
TROYA/ 2-30											
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)								
Ortalama	4.50	-0.40	0.02								
Modulus 452.2×10 ⁻³ A/m Prec 0.3ø 0.2%											
DECL		INCL									
355		0									

Doğada çoğunlukla yıldırım isabet eden kayaçlarda görülen bu mıknatıslanma çeşidinin, yıldırımı oluşturan elektrik akımının bir kısmının alternatif, bir kısmının da doğru akımdan oluştuğu kabul edilmektedir. Alternatif ve doğru akımların oluşturduğu manyetik alanlar yıldırım isabet eden kayaçları ve civarını aynı anda etkilemektedir. AKM, paleomanyetizma yönünden istenmeyen bir kalıcı mıknatıslanma türüdür. Araziden toplanan numunelerdeki sekonder mıknatıslanmalar

alternatif manyetik alan temizleme yöntemi ile temizlenebilmektedir. Bu yöntemde numune belirli şiddette bir alternatif manyetik alan içine konur, daha sonra alanın şiddeti düzgün bir değişimle sıfıra ulaşacak biçimde azaltılır. Alternatif alanla temizleme işlemi sırasında numune yer manyetik alanı içinde bulunuyorsa uygulanan alternatif alan şiddeti kademe kademe artırıldıkça numune bir yandan doğada kazandığı sekonder mıknatıslanmayı yitirirken istenmeyen bir

başka sekonder mıknatıslanma olan AKM kazanır. Bu sekonder mıknatıslanmanın yönü, giderek temizleme işleminin uygulandığı noktadaki yer manyetik alanın yönüne yaklaşır. Bir numune tarafından kazanılan AKM'nin şiddeti, numunenin içinde bulunduğu sabit alanın (h) şiddeti ve numuneye uygulanan alternatif alanın (H) şiddetiyle doğru orantılı artış gösterir. Bir numune tarafından kazanılan AKM sıcaklıkla temizleme yöntemine karşı çok dirençlidir. Sabit bir dış alan etkisinde bir numune tarafından kazanılan AKM'nin şiddeti

aynı dış alan içinde eşit, numune tarafından kazanılan Isıl Kalıcı Mıknatıslanmanın (IKM) şiddetinden küçük, Eş Isıl Kalıcı Mıknatıslanmanın (EIKM) şiddetinden büyüktür. Bu doğrultuda numunelere 2 farklı düzeyde alternatif manyetik alan uygulaması yapılarak, ilk aşamada ölçüm için hazırlanan numuneler düşük düzeyli 0.2 T'lık alternatif alan temizleme işlemine tabi tutulmuştur (Tablo 4). İkinci aşamada ise numuneler 2 T'lık alternatif alan temizleme işlemine tabi tutularak, sonuçlar kaydedilmiştir (Tablo 5).

Tablo 4. Troya ören yerinde toplanan serbest numunelere 0.2 T alternatif manyetik alan uygulaması sonucunda mıknatıslanma şiddeti değerleri

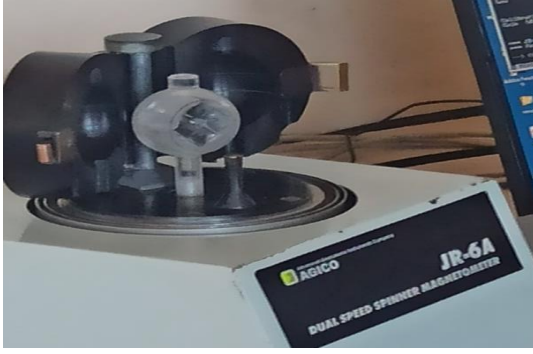
TROYA/ 2-21				TROYA/ 2-22				TROYA/ 2-23			
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	0.00	0.06	-2.91	Ortalama	-0.05	0.15	-11.03	Ortalama	-0.04	0.12	-6.02
Modulus 29.06 A/m Prec 0.4ø 0.2%				Modulus 11.03 A/m Prec 0.7ø 0.4%				Modulus 60.23 A/m Prec 0.5ø 0.3%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
93		-89		107		-89		108		-89	
TROYA/ 2-24				TROYA/ 2-25				TROYA/ 2-26			
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	-0.02	0.20	-18.25	Ortalama	-0.02	0.13	-7.58	Ortalama	0.03	-0.01	-5.53
Modulus 18.25 A/m Prec 0.7ø 0.4%				Modulus 7.576 A/m Prec 0.4ø 0.2%				Modulus 55.32 A/m Prec 0.3ø 0.2%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
264		-89		100		-89		330		-90	
TROYA/ 2-27				TROYA/ 2-28				TROYA/ 2-29			
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)	E-2 L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	0.03	0.00	--2.01	Ortalama	-0.00	0.14	-17.92	Ortalama	-0.14	0.03	-13.31
Modulus 20.05 A/m Prec 0.5ø 0.2%				Modulus 17.92 A/m Prec 0.6ø 0.3%				Modulus 13.31 A/m Prec 0.6ø 0.3%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
360		-89		91		-90		167		-89	
TROYA/ 2-30											
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)								
Ortalama	0.07	0.30	-17.63								
Modulus 17.64 A/m Prec 0.5ø 0.3%											
DECL		INCL									
76		-89									

Tablo 5. Troya ören yerinden toplanan serbest numunelere 2 T alternatif manyetik alan uygulaması sonucunda mıknatıslanma şiddeti değerleri

TROYA/ 2-21				TROYA/ 2-22				TROYA/ 2-23			
E+1L	M(x)	M(y)	M(z)	E+0L	M(x)	M(y)	M(z)	E+1L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	-0.00	-0.04	3.12	Ortalama	-0.12	-0.17	13.28	Ortalama	-0.01	-0.09	6.25
Modulus 31.16E+00 A/m Prec 0.10 0.2%				Modulus 13.28E+00 A/m Prec 0.20 0.2%				Modulus 62.47E+00 A/m Prec 0.30 0.2%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
269		89		235		89		266		89	
TROYA/ 2-24				TROYA/ 2-25				TROYA/ 2-26			
E+0L	M(x)	M(y)	M(z)	E+1L	M(x)	M(y)	M(z)	E+1L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	0.01	-0.02	2.06	Ortalama	-0.04	-0.18	8.56	Ortalama	0.03	-0.07	5.83
Modulus 20.64E+00 A/m Prec 0.30 0.2%				Modulus 8.562E+00 A/m Prec 0.50 0.3%				Modulus 58.31E+00 A/m Prec 0.70 0.3%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
294		89		259		89		292		89	
TROYA/ 2-27				TROYA/ 2-28				TROYA/ 2-29			
E+1L	M(x)	M(y)	M(z)	E+0L	M(x)	M(y)	M(z)	E+1L	M(x)	M(y)	M(z)
Ortalama	-0.00	-0.02	2.26	Ortalama	-0.00	-0.02	2.01	Ortalama	0.03	-0.14	13.91
Modulus 22.55E+00 A/m Prec 0.30 0.2%				Modulus 20.14E+00 A/m Prec 0.10 0.2%				Modulus 13.91E+00 A/m Prec 0.30 0.3%			
DECL		INCL		DECL		INCL		DECL		INCL	
255		90		260		89		281		89	
TROYA/ 2-30											
E-1 L	M(x)	M(y)	M(z)								
Ortalama	-0.11	-0.23	18.7 2								
Modulus 18.72E+00 A/m Prec 0.30 0.3%											
DECL		INCL									
244		89									

Serbest numunelerle birlikte, fırının çatısından alınan iki adet yönlü numune analize hazırlanmıştır (No 1 ve No 2). Her iki numuneden, laboratuvarında kesilerek 2×2×2 cm boyutlarında ikiye adet alt numune elde edilerek alanın yönsel bilgileri numunelere dikkatlice aktarılmıştır. Malzemenin son soğutulması sırasında elde edilen birincil ısı kalıntı mıknatıslanmanın yönüne karşılık gelen arkeomanyetik yönü [5] elde etmek için, numuneler alternatif manyetik alan (AF) ile kademeli demanyetizasyona tabi tutulmuştur. Sonrasında kalıntı mıknatıslanmalar JR-6 spinner manyetometresi (AGICO Inc., Çekya) ile ölçülmüştür (Şekil 7).





Şekil 7. Spinner manyetometresinde mıknatıslanma şiddeti ölçüm aşamaları

3. BULGULAR

3.1. Yönsüz (Serbest) Örnekler

Zayıf manyetik demir içeren minerallerin yüksek sıcaklıkta ısıtılması sırasında güçlü manyetik demir oksitlere ısıl dönüşümü nedeniyle, yoğun pişirmeye maruz kalan malzemeler için manyetik duyarlılık (χ) yüksek değerlere sahiptir. Bu nedenle, χ yanmış/yanmamış yapılar arasında hızlı bir ayırım yapmak için kullanılabilir. Yanmış yapılara ait numunelerin χ değerleri $120-370 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ arasındadır (Tablo 6), sedimanlardan alınan numunelerin ise düşük χ değerleri vardır ($48-90 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). Yanmış olarak tanımlanan iki numune (TROYA/ 27 ve TROYA/ 28) vardır. Ancak bunların manyetik duyarlılığı pişirilmemiş sedimanlardaki (TROYA/ 29 ve TROYA/ 30) χ ile daha iyi örtüşmektedir. Bununla birlikte laboratuvar kalıcı mıknatıslanmaları (ARM, SIRM, IRM 0.2T) yanmamış sedimanlar ile pişirilmiş malzemeler arasında χ 'nin yaptığı gibi aynı ölçüde ayırım yapmaz (Tablo 6). Bazı örnekler hem duyarlılık hem de kalıcı mıknatıslanmalar için yüksek değerler gösterirken

(TROYA/ 23, TROYA/ 24), diğerleri yüksek χ değerlerine rağmen sedimanlar için karşılaştırılabilir ARM ve IRM gösterir (TROYA/ 21, TROYA/ 22). Bu ayrıca hem yanmış hem de yanmamış malzemeler için benzer değerler veren SIRM/k oranıyla da gösterilir. Bu belirgin tutarsızlığın, sedimanların kalıcı mıknatıslanmaya katkıda bulunan ancak χ 'ye katkıda bulunmayan SD-manyetit (veya greigit) mineralleriyle zenginleşmesinden kaynaklandığı varsayılabilir [6]. Yüksek kohersiviteli manyetik minerallerin [4] göreceli içeriğini belirten S oranı 0,89-0,96 arasında değişmekte olup, manyetit tipi manyetik olarak yumuşak minerallerin baskınlığını göstermektedir. S=0,89 gösteren numuneler için az miktarda hematit/götit varsayılabilir. $\% \chi_{fd}$ parametresiyle (Tablo 6) ifade edilen çok ince SP manyetit/maghemit tanelerinin içeriği $\%4-7$ arasında değerler göstermekte ve sedimanlardan alınan yalnızca bir numune için $\%11$ 'e ulaşmaktadır. [6] sınıflandırmasına göre, bu, SP ve kararlı SD/PSD manyetit tanelerinin bir karışımının varlığı anlamına gelir.

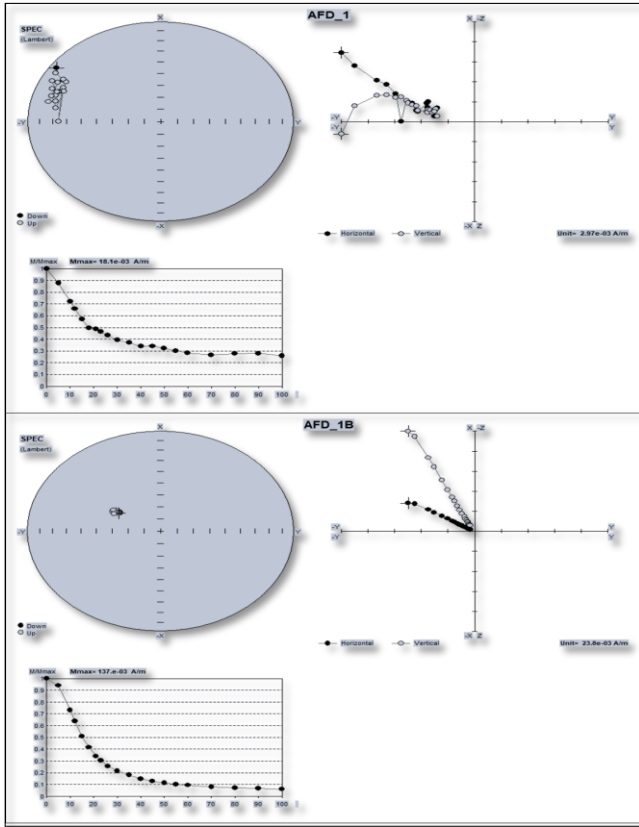
Tablo 6. Troya arkeolojik alanından alınan numunelerin kaya-manyetik parametreleri

Yapı Adı	Örnek Adı	$X \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$	ARM $\times 10^{-6} \text{ (Am}^2/\text{kg)}$	IRM2T (mAm^2/kg)	IRM0.2T (mAm^2/kg)	Xarm $10^{-8} \text{ (m}^3/\text{kg)}$	K 10^{-6} SI	Xarm/X	ARM/IRM0.2	Stratio	SIRM / K	Xfd %
E duvarı	TROIA 21	127.29	461.8	265.8	247.92	577.2	1918.6	4.53	1.863	0.93	16.3	4.2
Firin	TROIA 22	176.91	249.1	114.9	95.39	311.4	1060.0	1.76	2.611	0.83	12.5	5.7
Megaron	TROIA 24	370.98	384.0	183.5	162.58	480.0	1590.0	1.29	2.362	0.89	13.0	4.3
	TROIA 25	229.78	215.6	76.9	68.06	269.5	915.7	1.17	3.168	0.89	9.3	7.6
Sediman	TROIA 30	90.28	375.0	156.0	146.92	468.8	1932.9	5.19	2.552	0.94	9.7	6.7
Batı Duvarı	TROIA 23	302.73	1004.9	535.9	516.18	1256.2	4054.1	4.15	1.947	0.96	15.4	6.5
	TROIA 26	180.38	1057.1	555.2	526.67	1321.4	3831.1	7.33	2.007	0.95	15.2	6.0
	TROIA 27	66.86	408.7	196.1	174.40	510.8	1860.8	7.64	2.343	0.89	12.1	4.1
	TROIA 28	48.6	360.5	172.5	153.82	450.6	1746.2	9.32	2.344	0.89	11.5	4.1
Sediman	TROIA 29	54.27	407.6	141.0	134.96	509.5	1925.9	9.39	3.020	0.96	7.2	11.1

3.2. Yönlü Numuneler

Fırının çatısından alınan iki adet yönlü numunenin (No 1 ve No 2) son soğuması sırasındaki kazandığı birincil ısı kalıntı mıknatıslanmanın yönüne karşılık gelen arkeomanyetik yönü elde etmek için alternatif manyetik alan (AF) ile kademeli olarak demanyetizasyona tabi tutuldu. Bu analizden çıkan demanyetizasyon verileri, özel yazılım Remasoft 3.0 (AGICO Ltd., Çekya) ile işlendi ve her bir numune için elde edilen sonuçlar Zijderveld diyagramlarına aktarıldı (Şekil 8, Şekil 9).

Numune 1, doğal kalıntı mıknatıslanma (DKM) sinyalinde iki bileşenin varlığını göstermektedir, birincisi ~10mT'ya kadar manyetikliği giderilmiş ve muhtemelen viskoz kökenli, diğeri ise kademeli olarak maksimum AF alanı 100mT'ya kadar manyetikliği giderilmiş daha kararlı bir bileşendir. AF 100mT'dan sonra bile başlangıç DKM sinyalinin yaklaşık %30'u hala manyetikliği giderilmemiş halde kalır. Bu da DKM'nın büyük ihtimalle hematit gibi yüksek kohersiviteli mineraller tarafından da taşındığını göstermektedir.

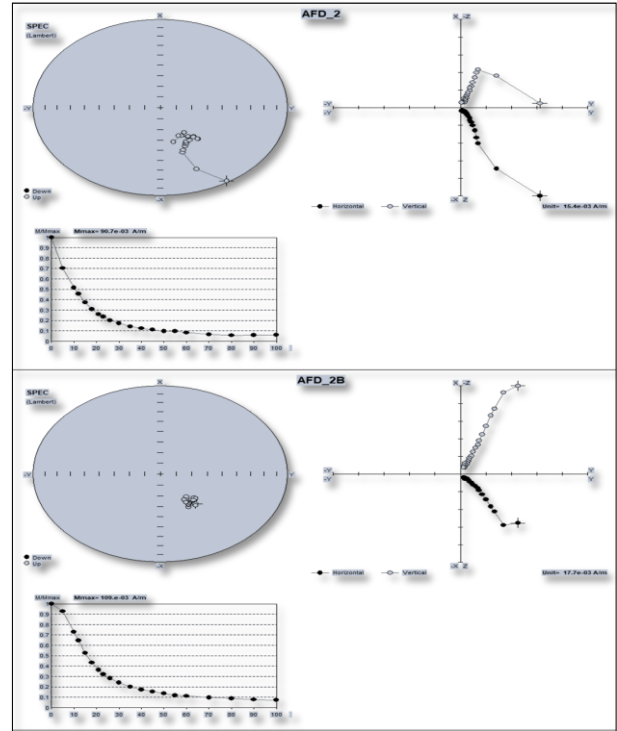


Şekil 8. 1 nolu yönlü numune 1. ve 2. alt numuneleri Zijderveld diyagramları ile AF-demanyetizasyon çizimleri

Stereografik çizimden de anlaşılacağı üzere, AF demanyetizasyonu sırasında izole edilen vektörlerin eğimi negatiftir. Arkeolojik kalıntıların tamamının pozitif polariteye sahip çağdaş Bruhnes yer manyetik dönemine (örn. pozitif Inc) ait olduğu gerçeği hesaba katılırsa, Numune 1'in orijinal soğuma pozisyonundan taşındığı (tersine çevrildiği) açıktır (Şekil 8). Numune 1b'de negatif eğim gösterir, ancak DKM sinyalinde daha az

yüksek-kohersivite kısmı vardır. İkincil (viskoz) bileşen, en zayıf AF'de manyetik giderme sırasında yalnızca çok zayıf bir şekilde ifade edilir. İlk DKM sinyali, numune 1'inkinden çok daha güçlüdür (Şekil 8).

Numune 2, kademeli demanyetizasyon sırasında ortaya çıkan 3 farklı DKM bileşeniyle daha karmaşık AF-demanyetizasyonunu gösterir. Örnek 1b'ye benzer şekilde, yüksek kohersivite kısmı küçüktür. Yine eğim negatiftir, bu da antik çağda son soğumasından sonra pişirilen malzemenin hareket ettiğini gösterir (Şekil 8). Numune 2b (Şekil 9), No. 2'ye benzerdir, ancak daha zayıf düşük kohersivite bileşenine sahiptir, ilk adımlardan sonra manyetikliği giderilmiştir.



Şekil 9. 2 nolu yönlü numune 1. ve 2. alt numuneleri Zijderveld diyagramları ile AF-demanyetizasyon çizimleri

Eğim yine negatiftir. İki yönlendirilmiş numuneden elde edilen 4 alt numunenin kademeli AF-demanyetizasyonu, hepsinde negatif eğim göstermiştir. Bu da örneklenen malzemenin antik çağlarda yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan son soğuma evresindeki konumu ile şimdiki pozisyonunun aynı olmadığını göstermektedir. İki numunenin de fırının çatısından geldiği hesaba katıldığında, bu sonuç şaşırtıcı değildir. Büyük olasılıkla fırının çatısı kullanıldıktan sonra kırılmıştır veya çömllekçiler tarafından çömllekleri fırından çıkarmak için kasıtlı olarak tahrip edilmiştir.

4. Sonuçlar

Yanmış yapılara ait numunelerin χ değerleri $120-370 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ arasında iken, sediman örneklerinin χ değerleri $48-90 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ arasında daha düşük değerlere sahiptir. Yanmış örnek sınıfına giren TROYA/27 ve TROYA/28 nolu numunelerin manyetik duyarlılığı pişirilmemiş sedimanlardaki (TROYA/29 ve TROYA/30)

χ ile daha iyi örtüştüğü görülmektedir. Bununla birlikte laboratuvar kalıcı mıknatıslanmalarında (ARM, SIRM, IRM 0.2T), yanmamış sedimanlar ile pişirilmiş malzemeler arasında χ 'nin yaptığı gibi aynı ölçüde ayırım yapılamamıştır. TROYA/23 ve TROYA/24 nolu numuneler hem manyetik duyarlılık hem de kalıcı mıknatıslanmalar için yüksek değerlere sahipken, TROYA/21 ve TROYA/22 nolu numuneler yüksek χ değerlerine rağmen sedimanlar için karşılaştırılabilir ARM ve IRM göstermektedir. Fırın çatısından alınan iki adet yönlü numunenin (No:1 ve No:2) AF demanyetizasyonu sırasında izole edilen vektörlerin eğimi negatif olarak belirlenmiştir.

Ancak arkeolojik kalıntıların tamamı pozitif polariteye sahip çağdaş Bruhnes yer manyetik dönemine ait olduğundan hareketle, bu iki adet yönlü numunenin alındığı yapının ilksel soğuma konumunu kaybettiği (tersine çevrildiği?) görülmüştür.

Teşekkür

Bu proje **FBA-2023-4318** nolu bağımsız araştırma projesi olarak ÇOMÜ BAP Birimi tarafından desteklenmiştir. Projenin önemli aşamalarından biri olan sondaj bilgisini ve numunelerini sağlayan Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. İlhan KAYAN'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız. Troya Ören yerinden numune toplanması sırasında yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen Troya Müze Müdürlüğü ve Troya kazı ekibine teşekkür ederiz. Makalenin değerlendirme aşamasında değerli zamanlarını ayırarak makalenin gelişimine önerileriyle katkıda bulunan iki değerli hakeme teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Aydın Büyüksaraç- Projenin yürütücüsüdür. Makale yazımında ve proje verilerinin elde edilmesinin koordinasyonunda görev almıştır. Zafer Akpınar- Makale yazımı, arazi ve laboratuvar verilerinin elde edilmesinde görev almıştır. Özcan Bektaş-Makale yazımı, arazi ve laboratuvar verilerinin elde edilmesinde görev almıştır. Rüstem Aslan-Troya Kazı Başkanı'dır. Troya'dan numunelerin alınması ve arkeolojik bilgilerin derlenmesinde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynakça

1. Korfmann M (2006). Troia. Archaeologie eines Siedlungshugels und seiner Landschaft. Mainz am Rhein.
2. Büyüksaraç A, Jordanova D, Ateş A, Karloukovski V, (2005). Kapadokya İgnimbiritleri ve Volkanitlerinde Paleomanyetik Çalışma- Manyetik Anomalilerin Yorumuna Bir Yaklaşım. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 18(2), 199-218.
3. Butler R F (1992). Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 319 pp.
4. Thompson R & Oldfield F (1986). Environmental Magnetism. Allen & Unwin: Springer, London. pp. 237. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-8036-8>.
5. Dunlop D J & Özdemir Ö (1997). Magnetism in nature. In: Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers. Cambridge Studies in Magnetism. Cambridge University Press, Cambridge, U. K. 1-15. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511612794>.
6. Dearing J A, Hay KL, Baban S M J, Huddleston A S, Wellington E M H & Loveland P J (1996). Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. Geophys. J. Int., 127, 728-734. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb04051.x>
7. Yılmaz, H. M., Yakar, M., Mutluoğlu, Ö., Yurt, K. (2010). İklimsel Faktörlerin Kapadokya Bölgesindeki Toprak Aşınmasına Etkisi. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(1), 13-19.
8. Yılmaz, H. M., Yakar, M., Mutluoğlu, O., Kavurmacı, M. M., & Yurt, K. (2012). Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (Selime-Aksaray-Turkey). Environmental Earth Sciences, 66, 75-81.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>