

46732

T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MENEKŞE (TEKİRDAĞ) YÖRESİ ARKEOLOJİK YERLEŞİM  
YERLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nurdan SAYIN**

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yerfiziği Programı)

Danışman: **Prof. Dr. Naci ORBAY**

TEMMUZ - 1995

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DANIŞMANLIK MANTASYON

## ÖNSÖZ

Ülkemiz, çok sayıda medeniyetin zemini olmuş kültürel açıdan çok zengin bir coğrafyada yer almaktadır. Ancak, arkeolojik alanlarımızın artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte hızlı bir yokoluşa karşı karşıya olduğu gerçeği, bu varlıkları ortaya çıkarabilecek ve koruyacak bilim dallarının işbirliğini zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmaların gün geçtikçe artması sevindirici bir gelişmedir.

Çalışmamın arazi ve değerlendirme aşamalarında bana her türlü olanağı sağlayan ve güçlü desteğini esirgemeyen Sayın hocam Prof. Dr. Naci Orbay'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Alet desteği için B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Ahmet Mete Işıkara ve Transenergy-Geophysics Firmasından Sayın Aytaç Gülay'a; ölçülerin alınması sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Dr. Mustafa Kemal Tuncer ve İlker Mildan'a; modelleme sırasındaki yardımlarından dolayı Mümtaz Hisarlı'ya; ayrıca çalışma konusu olarak arkeojeofiziği seçmiş olmam nedeniyle beni yüreklendiren ve destekleyen Prof. Dr. Mehmet Özdoğan ve arazi sırasında yardımları nedeniyle Dr. Aslı Özdoğan'a ve projeyi destekleyen İ.Ü. Araştırma Fonu Sekreterliğine; özverili desteği nedeniyle Dr. Naşide Özer'e içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışma sürem boyunca gösterdikleri sevgi ve özverileri nedeniyle aileme, Sevgili eşim Haluk Sayın ve oğlum Arda'ya binlerce teşekkürler.

## II

### İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZ	III
ABSTRACT	IV
I. GİRİŞ	1
II. YÖNTEM	8
II.1. Mağnetik Yöntem	8
II.1.1. Mağnetik Yöntemin İlkeleri	10
II.1.1.1. Mağnetik Alan ve Cisimlerin Miknatıslanması	10
II.1.1.2. Önemli Mağnetik Mineraller	14
II.1.1.2.1. Mağnetit-Maghemit Serisi	15
II.1.1.2.2. Mağnetit-Ülvospinel Serisi	17
II.1.1.2.3. İlmenit-Hematit Serisi	18
II.1.1.2.4. Psödobrokit Serisi	19
II.1.1.3. Kayaçlardaki Kalıntı Miknatıslanma Türleri	21
II.1.1.3.1. Isıl Kalıntı Miknatıslanma	21
II.1.1.3.2. Kimyasal Kalıntı Miknatıslanma	21
II.1.1.3.3. Çökeltme ile Kalıntı Miknatıslanma	22
II.1.1.3.4. Eş Isıl ve Viskoz Kalıntı Miknatıslanma	22
II.1.1.3.5. Antihisteritik Kalıntı Miknatıslanma	22
II.1.1.3.6. Piezo Kalıntı Miknatıslanma	23
II.1.2. Arkeojeofizikte Mağnetik Anomalilerin Yorumlanması	24
II.1.2.1. Arkeolojide Karşılaşılan Yapıların Şekli	24
II.1.2.1.1. Gömülü Küre Anomalileri	24
II.1.2.1.2. Çizgisel Yapılar	26

II.1.2.2. Yanmış Malzemelerin Oluşturduğu Mağnetik Anomaliler	31
II.1.2.3. Ocak Anomalilerinin Gücü	32
II.1.2.4. Anomalilerin Şekli	33
II.1.2.5. Toprak Gürültü Kaynakları	37
II.2. Self Potansiyel Yöntemi	38
II.2.1. Self Potansiyel Etkisi	38
II.2.1.1. Termoelektrik Kuplaj	38
II.2.1.2. Elektrokimyasal Yoğunlaşma Hücreleri	39
II.2.1.3. Mineralizasyon Gerilimi	39
II.2.1.4. Toprak Nemi	39
II.2.1.5. Elektrod Polarizasyonu	40
II.2.1.6. Elektrokinetik ya da Streaming Gerilimi	40
II.3. Dayk ve Prizma Modelinin Toplam Alan Anomalisi ve Modelleme	41
III. BULGULAR	51
III.1. Menekşe Çatağı Höyüğünde Yapılan Mağnetik Gradyent ve SP Ölçüleri	51
IV. TARTIŞMA VE SONUÇ	59
V. TÜRKÇE VE YABANCI DİLDE ÖZET	62-63
VI. KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	

**ÖZ****MENEKŞE (TEKİRDAĞ) YÖRESİ ARKEOLOJİK YERLEŞİM YERLERİNİN  
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

Çalışma alanı olarak seçilen Menekşe çatağı arkeolojik höyüğü, Tekirdağ'ın 10 km doğusunda Avrupa ve Anadolu Uygarlıkları arasında geçiş oluşturan ve M.Ö. 4000 ve M.Ö. 3000 dönemlerine ait yerleşimlerin bulunduğu düşünülen bir alandır. Alandaki yapıları saptamak amacıyla mağnetik gradiometre ve Self Potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Mağnetik haritalarda dikkati çeken anomalileri netleştirebilmek amacıyla haritaya filtre uygulanmış ve belirgin anomaliler üzerinden alınan kesitler ters çözüm tekniği ile modellenmiştir. Modeller, sahada fırın ve duvar kalıntılarına benzer olabilecek sonuçlar vermiş ve yapılan kazılarda modellere uygun yapılar bulunmuştur.

**ABSTRACT**

**DETERMINATION OF ARCHAEOLOGICAL SITES IN MENEKŞE (TEKİRDAĞ)  
REGION BY GEOPHYSICAL METHODS.**

Menekşe Çatağı archaeological mound selected of studied area is located 10 km east of Tekirdağ. The civilizations in this mound area have settled in B. C. 4000 and B. C. 3000 and these settlements were considered as a transition between the European and Anatolian civilizations. Magnetic gradiometer and self potential measurements were made to determine the existence of the archaeological materials. The filter was applied to the magnetic anomaly map for obtaining the shallow anomalies. The inversion method is applied to the selected profiles from the filtered map for determining the archeological materials. These anomalies were referred as furnace and wall survivals after the interpretation. These results were also supported with archaeological digging.

## I.GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı sonrasında bir çok bilim dalında görülen gelişme Arkeoloji'de de bulgulardan azami bilgi sağlama prensibi ile doğa bilimlerine yönelme şeklinde etkisini göstermiş ve bir çok bilim dalı uzmanlık konularını arkeolojiye uygulayarak arkeometri disiplini oluşturmuşlardır. Arkeolojik araştırmalara katkı sağlayan pek çok bilim dalından biri de Jeofiziktir. Jeofizik yöntemler hızlı, ucuz ve tahrip edici olmaması nedeniyle, arkeolojik alanlarda, kazı öncesi alanın yol gösterici planını vermesi için sıklıkla uygulanmaktadır. Bu konuda bilinen ilk çalışma 1946 yılında, Atkinson'un İngiltere'de öz direnç yöntemini denemesi ile ortaya çıkmıştır ve günümüze kadar uzanan süreçte dünyanın pek çok ülkesinde pek çok başarılı çalışmalar yapılmıştır. Bugün artık arkeojeofizik adlı bir alt disiplin oluşmuştur ve dünyanın farklı yerlerinde bu alan üzerine yoğunlaşmış çeşitli araştırma kurumları bulunmaktadır.

Arkeojeofizikte jeofiziğin tüm yöntemlerini kullanan örnekler bulunmasına karşın en yaygın kullanılan yöntemler manyetik, öz direnç ve radar yöntemleridir. Bu konuda yapılmış bir sınıflama örnek olarak verilebilir (Şekil 1).

Tüm materyaller belirli derecede elektriksel yüke sahiptirler. Bazılarında, metaller ve elektrolitler gibi iletkenlerde bu hareketlilik çok büyük değerlere ulaşır, cam, plastik, hava ve buz gibi yalıtkanlarda hareketlilik çok zayıf ya da hemen hemen sıfırdır. Bu iki durum arasında toprak materyaller yapısal ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak oldukça farklı özelliklere sahiptirler. Toprağın ve kayaların öz direnci nicel olarak gözeneklerinde su tutma miktarına bağlıdır. Çok kompakt granit gibi kayalar zayıf iletken ve yüksek poroziteli kireçtaşı daha iyi iletkenidir. Elektrik akımların sirkülasyonuna izin veren bu durum elektrik iletkenlik ya da tersi olarak öz direnç kavramıyla ifade edilir ve araştırılan yapı ile onun çevresi arasındaki kontrastın tanımlanması yoluyla arkeolojik özelliklerin belirlenmesi için kullanılır. Öz direnç yöntemi prensip olarak, akım elektrodları ile yeryüzüne verilen akımın, tabakalarda oluşturduğu gerilimin, elektrodların geometrisine bağlı olarak potansiyel elektrodlarından ölçülmesine dayalıdır. Bugüne kadar yapılan arkeojeofizik araştırmalarda

çok değişik elektrod dizilimleri denenmiştir. Young ve Droege (1986) Yarım Schlumberger dizilimini ve ayrıca düşey mağnetik gradiyent kullanarak Michigan Wilkins Ulusal Park Kalesini belirleme çalışmaları, Matias ve Almeida (1992) Portekiz Mugardos arkeolojik alanını saptamak için kare elektrod dizilimini ve mağnetik yöntemi kullanmaları, Brizzolari ve diğerlerinin (1992) İtalya'nın güney kısmında bir köy ve nekropolisi belirlemek amacıyla Wenner ve üç elektrot öz direnç dizilimleri ile birlikte mağnetik ve sismik tomografi yöntemlerini kullanmaları örnek olarak sayılabilir. Clark (1986) değişik elektrot dizilimlerini özetlemiş ve mağnetik yöntemi kullanarak İngiltere'de yapılan çalışmaları sunmuştur. Ülkemizde de bu konuda birçok çalışma bulunmaktadır. Drahor (1991) Wenner ve Kare dizilimleri Göltepe Erken Bronz Çağ Höyüğünü belirlemek amacıyla kullanmıştır. Başokur (1991)'un "Üç gerilim görünür öz direnç yöntemi ile Tümü lüs araştırmaları" çalışması bulunmaktadır. Pınar ve Akçığ (1991) Kösemtuğ Tümü lüsünde Wenner yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre Düşey Elektrik Sondaj yöntemiyle mezar odası ve dramosu bulmuşlardır. Erdoğan ve Gündoğdu (1995) İzmit Üç tepeler Tümü lüsünü belirlemek için Düşey elektrik sondaj ölçüm tekniğini kullanmışlardır.

Radar yöntemi ilke olarak basit bir tekniğe dayanır ve sismik yansıma profillemesine benzer. Kısa pulslı bir radyo enerjisi verici anteninde üretilir ve alan üzerine ya da yakınına gönderilir. Bu dalga aşığı doğru yayılır ve alanın hacimsel elektrik özelliklerindeki bir değişiklik ile kısmi olarak yansır. Bu değişiklik genellikle hacimsel su içeriğiyle ilişkilidir ve hacim yoğunluğundaki değişimi gösterir. Yansıyan enerji, ölçülen bir gecikme zamanında alıcı anten ile saptanır. Bu işle m, alan boyunca profillenen sistem gibi yeraltının bir kesit görüntüsünü üreterek saniyede birçok kez tekrarlanır. Radar, alanın dielektrik özelliklerindeki değişimleri, genellikle hacimsel su içeriğindeki farklılıkları haritalar. Bu nedenle de metalik ve metalik olmayan materyallere duyarlıdır. Uygulanması kolay ve hızlı bir yöntemdir. Donmuş ve karla örtü lü alanlarda uygulanabilir. Bir avantajı da inceleme sırasında verinin sürekli şekilde alınabilmesini sağlar. Radar yöntemi Vaughan (1986) tarafından Kanada da Basque mezarları ve Quebec alanında uygulanmıştır.

Elektromağnetik yöntemler de çok kullanılan yöntemler arasındadır. Yapay olarak doldurulmuş mezar tipi yerlerde iyi sonuç veren bu yöntem, yüzey toprağı kalınlığını



belirlemede de kullanılır. Smithsonian Enstitüsünün başlattığı büyük bir araştırma programı çerçevesinde Ürdün, Bahrain, Kuveyt, Mısır ve Suudi Arabistan'da çoğu gömülü kral mezarlarından oluşan yapıları belirlemek amacıyla Elektromagnetik yöntem kullanılmıştır (Frohlich ve Lancaster, 1986). Tabbagh (1986), Slingram yönteminin sağladığı toprağın görünür öz direnci, görünür mıknatıslanma katsayısı (süseptibilite) ve gömülü metal cisimlerin karakteristik izlerinden yararlanarak Fransa'da Gallo-Roman çanak ve çömlek yerlerinin araştırılması ve bronz çağı istif alanlarını belirlemek için kullanmıştır. Yöntem, Missisipi'de Cahokia tepeleri tarihi alanında gömülü arkeolojik özellikleri belirlemede, Dalan (1991) tarafından da kullanılmıştır. Doğal ve insan yapımı boşlukların VLF (çok alçak frekans) elektromagnetik yönteminden yararlanarak saptanabileceğini gösteren bir çalışma da Ogilvy ve diğerleri (1991) tarafından yapılmıştır. VLF yöntemi ülkemizde de İlkışık ve diğerleri (1995) tarafından Enez'de Çataltepe Tümülüsünü belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

Yapay olarak oluşturulan elastik dalgaların yeraltından geçerek alıcılara ulaşma hızına bağlı olarak gömülü yapıları belirleme ilkesine dayanan sismik yöntem ağırlıklı olarak petrol aramaları ve mühendislik jeolojisine dönük zemin araştırmalarına yönelik kullanılmasına karşın, yöntemin arkeolojik alanları belirlemek amacıyla kullanıldığı örnekler de bulunmaktadır. Stright (1986) Meksiko körfezinde sular altında kalan kıtasal kabuk üzerindeki arkeolojik alanları belirlemek için bu yöntemi kullanmıştır. Ülkemizde Nemrut Dağı tümülüsü altında yer alan yapıları saptamada Utecht ve diğerleri (1989) sismik (kınıma, yansıma ve tomografi) yöntemi ile radar ve magnetik yöntemlerini kullanmışlardır. İzmit Üçtepe tümülüsü üzerinde de sismik ve magnetik yöntemler kullanılmıştır (Gürbüz ve diğ. 1994).

Gravite yöntemi arkeolojik alanların hassas çalışma gerektirmesi ve yöntemin birçok düzeltme içermesi nedeniyle uygulanması zordur. IP yöntemi İngiltere'de Aspinal ve Lynam (1968) tarafından kullanılmış olmasına karşın yaygın kullanılan bir yöntem değildir.

Arkeomagnetizma uygarlık tarihi boyunca insan yapımı malzemelerin kalıntı mıknatıslanmasını ölçerek yermagnetik alanının geçirdiği değişimleri saptayan yöntemdir. Magnetik mineral içeren malzemeler 600-700°C 'ye kadar ısıtılıp soğumaya bırakıldıklarında

yernağnetik alanı büyüklüğü ile orantılı ve aynı doğrultuda kalıntı mıknatıslanma kazanırlar. Malzemenin kazandığı bu kalıntı mıknatıslanmanın Şiddeti ve doğrultusu laboratuvarıda duyarlı aletlerle saptanabilir. İnsanlık, ateŐi, bulunuşundan bugüne yemek piŐirmeden ısınmaya, madenleri iŐlemeden kap, kakak, tuğla yapımına kadar değişik amaçlar için kullanmıştır. Buralardan alınan yönlü rnemler belirli iŐlemlere tabi tutularak son yakıldığı tarihe ait yernağnetik alanının Őiddetini, sapma ve eğim açaılarını verirler. Tarihleri iyi bilinen rnemlerden elde edilen yernağnetik alanının geçmiş dönemlere ait sapma ve eğim açaıları ile Őiddetini veren master eğrilerinden yararlanarak rnemlerin yaşı belirlenebilir (Taring ve diğerleri 1986, Aitken ve diğerleri 1989, Uyar ve Ponat 1989).

Hava fotoğrafları, toprak üzerinde görülmeyen yapıları saptamak amacıyla kullanılan en eski uzaktan algılama yöntemidir. 1920'li yılların sonlarında İngiltere'de, 1950'lerin sonunda ise Almanya, Fransa, Belçika ve Hollanda da sistemli Şekilde kullanılmaya baŐlamıŐtır. Yöntemin arkeolojik yapıları saptayabilme yeteneği, yapının büyüklüğü ile orantılı olarak artmaktadır ve Kuzey Avrupa da büyük baŐarı sađlanmıŐtır (Scollar ve diğer. 1990).

## ARKEOJEOFİZİK YÖNTEMLER

### ARAMA YÖNTEMLERİ

#### ETKİN KULLANILANLAR

Mağnetik  
Elektrik  
Radar  
Elektromağnetik

#### GEREKTİĞİNDE KULLANILANLAR

Self Potansiyel  
İndklem Polarizasyon  
Sismik  
Gravite  
Radyometrik  
Uzaktan Algılama  
Arkeomağnetizma  
Isıl Yöntemler

### DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Grafik Grterim Teknikleri  
İmaj İŐleme  
Modelleme Teknikleri  
Deneysel Teknikler  
Bilgisayar Yardımlı Tomografi

Şekil 1 Arkeojeofizik Yöntemler (Drahor 1991'den deđiŐtirilerek alınmıştır).

Bu çalışma da kullanılan mağnetik yöntem ve Self Potansiyel yöntemi ayrıntılı olarak 2. bölümde incelenecektir.

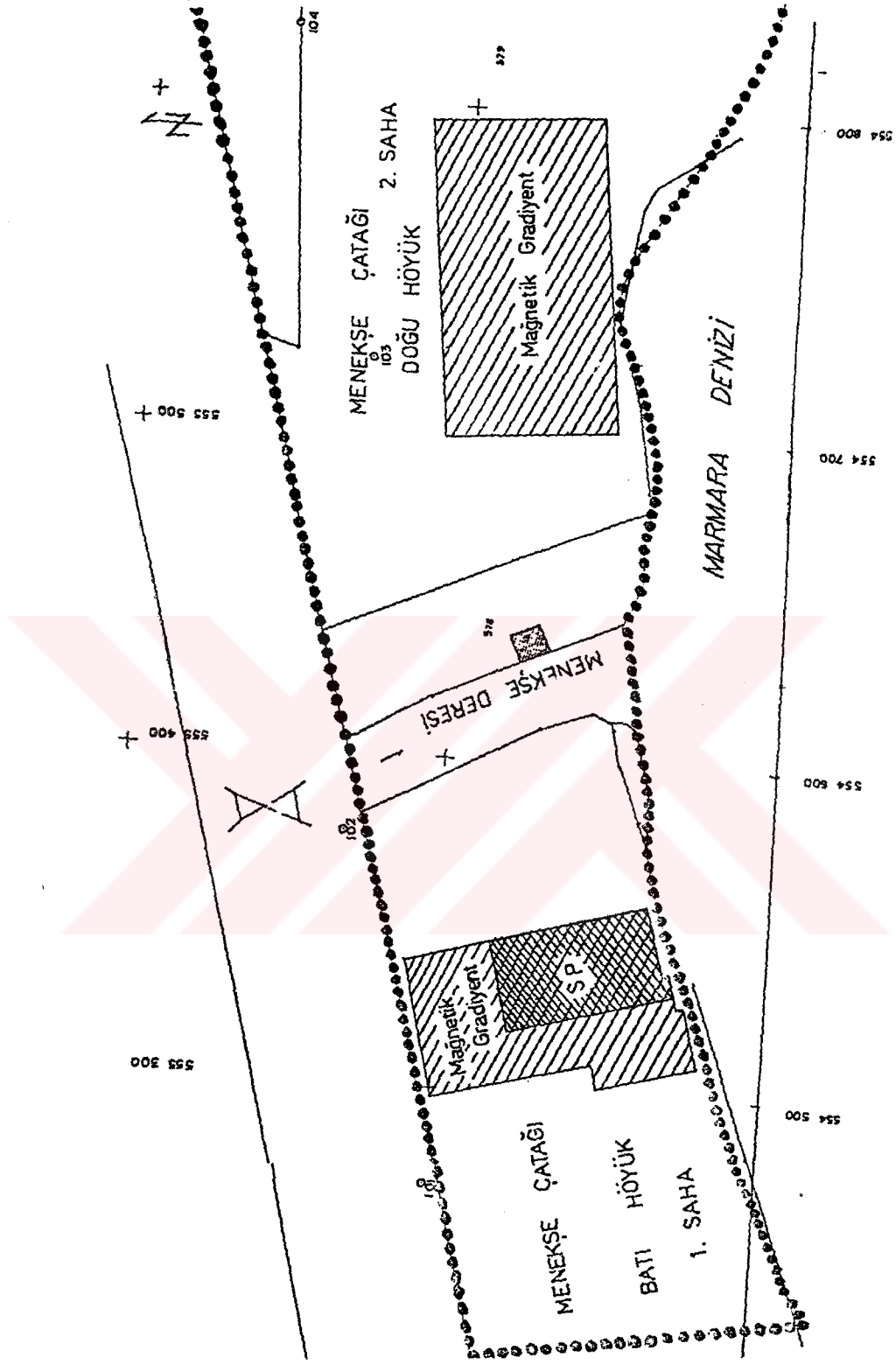
Çalışmanın yapıldığı Menekşe Çatağı arkeolojik höyüğü, Tekirdağ il merkezinin 10 km doğusunda, İstanbul-Tekirdağ karayolu ile Marmara Denizi arasında kalan ve Menekşe deresi tarafından ikiye bölünmüş olup, çift yükseltiye sahiptir. Yerleşmenin kuzeyi kara yolu ve güneyi deniz ile sınırlanmıştır. Yalıyar şeklindeki kıyının zamanla aşınarak, höyüğün bir kısmını tahrip ettiği anlaşılmaktadır. Menekşe deresinin iki yanındaki yükseltiler Batı Çatak Saha 1 ve Doğu Çatak Saha 2 olarak adlandırılmıştır (Şekil 2).

Marmara ve Trakya; Balkanlar, Doğu Avrupa, Anadolu, Ege ve Karadeniz gibi büyük coğrafi bölgelerin ortasında bulunan, topoğrafyanın fazla engebe içermemesi nedeniyle de kültürel yerleşime ve kültürler arası iletişime elverişli olan bir bölgededir. Balkan yarımadasının Anadolu'ya doğru uzantısı durumunda olan Trakya, bu konumu nedeniyle "Asya ile Avrupa'yı bağlayan doğal köprü" özelliği taşır. Ayrıca, Akdeniz, Ege ve Karadeniz'den gelerek Tuna, Dinyepr, Dinyestr gibi büyük ırmaklarla Doğu Avrupa içlerine giden önemli deniz ticaret yolları da İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında birleşmektedir. Bu açıdan bakıldığında, Trakya bölgesinde yapılacak araştırmaların, kültür tarihimizi ve çok geniş coğrafyada yer alan kültürleri aydınlatmada yardım edeceği görülmektedir. Bunun yanında, Marmara Bölgesi ve Trakya bölgesinin arkeolojisi çok az incelenmiştir. 1980 yılında İstanbul ile Tekirdağ arasında kıyı şeridinde Prof. Dr. Mehmet Özdoğan tarafından yapılmış olan yüzey araştırmasında saptanan 13 tarih öncesi yerleşim yerinden sadece sağlam olan Menekşe, Selimpaşa Höyükleri ve Karaevlialtı yerleşim yerinin bir kısmı kalmıştır. Menekşe Çatağı Höyüğü, etrafı tamamiyle yazlık siteler tarafından dolmuş olup, sahil şeridindeki tek boş yerdir ve halen tarım yapılması nedeniyle hergün biraz daha yok olmaktadır. Jeofizik yöntemlerinin kazı öncesi alanda bulunan yapılar hakkında bir fikir vermesi ve çıkan sonuca göre yapılacak kazıların planlanması sonucu zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlayabileceği dikkate alınarak, Menekşe çatağında da uygulanmasında karar verildi.

Höyük yüzeyinde Helenistik dönemin yanı sıra, kısmen Troya 1 ile benzerlik gösteren bir tür İlk Tunç Çağı malzemesi ve Orta Kalkolitik dönemlerine ait çok miktarda parçalar

bulunmaktadır. Bu yüzey buluntularından Helenistik, İlk Tunç Çağı ve Orta Kalkolitik dönemlerine ait tabakalar içerdiği arkeologlarca düşünülmektedir. Bu dönemlere ait yapıların duvar kalıntıları, fenn, pişmiş kaplar, kiremit parçaları vb. olabileceğinden hareketle mağnetik gradiyent ve test amaçlı Self Potansiyel yöntemleri kullanılmıştır.





Şekil 2: Menekşe Çatağı Arkeolojik Höyüğüne ait plan ve ölçü alınan alanlar.

## II. YÖNTEM

Arkeolojik alanlarda ilgilenilen yapılar, genel jeofizik aramalarda karşılaşılan yapılara oranla daha sığ ve küçük boyutludur ve dolayısıyla bu alanlardan toplanan verilerde gürültü oranı da daha fazla olmaktadır. Alanda yer alan bozucu etki yapabilecek çok küçük boyutlu cisimler, büyük anomaliler oluşturabilmekte ve dikkat edilmediği takdirde yanlış yoruma yolaçabilmektedir. Bunun önlenmesi için anomali oluşturan mekanizmaları iyi bilmenin yanında arkeojeofizik yapılacak alanın ve gömülü arkeolojik malzemelerin özellikleri ve örtü toprağın niteliği detaylı olarak incelenmelidir. Bu inceleme sonuçları dikkate alınarak, bu güne kadar yapılan arkeojeofizik çalışmalarda kullanılan yöntemler büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmanın konusu olan Menekşe Çatağı arkeolojik höyüğünün özellikleri gözönünde bulundurularak Mağnetik ve Self Potansiyel yöntemleri kullanılmıştır.

### II.1. Mağnetik Yöntem

Arkeojeofizik çalışmalara temel oluşturabilecek toprağın mağnetik özellikleri konusundaki ilk çalışmalar 1950 li yıllarda yapılmıştır. Nagata (1961), Stacey ve Banerje (1974) ve O'Reilly (1984) çalışmalarında kayamağnetizmasını ayrıntılı olarak özetlemiştir. Kaya taneciklerinin karışımından oluşan topraklar, kaynak materyalleri ile ortak özelliklere sahiptir, fakat tarım ve insanların yapmış olduğu değişimler nedeniyle, özelliklerinde farklılaşmalar oluşur. Jeofizik ölçümler sırasında, bu farklılaşmaların anomali oluşturması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu konuya ışık tutabilecek toprağın mağnetik özellikleri ile ilgili sistematik çalışmalar Belluigi (1931), Tucker (1952) ve Stavrou (1957) tarafından yapılmıştır. Cook ve Carts (1962)'un yapmış olduğu bağımsız çalışmalar da vardır ve kayamağnetizmasının arkeojeofizik aramalar için önemi ilk kez Aitken ve diğerleri (1958) tarafından tanımlanmıştır. Scollar (1965) çalışmalarında toprak gürültüsü adını verdiği toprağın mağnetik özelliklerinde lokal yüzey değişimlerinin önemi üzerinde durmuştur. Pişmiş killerin kalıntı mıknatıslanması geçen yüzyılın sonlarından beri bilinmektedir. Çanak

çömlek finnlannın mağnetik özellikleri ve yermağnetik alanının geçmiş tarihi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmına Scollar ve diğ. (1990)'nde değinilmiştir.

Arkeojeofizik arama çalışmaları, 1956'da İngiltere de bir çanak, çömlek ocağında Belshe'in mağnetik alan şiddeti ölçümlerini ilk kez uygulaması ve bu tür ocakların üretmiş olduğu güçlü anomalileri kaydetmesiyle yapılmıştır (Bu çalışmanın sonuçları hiç yayınlanmamıştır ancak 1957 de yayınlanan makaleler serisinde referans gösterilmiştir). Belshe'nin öncü çabası üzerine Aitken 1956'da ocak yerlerinin keşfi için Waters ve Francis tipi serbest precisyon mağnetometrelerini kullanarak, hendeklerin ve çukurların bu aletlerle saptanabileceğini göstermiştir. Daha sonrasında mağnetik yöntemlerin arkeolojik araştırmalara uygulanmasında bir patlama görülmüş ve Fransa, Almanya, İtalya ve Amerika'da çok sayıda çalışma yapılmıştır. Aitken 1961' de "Physics and archaeology" kitabını yazdığı sırada, proton mağnetometrelerinin değişik tipleri dünyanın farklı yörelerindeki arkeolojik araştırmalarda sürekli olarak kullanılıyordu.

### II.1.1. Mağnetik Yöntemin İlkeleri

Mağnetik arama yöntemi, arkeolojik alanlar üzerinde yermağnetik alanının büyüklüğünü veya büyüklüğündeki farklılıkları ölçerek, mağnetik özelliğe sahip gömülü yapıların belirlenmesini sağlar.

#### II.1.1.1. Mağnetik Alan ve Cisimlerin Miknatıslanması

Mağnetik alan doğada varolan temel alanlardan biridir ve mağnetik kutuplar arasında uzaklığa bağlı olarak Coulomb yasasıyla verilir.  $r$  uzaklığında,  $m_1$  ve  $m_2$  mağnetik momentine sahip iki mağnetik kutup birbirlerini,

$$F = m_1 m_2 / (4\pi\mu_0 r^2) \quad (2.1.1)$$

kuvvetiyle çekerler.  $\mu_0$  boşluğun geçirgenliğini anlatan bir sabittir ve burada kullanılan MKS ölçü sisteminde metre başına Henry biriminde verilmiş olup,

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Hm}^{-1} \quad (2.1.2)$$

değerine sahiptir.

Elektrik alan oluşturan elektrik yükleri mağnetik alan üretir. İçinden akım geçen tel böyle bir alan tarafından çevrelenir. Düzgün mağnetik alan uzun ince bir selenoid tarafından üretilebilir.  $i$  Amperlik bir akım, metre başına  $n$  sarıma sahip olarak selenoid içinde akarsa, merkezde oluşan mağnetik alan,

$$H = ni \quad (2.1.3)$$



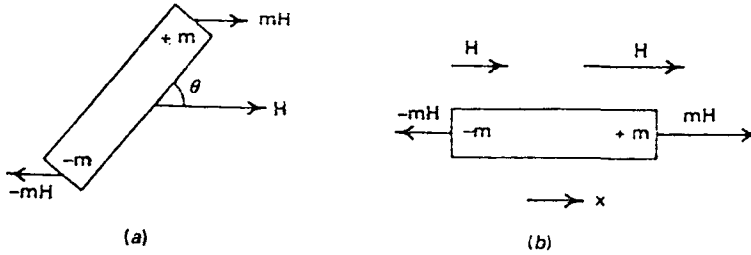
şeklinde verilir. Bu mağnetik alanın g¼c¼ metre başıgelen Amper ( $1Am^{-1}=4\pi\times 10^{-3}=0.0126$  Oersted) ile verilir.  $m$  weber g¼c¼ndeki mağnetik kutbun  $H$  mağnetik alan içerisinde uyguladığı kuvvet,

$$F = mH \quad (2.1.4)$$

şeklinde ifade edilir. Tek mağnetik kutup, modern fizikte varolduğu belirli teorilerle ifade edilmesine karşın, doğada hiç g¼zlenmemiřtir. Mağnetik dipol,  $l$  uzunluklu,  $m$  ve  $-m$  her iki uca yakın karşıt g¼çl¼ bir mıknatis (bir mıknatis çubuk) şeklinde d¼ř¼n¼l¼r. B¼yle bir ubuk,  $H$  d¼zg¼n alanda yereldiği zaman, şekil 3.a'da g¼r¼ld¼đ¼ gibi her kutup, d¼nme momentini arttıran bir kuvvet ya da bağıntısı,

$$L = -mIH \sin(\theta) \quad (2.1.5)$$

ile verilen, alana g¼re mıknatis çubuğun açısına bağımlı olan  $L$  kuvvet çifti uygular. Burada  $\theta$  mıknatis çubuğun ( $-m \rightarrow +m$ ) mıknatislanma y¼n¼ ile  $H$  mağnetik alanın y¼n¼ arasındaki açıdır.



şekil 3 a: D¼zg¼n mağnetik alanda çift kuvvet etkisi altında bir mıknatis çubuk.

b. Gradiyent alanında geçici kuvvet etkisi altında bir mıknatis ubuk.

Böylece düzgün mağnetik alan mıknatısı döndürebilir, fakat, mıknatıslanma doğrultusu değişmez. Bu amaç için x yönünde geçici kuvveti arttıran alanın gradiyent alan olması gerekir (şekil 3.b). Alan yerden yere değişiklik gösterirse, lokal olarak tanımlanan gradiyente sahip olur ve bu,

$$\nabla = \partial H_x / \partial x \quad (2.1.6)$$

şeklinde tanımlanır. Böylece mıknatıs çubuğa yukarıda tanımlanan geçici kuvvet uygulanması ile,

$$F_x = ml \partial H_x / \partial x \quad (2.1.7)$$

bağıntısı elde edilir. (2.1.5) ve (2.1.6) da görüldüğü gibi mıknatıs çubuk üzerinde etkisi olan kuvvetlerin herbiri ,

$$M = ml \quad (2.1.8)$$

moment değerine sahiptir. Birimi weber-metre dir ( $1 \text{ Wb-m} = (1/4\pi) \times 10^{10} \text{ gauss-cm}^3$ ).  $F=mH$  kuvvetine sahip bir mıknatısın potansiyel enerjisi,

$$U = -mH \cos(\theta) \quad (2.1.9)$$

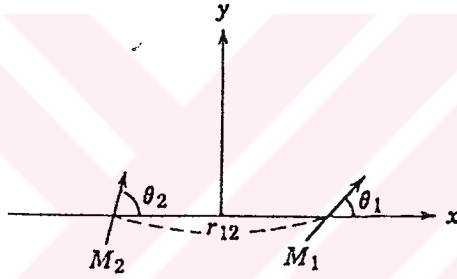
ifadesi ile verilir. Toprakta karşılaşılanlar gibi bu tip küçük mağnetik parçacıklar küçük mıknatıs gibi davranırlar. Bir dış alanın varlığında, aralarında  $r_{12}$  uzaklığı (şekil 4) olan  $M_1$  ve  $M_2$  momentlerine sahip iki mağnetik çubuk arasındaki etkileşim, eğer her bir mıknatısın uzunluğu aralarındaki uzaklığa oranla küçük olduğu varsayılırsa kolaylıkla hesaplanabilir. İkinci mıknatısın birinci mıknatısı etkilemesi ile, birinci mıknatısın  $H_{1x}$  ve  $H_{1y}$  mağnetik alan bileşenleri,

$$H_{1x} = \frac{M_2 2 \cos(\theta_2)}{4\pi\mu_0 r_{12}^3} \quad (2.1.10)$$

ve,

$$H_{1y} = \frac{M_2 \sin(\theta_2)}{4\pi\mu_0 r_{12}^3} \quad (2.1.11)$$

bağıntıları ile verilir.



Şekil 4: İki dipol arasında karşılıklı etkileşim (Scollar 1990).

İki mıknatıs sisteminin potansiyel enerjisi,

$$U = \frac{M_1 M_2}{4\pi\mu_0 r_{12}^3} [2 \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) - \sin(\theta_1) \sin(\theta_2)] \quad (2.1.12)$$

bağıntısında verilmiştir. Mıknatıslar aynı manyetik momente sahipse  $M_1=M_2=M$  ve birbirine paralelse  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$  potansiyel enerji,

$$U = \frac{3M^2}{4\pi\mu_0 r_{12}^3} (\cos^2(\theta) - \frac{1}{3}) \quad (2.1.13)$$

olarak verilir.  $\theta = 0$  olduğunda potansiyel enerji minimum değere sahiptir.

### II.1.1.2. Önemli Mağnetik Mineraller

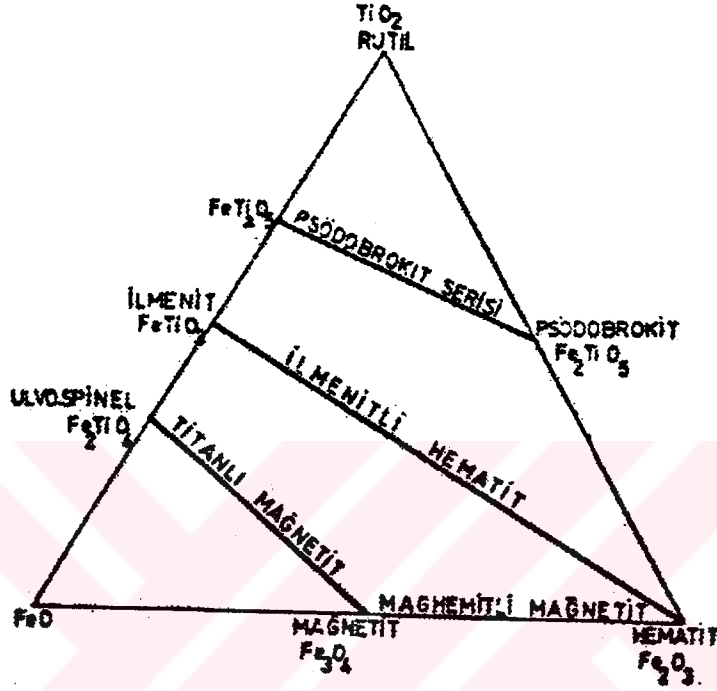
Maddenin, birim hacim başına düşen mağnetik momenti mıknatıslanma şiddeti olarak bilinir ve bir  $I$  vektörü ile gösterilir. MKS birimi metre kare başına weber'dir ve cgs sistemine göre  $I = 7.96 \times 10^2 \text{ G}$  (gauss)'a eşittir.  $I$  mıknatıslanma şiddetinin, uygulanan mağnetik alanın büyüklüğüne oranı mıknatıslanma katsayısını (süseptibilite) verir ve,

$$X = I / H \quad \text{ve} \quad \overline{X} = X / \mu_0 \quad (2.1.14)$$

şeklinde ifade edilir.  $\overline{X}$  kütle veya spesifik mıknatıslanma katsayısı olarak bilinir. Mıknatıslanma katsayısı,  $I$  ve  $H$ 'ın aynı birimlere sahip olması nedeniyle boyutsuzdur, fakat değeri birimler sisteminde bağımlıdır. MKS ve Uluslararası birimler sisteminde Slu'dur. Doğal maddelerde gözlenen mıknatıslanma katsayısının değeri  $10^{-5}$  ve  $10^6$  aralığındadır. Bazı maddelerde kristal yapının anizotropik olması ve mağnetik yapının şekli nedeniyle  $I$  ve  $H$  arasındaki ilişki doğrusal değildir. Bu tip maddelerde mıknatıslanma katsayısı anizotropik özellik gösterir.

Materyallerde mağnetik davranışın kaynağı yörüngesel hareket ve materyaldeki elektronların dönmesidir. Bu özelliklere göre doğada bulunan maddeleri gösterdikleri mağnetik özelliklere göre diamagnetik, paramagnetik ve ferromagnetik şeklinde sınıflamak olasıdır. Ancak, doğada ferromagnetik özellik taşıyan cisimleri bulmak zordur, daha çok ferromagnetik özelliğe sahip cisimleri görmekteyiz. Doğadaki silikatların büyük kısmı diamagnetik ve paramagnetik özellik gösterir. Kayaçlar genellikle oksit mineraller açısından daha zengindir ve bu oksit minerallerin, kayaçların mağnetik özelliklerini oluşturmada büyük rolü vardır. Doğada bulunan demir oksitlerin çoğu ferromagnetik veya antiferromagnetik özellikler gösterir. Sözü edilen bu mineralleri kimyasal bileşimlerine göre bir üçgen diyagram

üzerinde göstebiliriz (Şekil 5). Şekilden de görüldüğü gibi kayaçların mağnetik özellikleri üzerinde etkili olan dört grup seri vardır.



Şekil 5: Oksit mineralleri ve serilerinin üçgen diagram üzerinde gösterilmesi (Özdoğan ve diğ. 1986).

#### II.1.1.2.1. Mağnetit -Mağhemit Serisi

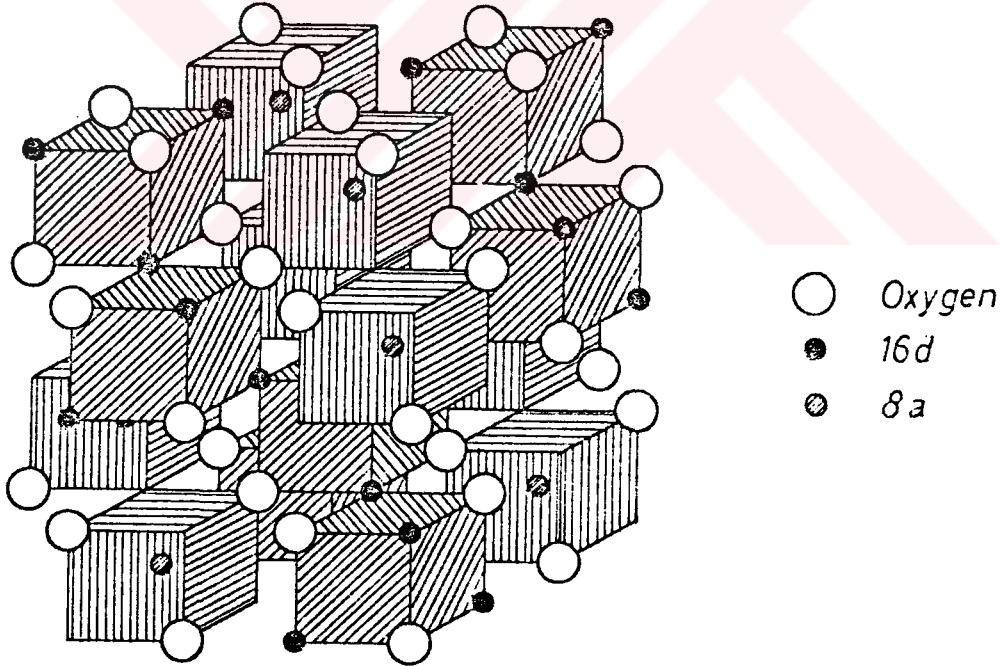
Bu iki mineral arasında bulunan katı mineralleri birbirinden ayırmak mağnetik özelliklerinin ve kristal yapısının birbirine çok benzemesi nedeniyle oldukça güçtür.

#### Mağnetit

Geçmişte incelenmiş ilginç arkeolojik topraklarda varlığı görülmemesine karşın geçmiş dönemlerde insan yapımı malzemelerde kullanılan materyallerle ilişkisi nedeniyle önemli bir

mineraldir. Mağnetit %70 demir içeriğine sahiptir ve demir oksitlerin, mağnetik özellikler bakımından en önem taşıyanıdır. Mağnetit kristal bloğunun temelini oluşturan birim hücrelerin yapısı Şekil 6'da görölmektedir. Bu yapı ters spinel adını alan çok özel düzende sekiz  $Fe_3O_4$  molekülü içerir. Yapısında karmaşık karşılıklı etkileşim içerisinde düzenlenmiş 24 demir ve 32 oksijen atomu içerir. A ve B grubu olarak ayrılan bu iyonlardan 8'i ilk grupta, diğerleri ikinci gruptadır. Bu iki grup birbirine ters yönde yönlendirilmişlerdir. Mağnetitin net mıknatıslanması bu iki grup iyonun bileşkesi sonucu oluşur.

Curie sıcaklığından başlayarak bir mağnetik alan ömeğin yernağnetik alanı içerisinde soğutulduğunda, ısıl kalıntı mıknatıslanma kazanır. Ancak iç direnme kuvvetinin düşük olması nedeniyle duraysız mıknatıslanma gösterir. Mıknatıslanmanın duraylılığı kayaç içindeki mağnetit tanelerinin boyutuna bağlıdır. Mineral parçalarının boyutları, ne kadar tek domen boyutlarına yakınsa mıknatıslanma o kadar duyarlı olur.



Şekil 6 : Mağnetit'in ters spinel yapısı (Scollar ve diğer. 1990).

## **Maghemit**

Tarım ile insan yerleşim alanlarında kaya mağnetizmasından sorumlu en önemli mineraldir. Mağnetit ile aynı kristal yapıya sahiptir ve mağnetik özellikleri mağnetite büyük benzerlik gösterir. Maghemit, mağnetitin okside olmuş şekli gibi düşünülebilir. Maghemit kristalini oluşturan birim hücre de bazı boşluklar bulunur. Bu boşluklar 3 birim hücrede 72 demir atomu olması gerekirken, gerçekte yalnızca 64 demir atomu bulunması sonucudur. Ortalama olarak birim hücre başına 2.67 boşluk vardır. Bu düzenleme, toplam üç hücre içinde, iki hücrede 1'er, 3.de iki demir atomunun olmadığı şeklindedir. Görünüş olarak kararlı olmayan bu düzenleme, demir tarafından terk edilen boşlukları dolduran sodyum gibi diğer atomların bulunması ile birbirine bağlanmış olduğu görünümünü verir. Maghemit kimyasal bakımdan duraylı değildir. 275°C ve daha yüksek sıcaklıklarda kimyasal bakımdan daha duraylı olan Hematite dönüşür.

### **II.1.1.2.2.Mağnetit-Ülvospinel Serisi**

Titanlı mağnetit serisi olarak da bilinir ve oksit minerallerin en önemli serilerden biridir. Seri içerisinde titan miktarının artması ile yani mağnetitten ülvospinele doğru gidildikçe Curie sıcaklığı ve doymuş mıknatıslanma hemen hemen doğrusal olarak azalır.

## **Ülvospinel**

Titan bakımından zengin olan kayalarda bulunur. Kristal yapısı mağnetit ile aynıdır, yalnız bir demir iyonu titan ile yerdeğiştirmiştir. Özellikleri açısından antiferromağnetiklere benzer. Serinin en uç minerali olup yüksek sıcaklıklardan soğurken duraysızdır ve okside olmasıyla mağnetit ve ilmenit oluşur.

### II.1.1.2.3.İlmenit-Hematit Serisi

Titanlı hematiti serisi olarak da bilinir. Seri içindeki minerallerin gösterdiği mağnetik özellikler bakımından üç grup altında toplanabilir. İlmeniti hematit serisini karakterize eden  $Fe_{2-x}Ti_xO_3$  kimyasal formülünde yer alan  $x$  değerlerine göre,

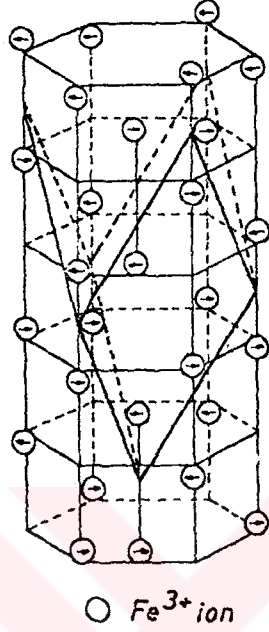
- 1)  $x=1$  durumunda bulunan ilmenit antiferromağnetik,
- 2)  $1 > x \geq 0.45$  aralığında ferrimağnetik,
- 3)  $0.5 \geq x > 0$  aralığında ise hem antiferromağnetik hem de asalak ferromağnetik

şeklinde ayrılabilir.  $0.8 \geq x \geq 0.5$  aralığında bulunan mineraller kayaçların mıknatıslanmalarına önemli katkılarda bulunurlar ve  $x=0.5$  olan mineraller ters mıknatıslanmaya sahip olup diğerlerinden farklı mağnetik ve kristal özellikler gösterirler.

### Hematit

Demir oksitlerin en yaygını hematittir ( $\alpha Fe_2O_3$ ). Kristal düzeni Şekil 7 de görölmektedir. Hemen hemen tüm topraklarda, genellikle ağırlığının %1'i ile %10'u aralığında su içeren biçimlerinden biri şeklinde bulunabilir. Hematitin kristal yapısı mağnetit ve maghemitten tamamen farklıdır. Hematit iyon olan rombusal birim hücreye sahiptir, değişik  $Fe^{+3}$  iyonları alanın tümüne, yansı bir yönde, yansı da bunlara zıt yönde yerleşerek net mağnetik momentin hemen hemen yokolmasına neden olmuşlardır. Hematiti,  $250 K^0$  üzerinde davranışının zayıf paramağnetik olması nedeniyle, toprakta daha zayıf mağnetik etkilerin bazılarında sorumlu diğer paramağnetiklerden ayırt etmek oldukça zordur. Hematitin arkeolojik alanlarda önemli bir mineral olmasının nedeni, insan ya da doğal etkiler sayesinde bazı maddelerin daha çok mağnetik özellik göstermesine yolaçan mineral kaynağı olması nedeniyle.





Şekil 7. Hematitin yapısı (Scollar ve diğ. 1990).

#### II.1.1.2.4. Psödobrokit Serisi

Bu seriye ait mineraller titanlı mağnetit veya ilmenitli hematitlerin oksitlenmesiyle oluşmuşlardır. Rombusal kristal yapısına sahiptirler. Doğada özellikle termal metamorfizmaya uğramış kayalarda bulunurlar.

Kayaçların ve toprağın mağnetik özelliğinin kaynağı, prensip olarak içerdiği demire bağlıdır. Kireçtaşı gibi organik orijinli kayaçların hariç tutulması ile, çoğu kayalar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ya da FeO gibi demir oksitleri, ağırlıklarının %1'i ile %10'u aralığındaki oranlarda içerirler. Kireçtaşı içerisinde de az miktarda demir bulunabilir ancak belirli denizel organizmalar ve bakteri yapıları küçük mağnetit parçaları yoğunlaşması gösterdiği için bazı sedimanter kayaçlar nadir olarak yüksek mağnetik özelliğe sahip olabilmektedir. Demir içeren kayaç ve

toprağın esas olarak çoğunluğu silikatlar şeklindedir, ancak arkeojeofizik aramalarda silikat olmayan şekildeki demir ile ilgilenilir. Nemli iklim sıcaklığında demirin çoğu bazı karmaşık ferrik hidroksit, geotit ( $\text{FeOOH}$ ) ve Hematit ( $\alpha \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) şeklindedir. Bu özellik Devoniyen ve Trias kayaçları üzerinde oluşan topraklarda bulunur. FitzPatrick (1971) ferrik hidroksit jel'in amorf ve sanımsı kahverenginde olduğunu tanımlar, oysa Geotit kristali hidrasyonun artmasıyla sanımsı kahverengine değişen, kırmızı kahverengine sahiptir. Son derece farklı biçimler bazen kireçtaşında görülür. Lepidocrocite ( $\gamma \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) parlak orange renklidir ve su ile örtülü olan topraklarda bulunur.

Toprakların içinde ferrik hidroksit ve ferrik oksitler, materyalin hacmini oluşturan kuartz feldspat tanecikleri üzerinde ısıtmalar ve mikro ufalanmalar ile ayrı parçacıklar olarak oluşurlar. Demir mineralleri topraklarda gözlenen renklerin çoğundan sorumludur ve dolayısıyla kazıda renk farklılıkları için büyük dikkat sarfeden arkeologlar için büyük önem taşımaktadır.

Demir, oksidasyon ve redüksiyon doğal süreçleri ile etkilenmiş topraklarda temel elementtir ve bazı birincil minerallerde indirgeme durumunda bulunan birkaç maddeden biridir. Demir hidroliz ile serbest bırakıldığı ve oksijence zengin atmosfere girdiği zaman, çabucak ferrik durumunda okside olur ve ferrik hidroksit olarak çöker. Demir serbest oksijen içinde serbest kalırsa ferrous arta kalır ve bazı sürekli su dolu toprakların karakteristik renginin gri-mavi olmasını sağlar. Uzun süre oksijenin var olduğu durumda mikro organizmaların etkisi nedeniyle, kırmızıdan gri-maviye toprak rengi değişimi sıklıkla gözlenmiştir.

Topraktaki renk, aynı zamanda organik maddelerin bulunuşu ile etkilenir ve üst tabakaların daha koyu kahverengi ve siyah olması demir oksitlerin bulunuşundan çok, bu nedenle olabilir. Bu etki, deniz orijinli kayalarda bulunan kalsiyum ve sodyumca zengin olan topraklarda büyüktür. Bu nedenle, yalnız renk, toprağın içeriğinde bulunan demir oksitlerin kalitesi ve durumuna klavuzluk etmez. Toprağın çok koyu kahverengi olması durumunda, yüksek magnetik özellik taşımadığı ve magnetik yöntemin uygulanabilirliği sonucunu çıkarmak doğru değildir.

Yüksek oranda su içeren demir oksitler genellikle zayıf paramağnetiktirler. Muskovit, dolomit, lepidokrosit, geotit böyle minerallere örneklerdir. Ferrik hidroksit amorf jellerin mağnetik mıknatıslanması katsayısı üzerine yayınlanmış herhangi bir bilgi olmamasına rağmen, Selwood (1956)'a uygun olarak bu materyallerin mıknatıslanma katsayısı  $480 \times 10^{-6}$  Slu civarındadır. Geniş insan yerleşim alanlarında küçük miktarlarda bulunsa bile toprağın mağnetik özellikleri üzerinde çok büyük etki yapan ferromağnetikler sayesinde, önemli miktarlarda doğal paramağnetik minerallerin bulunması ile oluşan etkileri ayırt etmek mümkün değildir. Paramağnetiklerin medeniyetten çok uzak kalan alanlarda toprak formasyonlarında gözlenen zayıf mıknatıslanmadan ve fosil alanlarında gözlenen mıknatıslanmaları önemli bir kısmından oluşturduğu düşünülür (Scollar ve diğ. 1990).

### **II.1.1.3. Kayaçlardaki Kalıntı Mıknatıslanma Türleri**

#### **II.1.1.3.1. Isıl Kalıntı Mıknatıslanma**

Kayaçlar yermağnetik alanı içinde soğurken Curie sıcaklığından başlayarak mıknatıslanma kazanmaya başlar. Kayaç bu soğuma aşamalarında gittikçe artan mıknatıslanma kazanır ve oda sıcaklığına kadar soğuduğunda toplam ısıl kalıntı mıknatıslanmasını kazanmış olur. Önemli bir mıknatıslanma türüdür.

#### **II.1.1.3.2. Kimyasal Kalıntı Mıknatıslanma**

Ferromağnetik minerallerin kimyasal değişimi veya yeniden kristallenmesi kalıntı mıknatıslanmanın yeniden oluşmasına yol açar. Kayaçların okside olması ve metamorfizmaya uğraması sonucu oluşan kalıntı mıknatıslanma bu türdür. Bu tip mıknatıslanma, daha önce mıknatıslanmaya sahip kayaçların Curie sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda kimyasal değişikliğe uğrayarak yeniden kristallenmesi sonucu yeni mıknatıslanma kazanmaları yoluyla olur. Bu mıknatıslanma türü ısıya ve mağnetik alana oldukça dirençlidir.

#### **II.1.1.3.3. Çökelme İle Kalıntı Miknatıslanma**

Ferromağnetik taneciklerin yermağnetik alanı yönünde yönlenerak durgun su havzalarında çökmesi ile oluşan miknatıslanmadır. Sedimanter kayaçlardaki kalıntı miknatıslanmanın şiddeti volkanik kayaçların kalıntı miknatıslanmasına oranla çok zayıftır. Sediman kayaç içindeki ferromağnetik taneciklerin miktarı artıkça kayaçın miknatıslanması da artmaktadır.

#### **II.1.1.3.4. Eş-Isıl ve Viskoz Kalıntı Miknatıslanma**

Sıcaklığın sabit kalması ve cismin üzerine uzun süreler mağnetik alan uygulanması (örneğin yermağnetik alanı) ile cisim bir miktar kalıntı miknatıslanma kazanır. Bu yolla kazanılan miknatıslanmaya eş-ışıl kalıntı miknatıslanma denir. Cismin üzerine uzun süre uygulanan mağnetik alan ile kazanılan miknatıslanma, aynı alanın kısa süre uygulanması sonucu kazanılan miknatıslanmadan daha büyük olduğu bilinmektedir. Bu iki miknatıslanma arasında kalan miknatıslanma türüne viskoz kalıntı miknatıslanma denir.

#### **II.1.1.3.5. Antihisteritik Kalıntı Miknatıslanma**

Şiddeti yavaş yavaş sıfıra indirgenen bir alternatif mağnetik alan, örnek üzerine uygulandığı sırada, alanda sabit bir mağnetik alan varsa, bu mağnetik alan nedeniyle cisim bu sabit alandan dolayı miknatıslanma kazanır. Bu tür miknatıslanmaya antihisteritik kalıntı miknatıslanma denir. Antihisteritik kalıntı miknatıslanma kayaç örneklerinin laboratuvarında alternatif mağnetik alanla ya da ısısal temizleme işlemleri sırasında sıfır mağnetik alan ortamının oluşturulmadığı durumlarda istenmeyen miknatıslanma türüdür.

#### **II.1.1.3.6. Piezo Kalıntı Mıknatıslanma**

Cisimlerin basınç yoluyla kazandıkları kalıntı mıknatıslanma türüdür. Jeolojik zamanlar boyunca kayaçların etkisi altında kaldıkları basınç nedeniyle kalıntı mıknatıslanmanın şiddeti ve yönünün değişim miktarı piezo kalıntı mıknatıslanma olarak adlandırılır. Bu mıknatıslanma türü tektonik olaylarla yakından ilişkilidir.



## II.1.2. Arkeojeofizikte Mağnetik Anomalilerin yorumlanması

### II.1.2.1. Arkeojeofizikte Karşılaşılan Yapıların Şekli

Arkeolojik alanlarda en çok karşılaşılan yapılar çukurlar ve hendeklerdir. Çukurlar bilinen derinlikte düzgün küresel özelliğe eşdeğer izole olmuş dipol, hendekler ise büyük uzunluklu üçgen kesitli yapı olarak düşünülebilir. Sıklıkla karşılaşılan bir başka şekilde gömülü disklerdir ve arkeomağnetik ölçümler için, arkeolojik alanlarda karşılaşılan gömülü fırınlara yaklaşım için Stenberg (1987) tarafından kullanılmıştır.

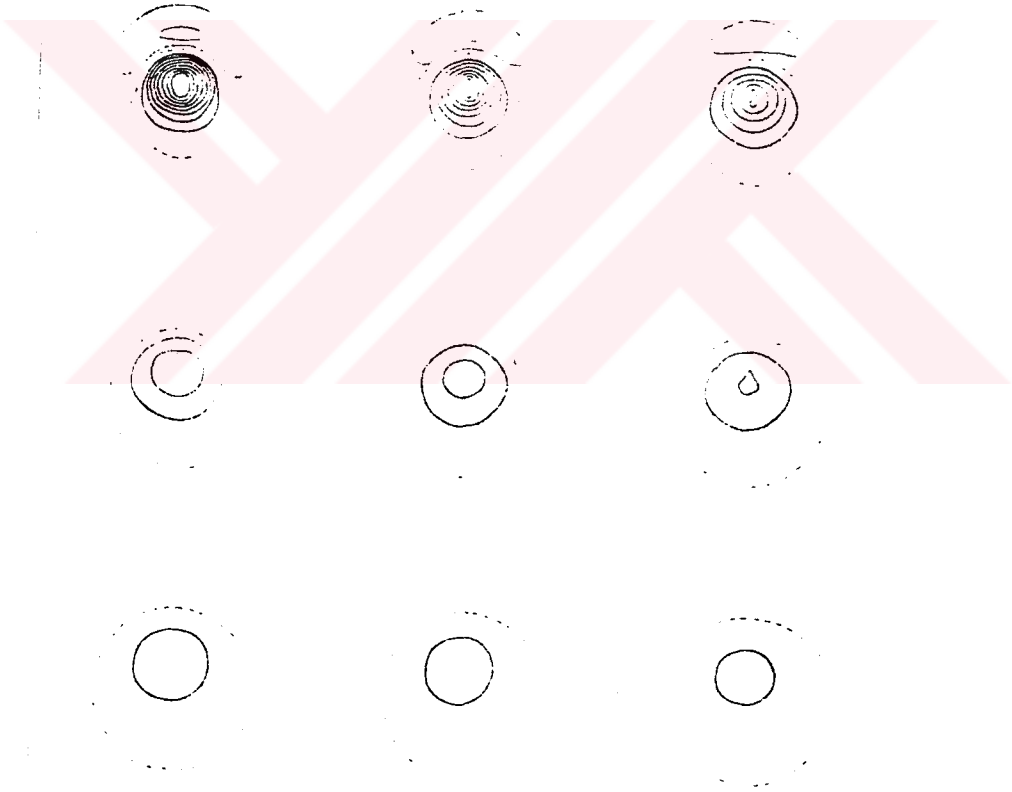
#### II.1.2.1.1. Gömülü Küre Anomalileri

Toplam mağnetik alan değeri 47 000nT, eğim açısının da 65° olduğu Kuzey Avrupa'da birim çaplı kürenin derinliğe bağlı olarak oluşturduğu anomali değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Bu özelliklere sahip bir cisim, 1.5 m uzaklıkta tipik proton mağnetometreleri kullanılarak saptanabilir, derinliğin artmasıyla anomali küçülmektedir.

Tablo 1: Birim çapa sahip gömülü kürenin aynı birime sahip derinliklerde oluşturduğu anomali değerleri. Yermağnetik alanı 47 000 nT, inklinasyon 65°, mıknatıslanma katsayısı  $120 \times 10^{-6}$  Slu'dur (Scollar ve diğ.1990).

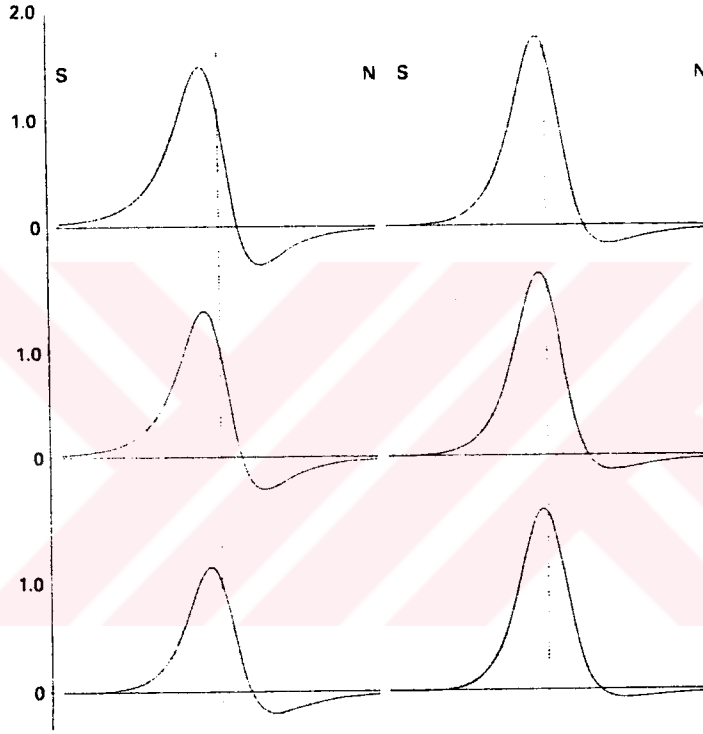
DERİNLİK (m)	ANOMALİ (nT)
1.5	2.05
1.7	1.41
2.0	0.86
2.5	0.44
2.7	0.35
3.0	0.26
3.7	0.14
4.0	0.11

Birim çapa sahip küresel bir yapının değişik derinliklerde yer almasıyla yüzeyde oluşan dipol alan değişimi Şekil 8’ de görülmektedir. Yapıdan 20 birim uzaklıkta anomalinin çok küçülmüş olduğu ve bu uzaklıktan sonra yapıların saptanamayacağı ortaya çıkmaktadır (Scollar ve diğ. 1990). Tipik olarak  $630 \times 10^{-6}$  Slu’luk mıknatıslanma katsayısı, yüzeyde 20cm de tutulan ölçüm sensörü ve 30cm kalınlığındaki toprak altında gömülü 1m çapında çukur 15 nT’lık bir anomali oluşturur. Bu anomali arkeojeofizik amaçlı kullanılabilir hemen hemen tüm magnetometreler ile saptanabilir. Sensor yüzeyden 50cm de tutulur ve çukurun çapı 50 cm olursa anomali 1.2 nT olacaktır ki bu tüm aletler ile güvenilir olarak saptanamaz. Uygun duyarlılığa sahip aletler ile bu tip çukurlar, küçük genlikli anomaliler oluşturarak saptanabilirler.



Şekil 8: 50° kuzey manyetik enleminde değişik derinliklerde küresel anomalinin dipol alanı (Scollar ve diğ. 1990).

Anomalinin, kuzey-güney doğrultusu üzerinde, yapının kuzeyinde negatif değerler almış olduğu Şekil 9'dan görülebilir ve ölçümler kuzey yarım kürede yüksek mağnetik enlemlerde yapıldığında, anomali şekli doğu batı yönünde simetrik olmaktadır. Mağnetik ekvatora daha yakın yerlerdeki anomaliler kuzey güney yönünde hemen hemen S şeklini alırlar ve önemli ölçüde zayıflarlar.



Şekil 9: Kuzey yarımkürenin ortasında bulunan enlemlerde gömülü küre anomalisi (Scollar ve diğ. 1990).

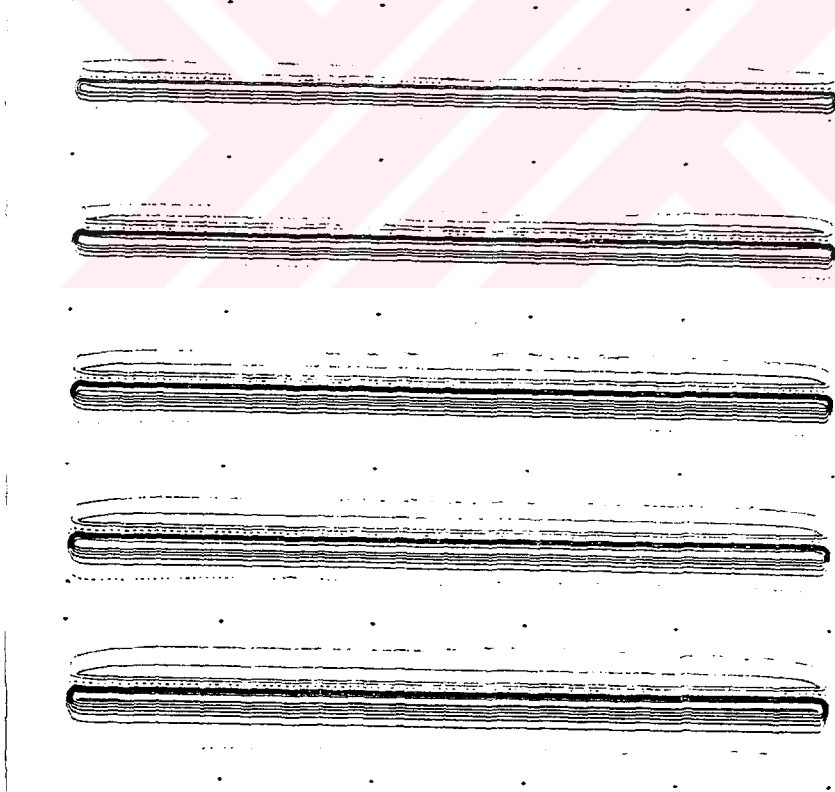
#### II.1.2.1.2. Çizgisel Yapılar

Uzun çizgisel yapılar, ölçümler yüzeye yakın yapıldığı zaman, anomalinin derinlik ile hemen hemen çizgisel olarak azalması nedeniyle daha kolay saptanırlar. Anomalinin



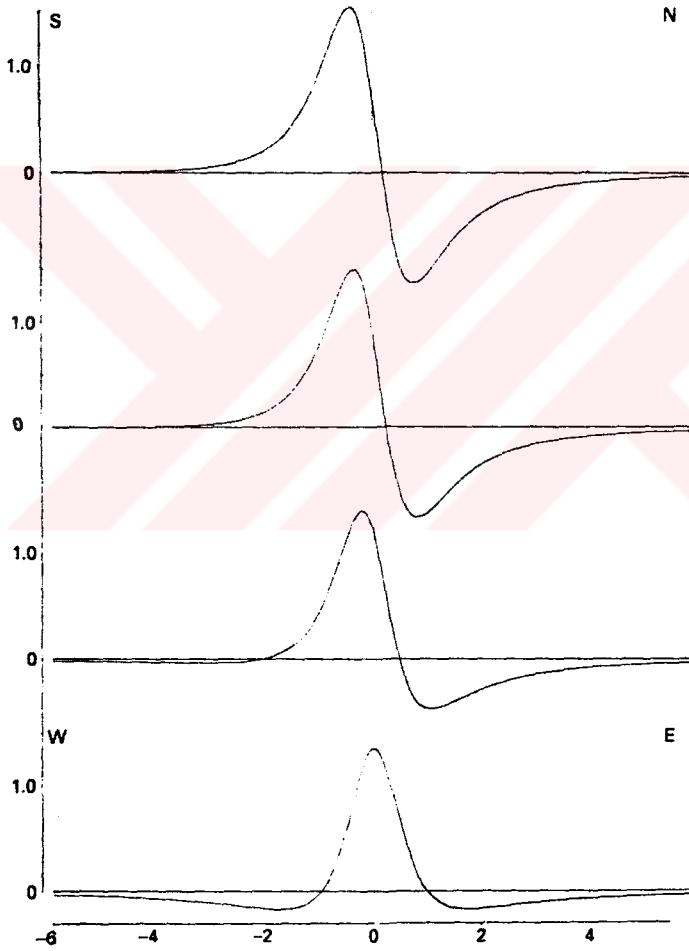
genliği yernağnetik alanına göre cismin yönlenmesine bağlıdır. Genlik, cisim doğu batı yönünde uzandığı zaman maksimum, kuzey-güney yönünde uzandığı zaman minimum olur. Uzun yapıları saptamak, izole olmuş çukurlara oranla, sadece anomalinin bir miktar gcl olması nedeniyle değil, aynı zamanda şeklinin, değerlendirme tekniği iyi seçildiğinde gözle belirlenebilirliği nedeniyle daha kolaydır.  $1260 \times 10^{-6}$  Slu mıknatıslanma katsayısı olan, 90cm genişliğinde hendek üzerinde 30cm derinden sürülmüş üst toprak varsa ve sensör 30 cm yüksekte tutulursa 4.5 nT'lık anomali gözlenir (Scollar ve diğ. 1990). Derinliğin artması ve boyutların küçülmesi ile bir çok anomali saptanamaz hale gelir. Bu tip anomalileri saptamak çok önemli olduğunda özel değerlendirme teknikleri kullanılmalıdır.

Anomalinin genişliği cismin gömülme derinliğine ve boyutuna bağlıdır. Sabit derinlikte değerlişik boyutlardaki düşey levha anomalileri şekil 10'da gösterilmiştir, geniş anomaliler geniş yapılardan kaynaklanmaktadır.

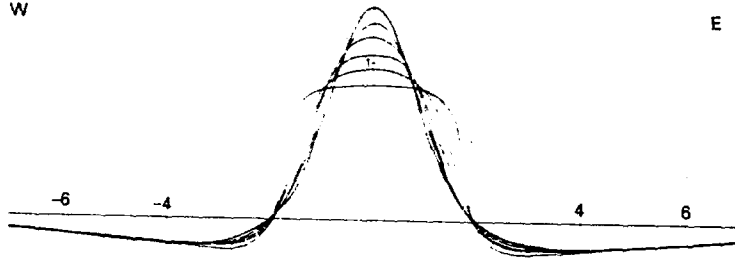


şekil 10: Sabit derinlikte değerlişik boyutlarda düşey levha anomalisi (Scollar ve diğ. 1990).

Anomalinin şeklinin, yapının yönüne bağlı olduğu Şekil 11'den izlenebilir. Eğer cisim büyük bir genişliğe sahipse, o zaman anomalinin şekli düz tepeli olur. Bu durumu gösteren Kuzey güney yönünde uzanan değişik genişliklere sahip hendek anomalileri Şekil 12'de görülmektedir. Diğer yönlerde uzanan cisimler için mağnetik anomalinin genliği kuzeye gidildikçe artar ve tepede oluşan düzlük bozulur.

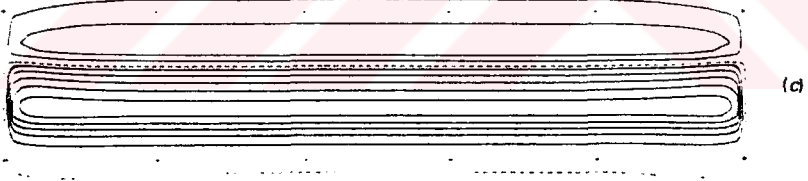
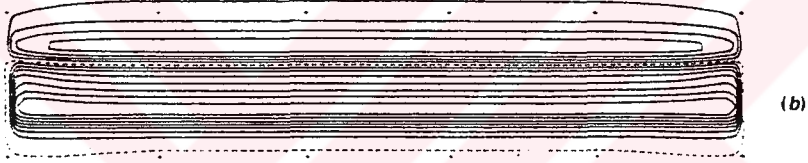
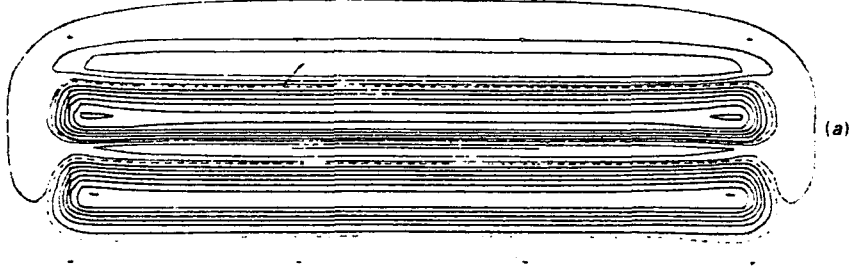


Şekil 11: Kuzey-Güney yönüne sahip hendek anomalisi (Scollar ve diğ. 1990).



Şekil 12:Geniş hendek için anomali şekilleri (Scollar ve diğ. 1990).

Değişik arkeolojik zamanlara ait aynı alan üzerinde kazılmış birkaç hendeğe çalışmalar sırasında rastlanabilir. Problem, bu tip katı hendekler ile derin olarak gömülü geniş tek hendek ya da duvarları ayırt etmekte ortaya çıkar. Sözü edilen yapılara ait şekiller Şekil 13'de verilmiştir. Gömülme derinliğinin artması ile çift pikin, tek pike dönüştüğü ve, düz tepeli olduğu açıkça görülmektedir.

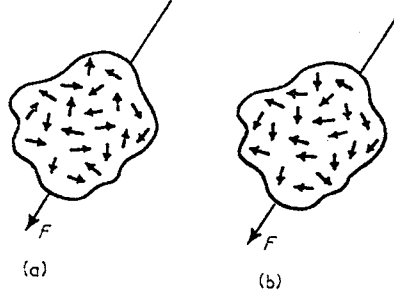


**Şekil 13: Katlı hendeklerin oluşturmuş olduğu mağnetik anomaliler: 5.2 birim genişlikte, 3.2 birim genişlikte, doğu-batı yönünde yönlenmiş üçgen kesitli hendek,  $F=47000$  nT,  $I=65^\circ$  ve  $k=10^{-3}$  emu'dur. a)aynım (separation) 1.8 birim, yapının üstüne olan derinlik 0.38 birim, kontur aralıkları 50 nT. b)aynım 0 birim, derinlik 1.0 birim, kontur aralıkları 10 nT. c)aynım 0 birim, derinlik 2.0 birim, kontur aralıkları 10 nT (Scollar ve diğ. 1990).**

### II.1.2.2. Yanmış Malzemelerin Oluşturduğu Mağnetik Anomaliler

Mağnetik araştırmalarda çanak çömlek fırınları büyük anomaliler verirler. Bu ise ateşin bulunuşundan bu yana insanlığın geçirdiği evrimin saptanabilmesi için çok önemli bir bulgu olmaktadır. Fırınları saptayabilmenin yanında, bulunan fırınlardan alınan yönlü örneklerin incelenmesi sonunda yermağnetik alanının o dönemdeki yönü ve şiddeti saptanarak uygarlığın yaşı hakkında bilgi edinmek mümkün olmaktadır. Fırında mağnetik anomali oluşturan mekanizma ısı kalıntı mıknatıslanmadır. Eğer killi toprak ağır ağır yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılır ve yermağnetik alanında soğutulursa zayıf bir mıknatıslanma kazanacaktır. Isıl kalıntı mıknatıslanma volkanik kayalarda görülen mıknatıslanma türüdür ve lav akıntılarna yakın yerlerde değerlendirme için yeterince güçlü mağnetik anomali oluşturur. Örneğin sıradan bir yapım tuğlası pusulayı yarım derece, pusula çok yakınlaştırıldığında ise daha da çok saptımaya yetecek ısı kalıntı mıknatıslanmaya sahip olur. Bu etki, mağnetit ve hematitin, ferromağnetizmanın daha zayıf bir türü olan ferromağnetik mıknatıslanma kazanması sonucudur (Aitken 1961). Yerkabuğunun içerdiği mağnetit ve hematit gibi demir oksitler, nemli toprak, kil ve bazı kayaçlarda önemli miktarlarda olabilir. Sıcaklık artıkça bu maddelerin mağnetik domenleri yermağnetik alanı yönüne yönlenirler, tekrar soğuma ile domenlerin yönü sabitlenmiş olur. Şekil 14.a küçük mıknatıs çubuk için domenlerin gösterilmesi ile pişirilmemiş kil parçasındaki durumu gösterir. Net mağnetik etki, her küçük parçacığın etkisi, ters yönde diğer parçacıklar tarafından dengelendiği için yaklaşık olarak sıfır olur. Şekil 14.b ısıtılma sonrası durumu göstermektedir, kil parçası şimdi çok zayıf sürekli mıknatıslanma göstermektedir.

Hematitin sahip olduğu ferromağnetik mıknatıslanma (doğun mıknatıslanma 0.5 emu/g), mağnetitinkine oranla (doğun mıknatıslanma 92 emu/g) zayıftır ( $4\pi \times \text{emu/g} = \text{Slu}$ ). Sonuç olarak, bu mineraller kil içine dağıldığı zaman, mıknatıslanma, pişme sıcaklığı ve soğumanın olduğu yerdeki mağnetik alan şiddetine bağlı olarak elde edilebilir. Yermağnetik alanı içerisinde (yaklaşık 0.5 Oersted) yüksek sıcaklıklardan başlayarak soğumaya bırakılan kil örneğinin kazandığı kalıntı mıknatıslanma, mıknatıslanma katsayısını 0.0001 ve 0.1 emu/g arasında değiştirebilir.



Şekil 14 a)Pişmemiş kil.Dömenler rastgele yönlenmişlerdir ve net mağnetik etki çok küçüktür.

b)Pişmiş kil. Yüksek sıcaklık, sonradan normal sıcaklıklarda sabit olarak kalan yönlenmeye yol açar (Aitken 1961).

### II.1.2.3. Ocak Anomalilerinin Gücü

Farklı uygarlıklara ait ocaklar yapım olarak farklar taşımasına karşın tümü çok miktarda yanmış kil nedeniyle ortak özelliklere sahiptir. Ocak veya fırın içerisindeki kil ham olarak doğrudan kullanılan toprak ya da bu amaç için yapılmış özel tuğlalar şeklinde olabilir. Kil miktarı fırından fırına değişir fakat 1000 kg yanmış kil, güçlü anomali oluşturmak için uygundur (Aitken 1961).

Pişmiş kilin spesifik mıknatıslanması 0.001-0.1 emu/g aralığında alınır, fırının toplam mağnetik momenti 500 ve 500.000 emu değerleri arasında bulunur (uygulanan alanın gücü 50.000 nT alınarak).

Fırınlara şekilleri düzensiz olması nedeniyle bileşke mağnetik alanı hesaplamak genel olarak mümkün değildir. Ancak bazı tiplerinde yanmış kilin esas parçaları ocağın zemini üzerinde merkezi tabanda elde edilir. Bu tabanın küre olduğu tahmin edilerek onun mağnetik alanı, aynı momente sahip olan kısa mıknatıs çubuk olarak, yaklaşım sağlanabilir (Düzgün olarak mıknatıslanmış kürenin alanı tam olarak merkezinde yer alan aynı momentli kısa mıknatıs çubuğa eşittir). Böyle bir kısa mıknatıs çubuğunun sahip olduğu kuvvet,  $\Delta F$ ,

$$\Delta F = \frac{2M}{d^3} \quad (2.1.15)$$

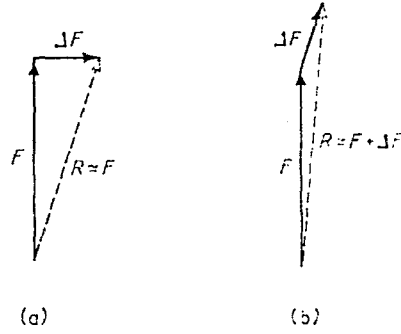
olarak verilir. Burada M mıknatısın momenti ve d uzaklıktır. M=5000 emu olduğunda, d=1m için,  $\Delta F=1000$  nT, d=2m için,  $\Delta F=125$  nT ve d=3m için,  $\Delta F=37$  nT olacak şekilde anomaliler elde edilir. 37 nT lık anomali proton mağnetometreler ile kolaylıkla ölçülebilir. Mağnetik yöntem kullanılarak 1960 da 30 adet Romen İngiliz çanak çömlek ocağı saptanmıştır. Zeminin üzerinden 4 feet aşağıdaki cismin oluşturduğu anomali 100-200 nT değerindedir. Bu tür güçlü anomaliler olasılıkla ocakların yapımından kaynaklanmaktadır ve ileri seramik teknolojisi kullanılmayan uygarlıklar için bu anomalilerin elde edilmesi sözkonusu değildir (Aitken 1961).

#### II.1.2.4. Anomalilerin şekli

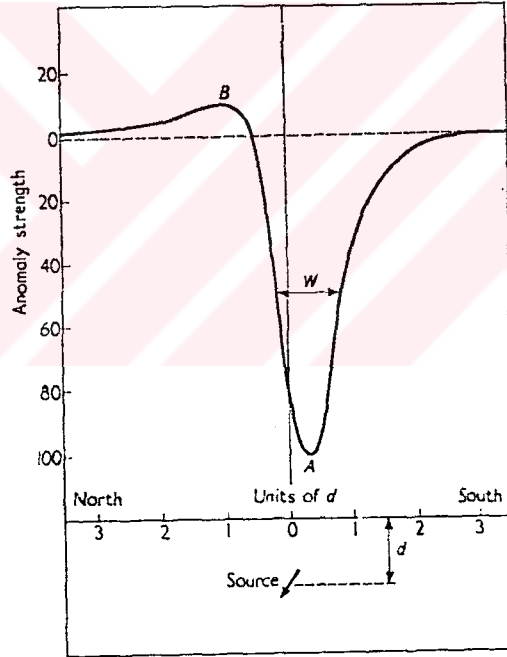
Proton mağnetometreleri, R toplam alanın büyüklüğünü ölçerler ve yermağnetik alanının toplam alan vektörü F ile ocağın oluşturduğu ek alanın toplanması ile bulunur. Bu durum şekil 15'te görölmektedir. Bunu hesaplamak çok kolay değerdir.

$\Delta F$ 'nın yönü F'e dik olduğunda R, F'den büyüklük olarak farklı değerdir, yalnızca yönü değerir (şekil 15.a).  $\Delta F$ , F ile aynı yönde olduğunda R, F ile  $\Delta F$ 'in toplamından bulunabilir.

Kısa mıknatıs çubuğa eşdeğer ocak anomalisi üzerinde kuzey-güney yönü boyunca hesaplanan anomali şekil 16'da verilmiştir. Yatay birim uzunluğu, ölçümleri yapılmış olan mıknatısın aşağı doğru uzanan derinlik birimine eşittir. Düşey eksen proton mağnetometrelerin gösterim duyarlılığına uygun olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 15.a) Anomali alanı, esas alana dik,  
 b) Anomali alanı, esas alana paralel (Aitken 1961).



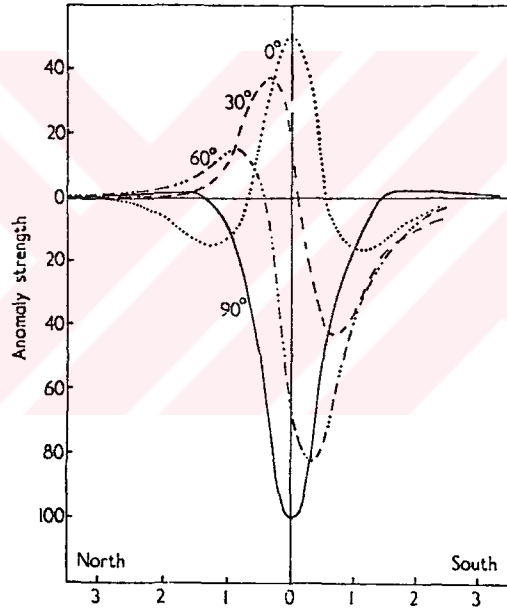
Şekil 16 İdealize edilmiş ocak anomalisi. Kaynak,  $d$  derinliğinde kısa mıknatıs çubuğa eşdeğerdir. Dalım açısı  $1,68^\circ$  alınmıştır (Aitken 1961).



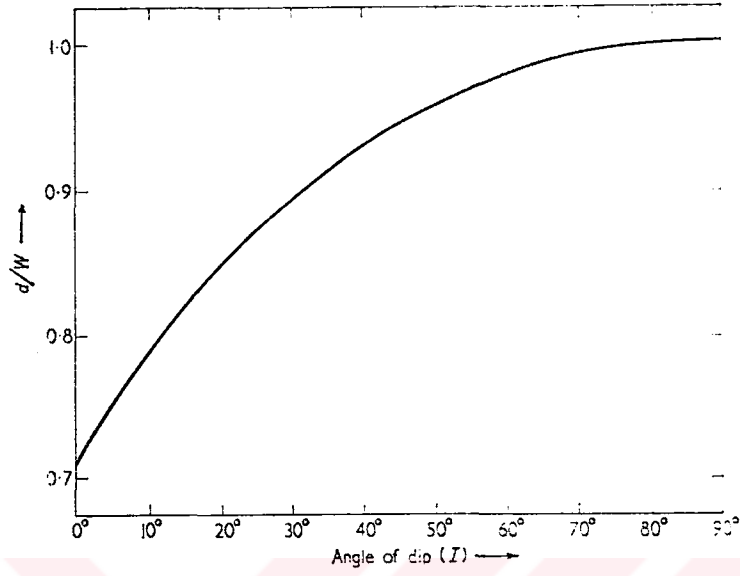
Şekil 17, farklı açılar için anomalinin şeklini ve Şekil 18 anomalinin gömülme derinliğinin, yarı genişliğine ( $W$ ) oranının dalım açısı ile değişimini gösterir.

Yukarıda yer alan tartışma sadece kısa mıknatıs çubuğa iyi yaklaşım gösteren kaynaklara uygulanır, yani düzgün olarak mıknatıslanmış küre ya da uzaklığa oranla küçük boyutlu kaynaklar içindir.

Daha küçük ocaklar ve küçük fırınlar, normal büyüklüğe sahip ocaklara oranla, yanmış kil miktarının azalmasıyla ilişkili olarak, daha küçük anomaliler oluştururlar. Bu tip anomaliler, gömülme derinliği kadar olan uzaklıkta kolaylıkla saptanabilir.



Şekil 17: Anomali şekli üzerinde enlemin etkisi. Kısa mıknatıs çubuk anomalileri farklı manyetik enlemlerden elde edilmiştir (Aitken 1961).



Şekil 18: Anomalinin genişliği üzerinde enlemin etkisi.  $d$  gömülme derinliğini gösterir (Aitken 1961).

Yanmış materyallerin mağnetik etkisi büyük ölçüde düzensizliklerle sönümlenir. Miknatıslanma yönlü bir etkidir ve mağnetik domenlerin rastgele yönlenmeleri durumunda net mağnetik etki büyük oranda azalır. Bu nedenle de daha büyük ölçekte olsa bile yanmadan sonra parçalar hareket ettirilmişse, yapıyı mağnetik yöntemle tespit etmek zorlaşır. Bu durum çanak çömlek parçaları döküntüsü şeklinde düşünülebilir. Her tek parçanın ısı kalıntısı miknatıslanması olmasına karşın ölçülen net etki göreceli olarak küçük olacaktır.

### II.1.2.5. Toprak Gürültü Kaynakları

İlgilenilen gömülü yapılar, şekil, mıknatıslanma ve gömülme derinliğine bağlı olarak anomaliler oluştururlar. Genel jeofizik araştırmalarda olduğu gibi arkeojeofizik amaçlı çalışmalarda da araziden alınan ölçüler, aranan asıl cismin izi ile birlikte gürültü olarak adlandırılan anomalileri de içerirler. Bu nedenle ölçü alımının, gürültü kaynaklarını olabildiğince azaltacak, aranan yapılara ait izleri de büyütecek ve veri gösterim ve değerlendirme tekniğinin de alandan elde edilen sonuçları en etkin şekilde ortaya koyacak şekilde olmasına dikkat edilmelidir.

Ölçü alım sırasında kareyaj üzerinde sensörün pozisyonunda doğrudan az yada çok sapmalar olabilir. Yatay pozisyon hataları anomalinin şeklinde noktadan noktaya doğru değerden farklılaşmaya neden olur. x,y yönünde ölçülen manyetik anomali üzerinde, yapının gömülme derinliğinin büyük etkisi vardır. Eğer aranan yapı ya da cisim sensöre yakınsa anomali geniş olacaktır ve küçük pozisyon hataları çok sorun olmayacaktır. Toprak yüksek oranda manyetik mineral içerirse, sensöre yakın olan yüzeydeki düzensizlikler, sensorun bir parça kaldırılması ile kolaylıkla elimine edilebilecek rastgele etkilerin bazılarını içerebilir. Bu durum küçük ve derin yapıların oluşturacağı anomalileri küçülterek belirlenmelerini engelleyebilir. Ayrıca temel kayanın manyetik olduğu durumlarda bu önlemin yardımı olmayacaktır. Yüzeydeki küçük miktar demir nedeniyle oluşacak anomaliler mesafenin küpü oranında azalır. Bu nedenle daha yüksek sensor pozisyonu eğer arkeolojik anomaliler geniş ve büyükse, gürültüleri azaltmakta yardımcı olabilir. Yüzey toprağı mıknatıslanma katsayısı ve anomaliye ait özellikler bilinerek yapılan testte optimum sensör yüksekliği,  $500 \times 10^{-6}$  Slu dan daha az yüzey mıknatıslanma katsayısı için, 30cm;  $500-2000 \times 10^{-6}$  için 60cm ve  $2000-5000 \times 10^{-6}$  için 1m olarak seçildiğinde iyi sonuçlar alınmıştır (Scollar ve diğ.1990).

Yüzeye dağılmış küçük gürültü kaynakları sensor pozisyonu ile giderilebilir ancak savaş zamanından kalma büyük çukurlar, büyük boyutlu metal dağılımların etkilerini bu yolla ortadan kaldırmak pek mümkün değildir.

## **II.2. Self Potansiyel Yöntemi**

SP yöntemi metalik sülfid maden yapılarını araştırmak için Jeofizikçiler tarafından 1920 lerden beri kullanılmaktadır. Son zamanlarda daha çok jeotermal alanların araştırılması ve haritalanması amacıyla kullanılmaktadır. Arkeolojik alanlara SP yöntemi ilk kez Wynn ve Sherwood (1984) tarafından uygulanmıştır. Wynn ve Sherwood (1984) sözkonusu çalışmalarında "SP yöntemi gömülü metalik cisimlerin altında yatan aktif oksidasyon bölgeleri kadar, dağılmış toprak ve gömülü yapıları haritalamak için uygundur ve yöntem rezistivite, su içeriği ya da magnetit içeriğini ölçmez ve dolayısıyla insan kültürel kalıntılarının haritalanması ve keşfi için yeni parametreler sunar" saptamasını yapmışlardır.

SP'de iki elektrot arasındaki doğal gerilim bir milivoltmetre aracılığıyla ölçülür ve dolayısıyla SP ekipmanı ucuz ve pratiktir, fazla insan gücü gerektirmemesi nedeniyle de çok kullanışlıdır.

### **II.2.1. Self Potansiyel Etkisi**

Wynn ve Sherwood (1984)'e göre arkeolojik alanlarda SP anomalilerini oluşturan mekanizmalar şunlardır.

#### **II.2.1.1. Termoelektrik Kuplaj**

Kaya örneklerinin bir yandan diğer yöne geçirmiş olduğu sıcaklık değişimi voltaj değişiminde artmaya neden olur. Bu voltaj farkı 1) gözenek sıvısındaki , 2) kaya matrisi içindeki elektronlar ve verici iyonların termal difüzyon farkı ile oluşur. Bu mekanizmanın jeotermal alanlar üzerinde gözlenen SP anomalilerine katkı yaptığı düşünülür. Fakat bu etki göreceli olarak düşük genliklidir. Termoelektrik kuplaj katsayılarının laboratuvar ölçmelerine dayanan hesaplamaları anomalilerin sadece 10-15 mV olduğunu gösterir.

### **II.2.1.3. Elektrokimyasal Yoğunlaşma Hücreleri**

Nourbehecht (1963) jeokimyasal konsantrasyon hücrelerinden beklenen potansiyel farkının maksimum 20 mV civarında olabileceğini hesaplamıştır. Semenow (1974), Corwin ve Hoover (1973) maksimum anomalilerin tuz bataklık alanlarında 30 mV, pegmatit yapılarında 20-40 mV civarında olduğunu yazmışlardır. Gay (1967) ise sülfirik asit alunit kil aşındırması ile oluşan etkinin 1800 mV anomali oluşturduğunu yazmıştır. Bu etki eski insan yerleşim alanlarında beklenmez.

### **II.2.1.3. Mineralizasyon Gerilimi**

Sato ve Money (1960) mineral depoları üzerinde gözlenen sürekli SP anomalilerinin kaynağı için üstte ve altta su tablası yerleşmiş olan sülfid minerallerinin oksidasyon redüksiyon mekanizması olduğunu önerir. Genelde maden aramalarında ölçülmek istenen gerilimdir. Doğada bulunan pirit, kalkopirit, galenit, sfelirit gibi sülfürlü ve oksitli cevherleşmeler genlikleri birkaç yüz milivolta varan SP anomalilerinin kaynağı olabilirler (Çağlar 1991). Bu etki büyük gömülü metal cisimler hariç olmak üzere insan yerleşimleri ya da küçük maden bulunuşunda doğrudan oluşmaz.

### **II.2.1.4. Toprak Nemi**

Toprak nem içeriğindeki değişimler sıklıkla yüksek SP değişimleri verir, daha ıslak topraktaki elektrotların potansiyel farkı genellikle daha pozitif olur. Toprak ile elektrod teması sağlamak amacıyla toprağa dökülen su 20-30 mV kadar geçici voltaj farkına neden olabilir. Dikkatli yapılan alan gözlemleri ve uygulama ile bu etki ortadan kaldırılabilir.

### II.2.1.5. Elektrot polarizasyonu

Sahte potansiyel farkı, kullanılan elektrotların elektrolit ya da gözenek bileşimi yabancı kimyasal maddelerle bulaşmışsa veya elektrolit sıcaklıkları ve gözenek nemi farklı ise iki elektrod arasında ölçülebilir. Bu voltaj farkı ya da polarizasyon sabit olabilir ya da araştırma süresi uzunsa zamanla değişebilir. Özel elektrodlar ve dikkatli alan ölçümleriyle önlenabilir.

### II.2.1.6. Elektrokinetik ya da Streaming gerilimi

Bu gerilim arkeolojik incelemelerde beklenen voltajların ana kaynağı olarak düşünülür. Bu voltaj gözenek yüzeyinde Helmholtz çift tabakası ile gözenek sıvısı hareketinin (örneğin yağmur suyu) karşılıklı etkileşimi ile oluşur. Su yavaşça içeri hareket ederken kayaç ya da toprak kütlelerinin dışında iyonların çevresel absorpsiyonu ile oluşur. Akışkanların aşağı doğru hareketi, toprak üzerinde net negatif değişimler bırakır ve bu suyun yukarı doğru hareket ettiği kırık üzerinde daha küçük ya da net pozitif voltaj oluşur. Kazma ve geri doldurma ile oluşan toprak porozitesi ya da kil içeriğindeki değişimler SP incelemeleri tarafından ölçülen voltajda değişimlerini yükseltir. Gömülü taş temellerde ölçülmüş olan SP yi etkiler katı, nispeten porozsuz yapı düşey su akışını kesebilir ve üzerinde pozitif SP voltajı verir. Çok çatlak ve aşağı doğru su akışına izin veren yapı negatif SP anomalisine yol açar. Streaming gerilimi ile oluşan SP anomalisi kaya tipi ve gözenek akışkan kimyasına bağlı olarak pozitif ve negatif polariteli olabilir.

SP etkisi topografya ve toprak suyu akışı ile de ilişkilidir, rezervuann kayaç zemininde su çatlak zonların üzerinde 50 mV' a kadar voltaj ölçülmüştür. Düzensiz topografya elektrik akımlarının modele uygun akışını bozması nedeniyle yüzey potansiyel alanını etkileyebilir ve Streaming potansiyeli topografik yükseltiler ile kontrol edilebilir.

SP alan ölçümlerine etki eden diğer değişkenler günlük sıcaklık değişimleri, tellürik akımlar ve insan yapımı elektrik taşıyıcı yapılardır (güç hatları, elektrik alanlar, gömülü metal cisimler, boru hattı aşınma-koruma sistemleri vb.). Bu tip bir yapı ölçüm yapılan arkeolojik alanı etkiliyorsa, yorum yapılırken bu faktörler gözönünde bulundurulmalıdır.

### II.3. Dayk ve Prizma Modelinin Toplam Alan Anomalisi ve Modelleme

Jeofiziğin temel problemlerinden biri gözlenen verilerden yararlanarak ortamı modellemektir. Belirli bir modelin jeofizik tepkisi, karmaşık hesaplamalar gerektirse bile hesaplanabilir. Bunun için yapılması gereken işlemler,

- a) Matematiksel modeli oluşturmak,
- b) Model parametrelerini belirlemek,
- c) Sayısal hesaplamaları

yapmaktır (Canitez, 1992).

Bu tip problem çözümüne düz çözüm adı verilir. Belirli bir matematik model ve parametre kümesi için tek bir çözüm vardır. Ancak aynı jeofizik belirtiyi verebilecek birden fazla (hatta sonsuz tane) model bulunabilir. Jeofizikte asıl amaç da gözlenen veriyi oluşturan model parametrelerini belirlemektir. Gözlemsel veriden modeli belirlemeyi amaçlayan problem türüne ise ters çözüm adı verilir.

Düzgün mıknatıslanmış sonlu veya sonsuz derinlikte uzanan dalımlı bir daykın toplam mağnetik alan anomalisi,

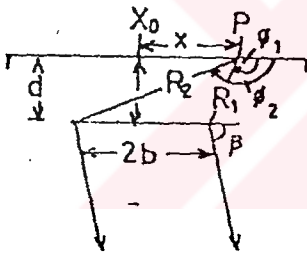
$$T(X) = 2 kTh^2 \sin(\beta) [\sin(2I - \beta) \Delta\phi - \cos(2I - \beta) \ln \Delta R] + T_0 \quad (2.3.1)$$

şeklinde verilmektedir (Gay 1967). Sözü edilen dayk anomalisinin hesaplanmasında geçen büyüklükler ve şekli sırasıyla, Tablo 2 ve Şekil 19'da verilmiştir. Prizma modelinden kaynaklanan mağnetik anomali, ölçü düzlemi altında üst derinlikleri  $d$  ve  $D$  olan sonsuz iki daykın anomalisinden hesaplanabilir. Prizma modelinin model parametreleri 2.3.1 nolu denklemin  $d$ ,  $X_0$ ,  $b$ ,  $D$ ,  $T_0$ ,  $kT$  ve  $\beta$  'ya göre kısmi türevlerin alınmasıyla bulunabilir (Marobhe 1990).

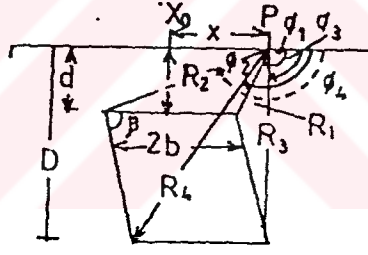
Ters çözüm tekniğinin amacı, bilindiği gibi, gözlemsel değerlerden yararlanarak yeraltı yapısını modellemektir. Bu tür problemin çözümü için gerekli olan doğrusal denklem sistemi,  $m$  adet gözlemsel veri,

$I$	$= \text{Arctan}(\tan i / \sin \alpha)$
$i$	$=$ Yermağnetik alanının inklinasyonu
$\alpha$	$=$ Cismin saatin tersi yönünde kuzeyle yaptığı açı
$\beta$	$=$ Daykın eğimi
$T$	$=$ Yermanyetik alan şiddeti
$x_0$	$=$ Yüzeyde, Prizma veya daykın merkezi
$b$	$=$ Yarı değer genişliği
$d$	$=$ Modelin üst derinliği
$T_0$	$=$ Ortalama seviyesi
$k$	$=$ Süseptibilite kontrastı
$h^2$	$= 1 - \cos^2 \alpha \cos^2 i$
$\Delta \phi$	$= \phi_1 - \phi_2$
$\Delta R$	$= R_1 / R_2$
$\phi_1$	$= \text{Arctan}((x-b)/d)$
$\phi_2$	$= \text{Arctan}((x+b)/d)$
$R_1$	$= (d^2 + (x-b)^2)^{1/2}$
$R_2$	$= (d^2 + (x+b)^2)^{1/2}$

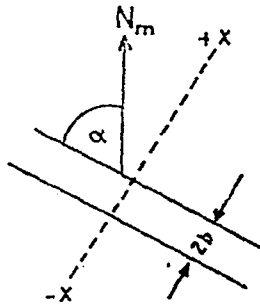
Tablo 2: Daykın toplam alan anomalisini hesaplamakta kullanılan büyüklükler.



A) SONSUZ DAYK MODELİ



B) PRİZMA MODELİ



PLAN GÖRÜNÜŞÜ

Şekil 19: Modelin geometrisi.  $N_m$  mağnetik kuzey ve  $\alpha$  cismin, mağnetik kuzeyle, saat yönünün tersi yönünde yapmış olduğu açıdır.



$$G_i = \text{col}(g_1, g_2, \dots, g_m) \quad (2.3.2)$$

ve varsayılan model parametrelerinin  $n$  adet değeri,

$$p_j = \text{col}(p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (2.3.3)$$

biçiminde yazılırsa, model parametreleri ile gözlemsel değerler arasında,

$$G_i = A_i(p_j) \quad (2.3.4)$$

veya,

$$\begin{aligned} G_1 &= A_1(p_1, p_2, \dots, p_n) \\ G_2 &= A_2(p_1, p_2, \dots, p_n) \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ G_m &= A_m(p_1, p_2, \dots, p_n) \end{aligned} \quad (2.3.5)$$

bağıntıları şeklinde yazılabilir (Pederson 1967). Burada  $A_m(p_n)$  modelin tepkisidir. Bu bağıntı,

$$G = Ap \quad (2.3.6)$$

şeklinde de verilebilir. Burada  $g$  gözlem değerlerini,  $A$  bu değerlerin model parametrelerine göre kısmi türevlerinden oluşan jakobian matrisini ve  $p$  ise model parametrelerini göstermektedir. Model parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan denklem sisteminin doğrusal olduğu durumu gösterir. Bu denklem,

$$p = A^{-1} G \quad (2.3.7)$$

şeklinde hesaplanabilir. 2.3.5 denklem sistemindeki ilişki doğrusal değilse, ilk çözüm parametreleri  $p^0$  olup, C model fonksiyonu Taylor serisine açılarak,

$$G_i = C_i(p_j^0) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial C_i}{\partial p_j} \Big|_{p_j^0} \Delta p_j + \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 C_i}{\partial p_j^2} \Big|_{p_j^0} \Delta p_j^2 + \dots \quad (2.3.8)$$

denklemlerle doğrusallık sağlanır. Bu ifadede ikinci ve daha yüksek mertebeden terimler ihmal edilecek olursa,

$$G_i = C_i(p_j^0) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial C_i}{\partial p_j} \Big|_{p_j^0} \Delta p_j \quad (2.3.9)$$

bağıntısı ele edilir (Aydoğan 1992). Burada  $C_i(p_j^0)$  ye  $C_i^0$  ve  $\frac{\partial C_i}{\partial p_j} \Big|_{p_j^0}$  ye de  $A_{ij}$  denilirse modelin hesaplanan kuramsal yanıtı,

$$G_i = C_i^0 + A_{ij} \Delta p_j \quad (2.3.10)$$

olur. Gözlemsel değerler ile kuramsal değerler arasındaki fark  $G_i - C_i^0 = \Delta G_i$  olarak yazılırsa, 2.21 denklemi,

$$\Delta G_i = A_{ij} \Delta p_j \quad (2.3.11)$$

matris eşitliği şekline dönüşür. Bu denklem,

$$\Delta G = A \Delta p \quad (2.3.12)$$

şeklinde de yazılabilir. Ters çözüm sırasında model parametrelerine her yineleme aşamasında eklenen  $\Delta p$  parametre düzeltme vektörü, ilk çözüm öngörüsü parametrelerine göre her yineleme aşamasında hesaplanır.

Taylor serisine açılarak doğrusallaştırılan model fonksiyonunda, ikinci ve daha yüksek dereceli terimler gözardı edildiğinden, sistemde bir yanılğı oluşacaktır. Bu yanılğının genel olarak gözardı edilen ikinci ve daha yüksek dereceli terimlerin toplamı kadar olduğu düşünülebilir. Bu durumda her bir ölçü noktasında gözlemsel veri ile hesaplanan kuramsal veriler arasında ortaya çıkan farklar  $e$  yanılğı vektörü ile gösterilir.

Bilindiği gibi, bu matrisin kare uzunluğu, bileşenlerinin karelerinin toplamına eşittir. Buna istatistikte " $f^2$  normu" adı verilir.  $f^2$  normuna göre optimum çözüm elde etme tekniğine "*enküçük kareler tekniği*" denir. Gözlemsel veri ile kuramsal veri arasındaki yanılğı,

$$G_i - C_i = e_i \quad (2.3.13)$$

bağıntısıyla verilebilir. 2.3.10 ve 2.3.13 bağıntıları yardımıyla,

$$G_i - (C_i^0 + A_{ij}\Delta p) = e_i \quad (2.3.14)$$

bağıntısı elde edilebilir ve bu bağıntı,

$$G_i - C_i^0 = A_{ij}\Delta p + e_i \quad (2.3.15)$$

şeklinde de yazılabilir (Aydoğan 1992). Burada  $G_i - C_i^0$  'ye  $\Delta G_i$  denilirse, 2.3.15 bağıntısından yararlanarak,

$$e = \Delta G - A\Delta p \quad (2.3.16)$$

şeklinde yazılabilir. Bir vektörün kare uzunluğu, transpozesi ve kendisinin çarpımına eşittir.  $e$  yanığı vektörünün kare uzunluğu  $S$  ile gösterilerek,

$$S=e^T e=(\Delta G-A\Delta p)^T(\Delta G-A\Delta p) \quad (2.3.17)$$

bağıntısı elde edilir. Bu ifadenin minimum olması için,  $S$ 'nin  $\Delta p$  ye göre kısmi türevlerinin sıfıra eşit olması gerekir . Bu,

$$\frac{\partial S}{\partial \Delta p} = 0 \quad (2.3.18)$$

şeklinde yazılabilir (Graybill,1969). Bu ifadeyi 2.3.17 bağıntısında yerine koyarsak,

$$\frac{\partial}{\partial \Delta p} (\Delta p^T A^T A \Delta p - \Delta G^T A \Delta p - \Delta p^T A^T \Delta G + \Delta G^T \Delta G) = 0 \quad (2.3.19)$$

bağıntısı bulunur. Gerekli işlemler yapıp düzenlenirse,

$$A^T A \Delta p = A^T \Delta G \quad (2.3.20)$$

bağıntısı elde edilir. Bu durumda parametre düzeltme vektörü,

$$\Delta p = (A^T A)^{-1} A^T \Delta G \quad (2.3.21)$$

bağıntısıyla bulunur. Bu ifade doğrusallaştırılmış bir denklem sisteminin çözüm bağıntısıdır. Denklem sayısının bilinmeyen parametre sayısından fazla olması durumunda,

$$A_L^{-1} = (A^T A)^{-1} A^T \quad (2.3.22)$$

şeklinde ters matris tanımlanabilir. Bu  $A_L^{-1}$  matrisine genelleştirilmiş ya da Lanczos tersi denir (Lanczos,1961). Bu ifadenin 2.3.23 bağıntısında yerine konulmasıyla,

$$\Delta p = A_L^{-1} \Delta G \quad (2.3.23)$$

bağıntısı elde edilir. Problemin çözümü  $A_L^{-1}$  ters matrisinin alınabilmesine bağlıdır. Bir matrisin tersinin alınabilmesi için, o matrisin kare matris olması ve sistemin determinantının sıfır veya sıfıra yakın olmaması gerekir. Model parametrelerine eklenecek parametre düzeltme değerleri, özdeğerlerin sıfır ve sıfıra yakın olması durumunda kolay hesaplanamazlar. Bu durumdan kurtulmak için sönümlü en küçük kareler algoritması kullanılabilir.  $A^T A$  matrisinin yaklaşık tekil değerler aldığı durumlarda, SVD algoritması daha güvenilir olacaktır. SVD algoritması ters çözüm işlemleri sırasında tekil değer sorununu çözmek ve matris çarpımlarındaki sayısal hataları ortadan kaldırmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu algoritma denklem sayısının bilinmeyen parametre sayısından fazla olması halinde, parametre düzeltme miktarının hesaplanmasında kullanılan  $A_L^{-1} = (A^T A)^{-1} A^T$  yerine, doğrudan  $A$  matrisini kullanır. Bu durum matris çarpımındaki duyarlılığı önemli ölçüde artırır. SVD algoritmasına göre  $A$  jakobian matrisi,

$$A = U \Lambda V^T \quad (2.3.24)$$

şeklinde üç matrisin çarpımı olarak verilir.  $U$ ,  $m$  boyutlu veri uzayını,  $V$ ,  $n$  boyutlu model uzayını gösterir.

Veri sayısının bilinmeyen parametre sayısından fazla olması durumunda,  $A$  matrisinin tersi iyi bir duyarlılıkla hesaplanamaz. Tekil değer ayrımı yapıldıktan sonra 2.3.24 bağıntısı 2.3.21 bağıntısında yerine koyulursa,

$$\Delta p = (V \Lambda U^T U \Lambda V^T)^{-1} V \Lambda U^T \Delta G \quad (2.3.25)$$

bağıntısı ve buradan da,

$$\Delta p = V\Lambda^{-1}U^T\Delta G \quad (2.3.26)$$

biçiminde model parametre düzeltme vektörü hesaplanabilir (Lines ve Treitel, 1984). Burada tekil değerler çok küçük olmadıkça sorun çıkmaz. Bu değerlerin çok küçük olması durumunda değerlere sönüm faktörü eklenerek çözümü gidilir. Bu çözüm şekli Sönümlü En Küçük Kareler yöntemi olarak adlandırılır (Marquardt, 1963). Sönüm faktörünün eklenmesi çözümdeki salınımların ortadan kalkmasını sağlar. Parametre düzeltme vektörünün düzgünleme işlemi,  $\Delta p^T\Delta p = \Delta p_0^2$  den  $e^T e$  minimum yapılarak gerçekleştirilir (Lines ve Treitel, 1984). Bunun için,

$$S(\Delta p, \beta) = e^T e + \beta (\Delta p^T\Delta p - \Delta p_0^2) \quad (2.3.27)$$

fonksiyonunu minimum yapacak şekilde  $\Delta p$  seçilir. Bu bağıntıda  $\beta$  Lagrange çarpanı olup, bağıntının  $\Delta p$  vektörüne göre diferansiyeli alınacak olursa,

$$(A^T A + \beta I)\Delta p = A^T \Delta G \quad (2.3.28)$$

ifadesi bulunur. Buradan  $\Delta p$  parametre düzeltme vektörü,

$$\Delta p = (A^T A + \beta I)^{-1} A^T \Delta G \quad (2.3.29)$$

olarak bulunur. Lawson ve Hanson (1974) ve Jupp ve Vazoff (1975) Marquardt bastırma faktörünü tekil değer aynımı içine ilave etmişlerdir. Bu,

$$A^T A = V\Lambda^2 V^T \quad (2.3.30)$$

bağıntısı yardımıyla gerçekleştirilebilir. Bu matrisin tersi,

$$(A^T A)^{-1} = V \Lambda^{-2} V^T \quad (2.3.31)$$

şeklinde yazılabilir. Marquardt sönüm faktörünün 2.3.30 denkleminde ilavesiyle,

$$(A^T A + \beta I) = V \Lambda^2 V^T + \beta I \quad (2.3.32)$$

veya,

$$(A^T A + \beta I) = V(\Lambda^2 + \beta I) V^T \quad (2.3.33)$$

bağıntısı elde edilir. Bu ifadenin tersi,

$$(A^T A + \beta I)^{-1} = V(\Lambda^2 + \beta I)^{-1} V^T \quad (2.3.34)$$

veya,

$$(A^T A + \beta I)^{-1} = V \text{diag} \left( \frac{1}{\lambda_j^2 + \beta} \right) V^T \quad (2.3.35)$$

olarak bulunur. Bağıntıda yer alan,

$$(\Lambda^2 + \beta I)^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\lambda_1^2 + \beta} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\lambda_2^2 + \beta} & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \frac{1}{\lambda_n^2 + \beta} \end{pmatrix} \quad (2.3.36)$$

ye eşit olup, diyagonalinde tekil değerleri içeren bir matristir. Bu denklem, 2.3.29 bağıntısında yerine konulup gerekli düzeltmeler yapılırsa,

$$\Delta p = V \text{diag} \left( \frac{1}{\lambda_j^2 + \beta} \right) V^T V \Lambda U^T \Delta G \quad (2.3.37)$$

veya,

$$\Delta p = V \text{diag} \left( \frac{\lambda_j}{\lambda_j^2 + \beta} \right) U^T \Delta G \quad (2.3.38)$$

bağıntılarından parametre düzeltme vektörü hesaplanabilir.



### III. BULGULAR

#### III.1. Menekşe Çatağı Höyüğünde yapılan Mağnetik Gradient ve SP ölçüleri

Yapılan çalışmada yermağnetik alanının toplam bileşeninin gradiyenti, duyarlılığı 0.1 nT olan Scintrex Eda Omni 4 gradiometre aleti ile ölçülmüştür.

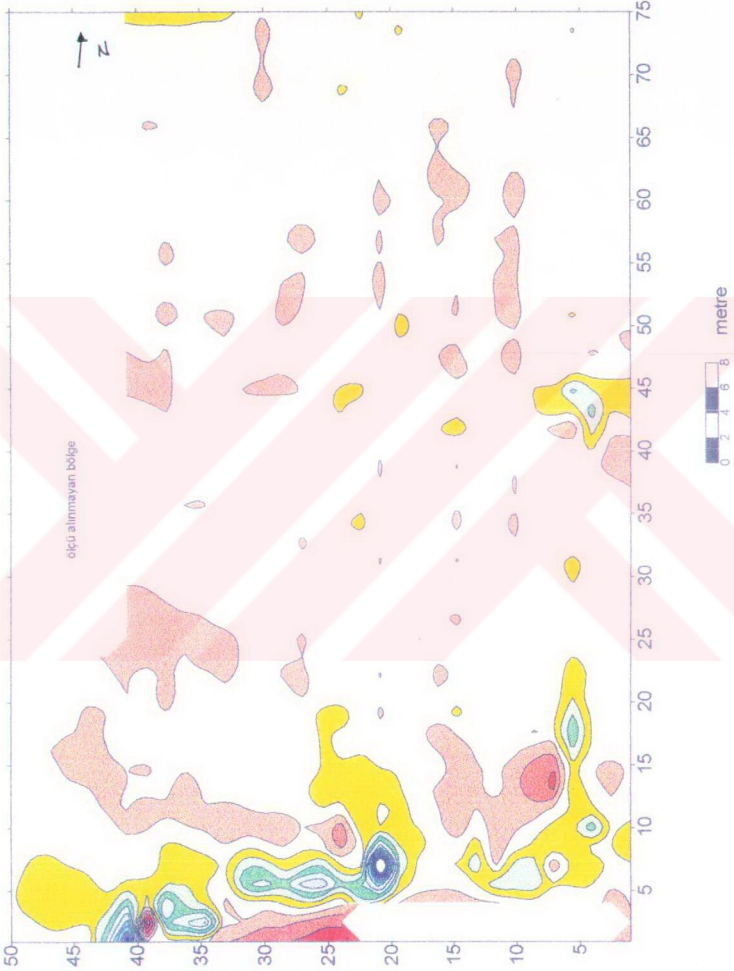
Gradyent anomalilerinin yermağnetik alanının bölgesel dağılımı yanısıra, yermağnetik alanının zamana bağlı değişimlerinden de etkilenmediği göz önüne alınırsa, özellikle, yüzeye yakın kütlelerin oluşturacağı mağnetik alan anomalileri daha duyarlı bir şekilde belirlenebilir.

Daha önce de belirtildiği gibi, höyük alanını ikiye bölen Menekşe Deresi'nin batısında yeralan bölgede (1.Saha, 75mx50m) 1 m'lik ve doğusunda yeralan bölgede (2.Saha, 48mx26m) ise 2 m lik ölçü aralığı ile ölçü alınmıştır. Her iki bölgeden (1.ve 2.Sahalar) 4062 ölçü sonucu elde edilen mağnetik gradiyent anomali haritaları, sırasıyla, Şekil 20 ve 21'de verilmiştir.

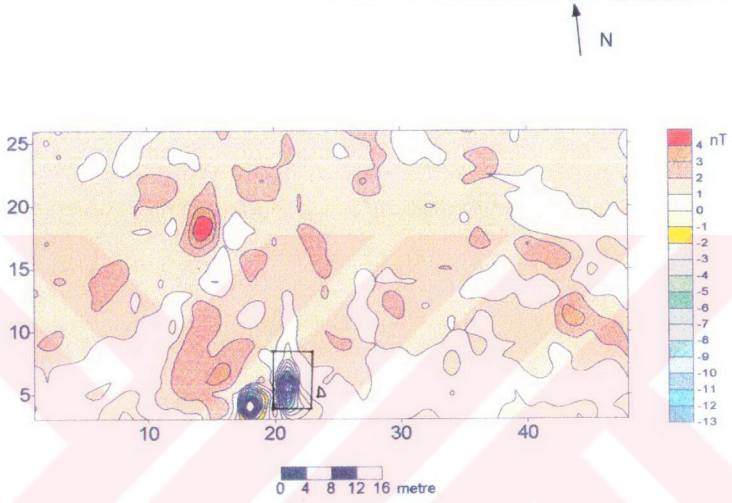
Self potansiyel (SP) ölçüleri, kurşun klorürlü elektrodlarla ve sadece 1. Sahada, 2 m aralıklı profiller üzerinde 1 m de bir, potansiyel ölçü tekniği kullanılarak alınmış ve elde edilen harita Şekil 22 de verilmiştir. Her iki harita birlikte incelendiğinde, haritaların sol kenarında izlenen anomalilerin birbirleri ile uyumlu olduğu açıkça görülebilmektedir.

1. Sahaya ait mağnetik gradiyent anomali haritasına 0.25 devir/metre kesme frekanslı alçak geçişli filtrenin uygulanması sonunda elde edilen harita Şekil 23' de görülmektedir, şekilden de görüleceği gibi, Şekil 20' de harita üzerinde varolan gürültüler giderilmesi ile güney ve doğuda yeralan anomaliler dikkati çeker hale gelmiştir. Bu anomali bölgelerinden alınan üç kesit Şekil 24' de görülmektedir. Kesitlerin modellenmesi sonucu elde edilen model eğrisi ve parametreleri, gözlenen anomalilerle birlikte, sırasıyla, Şekil 25 a,b,c de verilmiştir.

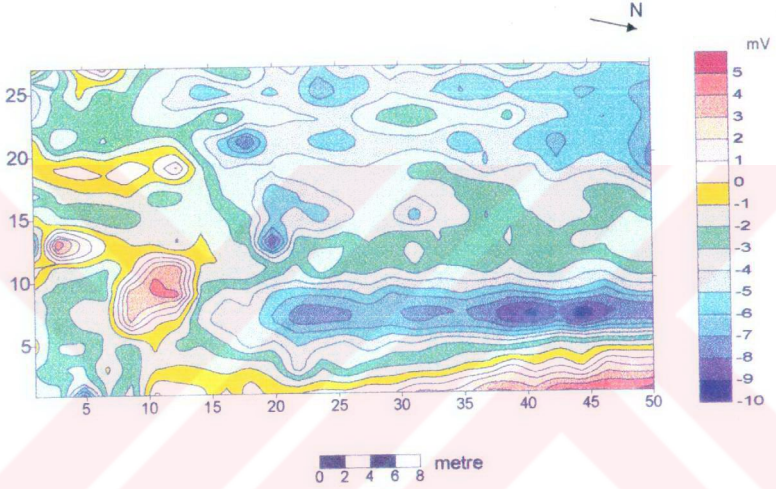
nT



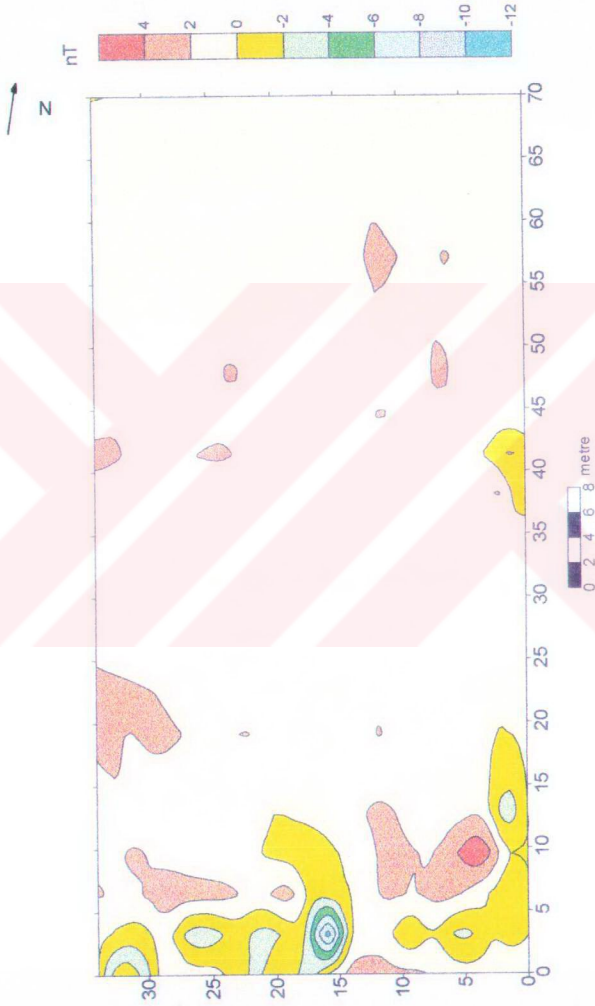
Şekil 20: Menekşe Çatağı 1. Saha mağnetik gradiyent haritası.



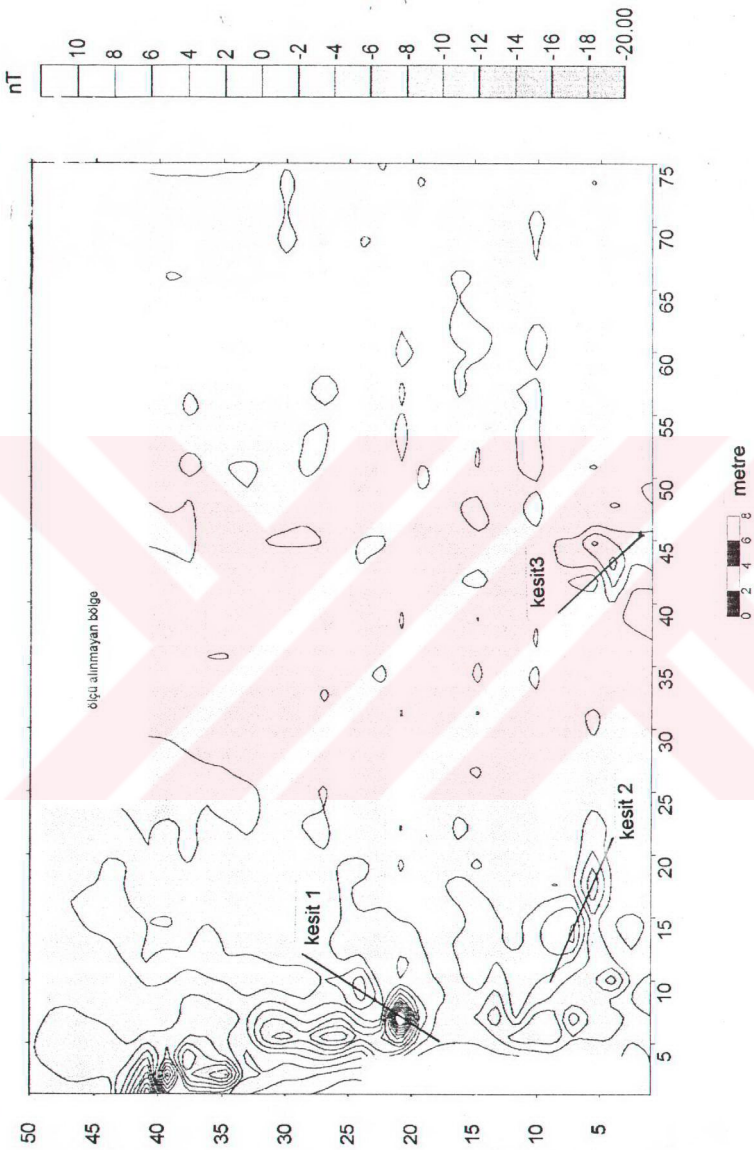
Şekil 21: Menekşe Çatağı 2. Saha mağnetik gradiyent haritası.



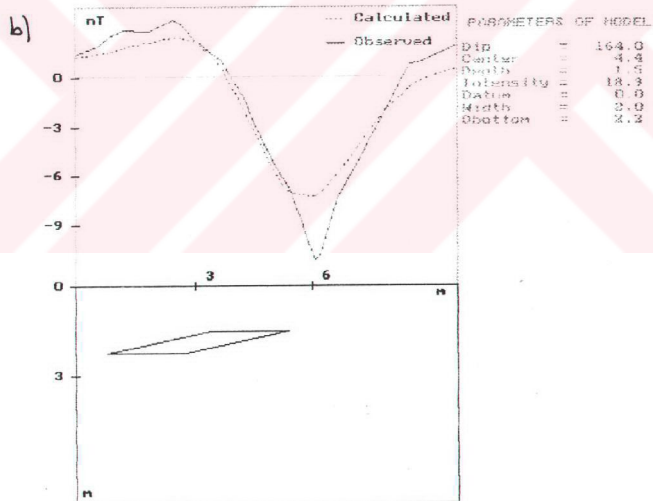
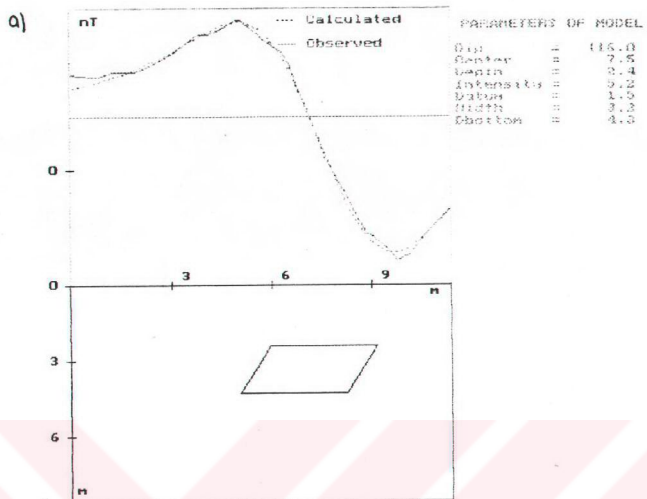
Şekil 22: Menekşe Çatağı 1. Saha ait Self Potansiyel haritası.



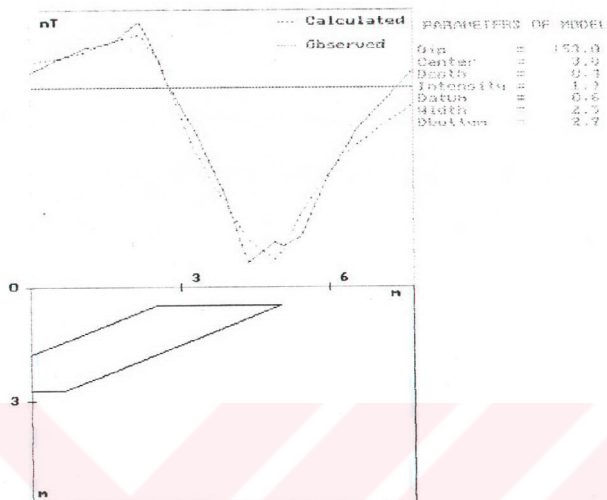
Şekil 23: 1.Sahaya ait mağnetik gradiyent değerlerinin filtrelenmesi ile elde edilen harita.



Şekil 24: 1. Saha Mağnetik gradiyent haritasından alınan kesitler.



c)



Şekil 25.a) 1. kesitin modeli,  
 b) 2. kesitin modeli,  
 c) 3. kesitin modeli.

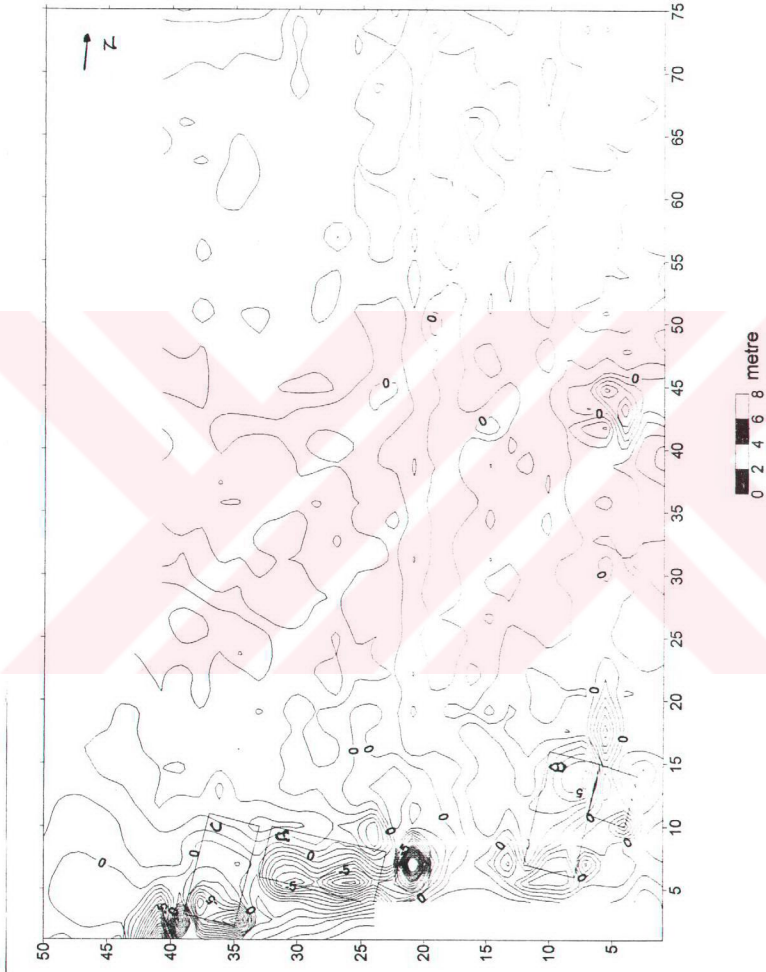


#### IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

1 nolu kesitin modellenmesi sonunda bu anomalinin üst ve alt derinlikleri sırasıyla, 2.40 m ve 4.30 m, dalımı  $116^{\circ}$  ve genişliği de 3.23 m olan 5.226 nT mıknatıslanma şiddetine sahip bir prizmatik kütle tarafından oluşturulduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 26'da Prof. Dr. Mehmet Özdoğan danışmanlığında, Tekirdağ Arkeoloji Müzesi tarafından yapılan kazı bölgeleri (A, B, C) görülmektedir. "A" kazı bölgesi bizim 1 nolu kesitin alındığı bölgeyi içermektedir. "A" açmasının kuzeybatısında yaklaşık 1 m derinlikte Troya 2 tabakasına ait yıkılmış kerpiç yapıların molozları üzerinde, çatısı büyük kiremitlerle örtülmüş helenistik döneme tarihlenen bir yapı bulunmuştur. Ayrıca, yapı içinde taban düzleminde çöken çatı kiremitlerinin kırılmış olduğu çok sayıda çanak, öğütme taşı parçaları ve saçılmış çiviler bulunmuştur. Aynı açmanın güneybatı çeyreğinde ise yine Troya 1 ve 2 tabakasının kerpiç molozu biçimindeki duvar yapısı izlenmeye çalışılmıştır. Açmanın güneybatı köşesinden kuzeye doğru batı duvarı boyunca 1.15 m uzunluğunda bozulmuş sert tabanın altında yer yer çanak parçaları yerleştirilmiş ve ağzı kuzey yönüne dönük olan bir finn bulunmuştur (Özdoğan ve Özdoğan 1994). Şekil 26 da "A" açmasının güney-güneybatı kesiminde görülen kuzeye doğru "U" şeklindeki anomalinin söz konusu finna karşı geldiği görülmektedir.

2 nolu kesitin modellenmesi sonucunda anomalieye neden olan cismin 2 m genişliğe, 1.50 m ve 2.20 m üst ve alt derinliğe  $164^{\circ}$  eğime ve 18.96 nT mıknatıslanma şiddetine sahip olduğu saptanmıştır. Mıknatıslanma şiddetinin yüksek oluşu, burada çivi v.b. gibi malzemelerin yoğun olarak bulunabileceğini göstermektedir. 2 nolu kesite yakın yapılan B açması içinde yaklaşık 0.9 m derinliğinde büyük küplerin ve çok sayıda demir çivinin bulunmuş olması bunu kanıtlamaktadır. Bu açmada da "A" açmasında bulunan yapının benzeri yıkılmış bir yapı ve altında da yine yanmış bir yapı bulunmuştur.

3 nolu kesitin modellenmesi sonunda anomalieye neden olan cismin 2.5 m genişliğinde, 0.4 m ve 2.68 m alt ve üst derinliğinde  $153^{\circ}$  eğimli ve 1.92 nT mıknatıslanma şiddetinde olduğu belirlenmiştir. Oldukça küçük mıknatıslanma şiddetine sahip olan bu cismin küp veya küp parçaları olabileceği sanılmaktadır.



Şekil 26: 1. Sahada yapılan arkeolojik kazı yerleri.

"C" bölgesindeki anomali değerlendirilmemiş, ancak burada yapılan kazı sonucunda 0.80 m kalınlığındaki kültür toprağı içinde bol miktarda kiremit ve küp parçaları ile açmanın güney-batı köşesinde yuvarlak yassı taşlardan oluşan 0.75 m çapında bir taban ve bu tabanın çevresinde küçük çakıl taşlarının serilmiş olduğu bir düzlem üzerinde çanak çömlek parçaları bulunmuştur (Özdoğan ve Özdoğan 1994). Çakıl taşlı düzlem kuzeye doğru düzensiz olarak 1x2m lik bir alana yayılmıştır. Burada izlenen anomalinin dairesel bir görünüm vermesi yanında kuzeye doğru genişlemesi sözkonusu yapı ile büyük uygunluk göstermektedir.

2. Sahada görülen mağnetik ölçülerin 2 m de bir alındığı daha önce de ifade edilmişti. Bu ölçüler anomalilerin olası yerlerini belirlemek amacıyla yapılmış ve ön kazı çalışmaları "D" açmasında çok sayıda Helenistik çukur ve içlerinde kırık amforalar bulunmuştur. Çukurlar arasında kalan tarih öncesi dolgu içerisinde, yoğun kerpiç döküntüsü ve yer yer tam planı anlaşılamayan duvar izlerine rastlanmıştır. Kontur haritasında +4nT büyüklüğündeki pozitif anomalileri, 1.Sahada bulunanlara benzer çanak çömlek parçaları ve kerpiç malzemenin oluşturduğu düşünülmüştür.

## ÖZET

### MENEKŞE (TEKİRDAĞ) YÖRESİ ARKEOLOJİK YERLEŞİM YERLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Bu güne kadar yapılan arkeojeofizik çalışmalarda çok farklı jeofizik yöntemler kullanılmıştır. Yöntem seçimi, arama yapılacak alanın özelliklerine ve yeraltında gömülü yapıların niteliklerine göre yapılmaktadır. Bu çalışmada Mağnetik Gradiometre ve Self Potansiyel yöntemleri kullanılarak Menekşe Çatağı Arkeolojik Höyüğünde gömülü olan yapılar belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu höyük, Tekirdağ'ın 10 km doğusunda Avrupa ve Anadolu Uygarlıkları arasında geçiş oluşturan ve M.Ö. 4000 ve M.Ö. 3000 dönemlerine ait yerleşimlerin bulunduğu düşünülen bir alandır. Arkeolojik alanlarda anomali oluşturan yapı ve cisimlerin özellikleri, oluşturdukları anomalilerin bağlı olduğu parametrelere değinilmiş ve bu alanlarda sıklıkla karşılaşılan çukur, hendek ve gömülü disk anomalilerinden örneklere yer verilmiştir.

Mağnetik gradient haritalarında dikkati çeken anomalileri netleştirebilmek amacıyla haritaya filtre uygulanmıştır ve anomalilerin belirginleştiği görülmüştür. Bu anomaliler üzerinden seçilen kesitler ters çözüm tekniği ile modellenmiştir. Modeller, sahada firın ve duvar kalıntılanna benzer olabilecek sonuçlar vermiştir. Araştırma bölgesinde İ.Ü. Arkeoloji Bölümü tarafından kazı yapılmıştır ve bulunan sonuçlar modellere uygun olduğu görülmüştür.

## SUMMARY

### DETERMINATION OF ARCHAEOLOGICAL SITES IN MENEKŞE (TEKİRDAĞ) REGION BY GEOPHYSICAL METHODS.

Several geophysical methods has been applied in archaeogeophysical studies, up to now. The method is selected according to the characteristics of the investigated area and quality of the buried features. In this study, buried features in Menekşe Çatağı archaeological mound is searched by using magnetic gradiometer and self potential methods. The civilizations in this mound area have been settled in B.C 4000 and B.C. 3000 and these settlements were considered as a transition between the European and Anatolian civilizations. Previously, we mentioned about the characteristic of the features and bodies which is reason to the anomaly in the archaeological field and the parameterization of these anomalies. Beside this, some examples of buried disk and pits anomalies which are encountered oftenly is given.

The filter was applied to the magnetic anomaly map for obtaining the shallow anomalies. The inversion method is applied to the selected profiles from the filtered map for determining the archeological materials. These anomalies were referred as furnace and wall survivals after the interpretation. These results were also supported with archaeological digging.

## VI. KAYNAKLAR

AITKEN, M.J. (1961): *Physics and archaeology*, Oxford Univ.Press.

AITKEN, M. J., WEBSTER, G., REEDS, A. (1958): *Magnetic Prospecting, Antiquity*, 270-271.

AITKEN, M.J., ALLSOP, A.L., BUSSEL, G. D., LIRITZIS, Y., WINTER, M.B. (1989): *Geomagnetic Intensity Measurements Using Bricks from Greek Churches of the First and Second Millennia A.D.*, *Archaeometry*, 31, 77-87.

AYDOĞAN, D. (1992): *Yeraltı yoğunluk dağılımının tespitinde ters çözüm tekniği*, Doktora tezi, İstanbul.

BAŞOKUR, A.T. (1991): *Üç Gerilim Görünür Özdirenç Yöntemi İle Tümüls Araştırmaları*, Türkiye 12. Jeofizik Kurultayı Bildiri Özetleri, Ankara.

BELLUIGI, A. (1931): *Present Time Magnetic Investigation of the Subsoil*, *Miniere Italiana*, 15, 37-41.

BRIZZOLARI, E., ORLANDO, L., PIRO, S., VERSINO, L. (1992): *Integrated Geophysical Methods in Archaeological Surveys*, *Journal of Applied Geophysics*, 29, 47-55.

ÇAĞLAR, İ. (1991): *Jeofizikte Doğal Polarizasyon (SP) Yöntemi*, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul.

CANITEZ, N. (1992): *Jeofizikte modelleme kollokyumu Ders Notları*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.

CLARK, A. J. (1986): *Archaeological geophysics in Britain*, *Geophysics*, 51, 1404-1413.

CORWIN, R. F., HOOVER, D. B. (1979): *The Self Potential Method in the Geothermal Exploration*, *Geophysics*, 44, 226- 245.

COOK, J. C., CARTS, S. L. (1962): *Magnetic effects and properties of Typical Topsoil*, *Journal of Geophysical Research*, 67, 815-828

DALAN, R. A. (1991): Defining archaeological features with electromagnetic surveys at the Cahokia Mounds State Historic Site, *Geophysics*, 56, 1280-1287.

DRAHOR, M. G. (1991): Arkeolojik Alanlarda Jeofiziksel Prospeksiyonun Önemi, IX. Araştırma Sonuçları Toplantısı. 235-250.

DRAHOR, M.G. (1992): Göltepe Erken Bronz Çağ Höyüğü Arkeojeofizik Araştırması. Arkeometri Sonuçları Toplantısı. 39-69.

ERDOĞAN, A., GÜNDOĞDU, O. (1995): Kocaeli Üçtepeliler Tümülsünde Jeofizik Araştırma, *Jeofizik* 9, Nezihi Canitez Özel Sayısı, 13-17.

GAY, S. P. (1967): An 1800 Millivolt Self-Potential Anomaly near Hualgayoc Peru, *Geophysical Prospecting*, 15, 236-245.

GAY, P.S. (1967): Curves For Interpretation of Magnetic Anomalies Caused by Two Dimensional Structures, *Mining Geophysics*, 2, Soc. Expl. Geophysics, 512-548.

FITZPATRICK, E. A. (1971): *Pedology*, Edinburgh.

FROHLICH, B., LANCASTER, W. J. (1986): Electromagnetic Surveying in Current Middle Eastern Archaeology: Application and evaluation, *Geophysics*, 51, 1414-1425.

GRAYBILL, F. A. (1969): *Introduction to matrices with Applications in statistics*, Belmont.

GÜRBÜZ, C., UYAR, O., PONAT, E., TUNCER, M. K., ÇAĞLAYAN, B. (1994): A Report on the Results of Geophysical Measurements on Taken Üç Tepeler Tümülsü in İzmit. 9. Uluslararası Arkeometri Toplantısı. Bildiri Özetleri Kitapçığı.

İLKIŞIK, O. M., BAYRAK, M., BAŞARAN, S., BAŞOKUR, A. T., ULUGERGERLİ, E. (1995): Enez-Çataltepe Tümülsünde Elektromagnetik-VLF ve elektrik araştırmalar, *Jeofizik* 9, Nezihi Canitez Özel Sayısı, 19-23.

JUPP, D. L. B., VAZOFF, K. (1975): Stable Iterative Methods for the Inversion of Geophysical data, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 42, 957-976.

LANCZOS, C. (1961): *Linear Differential Operators*, Princeton, 665-679.

LAWSON, C. L., HANSON R. J. (1974): *Solving least Squares problems*, New Jersey.

LINES, L.R., TREITEL, S. (1984): Tutorial, A Review of Least Squares Inversion and Its Application to Geophysical Problems, *Geophysical Prospecting*, 32, 159-189.

MAROBHE, I. M. (1990): A versatile Turbo-Pascal Program for Optimization of Magnetic Anomalies Caused by Two-Dimensional Dike, Prism or Slope Models. *Computers & Geosciences*, 16, 341-365.

MARQUARDT, D. W. (1963): An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters, *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*, 11, 431-441.

MATIAS, M. S., ALMEIDA, F., (1992): A Geophysical Survey on the Archaeological Site of Mugardos (NW Iberian peninsula), *Journal of Applied Geophysics*, 29, 119-124.

NAGATA, T. (1961): *Rock magnetism*, Maruzen, Tokyo.

NOURBEHECHT, B. (1963): *Irreversible Thermodynamic Effects in Inhomogeneous Media and Their Applications in Certain Geoelectric Problems*, Cambridge.

OGILVY, R. D., CUADRA, A., JACKSON, P. D., MONTE, J. L., (1991): Detection of an Air-Filled Drainage Gallery the VLF Resistivity Method, *Geophysical Prospecting*, 39, 845-859.

O'REILLY, W. (1984): *Rock and mineral magnetism*, London.

ÖZDOĞAN, İ., İŞIKARA, A. M., ORBAY, N., DÜZGİT, Z. (1986): *Arzmağnetizması ilkeler ve uygulamalar*, İ.Ü. Yayınları, İstanbul

ÖZDOĞAN, M., ÖZDOĞAN, A. 1994 yılı Menekşe Çatağı kazısı yıl sonu bilimsel raporu (yayınlanmamış), İ.Ü. Araştırma Fonu Proje No:597, İstanbul.

PEDERSON, L. B. (1977): Interpretation of Potential Field Data a Generalized Inverse Approach, *Geophysical Prospecting*, 25, 199-230.

PINAR, R., AKÇİĞ, Z. (1991): Kösemteğ Tümülsünün Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, Türkiye 12. Jeofizik Kurultayı Bildiri Özetleri.

SATO, M., MOONEY, H. M. (1960): The Electrochemical Mechanism of Sulfide Self-Potential, *Geophysics*, 25, 226-249. SCOLLAR, I. (1965): A Contribution to Magnetic Prospecting in Archaeology, *Archaeo-Physika*, 1, 21-92.

SCOLLAR, I. (1965): A Contribution to magnetic prospecting in archaeology, *Archaeo-Physika*, 1, 21-92

SCOLLAR, I., TABBAGH, A., HESSE, A., HERZOG, I. (1990): *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*, 1. Basım. Cambridge University Press.



SELWOOD, P. W. (1956): Magnetochemistry, New York.

SEMENOW, A. S. (1974): Electrical prospecting with the methods of the natural electric field, Leningrad.

STACEY, F. D., BANERJEE, S. K. (1974): The physical principles of rock magnetism, Amsterdam.

STAVROU, A. (1957): Investigation of the Magnetic Properties of Greek Red Earth, Gerlands Beitrage zur Geophysik, 66, 214-255.

STERNBERG, R.S. (1987): Archaeomagnetism and magnetic anomalies in the American Southwest, Geophysics, 52, 368,371.

STRIGHT, M. J., (1986): Evaluation of Archaeological Site Potential on the Gulf of Mexico Continental Shelf Using High-Resolution Seismic Data, Geophysics, 51, 605-622.

TABBAGH, A., (1986): Applications and Advantages of the Slingram Electromagnetic Method for Archaeological Prospecting, Geophysics, 51, 576-584.

TARLING, D.H., HAMMO, N.B., DOWNEY, W.S. (1986): The Scatter of Magnetic Directions in Archaeomagnetic studies, Geophysics, 51, 634-639.

TUCKER, P. M. (1952): High Magnetic Effect of Lateritic Soil in Cuba, Geophysics, 17, 753-755.

UTECHT, T., LUTJEN, H., STEIN, B. (1993): Geophysical Survey of 1989 at the Archaeological site of Nemrud Dagh, Turkey, Theory and Practice of Applied Geophysics, 7, 249-270.

UYAR, O., PONAT, E. (1989): Türkiye'de M.Ö. 600-M.S. 600 Dönemine ait Arkeomagnetik Sonuçlar, V. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 105-112.

VAUGHAN, C. J. (1986): Ground-Penetrating Radar Surveys Used in Archaeological Investigations, Geophysics, 1986, 51, 595-604.

WYNN, J. C., SHERWOOD, S. I. (1984): The Self-Potential (SP) Method: An Inexpensive Reconnaissance and Archaeological Mapping Tool, 11, 195-204.

YOUNG, T. C., DROEGE, D. R., 1986, Archaeological Applications of Resistivity and Magnetic Methods at Fort Wilkins State Park, Michigan, 51, 568-575.

## ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Uşak'ta doğdum. İlk ve Orta eğitimimi aynı ilde ve Lise eğitimimi İstanbul'da tamamladıktan sonra 1987 yılında İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümüne girdim ve 1991 yılında Lisans derecesiyle mezun oldum. 1993 yılında İ.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yerfiziği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladım. Aynı yıl başladığım İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümündeki görevimi sürdürmekteyim. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası üyesiyim ve Odamız ve İ.T.Ü.Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünün birlikte düzenlemiş oldukları "Nezihi Canitez Sempozyumu"nda "Menekşe Çatağında Arkeojeofizik Çalışmalar " isimli çalışmayı sundum.