

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ KUVATERNER YAŞLI BAZALTİK KAYAÇLARDAN YERMANYETİK ALAN ŞİDDETİNİN SAPTANMASI

INTENSITY OF THE EARTH MAGNETIC FIELD OBTAINED FROM QUATERNARY BASALTIC ROCK IN EAST ANATOLIAN

**N. Baydemir^a, Z.M.Hisarlı^a, M. Cengiz Çinku^a, M. Keskin^b ve
N. Kaya^a**

^a*İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Mühendisliği, Avcılar 34850, İstanbul,
nbydemir@istanbul.edu.tr*

^b*İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği, Avcılar 34850, İstanbul
Corrospoding author: N. Baydemir*

ÖZ

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi Kuvaterner yaşlı bazaltik kayaçları kullanılarak o döneme ait Yermanyetik Alan Şiddeti değişimlerinin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Van Gölü civarından yaşları bilinen 12 mevkiden, 91 adet volkanik kayaç örneği toplanmıştır. Paleosiddet değerlerinin saptanmasında kullanılan ölçüler Geliştirilmiş Thellier Yöntemi'ni temel alan Leonhardt Ölçü Protokolü ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda, beş mevki için elde edilen paleosiddet değerleri güvenilirlik kriterleri çerçevesinde kabul edilebilir bulunmuştur.

Normal polariteye sahip bu beş mevkinin paleosiddet değerleri günümüz Yermanyetik Alan Şiddeti değerinden (47 μ T) oldukça küçüktür. *F* Toplam Alan Paleosiddet değerleri ise sırasıyla; 5.5 my yaşa sahip VAN5 mevkisinde 33.96 \pm 3.54 μ T, 4.3 my yaşa sahip VAN7 mevkisinde 19.98 \pm 6.79 μ T, 0.1 my yaşa sahip VAN8 mevkisinde 26.07 \pm 8.41 μ T, 0.4 my yaşa sahip VAN11 mevkisinde 29.98 \pm 1.71) μ T ve 5.5 my yaşa sahip VAN12 mevkisinde 31.08 \pm 2.88 μ T olarak bulunmuştur. Ayrıca, elde edilen bu beş mevkinin paleosiddet değerlerini, bugüne dek çeşitli yaşlar için elde edilmiş paleosiddet değerleri ile karşılaştırmak amacıyla paleosiddet değerlerinden Eksenal Dipol Momenti (Virtual Dipole Moment-VDM) değerleri hesaplanmış ve dünya ölçeğinde yapılmış diğer paleosiddet değerlerinden elde edilen VDM değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen VDM değerleri dünya ölçeğindeki VDM'lerle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu, Paleosiddet, Kuvaterner, Thellier Yöntemi

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the difference in the intensity of the earth magnetic field by using Quaternary basaltic rocks in Eastern Anatolian region. A total of ninety one volcanic rocks at twelve different sites were sampled around the Van region. The Leonhardt protocol, based on the modified Thellier method, was used to determine paleointensity values. Paleointensity results from five of these sites were accepted to be within the confidence intervals.

The paleointensity values from the five reliable sites with normal polarity show relative lower paleointensity values (47 μ T) than the present-day field. The total paleointensity field values *F*, are obtained as 33.96 \pm 3.54 μ T for site VAN5 with the age of 5.5 m.y., 19.98 \pm 6.79 μ T for site VAN7 with the age of 4.3 m.y., 26.07 \pm 8.41 μ T for site VAN8 with the age of 0.1 m.y., 29.98 \pm 1.71 μ T for site VAN11 with the age of 0.4 m.y and 31.08 \pm 2.88 μ T for site VAN12 with the age of 5.5 m.y. The VDM (Virtual Dipole Moment) values are also obtained by using the paleointensity values to compare the paleointensity values with the different sites and ages obtained from previous studies. Our VDM values display a good coherence with VDM values of previous studies in the literature in the global scale.

Keywords: Eastern Anatolia, Paleointensity, Quaternary, Thellier Method

GİRİŞ

Vektörel bir büyüklük olan yermanyetik alanının doğrultusu, yönü ve şiddeti birkaç yıldan milyonlarca yıla dek uzanan bir zaman aralığında değişime uğrar. Yermanyetik alanının parametrelerinde meydana gelen bu değişimlere *uzun süreli değişimler* adı verilir. Yermanyetik alanının geçmiş jeolojik zamanlardaki doğrultusunun ve yönünün yanı sıra şiddetinin de saptanması olanaklıdır.

Jeolojik dönemlerdeki yermanyetik alanının doğrultusunu ve yönünü araştıran "*paleomanyetizma*" yerbilimlerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Geçmiş dönemlerdeki yermanyetik alanı şiddetinin tayinine kısaca "*paleoşiddet tayini*" adı verilir. Bu konuda yerbilimleri literatüründe jeolojik dönemler için paleoşiddet tayinine yönelik çalışma mevcuttur.

Paleoşiddet tayinine yönelik ilk çalışmayı 1959 yılında Thellier arkeolojik malzemelerle gerçekleştirmişti (Thellier and Thellier, 1959a,b). Daha sonra bu konudaki ilk çalışmalardan biri Momose (1963) tarafından yapılmıştır. Momose'nin bu çalışması Pliyosen zamanında yermanyetik alanını şiddetinin değişimlerini incelemeye yönelik olup, Coe (1967a,b) ve Smith (1967)'in yaptığı çalışma ile Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı kayalardan yermanyetik alanın paleoşiddet değerlerini saptamıştır. Prevot ve Perrin'in (1992) Prekambrinyen'den günümüze dek Thellier yöntemi ile elde edilen paleoşiddet verileri ve Leonhardt vd. (2000)'nin Orta Miyosen'de yermanyetik alanının paleoşiddet değerinin saptanmasına yönelik çalışmalar sonucu yer manyetik alanının değişimi hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmeye başlanmıştır. Leonhardt ve Soffel (2002)'in Kanarya adalarında Orta Miyosen kayaları ile yaptıkları çalışmada ise paleoşiddetin yanı sıra yermanyetik alanın terslenmesi hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Yermanyetik alanın şiddeti uzun süreli değişimler göstermektedir (Lowrie, 1997). Farklı tarihsel dönemler için hesaplanan Gauss katsayıları, 1550 ile 1900 yılları arasında yermanyetik alanını doğuran dipol momentin büyüklüğünün düzgün bir şekilde, yüzyıl başına % 3.2 oranında bir azalma olduğunu göstermiştir. 20. yüzyılın başından bu yana da bu azalma oranı artmış ve % 5.8 olmuştur. Son dönemde dipol momentin büyüklüğündeki bu hızlı azalmanın nedeni bilinmemektedir. Bu olay geçici bir durum olabileceği gibi, yeni bir terslenmenin habercisi de olabilir. Eğer bu azalma aynı oranda devam ederse iki bin yıl sonra yermanyetik alanı sıfır olacağı bildirilmiştir (Leaton ve Malin, 1967; McDonald ve Gunst, 1968; Langel, 1987).

Dünya yerbilimleri literatürü gözden geçirildiğinde paleoşiddet konusunda birçok yayın bulunmasına karşın Türkiye'de yapılan paleoşiddet çalışmaları tek bir yayına dayanmaktadır (Baydemir, 1996). Bu konuda ülkemizden ciddi bir veri eksikliği söz konusudur. Bu amaçla, yermanyetik alanının değişimini ortaya koymak için ülkemizden yeni veriler ile katkı sağlayarak Van gölünün kuzey ve batı kıyılarındaki Nemrut, Süphan ve Tendürek gibi volkanlardan yaşları 0.1 milyon ile 9.8 milyon yıl arasında değişen (Lebedev vd., 2010) bazaltik kayalar örneklenmiştir. Böylece bu zaman aralığında yermanyetik alanın şiddet değişimleri araştırılmış, alan şiddetinin büyüklüğü, alan şiddetindeki azalmanın veya artmanın başlangıç zamanı ve polaritede gerçekten bir değişiklik olup olmadığı ortaya konmak istenmiştir.

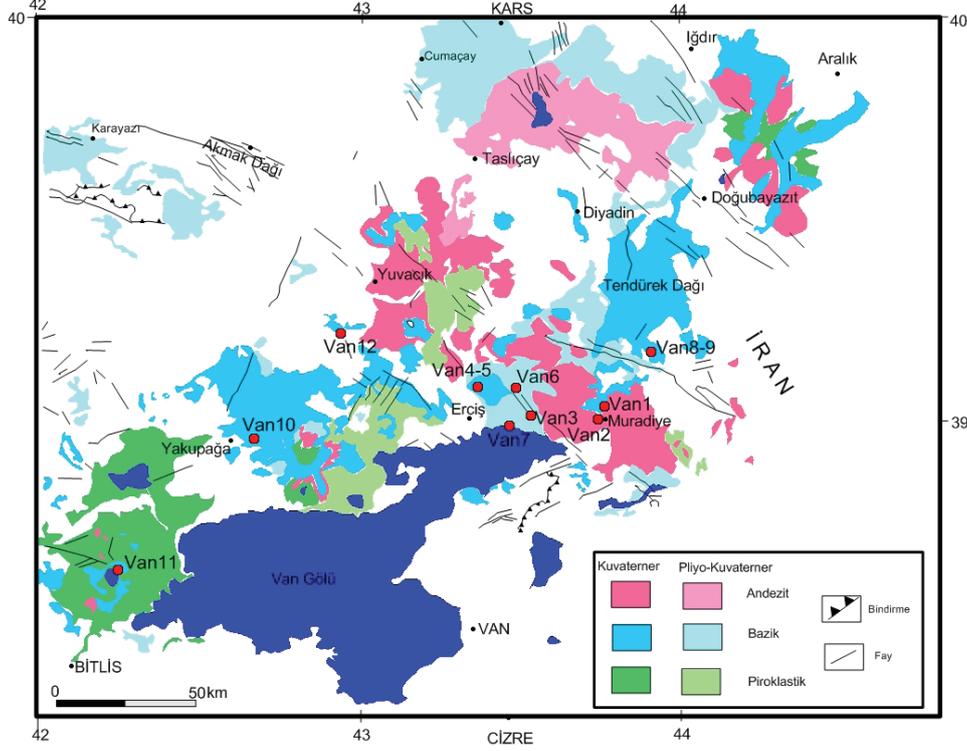
DOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE VOLKANİZMANIN KÖKENİ VE ÖRNEKLEME YERLERİ

Doğu Anadolu yüksek platosunda çarpışma sonrası meydana gelen Pliyo-Kuvaterner volkanizması Ağrı, Nemrut, Tendürek, Süphan gibi büyük büyük stratovolkanların oluşmasını sağlamıştır. Şekil 1'deki jeolojik harita Doğu Anadolu Bölgesi Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner olarak ayırtlanmış volkanik birimlerin dağılımını göstermektedir. Kuvaterner volkanizması Erzurum-Kars platosundan ve kuzeydoğudaki Kafkaslar'dan GB doğrultusu boyunca yayılmaktadır. Bu volkanik aktivite Doğu Anadolu bölgesinin hemen hemen 2/3'sini kaplamış ve bazı bölgelerde 1 km'den fazla bir kalınlığa ulaşmıştır (Pearce ve diğ., 1990; Keskin ve diğ., 1998). Volkanizma Erzurum-Kars platosunda kalkalkalin lavlar ile başlamış ve sonra alkali nitelik kazanarak güney-güneydoğuya doğru göç etmiştir (Keskin, 2003). Bölgede yaklaşık 20 büyük volkanik merkez bulunmaktadır. Bitlis bindirme zonunun kuzeyindeki kalınlaşmış kabukta bulunan volkanizma, hafif alkali volkan Nemrut'tan ve daha yaşlı güneydeki Muş volkanlarından kalkalkaliden alkaliye doğru; Bingöl ve Süphan'a doğru ve alkali volkan Tendürek, kalkalkali volkan Ağrı'ya ve yaşlı Kars plato volkanlarına kuzeye doğru değişkenlik gösterir. Bölgede yapılan radyometrik yaş tayinleri Tendürek için 0.7-0.013 m.y., Süphan için 2.00-0.1 m.y., Nemrut için 2.50-0.01 m.y. olarak belirlenmiştir (Innocenti ve diğ., 1976; Ercan ve diğ., 1990; Notsu ve diğ., 1995).

Yapılan arazi çalışmaları sonucunda 12 mev-

kiden yaşları 290 bin ile 9.8 milyon yıl arasında değişen toplam 91 adet volkanik kayaç örneği toplanmıştır (Şekil 1). Bölgedeki volkanik kayaçlara ait yaş bilgileri Lebedev vd. (2010) den alınmış olup,

örnek yerleri yaş tayinlerinin yapıldığı yerlerden seçilmiş ve paleoşiddet çalışmalarına uygun kayaçlar toplanmıştır (Şekil 2). Örnekler portatif karot alma aleti ile yönlü olarak alınmıştır.



Şekil 1. Doğu Anadolu Bölgesi Kuvarterner ve Pliyo-Kuvarterner olarak ayrılmış volkanik birimlerin dağılımı ve örnek yerleri (Keskin ve diğ., 1998'den sadeleştirilmiştir).

Figure 1. Sample sites and distribution of the Quaternary and Plio-Quaternary volcanic rocks in Eastern Anatolia (modified after Keskin ve diğ., 1998)



Şekil 2. Farklı mevkilere ait örnek yerlerine ait arazi görüntüleri.

Figure 2. Field photos of different sampling sites.

LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

SICAKLIK-SÜSEPTİBİLİTE ÖLÇÜMLERİ

Paleo-şiddet çalışmalarında kullanılan örnekler kullanılan yöntemin gereği bir çok kez ısıtma-soğutma işlemine tabi tutulurlar. Bu ısıtma-soğutma işlemlerinde bazı örnekler kimyasal bozulmaya uğrayarak ölçüm sonuçlarının hatalı olmasına sebep olabilmektedir. Thellier Yöntemi uygulanırken gözlemlenen uyumluluk testi'nin dışında örnekler bazı güvenilirlik testlerine tabi tutulurlar. Bu testlerin en önemlilerinden biri örneklerin sıcaklık-süseptibilite eğrilerini elde ederek örneklerde sıcaklıktan dolayı bir bozulmanın olup olmadığını kontrol etmektir.

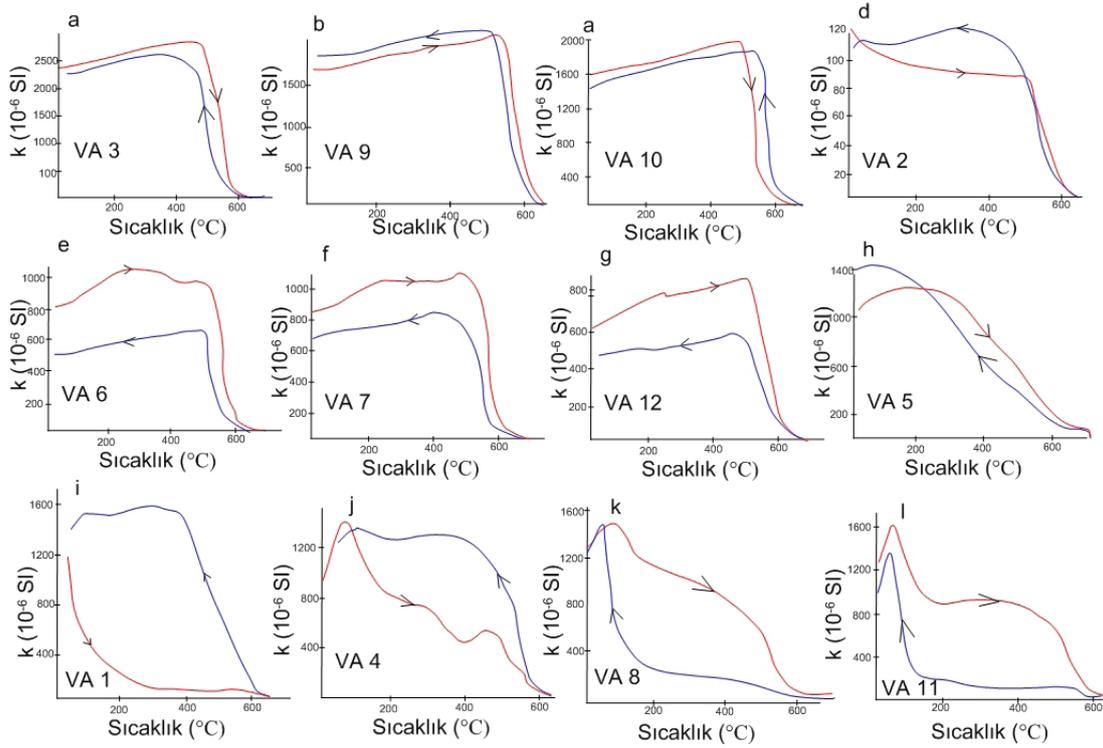
Çalışmada kullanılacak olan örneklerin sıcaklık-süseptibilite değişim eğrileri 'Bartington MS2 Susceptibility-Temperature System' aleti kullanılarak elde edilmiştir. Bu amaç için 12 örnek mevkisini temsil eden kayalardan 20-25 gr kadar kırılıp, agat havanda ince taneler şeklinde hazırlanan granüller numune tutucusu içerisinde yerleştirilerek süseptibilite ölçme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3'de paleoşiddet çalışmalarında kullanılan 12 adet mevkiye ait sıcaklık-süseptibilite eğrileri görülmektedir. **VAN3**, **VAN9** ve **VAN10** mevkisinin örneklerine ait ısınma (kırmızı) ve soğuma (mavi) eğrilerine bakıldığında birbirleri ile uyumlu oldukları ve ısınma ile soğuma sürecinde aynı yolu izledikleri görülmektedir. Eğriler arasında çok az bir farkın gözlenmiş olması bu mevkilerde alterasyonun çok az olduğunu göstermektedir. Eğrilere bakarak bu mevkilerdeki kayaç örneklerinin kalıntı mıknatıslanmasından sorumlu mineralini magnetit olarak tanımlanabilir. **VAN2** mevkisine ait sıcaklık-süseptibilite değişim eğrilerine bakıldığında, 580 °C de görülen Curie sıcaklığı manyetit varlığına işaret ederken, 500 °C den sonra ısınma ve soğuma eğrilerinde görülen farklılık kayaç içinde az miktarda titanyumun varlığını göstermektedir. **VAN6**, **VAN7**, **VAN12** mevkilerinde 580 °C de Curie sıcaklığının elde edilmesi manyetit varlığına, ısınma ve soğuma eğrilerinin süseptibilitelelerinde görülen farklılık örnekler içerisindeki alterasyona işaretir. **VAN6** ve **VAN7** nolu örneklerin ısınma eğrilerinde 450 °C de görülen ani düşüş örnek içerisinde titanyumlu man-

yetitin varlığını göstermektedir. **VAN5** mevkisine ait sıcaklık-süseptibilite değişim eğrilerinde düşük sıcaklıkta bir alterasyon izlenmesine rağmen 200 °C üstünde çok fazla alterasyon görülmemektedir. Eğrinin görünümü bu kayacın mıknatıslanmadan sorumlu mineralinin titanomağnetit olduğunu göstermektedir. **VAN1** mevkisindeki örnek düşük sıcaklıkta ani düşüş göstermiş, ancak soğuma eğrisi aynı yolu izlemeyerek süseptibilite değerlerinde bir artış görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla süseptibilitedeki ani düşüş, bu kayacın paramagnetik bir davranış gösterdiğini ve biotite karşılık geldiğini göstermektedir.

Isınma ve soğuma eğrisi arasındaki farkın büyük olması **VAN4** mevkisindeki örneğin alterasyonun fazla olduğunu göstermektedir. **VAN4** örneğinin ısınma eğrisinde 100 °C - 200 °C ve 350 °C 'de görülen ani düşüşler örnek içerisinde titanyumca zengin titanyumlu manyetit varlığına işaretir. Hem soğuma hem ısınma eğrilerinde Curie sıcaklığı 580 °C'de elde edilmektedir. **VAN8** ve **VAN11** mevkilerine ait süseptibilite eğrileri **VAN4** mevkisinin süseptibilite eğrisine benzemektedir. Ancak, bu örneklerin soğuma eğrileri birbirlerinden çok farklılık göstermektedir. **VAN4** de soğuma eğrisi ısınma eğrisinin üzerinde çıkarken **VAN8** örneğinde ısınma eğrisinin altında kalmaktadır.

Sonuç olarak, sıcaklık-süseptibilite eğrilerine bakarak; **VAN3**, **VAN9** ve **VAN10** mevkilerinin örneklerine ait ısınma ve soğuma eğrilerinin arasındaki farkın az olması nedeniyle paleoşiddet çalışmalarında kullanılabilir olduğuna; **VAN2**, **VAN5**, **VAN6**, **VAN7** ve **VAN12** mevkilerinin örneklerinin sıcaklık-süseptibilite eğrileri arasındaki farkın çok fazla olmaması nedeniyle paleoşiddet ölçü protokollerinde yapılan alterasyon kontrollerinin uygun olması halinde paleoşiddet çalışmalarında kullanılabilir olduğuna ve **VAN1**, **VAN4**, **VAN8** ve **VAN11** mevkilerine ait ısınma ve soğuma süseptibilite eğrilerinin arasındaki farkın fazla olması nedeniyle paleoşiddet çalışmalarında kullanılmasının uygun olmadığına karar verilmiştir. Ancak diğer güvenilirlik kriterlerinden de geçirmek üzere bu mevkilerin örnekleri de ölçüm ve değerlendirme işlemlerine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan örneklerin sıcaklık- süseptibilite eğrileri (Kırmızı ve mavi çizgiler sırasıyla ısınma ve soğuma esnasındaki süseptibilite değişimlerini göstermektedir, k: süseptibilite).

Figure 3. Typical temperature-susceptibility curves for representative samples (The heating and cooling curves are shown by red and blue lines, respectively).

PALEOŞİDDET ÖLÇÜMLERİ

Paleoşiddet ölçümlerinde Coe tarafından önerilen *Geliştirilmiş Thellier Yöntemi* kullanılmıştır (Coe, 1967a,b). Geliştirilmiş Thellier Yöntemi'nin uygulamasında kayaç örneği oda sıcaklığından T_i sıcaklığına dek ısıtılır ve alansız ortamda soğutulduktan sonra kalan Doğal Isıl Kalıntı Mıknatıslanma (DIKM) şiddeti ölçülür (ısıl temizleme). Daha sonra örnek ikinci kez T_i sıcaklığına dek ısıtılır ve bilinen bir laboratuvar alanında soğutulduktan sonra kazanılan Isıl Kalıntı Mıknatıslanma (IKM) ölçülür (pTRM kazandırma). Bu işlem belirlenen T_i sıcaklık adımlarında tekrarlanarak yüksek sıcaklıklara (700°C) dek devam ettirilir. Daha sonra her sıcaklık adımı için kaybedilen DIKM'ların ve kazanılan IKM'ların değerleri karşılıklı olarak grafiklenir (Arai Grafiği). İdeal durumda bu grafik bir doğru oluşturur. Ancak ısıtma işleminde, özellikle yüksek sıcaklıklarda kayaç içindeki manyetik mineraller kimyasal olarak değişime uğrayabilir. Manyetik minerallerdeki bu değişimlerde ideal doğrudan sapmalar meydana getirebilir. Bu sapmaları göz-

lemleyebilmek için birtakım ek ölçüler yapmak gerekir. Çalışmada bu ek ölçüler için Leonardt ve diğ. (2003) tarafından önerilen ölçü protokolü kullanılmıştır. Leonardt ölçü protokolünün detayları Tablo 1'de verilmiştir.

Örneğin 100.00 kodunda 100 örneğin 100 °C ye kadar ısıtıldığını, .00 ise sıfır alanda soğutulduğunu yani bu aşamada ısıl temizleme adımının yapıldığını göstermektedir. Aynı şekilde 100.11 kodu ise kayacın 100 °C ye kadar ısıtıldığını, .11 ise bilinen bir alanda soğutulduğunu göstermektedir. Yani örneğe IKM (Kısmi ısıl kalıntı mıknatıslanma (partial thermal remanent magnetization-pTRM)) kazandırılmıştır. 100.12 kodu ise, örneğin 100 °C ye ısıtılacağını, .12 ise soğutulurken örneğe kontrol amaçlı IKM kazandırılacağını göstermektedir. Ancak, 100.12 adımının bir öncesinde kayaç 250 °C'de termal temizleme yapılmış yani kayacın içindeki DIKM 250 °C sıcaklıkta temizlenmiştir. Bu aşamadan sonra kayaca 100.12 yüklemesi yapılmıştır. 200.13 adımı kayaç içindeki alterasyonu belirlemek amacıyla tekrarlanan bir termal temizleme adımını

göstermektedir. Şöyle ki; 200.00 adımımda ısı temizleme yapılmış ardından aynı sıcaklıkta kayaç bir kalıntı mıknatıslanma kazandırılmış ve tekrar bu kazandırılan IKM aynı sıcaklıkta ısı temizlemeye tabi tutulmuştur. Eğer kayaçta bir alterasyon oluşmamışsa ve kayaç içindeki mağnetik domen SD (tek domen) ise 200.00 ile 200.13 deki adıma ait mıknatıslanma şiddetleri arasındaki fark çok küçük olmalıdır. Kontrol amaçlı yapılan ölçümlerin sonuncusu da 250.14 kodu gösterilmiştir. Bu ölçününün bir öncesi adımımda kayaça 400 °C'de soğurken IKM kazandırılmıştır (400.14). Bu aşamadan sonra kayaça 250 °C de ısısal temizleme yapılmıştır. Bu kontrol işlemine toplamsal kontrol adı verilmektedir. Bu iki ölçününün farkı 250.11 adımıyla aynı olmalıdır.

Tablo 1'de açıklanan protokol çerçevesinde bütün ölçü örneklerinin ölçüleri gerçekleştirilmiş ve Arai grafikleri çizilmiştir. **VAN5-1** ölçü örneği için protokol çerçevesinde yapılan ölçülerin şematik gösterimi Şekil 4'de gösterilmiştir.

Şekil 5'de ise dokuz ölçü örneğinin Arai grafikleri görülmektedir. Şekiller üzerindeki içi boş daireler Tablo 1'de verilen adımlarda kazandırılan pTRM'leri (xxx.11), içi boş üçgenler pTRM kontrol ölçülerini (xxx.12), kırmızı kareler ise toplamsal kontrol ölçülerini (xxx.14) göstermektedir. Eğrilerin doğrusal olan parçalarının eğiminden, kayaçın ilk oluştuğu zamana ait yermağnetik alan şiddeti elde edilmiştir. Doğruların elde edilen şiddet değerleri grafik üzerinde standart sapmalarıyla verilmiştir.

Tüm ölçü örneklerinin Arai grafiklerinden elde edilen şiddet değerleri ve diğer istatistiksel parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Her bir ölçü örneğinin ölçüm kalitesini göstermek amacıyla Tablo 2'nin 16. sütununda A, B ve C gibi ölçüm kalitesi (sınıfı) verilmiştir. Bu kalite sınıflaması Tablo 3'de verilen kriterlere bakılarak saptanmıştır. A ve B kalitesi ölçü örneğinin paleoşiddet açısından değerlendirilebilir

olduğunu, C kalitesi ise ölçü örneğinin değerlendirme dışı kalacağını göstermektedir. Dolayısıyla, bu proje kapsamında yapılan ölçülerde sadece A ve B sınıftan elde edilen veriler değerlendirmeye alınmıştır. Sınıflaması A ve B olan ölçüler Tablo 2'de yeşil renk ile gösterilmiştir. Bu değerlendirme sonuçlarına göre yaşları sırasıyla 0.5 my, 4.3 my, 0.1 my, 0.4 my ve 5.5 my olan **VAN5** mevkisinden 3, **VAN7** mevkisinden 2, **VAN8** mevkisinden 8, **VAN11** mevkisinden 3 ve **VAN12** mevkisinden 3 ölçü örneğinin paleoşiddet hesaplamalarında kullanılmasının uygun olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu mevkilerden elde edilen ortalama paleoşiddet değerleri ve standart sapmaları Tablo 2'de kırmızı renkte kalın punto ile verilmiştir.

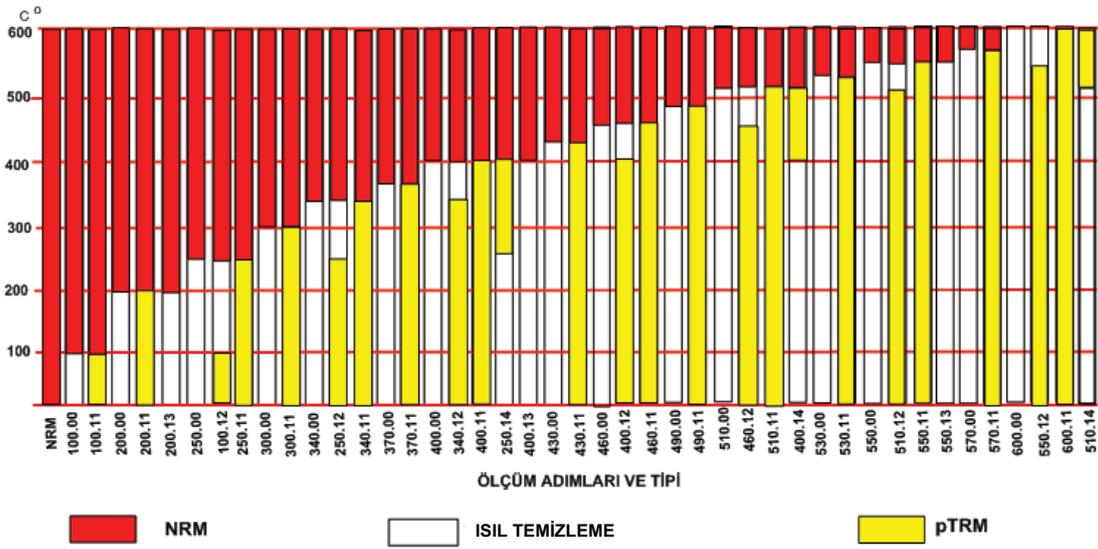
Bir paleoşiddet değerinin doğruluğunu belirlemek için elde edilen paleoşiddet değerleri genelde Dünya üzerinde diğer bölgelerden elde edilen paleoşiddet değerleri ile karşılaştırılır. Ancak yerin merkezinde olduğu varsayılan manyetik dipolden kaynaklanan yermanyetik alanın özelliğinden dolayı iki paleoşiddet değerinin birbiri ile karşılaştırılması üç şekilde mümkün olabilir; a) aynı jeomanyetik enlemde olan değerler, b) belli bir enlem veya çoğunlukla yapıldığı gibi ekvatora indirgenen değerler, c) paleoşiddet değerinden hesaplanan Eksenel Dipol Moment (VDM) değerleri karşılaştırılabilir.

Paleoşiddet değerlerinden hesaplanan VDM değerleri; bir mevkiden elde edilen F paleoşiddet değeri ve I eğim açısından faydalanarak $VDM = a^3 F / (1 + 3 \sin^2 \varphi)$ bağıntısından yararlanılarak bulunur. Bağıntıda a yerkürenin yarıçapı, φ ise jeomanyetik enlem açıdır ve $tg I = 2 tg \varphi$ bağıntısından elde edilir. Bu çalışmada **VAN5**, **VAN7**, **VAN8**, **VAN11** ve **VAN12** no'lu mevkilerden elde edilen paleoşiddet değerlerinin ortalama VDM'leri ve standart sapmaları hesaplanmış ve sonuçları Tablo 2'de yeşil renkte kalın punto ile verilmiştir.

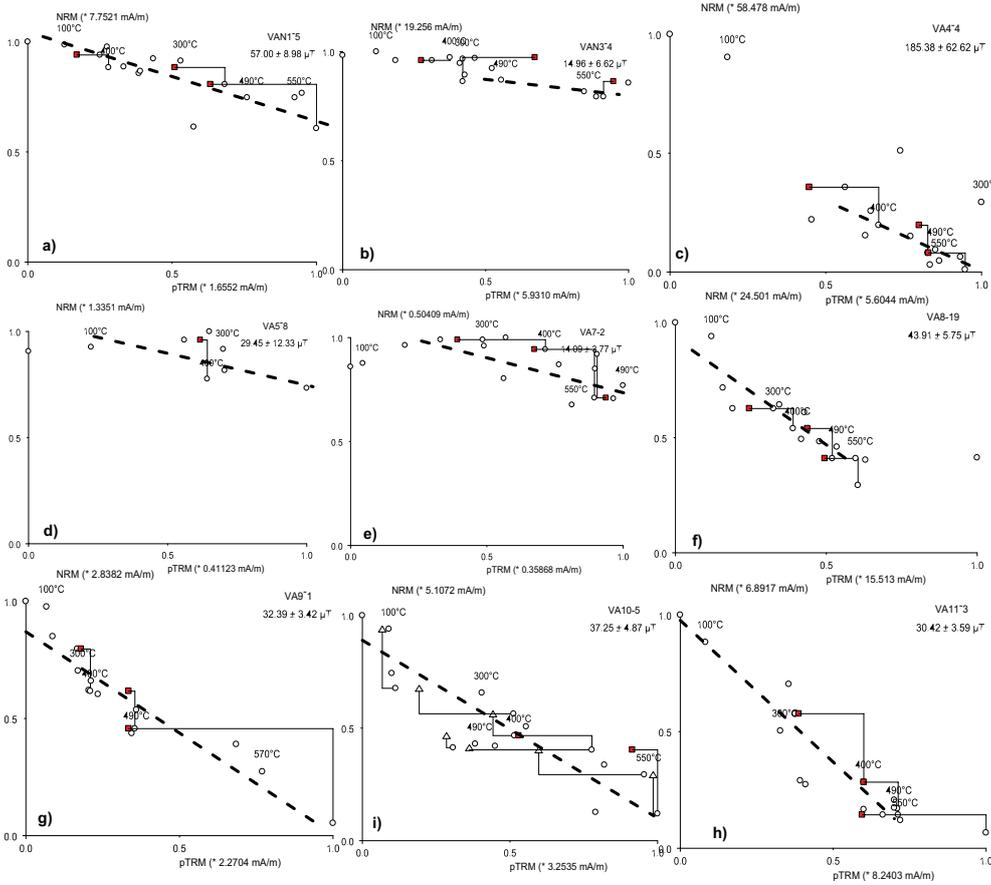
Tablo 1. Paleşiddet tayini için yapılan ölçülerde kullanılan Leonardt Ölçü Protokolü. 1. sütun örnek numarasını, 2. sütun uygulanacak olan sıcaklık aralığını ve uygulanacak olan işlemi (örneğin 100.00 kodunun tam sayısı uygulanacak olan sıcaklık aralığını, yüzdelik kısım ise 6. kolonda verilen işlemi göstermektedir), 3. sütun mıknatıslanma şiddetini, 4. sütun sapma açısını, 5. sütun eğim açısını ve 6. sütun ise uygulanacak olan işlemi göstermektedir.

Table 1. Measurement protocol after Leonhardt for paleointensity determinations. 1. column: sample number, 2. column: applied temperature interval and the process (e.g. even number of 100.00 indicates the temperature interval whereas the percentage shows the process in column 6), 3. column: intensity, 4. column: declination, 5. column: inclination, 6. column: process

Örnek	Sıcaklık (°C)	M, (mA/m)	Sapma Açısı (D)	Eğim Açısı (I)	Uygulanan İşlem
VAN5-1	20	40.559093	264.248.598	-46.457.892	Doğal Kalıntı Mıknatıslanma (DKM)
VAN5-1	100.00	38.068622	264.528.591	-46.469.392	Isıl temizleme (00)
VAN5-1	100.11	38.230485	264.267.505	-47.087.957	Bilinen alanda pTRM kazandırma (11)
VA5-1	200.00	25.415062	263.593.968	-47.107.871	Isıl temizleme (00)
VAN5-1	200.11	23.719503	259.271.141	-49.290.484	Bilinen alanda pTRM kazandırma (11)
VAN5-1	200.13	23.504351	258.246.360	-47.250.812	Tekrarlanan ısıl temizleme (13)
VAN5-1	250.00	19.622444	265.774.857	-47.859.167	Isıl temizleme (00)
VAN5-1	100.12	19.960714	265.300.732	-48.198.996	pTRM kontrolü (12)
VAN5-1	250.11	20.130084	263.074.394	-49.076.556	Bilinen alanda pTRM kazandırma (11)
VAN5-1	300.00	16.946085	266.726.596	-48.592.608	Isıl temizleme (00)
VAN5-1	300.11	17.408762	261.307.664	-52.818.513	
VAN5-1	340.00	14.631073	263.925.003	-49.286.076	
VAN5-1	250.12	15.442908	265.260.928	-51.168.959	
VAN5-1	340.11	15.558988	269.393.718	-52.598.258	
VAN5-1	370.00	13.693232	266.083.505	-49.291.600	
VAN5-1	370.11	14.564766	269.867.063	-53.712.251	
VAN5-1	400.00	12.774201	267.834.971	-50.030.675	
VAN5-1	340.12	13.824999	263.391.536	-53.337.828	
VAN5-1	400.11	14.029715	267.494.907	-55.196.499	
VAN5-1	250.14	12.825479	266.913.870	-52.535.707	Ek kontrol (14)
VAN5-1	400.13	12.236278	268.244.357	-50.193.192	
VAN5-1	430.00	11.085148	262.807.281	-48.482.181	
VAN5-1	430.11	12.156093	265.229.163	-57.043.664	
VAN5-1	460.00	9.981353	271.502.785	-49.501.060	
VAN5-1	400.12	10.778729	263.274.483	-53.548.685	
VAN5-1	460.11	8.050528	261.650.527	-59.688.858	
VAN5-1	490.00	6.930180	270.410.225	-52.798.687	
VAN5-1	490.11	8.512373	271.027.617	-58.397.204	
VAN5-1	510.00	6.423.986	259.397.387	-49.985.308	
VAN5-1	460.12	8.065240	255.050.619	-59.370.828	
VAN5-1	510.11	8.078100	254.340.570	-61.512.302	
VAN5-1	400.14	6.737025	258.087.610	-56.378.324	
VAN5-1	530.00	5.938560	260.960.517	-53.116.463	
VAN5-1	530.11	7.734869	262.952.489	-61.694.109	
VAN5-1	550.00	5.700360	263.553.245	-51.320.357	
VAN5-1	510.12	7.106012	256.256.293	-62.099.160	
VAN5-1	550.11	7.346843	266.258.465	-59.960.211	
VAN5-1	550.13	4.997229	265.100.908	-50.753.306	
VAN5-1	570.00	3.813594	266.151.821	-54.121.271	
VAN5-1	570.11	6.887097	252.545.132	-72.825.496	
VAN5-1	600.00	4.001962	271.628.825	-58.166.373	
VAN5-1	550.12	6.302968	268.515.985	-72.163.144	
VAN5-1	600.11	6.189750	271.714.930	-74.340.387	
VAN5-1	510.14	4.188054	273.914.137	-62.952.311	



Şekil 4. Tablo 1’de açıklanan protokol çerçevesinde VAN5-1 ölçü örneği için yapılan ölçülerin şematik gösterimi.
 Figure 4. The schematic display of the measurements for site VAN5-1 after the protocol explained in Table 1.



Şekil 5. Tablo 1’de verilen ölçü protokolü çerçevesinde ölçülen 9 ölçü örneğinin Arai grafikleri. Şekillerle ilgili açıklamalar için metne bakınız.

Figure 5. Arai plots for 9 different samples after the protocol explained in Table 1 (see text for explanation).

Tablo 2. Çalışmada elde edilen sonuçlar (**Örnek:** Ölçü örneğinin kodu, **PŞ:** Paleosiddet (mikroTesla), **St.S:** Lineer regresyonun standart sapması, **N:** Lineer ilişkinin gözlemlendiği adımların sayısı, **F:** DKM'nin bölüntülük derecesi, **G:** Veri dağılımının ölçüsü, **q:** Lineer ilişkinin standart hatası ile ilgili kalite faktörü, **w:** Ağırlık faktörü, **I:** Eğim açısı, **D:** Sapma açısı, **Mad:** Ortalama açısal sapma, **d(t*):** Relatif genişleme, **d(TR):** İlk ve tekraralama demanyetizasyon adımında şiddet farkı, **d(AC):** pTRM kontrolü ile ilave kontrol arasındaki fark, **S:** Sınıf, **VDM:** Eksenel Dipol Momenti. **S.S.:** Standart sapma

Table 2. Results after this study (**Sample:** Code of the sample, **PŞ:**Paleointensity (microTesla), **St.S:** Standard deviation of the linear regression, **N:** Steps of linear correlation, **F:**Partition degree of Natural Remanent Magnetization (**NRM**), Accuracy of data distribution, **q:** Quality factor of linear standard deviation, **w:** Weighting factor, **I:**Eğim açısı, **D:**sapma açısı, **Mad:** Mean angular deviation, **d(t*):**Relative spread, **d(TR):** Difference in intensity between initial and iteration demagnetization step, **d(AC):** Difference between pTRM control and addition control, **S:** Grade, **VDM:** Axial dipol moment, **S.S.:** Standard deviation).

Örnek	PŞ	St.S	N	Eğim	F	G	q	w	I	D	Mad	d(t*)	d(TR)	d(AC)	S	VDM	S.S.
VAN1-1	40.9	9.11	16	-1.36	0.75	0.71	2.4	0.6	64.8	260.1	6.4	3.5	1.5	49.2	C*		
VAN1-2	41.38	29.3	9	-1.38	0.19	-0.51	0.1	-0.1	44.6	334.5	12.4	12.4	3.1	32.5	C*		
VAN1-3	5.57	1.6	4	-0.19	0.69	0.66	1.6	1.1	63.9	246.1	5.5	2.6	12.5	37.1	C*		
VAN1-4	7.22	1.9	5	-0.24	0.67	0.65	1.7	1	78.2	290.6	10.9	15.2	12.5	36.5	C*		
VAN1-5	57	8.98	16	-1.9	0.38	0.73	1.8	0.5	36.1	2.7	14	15.6	0.7	0.2	C*		
VAN1-6	11.41	2.47	5	-0.38	0.69	0.71	2.3	1.3	70.8	281.2	7.8	19.3	16.3	47.6	C*		
Yaş=0.3 My																	
VAN2-1	31.89	10.31	5	-1.06	0.09	0.06	0	0	11	34.5	9.1	11	1.6	6.6	C*		
VAN2-2	20.82	20.81	5	-0.69	0.02	-0.14	0	-0	-12.7	181.3	16	22.4	1.5	3.5	C		
VAN2-3	26.15	26.42	5	-0.87	0.06	-0.71	0	-0	24.6	357	8.7	4.1	4.6	3.2	C		
VAN2-4	26.92	27.9	5	-0.9	0.02	0.24	0	0	-17.4	185.8	8.9	14.1	2.3	3.2	C		
VAN2-5	24.71	23	5	-0.82	0.03	-0.71	0	-0	52.5	337.8	5.9	27.3	2.3	1.3	C		
Yaş=3.7 My																	
VAN3-1	42.34	35.33	7	-1.41	0.04	-0.07	0	-0	42.1	25.7	15.1	8.8	1	11.5	C*		
VAN3-2	39.4	23.59	5	-1.31	0.13	-0.06	0	-0	-13.4	144.1	12.6	32.9	2.8	6.9	C*		
VAN3-3	46.24	11.42	5	-1.54	0.19	0.49	0.4	0.2	64.6	318.8	15.7	82.9	6.2	40.7	C		
VAN3-4	15.74	5.19	7	-0.52	0.09	0.59	0.2	0.1	57.1	1.5	16.7	68.2	2.7	8.9	C*		
Yaş=0.6 My																	
VAN4-1	119.64	23.89	14	-3.99	0.73	0.77	2.8	0.8	-2.7	343.8		68.4	7.9	45	C*		
VAN4-2	95.2	19.12	12	-3.17	0.5	0.31	0.8	0.2	16.6	235.1		87.9	20.9	22.4	C*		
VAN4-3	178.84	66.8	11	-5.96	0.37	0.53	0.5	0.2	8.7	358.6	7.6	26.4	15.3	21	C*		
VAN4-4	185.38	62.62	12	-6.18	0.42	0.64	0.8	0.3	-17.2	256.8	7	0	11.9	12.8	C*		
VAN4-5	191.7	92.37	10	-6.39	0.23	0.07	0	0	-7	351.5	6.4	0.2	6.7	40.1	C*		
VAN4-6	173.52	45.53	14	-5.78	0.88	0.81	2.7	0.8	-68.1	168.6	1.8	18	19.4	56.4	C*		
VAN4-7	158.21	23.58	12	-5.27	0.64	0.86	3.7	1.2	8.4	353.3	2.1	36.5	5.2	43.6	C*		
VAN4-8	105.6	21.89	13	-3.52	0.83	0.73	2.9	0.9	8.8	341.6	4	29.2	10.8	35.1	C*		
VAN4-9	100.76	14.23	16	-3.36	1	0.8	5.7	1.5	15.2	264.6	3.6	31.4	9.2	31.4	C*		
VAN4-10	163.55	43.73	12	-5.45	0.48	0.62	1.1	0.4	-7.2	343.3	8.7	72.6	2.2	12.8	C*		
VAN4-11	146.6	28.42	14	-4.89	0.67	0.75	2.6	0.7	-4.2	341.1	4.1	16.5	8.3	24.4	C*		
Yaş=0.4 My																	
VAN5-1	23.27	4.22	16	-0.78	0.44	0.84	2	0.5	-63.5	208	19.8	0	3.3	12.5	C*		
VAN5-2	35.85	3.79	15	-1.2	0.57	0.79	4.2	1.2	-32.8	331.5	13.2	7.0	12.8	5.1	B*	8.19E+22	
VAN5-3	36.16	5.26	16	-1.21	0.51	0.81	2.8	0.8	-29.3	311.4	19.8	2.5	1.6	7.4	B*	8.47E+22	
VAN5-4	29.88	3.81	16	-1	0.45	0.85	3	0.8	-24.3	313.8	17.3	2.1	3.3	7	B*	7.22E+22	
VAN5-5	33.32	3.94	15	-1.11	0.36	0.72	2.2	0.6	-58.7	194.4	17.1	19.6	4.1	11.7	C*		
VAN5-6	36.47	4.09	15	-1.22	0.4	0.85	3.1	0.9	-56.7	189.9	12.7	26.1	4	13.1	C*		
VAN5-7	27.35	5.77	16	-0.91	0.37	0.8	1.4	0.4	-48.6	190.8	13.5	9.9	4.1	6.5	C*		
VAN5-8	29.45	12.33	8	-0.98	0.23	0.66	0.4	0.1	-40.2	310.9	17.8	0	6.6	1.7	C*		
VAN5-9	32.81	5.83	16	-1.09	0.42	0.8	1.9	0.5	-25.5	336.3	16	4.1	11.8	12.3	C*		
Yaş=5.5 My																	
VAN6-1	42.63	7.17	5	-1.42	0.19	0.52	0.6	0.4	-48.3	233	4	0	7	12.6	C		
VAN6-2	54.94	14.45	12	-1.83	1	0.53	2	0.6	-25.3	206	11	3	16.2	14.5	C		
VAN6-3	55.2	15.07	5	-1.84	0.63	0.45	1	0.6	-33.2	224.9	5.9	0.1	21.5	13.4	C		
VAN6-4	60.45	25.4	5	-2.01	0.28	0.47	0.3	0.2	-39.3	202.5	8.4	76.6	10.7	22.8	C*		

VAN6-5	42.91	36.4	5	-1.43	0.06	0.46	0	0	-57.1	163.6	9.7	35.8	16.4	2.7	C*		
VAN6-6	43.77	37.75	5	-1.46	0.03	-0.19	0	-0	-60.2	59.6	5.1	37.1	8.1	24.2	C*		
Yaş=9,8 My																	
VAN7-1	25.38	5.25	12	-0.85	0.24	0.31	0.3	0.1	-84.4	111	16.6	5.4	8.8	10.6	C*		
VAN7-2	14.26	3.84	14	-0.48	0.24	0.83	0.7	0.2	-83	28.1	13.6	8.3	13.3	2	B*	2.625E+22	
VAN7-3	38.8	3.69	5	-1.29	0.17	0.42	0.7	0.4	31.1	358	11.7	66.9	9.7	1.6	C		
VAN7-4	14.04	1.6	14	-0.47	0.43	0.87	3.2	0.9	-55.7	139.2	16.4	6.9	6.3	4.3	B*	2.537E+22	
VAN7-5	25.92	2.55	16	-0.86	0.49	0.89	4.5	1.2	-62.8	54.9	8.1	7.0	3.2	6.7	B	4.275E+22	
VAN7-6	30.77	4.2	12	-1.03	0.49	0.79	2.8	0.9	-76.6	330.4	8.3	20.9	8.1	16.6	C		
Yaş=4,3 My	19.98	6.79														3.14E+22	1.23E+22
VAN8-1	16.91	2	8	-0.56	0.92	0.78	6	2.5	41.9	36.5	5	0	5.9	2.7	B*	3.568E+22	
VAN8-2	19.73	1.3	7	-0.66	0.81	0.76	9.3	4.2	45.5	327	7.5	0	22.5	3.6	C*		
VAN8-3	22.79	3.08	8	-0.76	0.91	0.75	5.1	2.1	-19.1	200.7	4.5	0	4.1	5.3	B*	5.652E+22	
VAN8-4	37.13	3.37	7	-1.24	0.68	0.72	5.5	2.4	57.4	346.7	4.4	0	4.2	4.8	A*	6.567E+22	
VAN8-5	28.98	2.44	8	-0.97	0.94	0.79	8.8	3.6	18.6	235.1	4.3	0	2.9	0	A*	7.203E+22	
VAN8-6	34.85	3.52	7	-1.16	0.69	0.72	4.9	2.2	57.4	346.7	4.4	6.2	4.2	3.5	B*	6.164E+22	
VAN8-7	17.83	1.14	6	-0.59	0.53	0.72	6	3	43.8	358.5	4.5	3.5	7.1	9.7	B*	3.691E+22	
VAN8-8	18.43	1.96	7	-0.61	0.7	0.75	4.9	2.2	52.5	24.4	4.7	10.0	6.2	8.9	B*	3.463E+22	
VAN8-9	43.91	5.75	13	-1.46	0.54	0.86	3.6	1.1	9.4	216.4	5.0	3.5	3.5	5.3	B*	1.124E+23	
Yaş=0,1My	26.07	8.41														5.94+E22	2.59E+22
VAN9-1	32.39	3.42	14	-1.08	0.97	0.85	7.8	2.3	32.4	337.6	5.2	16.1	1.1	12.5	C*		
VAN9-2	31.03	3.11	15	-1.03	0.57	0.85	4.8	1.3	45.9	248.4	9.4	35.8	11.8	19.4	C*		
VAN9-3	60.69	12.55	12	-2.02	0.34	0.76	1.2	0.4	22	342.9	7.2	14.7	6.2	16.3	C*		
VAN9-4	47.26	7.28	14	-1.58	0.76	0.69	3.4	1	29.8	349.1	9.4	15.4	2.3	25.2	C*		
VAN9-5	63.19	31.85	10	-2.11	0.29	0.42	0.2	0.1	28.2	341.8	10.2	4.6	9	24.8	C*		
Yaş=0,1 My																	
VAN10-1	22.55	2.46	15	-0.75	0.85	0.8	6.2	1.7	60.9	2.8	6.3	11.3	5.3	26.5	C*		
VAN10-2	30.66	4.95	14	-1.02	0.8	0.77	3.8	1.1	65.8	354.5	11.9	22.2	11.3	12.2	C		
VAN10-3	39.14	7.47	14	-1.3	0.8	0.71	3	0.9	65.8	354.5	11.9	21.5	10.9	13.1	C*		
VAN10-4	38.01	4.95	16	-1.27	0.91	0.78	5.5	1.5	59.1	8.7	12.1	24.8	11.7	34.3	C*		
VAN10-5	37.25	4.87	16	-1.24	0.88	0.86	5.8	1.5	33.2	211.5	7.5	9.6	14.4	12.2	C*		
VAN10-6	33.71	4.32	16	-1.12	0.91	0.87	6.2	1.7	48.7	353.2	7	52.1	22.8	26.3	C*		
VAN10-7	38.52	8.87	15	-1.28	0.64	0.64	1.8	0.5	22.9	201.8	13.8	38.7	16.1	23.9	C*		
VAN10-8	40.37	4.91	16	-1.35	0.82	0.78	5.2	1.4	63.6	354.2	10.9	33.3	13.8	18.7	C*		
VAN10-9	28.56	7.27	12	-0.95	0.56	0.47	1	0.3	55.7	0.1	11	41.8	16.8	15.6	C*		
Yaş=0,4 My																	
VAN11-1	58.39	9.38	12	-1.95	0.99	0.76	4.7	1.5	33.5	97.8	1.8	35.5	16.4	11.8	C*		
VAN11-2	39.64	8.74	15	-1.32	0.94	0.79	3.4	0.9	55.2	348.6	6.6	14.5	10	14.2	C*		
VAN11-3	30.42	3.59	12	-1.01	0.87	0.83	6.1	1.9	38.6	187.3	9.5	4.7	10.8	1.7	B*	6.62E+22	
VAN11-4	36.51	6.54	14	-1.22	0.77	0.87	3.7	1.1	42.9	348.7	8.7	22.3	14.1	18.1	C*		
VAN11-5	55.48	7.4	10	-1.85	0.75	0.84	4.7	1.7	35.1	206.8	7.5	7.2	4.2	11.8	C*		
VAN11-6	31.44	3.91	8	-1.05	0.66	0.8	4.3	1.7	55.1	354.1	4	4.9	7.4	0.7	B*	5.724E+22	
VAN11-7	28.1	2.52	16	-0.94	1	0.88	9.8	2.6	70	277.3	4.3	4.9	4.5	9.6	B*	4.223E+22	
VAN11-8	26.16	3.45	11	-0.87	0.91	0.84	5.8	1.9	55.6	235.6	7	29.7	16.4	10.6	C*		
VAN11-9	40.02	12.48	9	-1.33	0.57	0.67	1.2	0.5	33.2	216.7	4.5	23.4	12.2	30.9	C*		
VAN11-10	29.25	2.44	13	-0.98	0.76	0.81	7.3	2.2	72.3	3.6	7.6	91	4.3	15.6	C*		
VAN11-11	47.04	10.43	8	-1.57	0.63	0.65	1.8	0.8	54.9	359.3	5.4	29.8	0.6	27.5	C*		
Yaş=0,4 My	29.98	1.71														5.52E+22	1.21E+22
VAN12-1	20.17	3.66	11	-0.67	0.3	0.7	1.1	0.4	-10.3	240.8	23	0.4	7.2	9	C*		
VAN12-2	58.4	12.21	16	-1.95	0.4	0.63	1.2	0.3	-14.9	217.8	14.3	17.9	3.6	4.6	C*		
VAN12-3	16.87	3.1	16	-0.56	0.23	0.5	0.6	0.2	-6.4	229.4	21.2	10.4	4.4	19.3	C*		
VAN12-4	41.83	12.52	16	-1.39	0.22	-0.05	0	-0	49	6.7	20.4	64.9	9.5	15.3	C*		
VAN12-5	22.84	6.86	11	-0.76	0.24	0.65	0.5	0.2	-70.2	149.5	18.8	71.6	3.3	17.2	C*		
VAN12-6	45.3	8.26	16	-1.51	0.47	0.79	2	0.5	38.9	12.2	16.9	0	4.8	27.4	C*		
VAN12-7	60.73	17.72	16	-2.02	0.4	0.36	0.5	0.1	-33.6	201.3	11.9	0	6.2	17.8	C*		
VAN12-8	34.2	3.53	15	-1.14	0.36	0.69	2.4	0.7	59.7	343.7	19.6	5.0	6.7	6	B*	5.873E+22	
VAN12-9	28.6	3.92	15	-0.95	0.34	0.8	2	0.6	12	121.6	22.1	2.3	2.4	9.2	B*	7.276E+22	
VAN12-10	30.23	3.38	16	-1.01	0.35	0.73	2.3	0.6	11.1	125	23.6	3.9	1.5	5.7	B*	7.709E+22	
Yaş=5,5 My	31.08	2.88														6.95E+22	9.60E+21

Tablo 3. Paleşiddet sonuçlarının sınıflandırılmasında kullanılan kriterler. A ve B sınıfına uymayan veriler C sınıfı olarak nitelendirilmiştir.

Table 3. Criterion used in classification of the paleointensity results. Data which not matches to A and B grade are described as C grade.

A Sınıfı	B Sınıfı
Lineer Kriterleri	
N nokta sayısı ≥ 5	N nokta sayısı ≥ 5
Standart sapma ≥ 0.1	Standart sapma ≥ 0.15
DKM (f) ≥ 0.5	DKM (f) ≥ 0.3
Kalite faktörü (q) ≥ 5	Kalite faktörü (q) ≥ 5
Doğrultu Kriterleri	
MAD (Merkeze Yönlendirilmiş) ≤ 6	MAD (Merkeze Yönlendirilmiş) ≤ 15
Alfa ≤ 15	Alfa ≤ 15
Alterasyon kriterleri	
Rölatif kontrol hatası (d(CK)) ≤ 5	Rölatif kontrol hatası (d(CK)) ≤ 7
Kontrol farklarının toplamı (d(pal)) ≤ 5	Kontrol farklarının toplamı (d(pal)) ≤ 10
Tekrarlanan temizleme Adımları	
pTRM nin normalize edilmiş tail kontrolü d (t*) ≤ 3	pTRM nin normalize edilmiş tail kontrolü d (t*) ≤ 5
Rölatif şiddet farklarının toplamı d(TR) ≤ 10	Rölatif şiddet farklarının toplamı d(TR) ≤ 15
Toplamsal Kontrol	
Rölatif AC hatası (d(AC)) ≤ 5	Rölatif AC hatası (d(AC)) ≤ 10

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Van İlinin farklı bölgelerinde bulunan 12 mevkiden 91 adet karot örneği alınarak paleşiddet tayini ölçümleri yapılmıştır. **VAN5** mevkisinden 3, **VAN7** mevkisinden 3, **VAN8** mevkisinden 8, **VAN11** mevkisinden 3 ve **VAN12** mevkisinden 3 ölçü örneğinin sonuçları değerlendirmeye alınabilmiştir. **VAN8** ve **VAN 11** mevkilerine ait birer pilot örneğinin ısınma ve soğuma suseptibilite eğrilerinin arasındaki farkın fazla olması ancak bunun kullanılan pilot örneklerle sınırlı olabileceği düşüncesiyle bu mevkilerdeki verilerin diğer mevkiler ile uyumlu sonuçlar vermesinden dolayı değerlendirmeye katılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen VDM değerlerini, diğer araştırmacılar tarafından önceden yapılmış VDM değerleri ile karşılaştırmak için, IAGA (The International Association of Geomagnetism and Aeronomy) veri tabanından alınan VDM değerleri

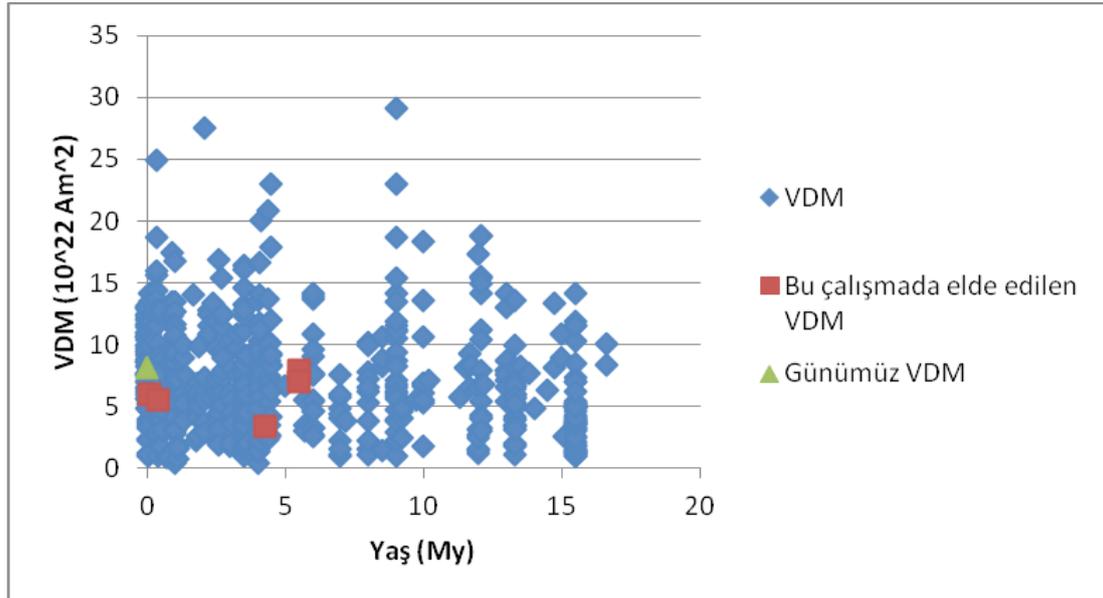
ile Şekil 6' da görülen VDM değerleri (mavi semboller) dağılım grafiği çizilmiştir. Grafik üzerine bu çalışmadan elde edilen VDM değerleri (kırmızı sembol) ve günümüzdeki VDM değeri (yeşil sembol) işaretlenmiştir.

Günümüzde Yermanyetik Alanın *F* Toplam Alan Şiddetinin Van Bölgesindeki değeri yaklaşık 47 μ T civarındadır. Bu çalışmada farklı zamanlar için aynı bölgeden elde edilen *F* Toplam Alan Paleşiddet değerleri ise sırasıyla; 5,5 my yaşa sahip **VAN5** mevkisinde $33.96 \pm 3.54 \mu$ T, 4,3 my yaşa sahip **VAN7** mevkisinde $19.98 \pm 6.79 \mu$ T, 0,1 my yaşa sahip **VAN8** mevkisinde $26.07 \pm 8.41 \mu$ T, 0,4 my yaşa sahip **VAN11** mevkisinde $29.98 \pm 1.71 \mu$ T ve 5,5 my yaşa sahip **VAN12** mevkisinde $31.08 \pm 2.88 \mu$ T olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda ilk göze çarpan nokta, geçmiş dönemlere ait tüm paleşiddet değerlerinin günümüz Yermanyetik Alan Şiddet değerinden oldukça küçük ve tümü-

nün normal polariteye sahip olmasıdır. Sonuçlarda kayda değer bir nokta da 5.5 my yaşa sahip VAN5 ve VAN12 mevkilerinden elde edilen paleoşiddet değerlerinin birbirlerine yakın olmasıdır. Değerlerdeki bu yakınlık, elde edilen sonuçların güvenilir olduklarının bir göstergesi olarak da yorumlanabilir. Ayrıca bu iki mevkinin paleoşiddet değerleri, yaşları itibarıyla Yermanyetik Alan Polarite Zaman Skalası'nda *Epok 5* olarak adlandırılan Normal Polarite döneminin içinde yer almaktadırlar. Yaşları birbirlerine yakın olan VAN8 ve VAN11 mevkilerinden elde edilen paleoşiddet değerleri de birbirine yakın değerlere sahiptirler. Yine bu iki mevkinin paleoşiddet değerleri yaşları itibarıyla "*Brunhes Normal Polarite*" dönemine denk gelmektedirler. 0.4 my yaşa sahip VAN11 mevkisinin 29.98 μT olan paleoşiddet değeri, 0.1 my yaşa sahip VAN8 mevkisinde 26.07 μT 'ya düşmüştür. Bu durum o dönemde Yermanyetik Alanının geçici bir azalma dönemine girdiğinin bir göstergesi olabilir. Yaşı 4.3 my olan VAN7 mevkisinin paleoşiddet değeri, "*Gilbert Ters Polarite*" dönemi içinde yer almak-

tadır. 5.1 my ile 3.57 my zaman aralığında yer alan *Gilbert Ters Polarite* döneminin içinde çok sayıda kısa süreli '*olay*' olarak adlandırılan Normal Polarite dönemleri mevcuttur. Bu '*olay*'lardan bir tanesi de 4.32 my ile 4.47 my zaman aralığında bulunan ve *Siduffall* olarak adlandırılan Normal Polarite dönemidir. Normal polariteye sahip VAN7 mevkisinin paleoşiddet değerinin bu '*olay*'a denk geldiğini söylemek iddialı bir görüş olabilir.

16 milyon yıl öncesinden günümüze dek olan yaşlar için yapılan paleoşiddet çalışmalarından elde edilen VDM dağılım grafiğine, bu çalışmadan elde ettiğimiz paleoşiddet değerlerinden hesaplanan VDM değerlerini yerleştirdiğimizde ilk göze çarpan VAN8 ve VAN11 mevkilerinden elde edilen VDM'lerin grafikteki ilk kümelenmenin tam ortasına düştüğüdür. VAN11 mevkisinden elde edilen VDM ise ikinci kümelenmenin içindedir. VAN5 ve VAN12 mevkilerinden elde edilen VDM'ler de üçüncü kümelenmenin içindedir. Bu sonuçlar çalışmadan elde edilen VDM'lerin bugüne dek yapılan paleoşiddet çalışmaları ile uyumlu olduklarının bir göstergesidir.



Şekil 6. IAGA veri tabanından alınan 16 milyon yıl öncesinden günümüze dek olan dönemler için elde edilen VDM dağılımı ve bu çalışmadan elde edilen VDM sonuçları.

Figure 6. VDM distribution obtained from IAGA database for the past 16 m.y. to present together with the VDM results from this study.

SUMMARY

During the 20th century, after the development of investigations in rock magnetism it has been shown that *remanent magnetization* of rocks provides possibility about the orientation and

intensity of earth's magnetic field. A record of changes in the direction of the earth magnetic field provide information about the motion of the continents during the geological past. The changes of direction (polarity) of the magnetic

field in mid-ocean ridges played a key role in demonstrating and developing the theory of plate tectonics. Many studies concerning determination of the magnetic field intensity have been carried out and published although there are no reported studies in our country, except one investigation.

A series of volcanic activities occurred over the last 15 million year in the East Anatolian region. The most important part of the volcanic strata is Quaternary in age and show a total thickness of more than 1 km in some parts. The basaltic lavas which are the most voluminous lava flows in the region are very suitable for paleointensity studies.

The aim of this study was to determine changes in the magnetic *intensity and magnetic field polarity* of the *earth's magnetic field* for the last 1.8 Ma. by sampling fresh basaltic rocks from the north of Lake Van and surrounding areas in the east Anatolia.

A rock magnetic study is performed on collected orientated lava sequence at different sites, by utilizing the published geochronological dating results. Afterwards samples with primary mineralogy and stable remanent magnetization components are used for a paleointensity determination.

From the paleointensity experiments we intend to reconstruct variations in the geomagnetic dipole moment over the past 5 Ma by obtaining the mean virtual dipole moment. The total paleointensity field values F , are obtained as $33.96 \pm 3.54 \mu\text{T}$ for site VAN5 with the age of 5.5 m.y, $19.98 \pm 6.79 \mu\text{T}$ for site VAN7 with the age of 4.3 m.y, $26.07 \pm 8.41 \mu\text{T}$ for site VAN8 with the age of 0.1 m.y, $29.98 \pm 1.71 \mu\text{T}$ for site VAN11 with the age of 0.4 m.y and $31.08 \pm 2.88 \mu\text{T}$ for site VAN12 with the age of 5.5 m.y. The VDM values which are interpreted together with VDM values from previous results within the global scale are in a good coherence.

TEŞEKKÜR

Proje yürütücüsü ve çalışanları, Türkiye'de geniş kapsamlı olarak ilk defa yapılan *volkanik kayaçlardan "paleoşiddet tayini"* ile ilgili bu çalışmayı 3581 nolu proje ile destekleyen İ.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi' ne teşekkür ederler. Arazi çalışmasının bir bölümünde paleomanyetik örnek alma işleminde büyük katkıları olan Yrd. Doç. Dr. Kenan Çinku'ya teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Baydemir, N., 1996**, Mesudiye (Ordu) bölgesinin Miyosen (?)–Pliyosen yaşlı kayaçlarından saptanan yermanyetik alanının paleo-şiddet değeri. TÜBİTAK Turkish Journal of Earth Sciences, **5**, 11-19.
- Coe, R. S., 1967a**, The determination of paleointensities of the earth's magnetic field with emphasis on mechanisms which could cause non-ideal behaviour in Thellier's method. J. Geomag. Geoelect., **19**, 157-179.
- Coe, R. S., 1967b**, Paleointensities of the earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks. J. Geophys. Res., **72**, 3247-3262.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.-I., Notsu, K., Tokel, S. and Ui, T., 1990**, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen–Kuvaterner volkaniklerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. MTA Dergisi **110**, 143–164.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F. and Villari, L., 1976**, Evolution of volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates Lake Van, Eastern Turkey.. J. Volcanol. Geotherm. Res. **1**, 103–112.
- Keskin, M., Pearce, J. A. and Mitchell, J. G., 1998**, Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey, J. Volcanol. Geotherm. Res. **85**, 355-404.
- Keskin, M., 2003**, Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction–accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. Geophysical Research Letters **30** (24). doi:10.1029/2003GI018019.
- Langel, R.A., 1987**, The main geomagnetic field, in Geomagnetism, ed. Jacobs, J.A., Academic Press, London. **1**, 249-512.
- Leaton, B. R. and Malin, S. R. C. 1967**, Recent changes in the magnetic dipole moment of the earth. Nature, **213**, 1110.
- Lebedev, V. A. Sharkov, E. V. Keskin, M. and Oyan, V. 2010**, Van Lake (Turkey): an example of the developmental dynamics for magmatic processes. Doklady Earth. Sciences, **433**, Part 2., 1031–1037.
- Leonhardt, R., Hufenbecher, F., Heider, F. and Soffel, A., 2000**, High absolute paleointensity

during a mid Miocene excursion of the Earth's magnetic field. *Sci. Lett.* **184**, 141-154.

Leonhardt, R. and Soffel, A., 2002, A reversal of the Earth's magnetic field recorded in mid Miocene lava flows of Gran Canaria, Paleointensities. *J.Geophys. Res.*, **107**, 2299, doi: 1029/2001 JB000949.

Leonhardt, R., Matzka, J. and Menor, E.A., 2003, Absolute paleointensities and paleodirections of Miocene and Pliocene lavas from Fernando de Noronha, Brazil. *Phys. Earth Planet. Int.*, **139**, 285-303.

Lowrie, W., 1997., *Fundamentals of Geophysics.* Cambridge University Pres. United Kingdom, pp. 354.

McDonald, K L and Gunst, R H, 1968, Recent trends in the earth's magnetic field: *Jour Geophys Research*, **73**, 6, 2057-2067.

Momose, K. 1963, Studies on the variations of the Earth's magnetic field during Pliocene time. *Bulletin of Earthquake Research and Geophysical Institute*, **41**, 487-534.

Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Matsuda, J. and Ercan, T., 1995, Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **64**, 171-192.

Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S. and Mitchell, J.G., 1990, Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **44**, 189-229.

Prevot, M. and Perrin, M., 1992, Intensity of the Earth's magnetic field since Precambrian from Thellier-type palaeointensity data and inferences on the thermal history of the core, *Geophys.J.Int.*, **108**, 613-620.

Smith, P. J., 1967, The intensity of the Tertiary geomagnetic field. *Geophys. J.*, **12**, 239-258.

Thellier, E. and Thellier, O., 1959a, Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys. Ser.*, **15**, 285-376.

Thellier, E. and Thellier, O., 1959b, The intensity of the geomagnetic field in the historical and geomagnetic past. *Akad. Nauk. SSR. Izv. Geophys. Ser.*, 1296-1331.