

## KAPADOKYA İGNİMBİRİTLERİ VE VOLKANİTLERİNDE PALEOMANYETİK ÇALIŞMA - MANYETİK ANOMALİLERİN YORUMUNA BİR YAKLAŞIM

### PALAEOMAGNETIC STUDY OF IGNIMBRITES AND VOLCANITES FROM CAPPADOCIA (TURKEY) – A CONTRIBUTION TOWARDS INTERPRETATION OF MAGNETIC ANOMALIES

Aydın BÜYÜKSARAC<sup>1</sup>, Diana JORDANOVA<sup>2</sup>, Abdullah ATEŞ<sup>3</sup>, Vassil KARLOUKOVSKI<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

<sup>2</sup> Geophysical Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. Bonchev Str., Block 3, 1113 Sofia, Bulgaria

<sup>3</sup> Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Beşevler 06100, Ankara

<sup>4</sup> University of Lancaster, Department of Geography, Lancaster LA14YB, United Kingdom

**ÖZ:** Kapadokya Bölgesi son 13 milyon yıldan yakın zamana kadar (190 bin yıl öncesine kadar) volkanik etkinliğin egemen olduğu bir bölgedir. Yaklaşık 13 milyon yıl süren bu aktivite, Kapadokya Bölgesi'nde karmaşık bir jeolojik yapının oluşmasına neden olmuştur. Yüzey jeolojisi incelendiği zaman, karmaşa göze çarpmaktadır. Bu durum bölgeye ait havadan manyetik anomali haritasında da gözlemlenebilmektedir. Manyetik anomalilerde görülen bu karmaşanın çözümü için değişik jeofizik veri işlem yöntemleri uygulanmıştır. Havadan manyetik anomali haritası incelendiğinde anomalilerde kayma olduğu görülmektedir. Bu durumun giderilmesi için kutba indirgeme ve analitik sinyal uygulamaları yapılmıştır. Ancak anomalilerin pek çoğunda düzelme görülmemiştir. Bu durum, Kapadokya bölgesi ve çevresinde yoğun kalıntı mıknatıslanmanın etkili olduğunu göstermiştir. Kalıntı mıknatıslanma varlığının Kapadokya'nın geçmişteki tektonik evrimine ve günümüzdeki manyetik anomalilere etkisini araştırmak amacıyla 9 bölgeden toplam 68 numune ile paleomanyetik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Kapadokya bölgesi'nde bulunan bazalt, andezit gibi volkanik kayalarla, ignimbiritlerden alınan numuneler, Bulgaristan Bilimler Akademisi, paleomanyetizma laboratuvarında deneye tabi tutulmuştur. Buradan karakteristik kalıntı mıknatıslanma (KrKM) hesaplamaları Zijdervelt diyagramları üzerinde yapılarak geçmiş enlemler bulunmuştur. Ayrıca Kapadokya Bölgesi'ndeki ters dönmeler hesaplanmıştır. Buna göre Miyosen serilerinde 25-30° lik ve ignimbiritler üzerinde yaklaşık 12° lik dönme değerleri elde edilmiştir. Paleokutuplar Görünür manyetik Kutup (GMK) diyagramında gösterilmektedir. Bu çalışmalara ek olarak yapılan manyetik duyarlılık çalışması ile numuneler arasındaki mıknatıslanma farklılıkları incelenmiştir. Königsberger oranları hesaplanarak kalıntı mıknatıslanma ile indüklem mıknatıslanma arasındaki ilişki araştırılmıştır. Manyetik duyarlılığın anizotropi ölçmeleri (MDA) yapılarak Kapadokya Bölgesi'ndeki volkanik etkinliğin yayılımı ve saçılımı incelenmiştir. Ancak yalnızca Acıgöl Bölgesi'nde manyetik duyarlılığın anizotropi derecesi 18 olarak elde edilmiştir. Diğer bölgelerdeki MDA değerleri Acıgöl bölgesinden daha küçük kalmıştır. Manyetik duyarlılığın anizotropi ölçümleri, manyetik dokunun anizotropisinin düşük dereceli varlığını ve birincil duyarlılık yönlerinin sabit olmayan dağılımını açıklar. Paleomanyetik analiz çalışmalarıyla Kapadokya bölgesinde baskın tektonik rejimin aydınlatılması hedeflenmiştir. Çalışma alanının saat yönünde ve saatin tersi yönündeki dönmeleri, yapılan paleomanyetik analizden belirlenmektedir. Bu durum Anadolu levhacığı üzerinde egemen konumda bulunan Avrasya ve Afrika levhalarının hareketliliği ile uyumlu bir sonucu desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kapadokya, manyetik anomaliler, manyetik duyarlılık, kalıntı mıknatıslanma, saat yönünde ve tersinde dönmeler, paleotektonik

**ABSTRACT:** Cappadocia is a region that volcanic activity was being dominant for the last 13 million years lasting until recent times (190,000 year ago). This activity, continuing almost 13 million years, resulted in a formation of complex regional geologic structure. This complexity can immediately be noticed from the surface geology. This situation also can be observed from the aeromagnetic anomaly map of the region. Various geophysical data processing methods are utilised to solve the complex formation of the area. Distortions, observed from the aeromagnetic anomalies, tried to be removed by employing the reduction to pole and analytic signal methods. However, the distortions seen in most of the anomalies are not properly removed, implying

existence of some form of remanent magnetisation. In order to investigate the effect of the remanent magnetisation into the past tectonic evolution and present day magnetic anomalies, palaeomagnetic studies in 9 zones with 68 samples were carried out. For this reason, rock samples collected from volcanic rocks, such as basalts, andesites and ignimbrites and palaeomagnetic analysis were performed at the Palaeomagnetism laboratory of the Bulgarian Academy of Sciences. Palaeolatitudes were calculated from the Characteristic Remanent Magnetisations (ChRM) with utilising the Zijderveld diagrams. On the other hand, anti-clock wise rotations were calculated in the Cappadocia region. Calculated anti-clock wise rotations are approximately 25-30 degrees on the Miosen series and 12 degrees on the ignimbrites. Paleopoles are shown on a Virtual Geomagnetic Pole (VGP) diagram. Additionally, the magnetisation differences were investigated in between the samples by performing the magnetic susceptibility measurements. The relation between induced and remanent magnetisation was investigated by calculating the Königsberger ratios. Magnetic foliation and spread of volcanic activity were investigated by performing anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) measurements. However, 18 degree of AMS for only Acıgöl region was obtained. The AMS values of other regions were smaller than the Acıgöl region. Anisotropy of magnetic susceptibility measurements reveal the presence of low degree of anisotropy of the magnetic fabric and non-consistent distribution of the principal susceptibility directions. Dominant tectonic regime of Cappadocia region could be tried to clarify with palaeomagnetic analysis. Clockwise and anticlockwise rotations of the study area are mainly deduced from the carried out palaeomagnetic analysis. This situation is supported movements of Eurasia and Africa acting Anatolian microplate.

**Key Words:** Cappadocia, magnetic anomalies, magnetic susceptibility, remanent magnetisation, clockwise and anticlockwise rotations, palaeotectonic

## GİRİŞ

Kapadokya Bölgesinin yüzey jeolojisi, karmaşa göstermektedir. Bölgenin temeli tamamen Kırşehir bloğunun metamorfik kayalarla temsil edilmektedir. Alan çoğunlukla dasitten bazalta kadar değişen bileşimde volkanik kayalarla örtülüdür. Çalışma alanı tektonik olarak Tuzgölü ve Ecemiş kırıklarının kesiştiği bir bölge olduğundan aktif tektonizma gösterir. Pasquare ve diğ. (1988) tarafından hazırlanan çalışma alanına ait bir jeolojik harita basitleştirilerek yeniden çizilmiştir (Şekil 1).

Kapadokya bölgesinin birimleri, sıra volkanlar ve volkanoklastik depozitler ile peribacaları adı verilen tüflerden oluşmaktadır. Volkanoklastik depozitler, temel olarak ignimbiritik serilerdir. Yaklaşık olarak 10 adet ignimbiritik tabaka Kapadokya bölgesinde tanımlanmıştır (Pasquare, 1968; Innocenti ve diğ., 1975; Pasquare ve diğ., 1988; Le Pennec ve diğ., 1994). Radyometrik veri 13.7 My ve 0.019 My arasındadır (Innocenti ve diğ., 1975; Besang ve diğ., 1977; Bigazzi ve diğ., 1993) (Çizelge 1).

Bölgede Aksaray-Niğde-Nevşehir üçgeni arasında, kuzeydoğu güneybatı yönlü kırıklar, bölgenin uzun eksenine paraleldir. Volkanik depresyonun kuzey ve güney sınırını belirleyen bu sistemin iki ana kırığı Orta Kızıllırmak ve Niğde kırıklarıdır (Toprak 1998).

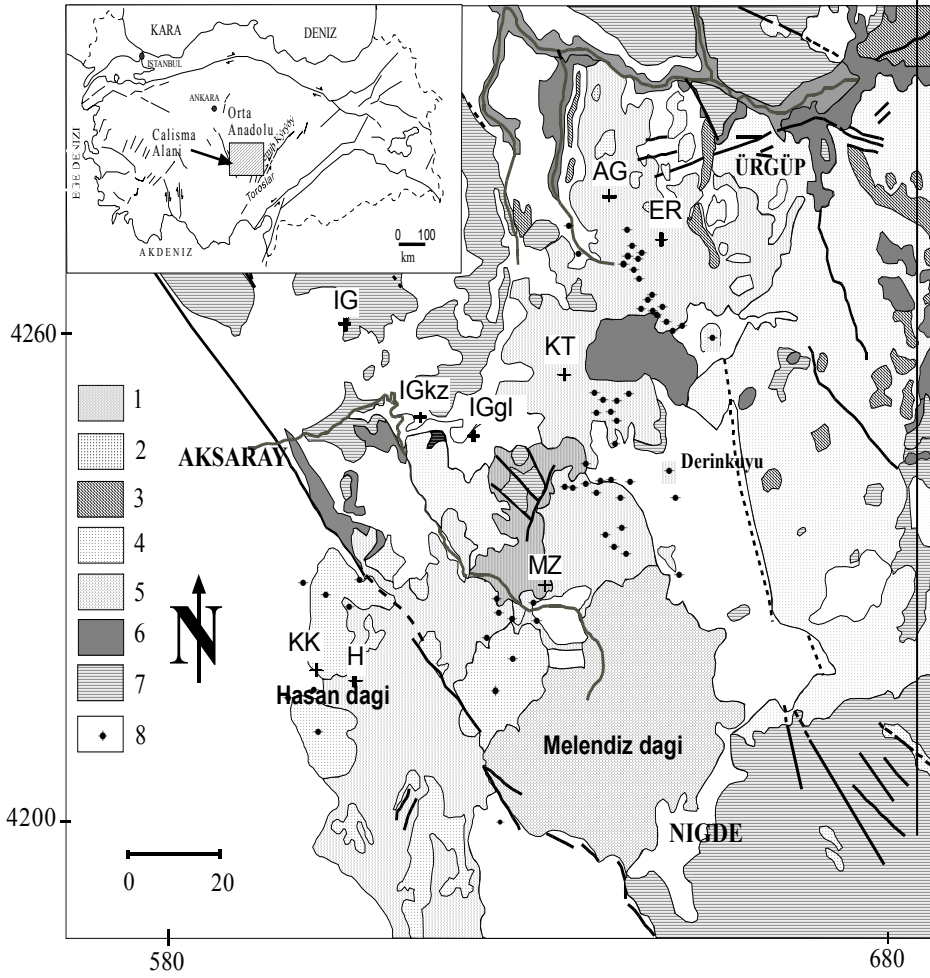
Polijenetik ve monojenetik olarak Kapadokya bölgesinin volkanik sınıflaması, püskürme modlarına dayandırılmıştır (Nakamura, 1977). Polijenetik volkanlar boruya benzer şekilli bir merkez bacanın üzerinde çoklu bacalar aracılığıyla tekrarlı püskürmelerle, monojenetik volkanlar ise dayklar boyunca dizilen bacalar yardımıyla tekil püskürmelerle oluşmuştur (Şekil 1).

## KAPADOKYA BÖLGESİNİN HAVADAN MANYETİK ANOMALİLERİ

Kapadokya bölgesinin havadan manyetik verisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nce 1978-1989 yılları arasında yapılan havadan manyetik ölçümler sırasında ölçülmüş olup, yerden 600 m yükseklikten uçularak elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veri 2.5 km aralıklarla standart bir yöntemle gridlenmiştir. Hava- dan manyetik anomalilerin derlenmesi ve genel tanımlaması Ateş ve diğ. (1999) tarafından verilmiştir. Çalışma alanının bulunduğu Orta Anadolu'da Kırşehir Bloğu, göreceli olarak yüksek genlikli anomalilere sahiptir. Toplam manyetik anomalilere Baldwin ve Langel (1993) algoritmasına göre IGRF düzeltmesi yapılmıştır. Daha sonra rejyonel alanın kaldırılmasıyla elde edilen rezidüel anomalilerin, Kapadokya bölgesinde manyetik anomalilerin oldukça karmaşık olduğu görülmüştür (Şekil 2). Anomalilerin çoğu kalıntı mıknatıslanmanın etkisiyle olması gereken manyetik K-G ekseninden sapmış durumdadır. Manyetik anomalilerin karmaşık yapısının çözümü için yapılan incelemede volkanik etkinlik zamanlaması, lav akışı ve manyetik anomaliler arasında bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. Özellikle bazaltik ve andezitik kayalar yüksek genlikler göstermektedir. Buna karşılık, ignimbiritik seriler, düşük genlikli anomalilere sahiptir. Öncelikle Kutba İndirgeme (Kİ) yöntemiyle, manyetik anomalilerde oluşan sapmalar ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Kİ dönüşümü, indüklem mıknatıslanma açısı kullanılarak Şekil 2'de verilen rezidüel manyetik anomalilere uygulanmıştır. Kİ dönüşümü sonrası manyetik K-G ekseninden sapmış bazı anomaliler düzeltilmiştir (Şekil 3). Ancak Kızılkaya, Gelveri ve Göstük ignimbiritleri, Acı- göl civarı ve Hasandağı'nın güneybatısındaki K-G ekseninden sapmış anomalilerde düzelme olmadığı görülmüştür. Bu durum kalıntı

mıknatıslanmanın çok güçlü bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Diğer yandan manyetik anomaliler, genellikle eliptik ve dairesel olarak iki farklı şekilde görülmektedir. Bunlardan daire şekilli anomaliler, volkanik çıkışları, elips şekilli anomalilerse yapısal değişimleri göstermektedir. Manyetik anomalilerdeki kalıntı mıknatıslanmanın varlığı karmaşık görüntüyü artıran bir durumdur. Kalıntı mıknatıslanmanın etkisini azaltmak için Şekil 3’de gösterilmiş olan Kİ dönüşümü

yapılmış anomalilere, Roest ve diğ. (1992) tarafından bir başka çalışmada benzer şekilde başarıyla uygulanmış olan, analitik sinyal dönüşümü uygulanmıştır. Analitik sinyal haritası (Şekil 4) sapsmış anomalilerde önemli bir gelişme ortaya koymuş ve sakinleşme meydana getirmiştir. Kutba indirgeme ve analitik sinyal dönüşümü uygulamaları, Blakely (1995) tarafından önerilen algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

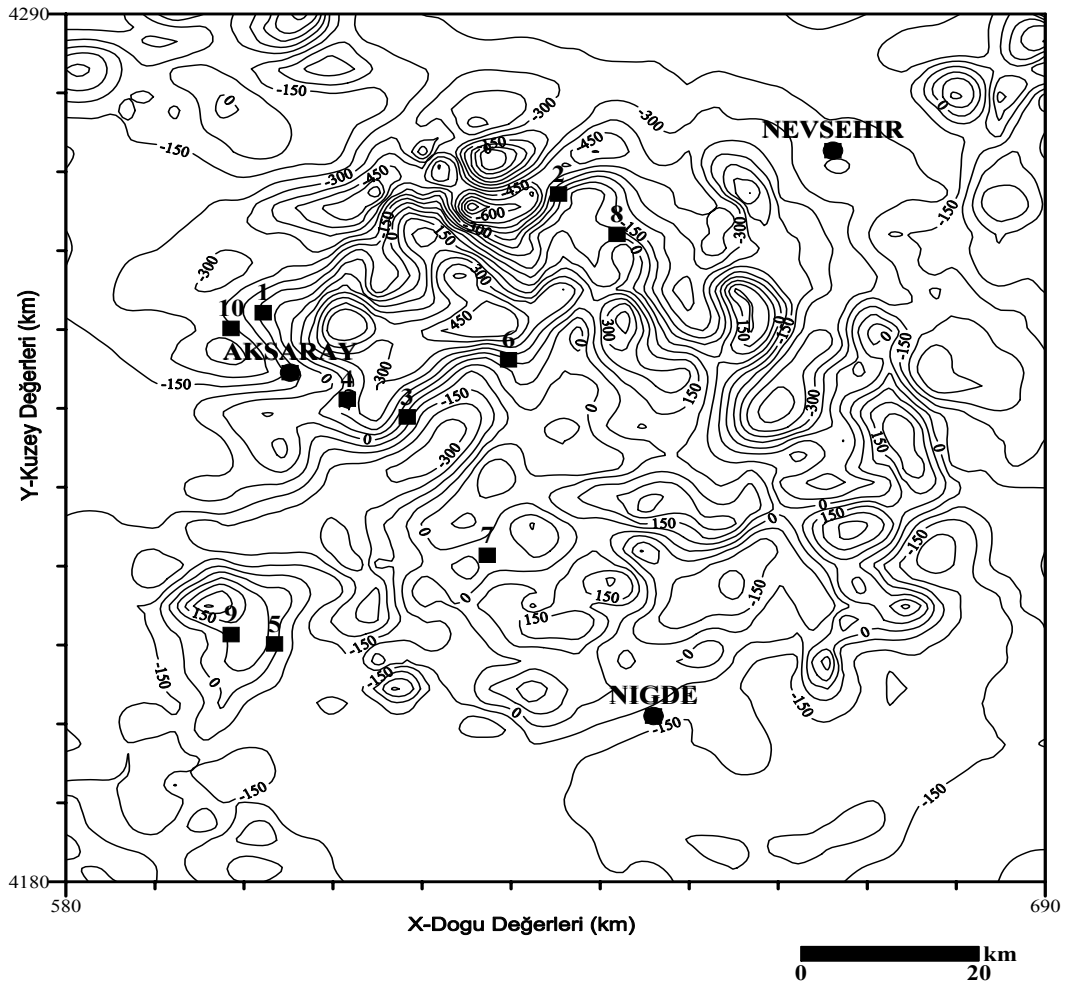


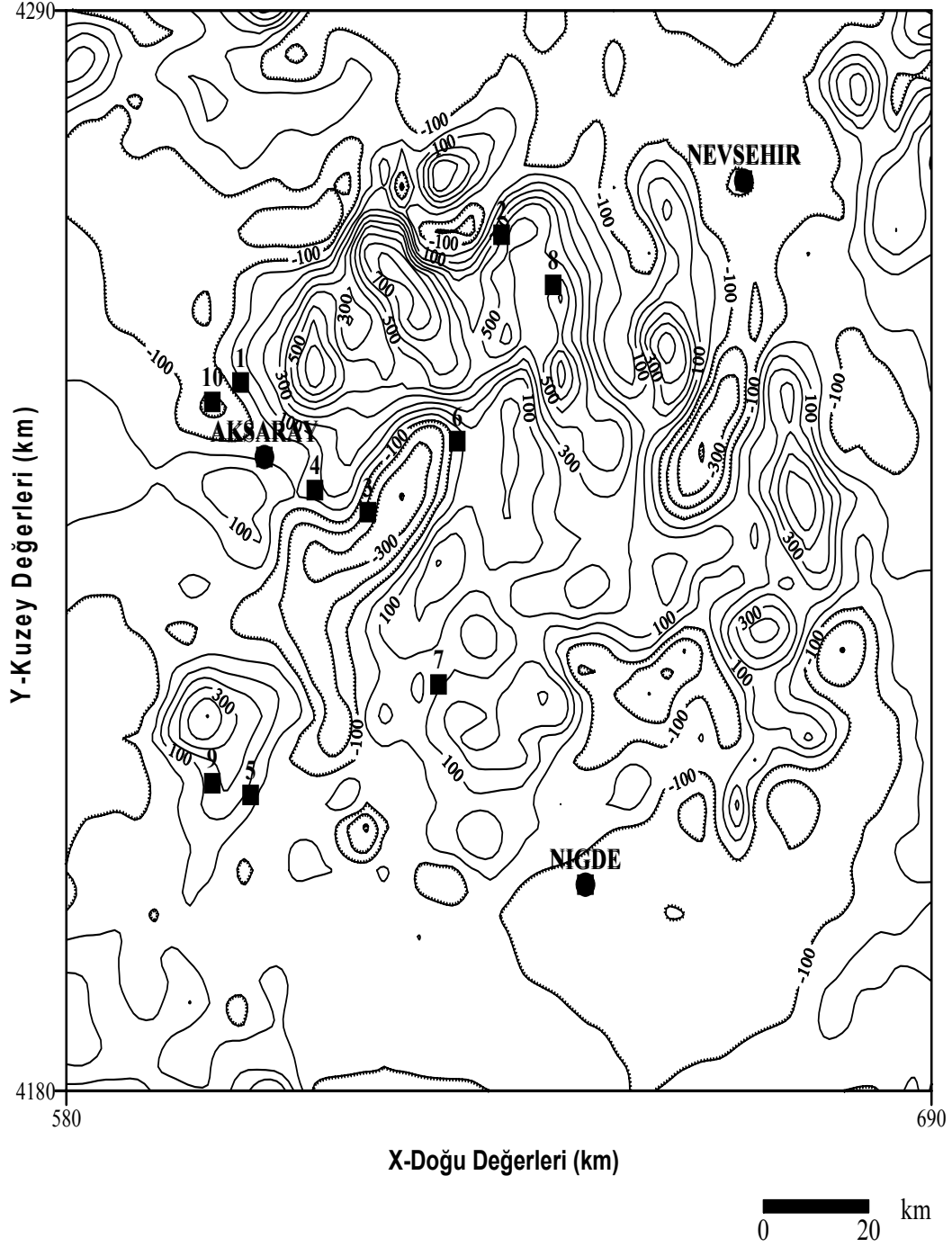
**Şekil 1:** Kapadokya Bölgesi'nin Pasquare ve diğ. (1988)'den değiştirilerek hazırlanmış jeoloji haritası. (1:Stratovolkanlar ve pirklastik ürünler, 2: Faylı strata volkanlar, 3: Lav akıntıları, 4: İgnimbiritler, 5: Melendiz Dağı volkanik kompleksi, 6: Lav akıntıları ve domlar, 7: Anatolide birimleri, 8: Güncel monojenik merkezler). Numune toplanan yerler (+) ile gösterilmiş olup, (AG): Acıgöl, (ER): Erdaş Dağı, (H): Hasandağı-1, Hasandağı-2, (KK): Keçikalesi, (KT): Kızıltepe, (MZ): Melendizler, (IG): Gelveri (GL), Göstük (GS), Kızılkaya (KZ), (IGgl): Gelveri-2, Kızılkaya-2 bölgeleridir.

**Figure 1:** Modified geological map of Cappadocia region (After Pasquare et al., 1988). (1:Stratovolcanoes and pyroclastic products, 2: Faulted stratovolcanoes, 3: Lava flows, 4: Ignimbrite units, 5: Melendiz Dag volcanic complex, 6: Lava flows and domes, 7: Anatolide units, 8: Quaternary monogenic centres). Sample places are shown by (+) and (AG): Acıgöl, (ER): Erdaş Dağı, (H): Hasandağı-1, Hasandağı-2, (KK): Keçikalesi, (KT): Kızıltepe, (MZ): Melendizler, (IG): Gelveri (GL), Göstük (GS), Kızılkaya (KZ), (IGgl): Gelveri-2, Kızılkaya-2 özelliklerinden bir tanesi olan Konigsberger oranı, tüm örnekler için (1) no'lu bağıntı kullanılarak bulunmuştur.

**Çizelge 1:** Kapadokya Bölgesi'ndeki çalışılan kayaç ve ignimbiritlerin radyometrik yaşları**Table 1:** Radiometric ages of studied rocks and ignimbrites in Cappadocia Region

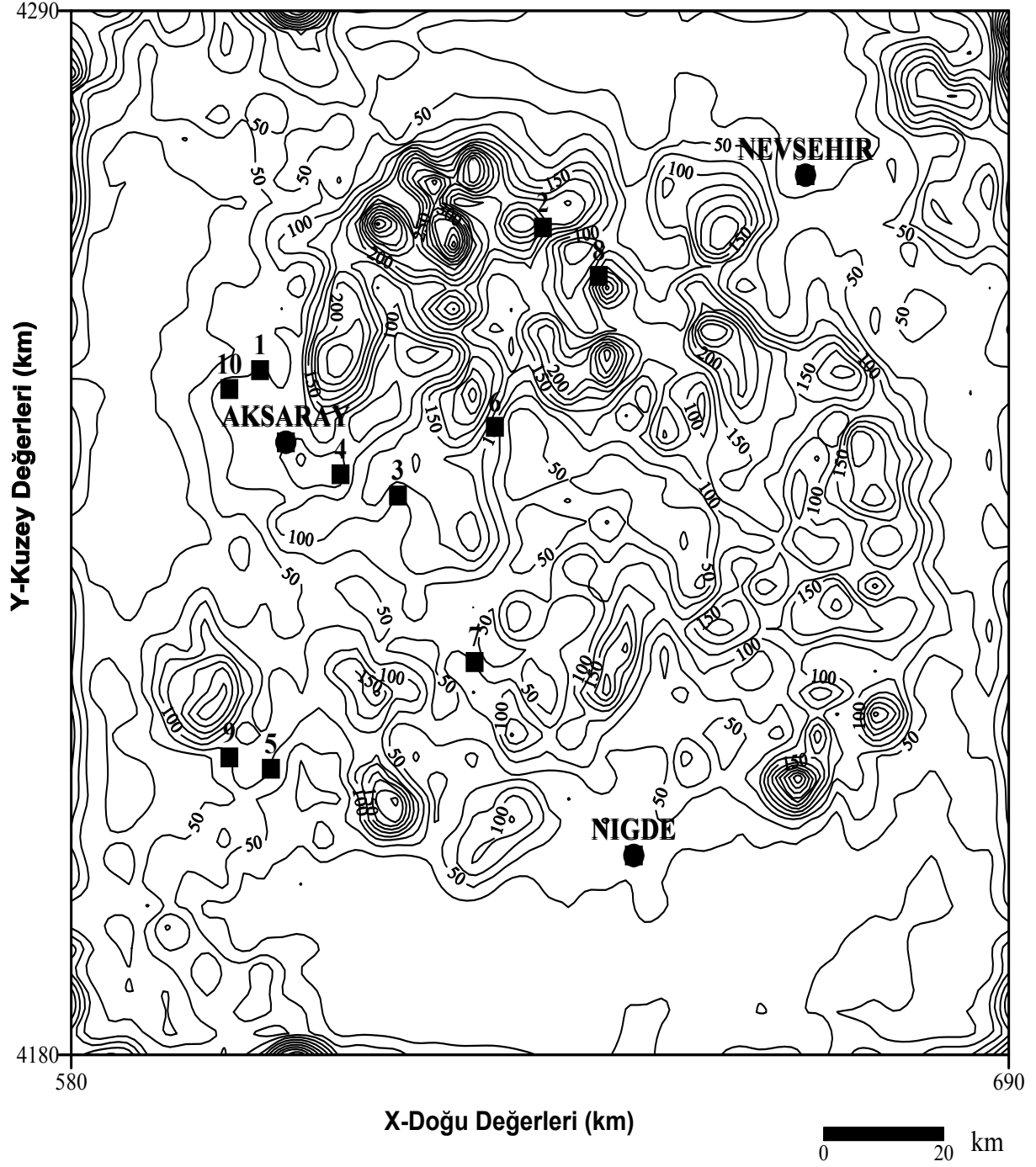
Kayaç Tipi	Alan		Enlem/Boylam	Formasyon	Radiometrik Yaş (Ma)	Yöntem	Referans
İgnimbiritler	(İG)	GELVERİ (GL) GOSTUK (GS) KIZILKAYA (KZ)	38.411/34.17	İgnimbirit	5 - 8 ~8 5.5±0.2	K/Ar K/Ar K/Ar	Innocenti ve diğ. (1975) Innocenti ve diğ. (1975) Besang ve diğ. (1977)
	(AG)	ACIGOL	38.542/34.553	Riyolitik ignimbirit	0.4 - 0.019	FT	Bigazzi ve diğ. (1993)
	(İGgl)	GELVERİ-2	38.29/34.353	İgnimbirit	5 - 8	K/Ar	Besang ve diğ. (1977)
	(İGkz)	KIZILKAYA-2	38.311/34.276	İgnimbirit	4.4±0.1	K/Ar K/Ar	Innocenti ve diğ. (1975) Besang ve diğ. (1977)
Andezit ve Bazaltlar	(ER)	ERDAŞ	38.495/34.627	Bazaltik Andezit	13.7 - 6.5	K/Ar	Bigazzi ve diğ. (1993)
	(H)	HASAND HASAND-2	38.032/34.178 38.030/34.190	Andezitik Bazalt	1.151 0.78 - 0.277	K/Ar	Ercan ve diğ. (1992)
	(KK)	KECIKALESİ	38.044/34.123	Bazaltik Andezit	13.7 - 12.4	K/Ar	Besang ve diğ. (1977)
	(KT)	KIZILTEPE	38.354/34.484	Bazalt	Kuvaterner	-	-
	(MZ)	MELENDİZ	38.131/34.453	Andezit	6.5 - 5.1	K/Ar	Besang ve diğ. (1977)

**Şekil 2:** IGRF uzaklaştırılmış manyetik anomali haritası. Kontur aralığı: 75 nT (■ işareti örnek alınan noktaları göstermektedir).**Figure 2:** IGRF removed aeromagnetic anomalies. Contour interval is 75 nT (■ shows places of the data collection).



**Şekil 3:** Şekil 2’de verilen manyetik anomalilerin kutba indirgenmiş (Kİ) hali. Kontur aralığı: 100 nT (■ işareti örnek alınan noktaları göstermektedir).

**Figure 3:** Reduction to pole (RTP) transformation of aeromagnetic anomalies shown in Fig. 2. Contour interval is 100 nT (■ shows places of the data collection).



**Şekil 4:** Kİ dönüşümü (Şekil 3) yapılmış manyetik anomalilere analitik sinyal uygulanması. Kontur aralığı: 25 nT (■ işareti örnek alınan noktaları göstermektedir).

**Figure 4:** Analytic signal map of RTP transformation shown in Fig. 3. Contour interval is 50 nT (■ shows places of the data collection).

### PALEOMANYETİK ÖRNEKLEME VE KULLANILAN YÖNTEMLER

Kapadokya, volkanik ve ignimbiritlerden birkaç formasyonda, 9 farklı noktada örneklenmiş ve numunelerin sapma açısı (D) 0° ve eğim açısı (I) 57.7° olarak yapılan ölçümlerden belirlenmiştir. Yatay olarak tabakalanmış olan Kızılıkaya lokasyonundaki Kuvaterner bazaltları maar içinde iri taneli depozitler halindedir. Çalışılan kayaçların radyometrik yaşları Çizelge 1’de listelenmiştir. 68 adet yönlü el örneği, güneş pusulası kullanılarak toplanmıştır. Her bir örnekten 3-7 adet kübik örnek laboratuvarında hazırlanarak toplam 270 adet numune oluşturulmuştur. Doğal kalıntı mıknatıslanma, öncelikle düşük alan manyetik duyarlılık ve manyetik duyarlılığın anizotropisi kayaç formasyonlarının (İndüklem ve kalıntı mıknatıslanma şiddeti ve yönleri) özelliklerinin belirlenmesi için ölçülmüştür. Bu bilgiler özellikle manyetik anomalilerin yorumlanması için önem taşımaktadır. Bu özelliklerden bir tanesi olan Konigsberger oranı, tüm örnekler için (1) no’lu bağıntı kullanılarak bulunmuştur.

$$Q=DKM/h.k \quad (1)$$

Burada, h: Bugünkü yermanyetik alanın şiddeti, k: Manyetik duyarlılıktır. Çalışılan örneklerin manyetik mineralojilerini tanımlamak için, birkaç temsili örnek 20 °C’den 680 °C’ye kadar ısıtılıp soğutulularak manyetik duyarlılığın ısı davranışını incelenmiştir. Manyetik duyarlılık ölçümleri Kapabridge KLY-2 (AGICO, Brno) manyetik duyarlılık ölçer kullanılarak yapılmıştır. Çalışılan kayaçların karakteristik kalıntı mıknatıslanmasının (KrKM) saptanması ve görünür manyetik kutup pozisyonunun (GKP) hesaplamaları için standart paleomanyetik inceleme yöntemi uygulanmıştır. Karakteristik kalıntı mıknatıslanma (KrKM) LINEF bilgisayar programı (Kent ve diğ., 1983) kullanılarak elde edilmiştir. Kalıntı mıknatıslanmanın duraylılığını saptamak amacıyla alternatif manyetik alan (AMA) ve ısı temizleme teknikleri kullanılmıştır. Kalıntı mıknatıslanma ölçümleri Minispin (Molspin Ltd.) manyetometresi kullanılarak yapılmıştır. Manyetik duyarlılığın anizotropisi (MDA) ölçümleri Jelinek (1978) yöntemiyle 15 yönde ölçülerek yapılmıştır. Verinin istatistiksel analizi tensörel yaklaşımlar kullanılarak elde edilmiştir (Hext, 1963; Jelinek, 1981; Henry ve LeGoff, 1995).

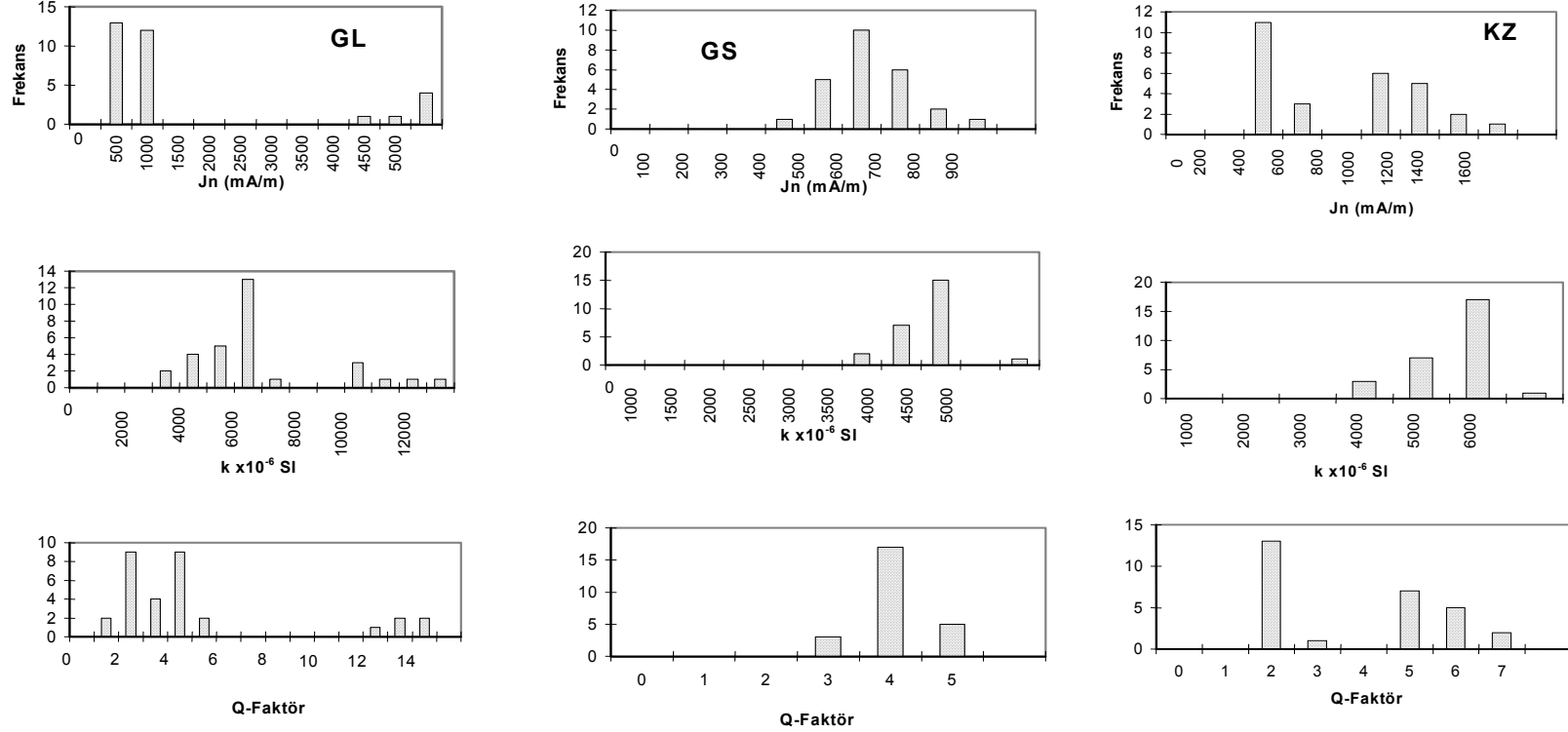
### DENEYSEL SONUÇLAR

#### Manyetik Özellikler

Manyetik anomaliler yorumlanırken, kaynakların manyetik petrolojisi önemlidir. Aynı zamanda, mıknatıslanmanın indüklem (Ji) ya da kalıntı

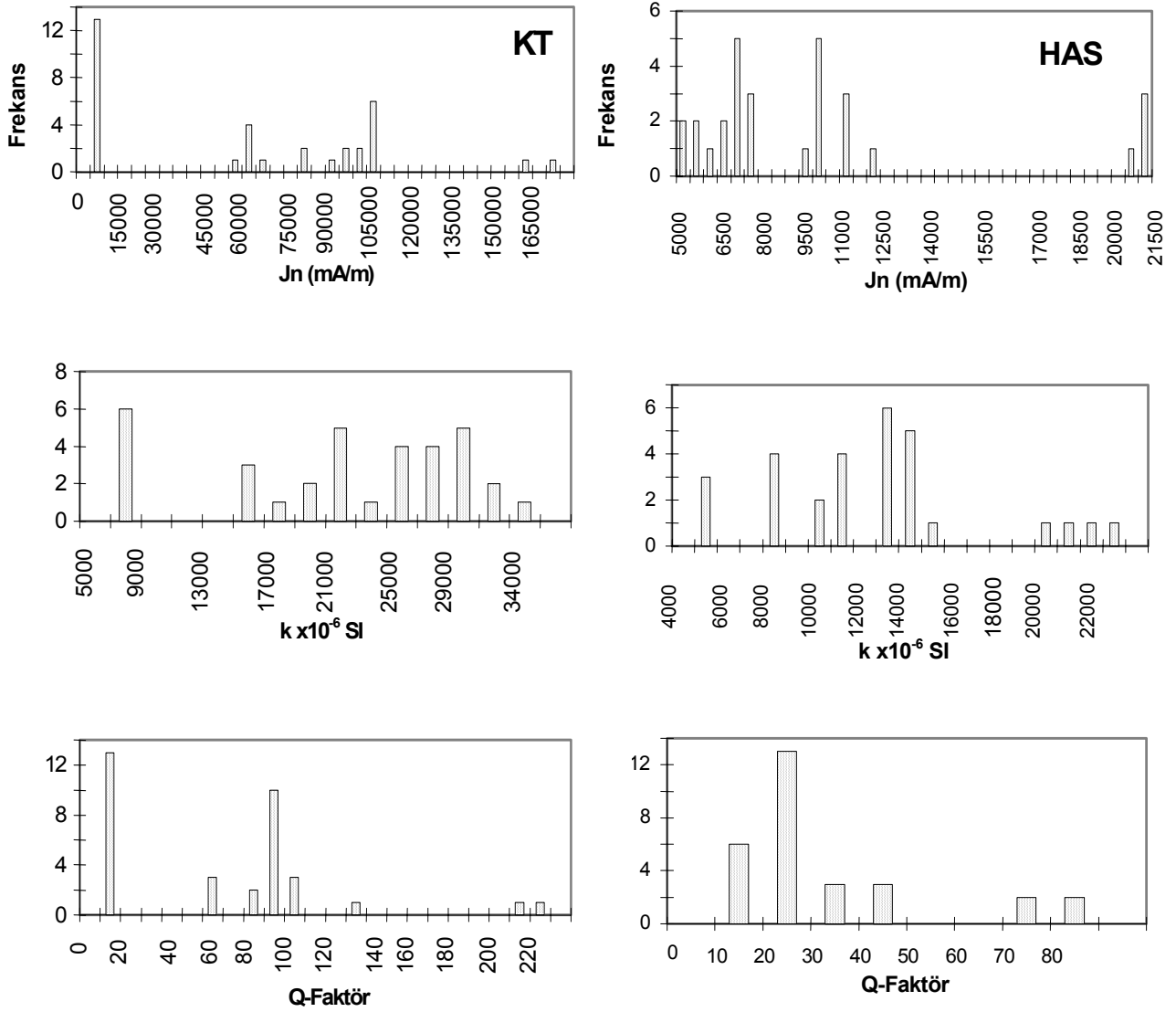
mıknatıslanma (Jn) olup olmadığının da bilinmesi gereklidir. Toplam manyetik alan, Ji ve Jn’nin toplam vektörünü yansıtır. Ayrıca Konigsberger oranı mıknatıslanmanın özelliklerinin belirlenmesi için iyi bir göstergedir. Tüm alanlar için ölçülen DKM, hacim manyetik duyarlılık (k) ve Konigsberger (Q) oranı frekans dağılımı yapılmıştır. Kalın depozitler oluşturmuş olan Göstük (GS)-Gelveri (GL)-Kızılıkaya (KZ) ignimbiritleri ortalama 3.4-4.1 Q değerleri göstermektedir Şekil 5 (a, b, c). Bu değerler sedimanter yapıdaki kayaçlar için standart değerler sayılabilir. Normal dağılıma en yakın değerler GS bölgesinden alınan değerler olup, ksenolitlerin dağılımlarını göstermektedir. Diğer taraftan GL ve KZ formasyonlarından alınan örnekler, iki farklı bölgeden toplanmıştır fakat Jn ve k değerlerinin dağılımı, alana göre kesin ayrımları göstermemektedir. En yüksek ferromanyetik içerik, GL formasyonundan alınan örneklerden elde edilmiştir. Bu formasyonda  $k_{ort}$ ,  $7.316 \times 10^{-3}$  (SI) ve  $(DKM)_{ort}$  1460 mA/m olarak elde edilmiştir. GS ve KZ formasyonlarından elde edilen örnekler daha düşük değerler ortaya koymuştur. Ölçülen DKM yönleri, küçük eğim (inklinasyon) açılarının varlığını göstermektedir. Ortalama eğim açıları GL için ortalama 34°, GS için 15° ve KZ için 12° olmuştur. Sonuç olarak ignimbiritik formasyonların neden olduğu manyetik anomalilerin şiddeti düşüktür.

Ancak, düşük Q değerleri indüklem mıknatıslanmanın manyetik mineralojinin şekillenmesinde önemli olduğu sonucunu beraberinde getirmektedir. Acıgöl riyolitik ignimbiritleri daha düşük DKM (ortalama değer, 164 mA/m) ve k (ortalama değer  $213 \times 10^{-6}$  SI) değerleri ile karakterize edilmektedir. Bununla birlikte Q değerleri, ortalama 17.6 değerinde olup, daha yüksek bir ortalama değer sergilemektedir. Yüksek Q değeri Acıgöl ignimbiritlerinde kalıntı mıknatıslanmanın önemini göstermektedir. Acıgöl ignimbiritlerinde ortalama eğim açısı 25°’dir. Melendiz (MZ) ve Erdaş (ER) alanları, andezitlerden oluşmaktadır. Ayrıca duraylı bir kalıntı mıknatıslanma taşımayan büyük ferromanyetik taneciklerin konsantrasyonu düşük Q değerleri göstermektedir. Q değerleri ortalama ~ 1-1.6 ve manyetik duyarlılık ortalama  $k_{ort}$   $8.5-19.9 \times 10^{-3}$  (SI) değerlerindedir. MZ ve ER alanlarında da indüklem mıknatıslanma baskın rol oynamaktadır. Hasandağı (H) ve Kızıltepe (KT) bazaltlarına ait DKM, k ve Q değerleri bimodal dağılımla karakterize edilmektedir (Şekil 6 a, b). Her iki grubun ortalaması, çalışılan diğer alanlarla karşılaştırıldığında yüksek değerlerin varlığı görülür.



**Şekil 5:** Ölçülen DKM, hacim manyetik duyarlılık (k) ve Konigsberger oranı (Q-faktörü) frekans dağılımı: **a)** Gelveri (GL), **b)** Göstük (GS), **c)** Kızılıkaya (KZ) ignimbiritik serileri  
**Fig. 5a:** Frequency distribution of the measured (NRM), volume susceptibility (k) and the (Q-factor): **a)** Gelveri (GL) **b)** Gossuk (GS) **c)** Kizilkaya (KZ) ignimbiritic series.





**Şekil 6:** Ölçülen DKM, hacim manyetik duyarlılık (k) ve Königsberger oranının (Q-faktörü) frekans dağılımı: **a)** Hasandağı (H) volkanik seriler; **b)** Kızıltepe (KT) bazaltik serisi.

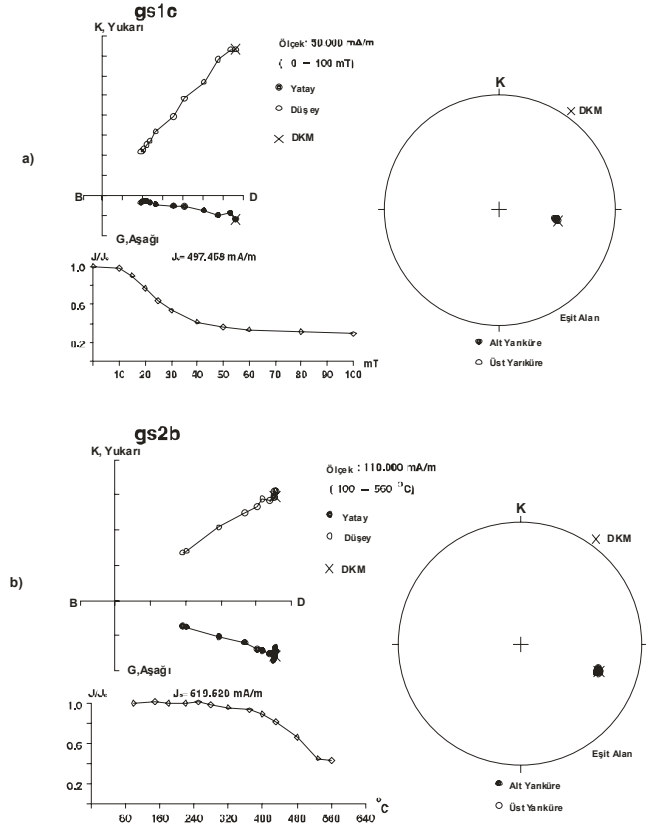
**Fig. 6:** Frequency distribution of the measured NRM, volume susceptibility (k) and the (Q-Factor) **a)** Hasandag volcanic series, **b)** Kızıltepe (KT) Basaltic serie.

### Palaeomanyetik analiz

#### 1. Göstük ignimbirite (GS)

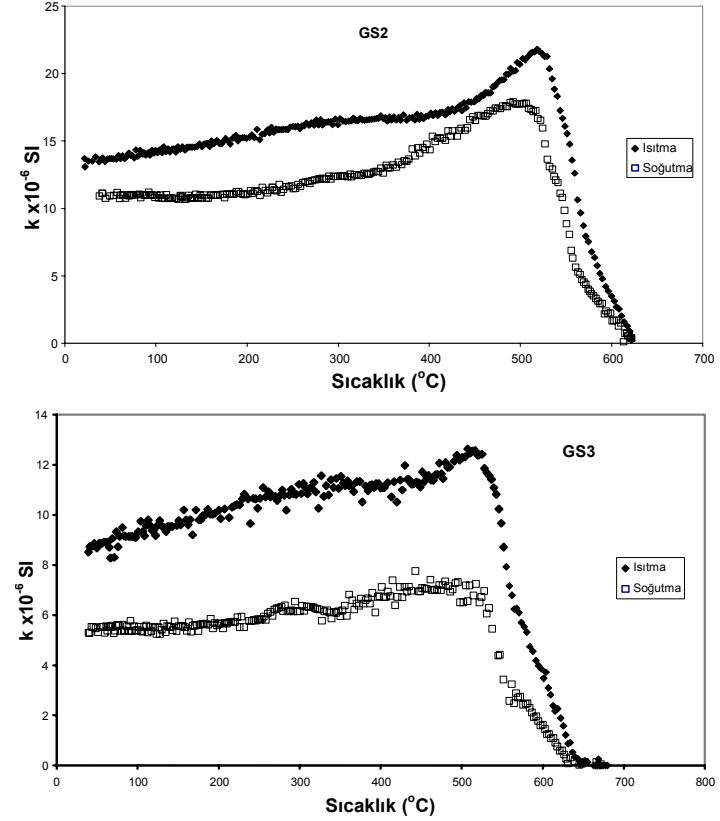
16 örnek üzerinde alternatif manyetik alan (AMA) ve ısı temizleme işlemleri, çok yumuşak bir viskoz bileşence kısmen bozulmuş, tek bir bileşenin varlığını göstermektedir (Şekil 7a,b). DKM vektörünün doğrusallığı ve unimodal yapısı küçük  $\alpha_{95}$  değerleri ile yansıtılmaktadır. KrKM yönleri, ısı temizleme işlemleri sırasında daha yüksek  $\alpha_{95}$  değerlerine sahip olmaktadır.

Hem AMA hem de ısı temizleme teknikleri, birbirine çok benzeyen KrKM yönleri göstermektedir. Ana ferromanyetik taşıyıcı düşük titanyum (Curie sıcaklığı 550°C) içerikli kaba taneli titanomanyetittir. Ayrıca az miktarda hematit/ Titanyumlu-hematit (Curie sıcaklığı 630°C) termomanyetik davranışın delilidir (Şekil 8 a, b). 100 mT en büyük AMA alanında temizleme olmadan yaklaşık %20 DKM oranında bulunduran Hematit, malzemede çoğunlukla bulunduğu için tanımlanabilmektedir.



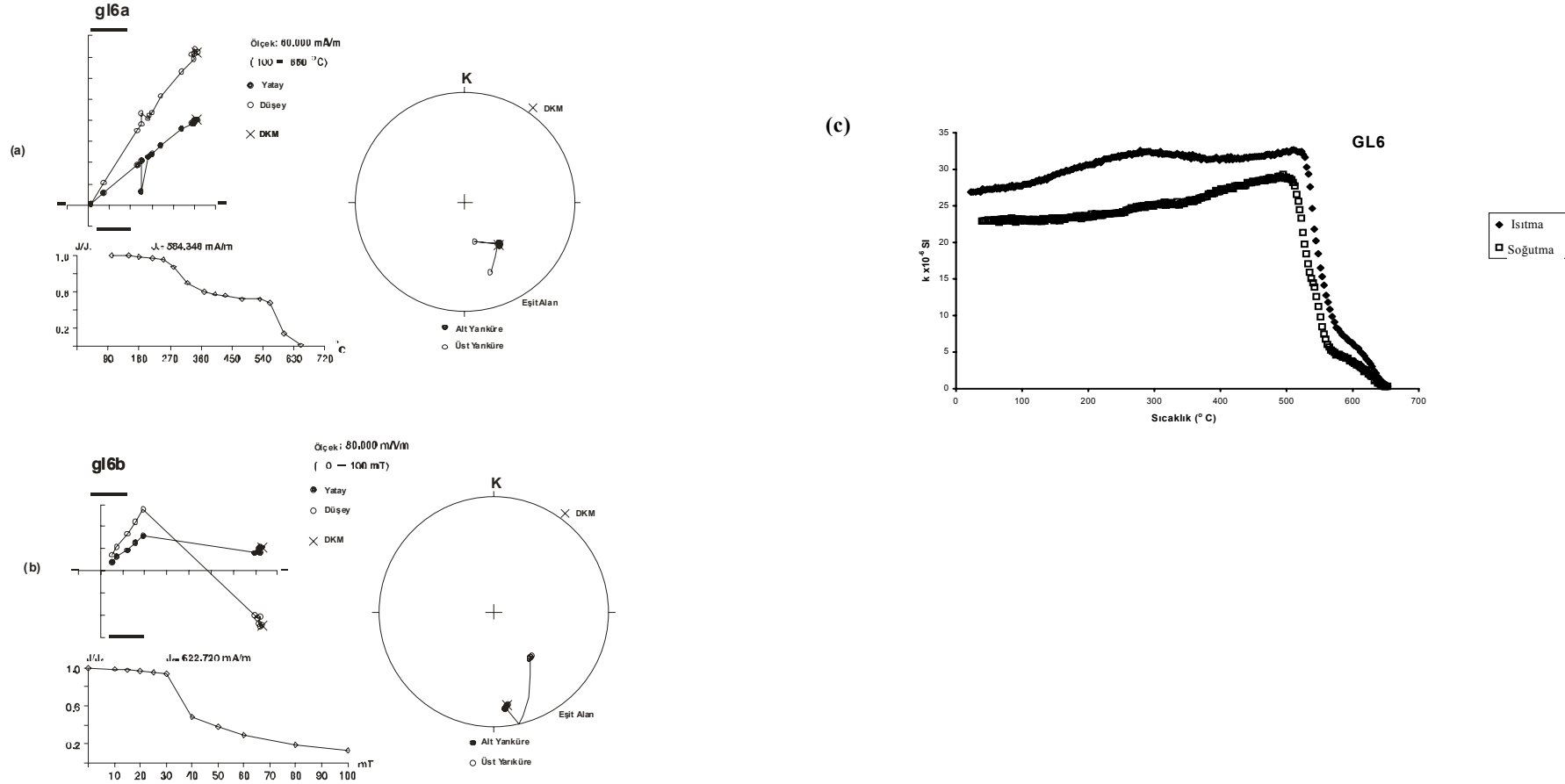
**Şekil 7:** Göstük (GS) ignimbiritik serisinden temsili örneklere ait, **(a)** Alternatif manyetik alan ve **(b)** Isıl temizleme uygulamasından elde edilen sonuçlar.

**Figure 7:** Representative examples of the results from Göstük (GS) ignimbritic serie. **(a)** Alternative Field and **(b)** Thermal demagnetisation.



**Şekil 8 (a,b):** Göstük (GS) ignimbiritleri için örnek ısıl manyetik eğriler. Ana ferromanyetik taşıyıcı olasılıkla Curie sıcaklığı  $630^\circ\text{C}$  olan az miktarda hematit/Titanyum-hematit eşliğinde, iri taneli düşük titanyumlu titanomanyetitdir (Curie ısısı,  $T_c$ :  $550^\circ\text{C}$ ).

**Figure 8 (a,b):** Thermomagnetic curves from Göstük (GS). The main ferromagnetic carrier is probably coarse-grained titanomagnetite with low Ti-content (Curie point  $T_c$  of  $550^\circ\text{C}$ ), accompanied by some small amount of hematite/Ti-hematite with a  $T_c$  of  $630^\circ\text{C}$



**Şekil 9:** Gelveri ignimbiritik serisinden temsili örnekler için, (a) Isıl ve (b) Alternatif manyetik alan temizleme uygulamasından elde edilen sonuçlar ve c) GL6 örneği için ısıl manyetik eğri

**Figure 9:** Representative examples of the results from Gelveri (GL) ignimbritic serie. (a) Thermal and (b) Alternative Field demagnetisation and c) Thermomagnetic K(T) curve in air for sample GL6.

### 2. Gelveri ignimbiriti (GL)

AMA ve ısı temizleme işlemleri sonuçlarının temsili örnekleri Şekil 9a ve b'de sunulmaktadır. AMA adımı kalıntı mıknatıslanma vektörü çok duraylıdır ve koherzivite gibi manyetik sertlikle uyumlu iki mineral fazın varlığını göstererek farklı unblocking sıcaklığını ortaya koyar (Şekil. 9b). 30 mT'lık AMA temizlemesine karşılık yüksek duyarlılıklı 300°C'lik bloking sıcaklığının elde edilmiş olması pirotitin varlığını göstermektedir. Başka bir yumuşak manyetik fazla birlikte oluşur ve olasılıkla okside olmuş manyetite işaret eder. Pirotit, normal polaritenin DKM'nın anomali yönünde bir ikincil bileşenini taşır. Örneklerin diğer bir grubu pirotitin varlığını göstermemektedir. Curie sıcaklığı 550°C olan titanomanyetit ve hematit içerirler (Şekil 9c).

### 3. Kızılkaya ignimbiriti (KZ)

Kızılkaya formasyonuna ait ignimbirit örnekleri, birbirine yakın iki ayrı lokasyondan toplanmıştır. Hem AMA hem de ısı temizleme sırasında DKM davranışı, karakterize edilmektedir (Şekil 10a,b). Paleomanyetik olarak anlam taşıyan yönlenme 20 mT'dan sonra ya da 180-370°C aralığındaki sıcaklıklarda kaybolmaktadır. AMA temizleme işlemine rağmen DKM'nın yüksek koherziviteli oluşu tek domen (SD) ya da yapay tek domen (PSD) taşıdığını ifade eder. 550°C'den şiddetteki keskin düşüşler, KrKM'nın düşük titanyum içerikli Isıl Manyetizma taşıdığını gösterir. KrKM, negatif polaritelidir.

### 4. Riyolitik ignimbiritler (AG)

Zijderveld diyagramlarından (Zijderveld, 1967) elde edilen temizleme davranışı ve normalize edilmiş şiddet eğrileri koherzivitinin geniş bir spektrumunun varlığına işaret etmektedir. Isıl temizleme eğrisin konveks şekli ve unblocking sıcaklıklarının (Tb) 650°C'den daha yüksek olması, ana taşıyıcının olasılıkla hematit ve titanomanyetit olduğunun önemli kanıtlarıdır.

Zijderveld diyagramları iki bileşen olduğunu göstermektedir. Daha yumuşak olanı, 180°C ya da 20 mT değerinde temizlenmiş, olasılıkla viskoz kökenlidir (Şekil 11a,b). Deklinasyonlardaki farklılıklar nedeniyle iki gruptan farklı KrKM yönleri elde edilir.

A grubunun ortalama deklinasyonu, 328.6°'lik dalım açılı en büyük manyetik duyarlılık ekseninin yönüyle tanımlıdır. Aynı zamanda hem indüklem hem de kalıntı mıknatıslanmanın yönünün düşeyden belirli düzeyde sapsmasına neden olan, MDA derecesi yüksek olup, P', %18'dir. Bu nedenle B grubunun yönleri daha güvenilir durumdadır.

### 5. Erdaş andezitleri (ER)

Erdaş bazaltik andezitlerinden alınan on iki adet örneğe, AMA temizleme manyetizasyon işlemi

uygulanmıştır. ER2a örneğine ait vektör çizimleri ve Zijderveld diyagramları, 10 mT'da yumuşak bir viskoz bileşen ve negatif bir durağan bileşenin varlığını göstermektedir (Şekil 12a). Kalıntı mıknatıslanma, olasılıkla ısı manyetik davranış sonuçlarına göre düşük oranda Titanyumlu iri taneli ısı manyetizmadır (Şekil 12b). Örnek Er1 (1a ve 1b no'lu numuneler) sonuçları, diğer numunelerin tersine çok düşük eğim açısı elde edildiği için dikkate alınmamış ve uyumsuz kabul edilmiştir.

### 6. Kecikalesi andezitleri (KK)

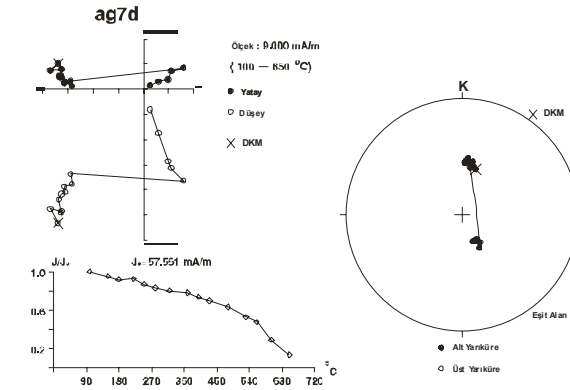
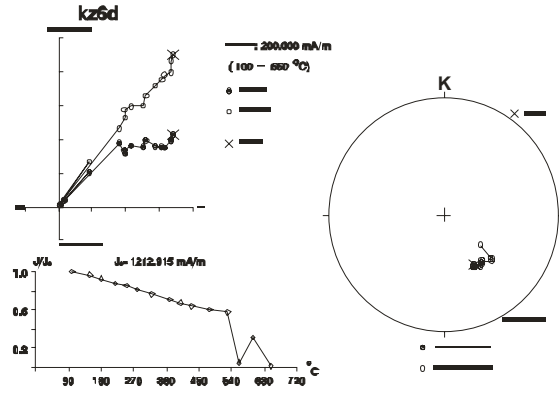
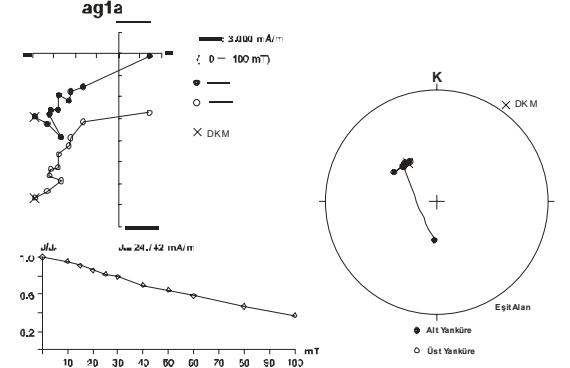
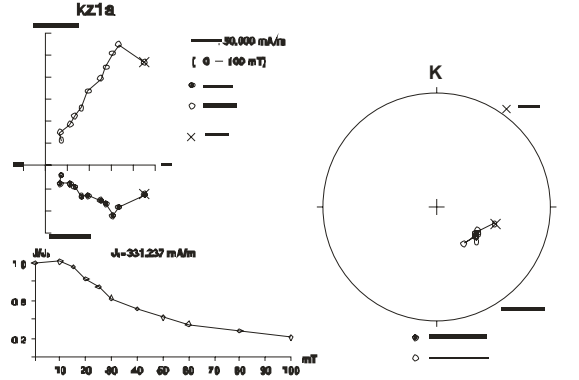
Bazaltik andezitlerce temsil edilen ikinci alan, Keçikalesi (KK)'dir. AMA ve ısı temizleme dokuz adet numuneye uygulanmıştır. Örnekler, genellikle 400°C ve 50 mT'dan sonra KrKM'ları yalıtılan iki bileşenin varlığını ortaya koymaktadır. Bazı örnekler, düzenli bir bileşen tarafından karakterize edilmektedir. Ortalama KrKM yönünün hesaplanması için örnek 2 (2a ve 2c no'lu numuneler) ve örnek 7 (7a ve 7b no'lu numuneler) diğer numunelerden farklı olarak küçük eğim açıları (inklinasyon) elde edildiği için uyumsuz kabul edilerek değerlendirilmeye alınmamıştır.

### 7. Melendiz Dağı andezitleri (MZ)

Melendiz Dağı'ndan alınan andezitlerin karakteristik kalıntı mıknatıslanması (KrKM) AMA temizleme işlemi ile elde edilmiştir. Örnekler, iki bileşenli olup, yüksek manyetik duraylılık göstermektedir (Şekil 13). KrKM bileşeni 30-50 mT değerlerinden sonra yüksek pik değerlerinde mıknatıslıklarını yitirmişlerdir. KrKM ortalama vektörü, negatif polaritelidir.

### 8. Kızıltepe (KT) ve Hasandağı (H) Bazaltları

Kızıltepe (KT) bazaltları çok saçılımlı KrKM yönleri göstermektedir. Bu saçılımlı değerler, 15 mT temizleme adımından sonra saptanmaktadır (Şekil 14a). Örneklerin bazıları (KT1 gibi) 40 mT'ya kadar büyük bir daire boyunca DKM yönünde büyük bir değişim göstermektedir. Bu adım sonrası hemen bütün sinyaller temizlenmektedir, ancak geriye kalan yüksek koherziviteli bileşen pozitifdir. Büyük saçılım nedeniyle, bu alan paleomanyetik analizden çıkarılmıştır. Hasandağı'ndan alınan bazaltlar (H), yüksek DKM şiddeti ile karakterize edilmektedir. 5-10 mT adımı Viskoz Kalıntı Mıknatıslanma temizleme işleminden sonra Zijderveld diyagramları bir KrKM bileşeni gösterir (Şekil 14b). Normal polarite yönleri, düşük negatif eğim gösteren H7 hariç, bütün örnekler için yalıtılmıştır. Fisher istatistiği uygulandıktan sonra daha düşük eğimli şimdiki dipol yer manyetik alana göre ortalama yön elde edilmiştir.

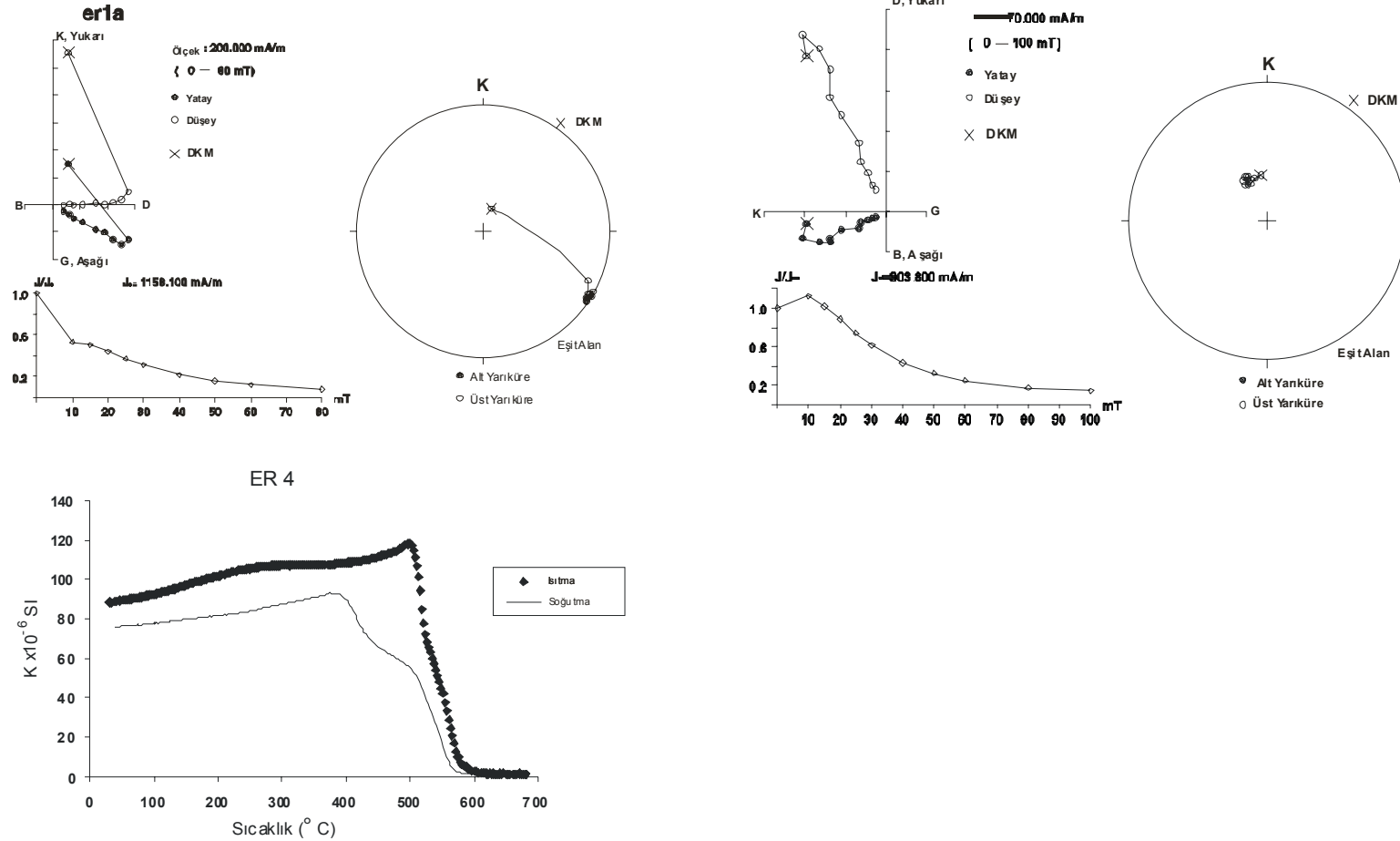


**Şekil 10:** Kızılkaya ignimbiritik serisinden temsili örneklere ait, (a) Alternatif manyetik alan ve (b) Isıl temizleme uygulamasından elde edilen sonuçları.

**Figure 10:** Representative examples of the results from Kızılkaya (KZ) ignimbritic serie. (a) Alternative Field and (b) Thermal demagnetisation.

**Şekil 11:** Acıgöl (AG) riyolitik ignimbiritik serisinden örneklere ait, (a) Alternatif manyetik alan ve (b) Isıl temizleme uygulamasından elde edilen sonuçları.

**Figure 11:** Representative examples of the results from Acıgöl (AG) ignimbritic serie. (a) Alternative Field and (b) Thermal demagnetisation.

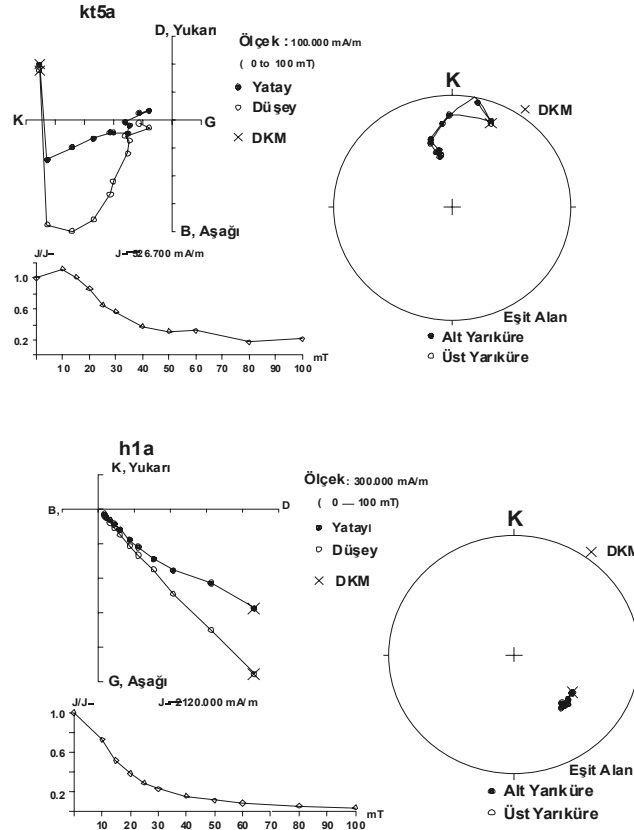


**Şekil 12:** Erdaş(ER) alanı için, (a) Alternatif manyetik alan temizleme ve (b) ısıtma

**Figure 12:** The results of (a) Alternative Field demagnetisation and (b) Thermomagnetic K(T) curve from Erdaş (ER) area.

**Şekil 13:** Melendiz (MZ) alanı için, alternatif manyetik alan temizleme uygulamasından elde edilen sonuçlar.

**Figure 13:** The results of alternative Field demagnetisation from Melendiz (MZ) area.



**Şekil 14:** Alternatif manyetik alan temizleme uygulamasından elde edilen sonuçlar, **a)** Kızıltepe (KT) ve **b)** Hasandağı (H) bazaltları.

**Figure 14:** The results of Alternative Field demagnetisation **a)** Kızıltepe (KT) ve **b)** Hasandağı (H) basalts.

### MANYETİK DUYARLILIĞIN ANİZOTROPİSİ

Hacim manyetik duyarlılığı, bir minerale uygulanan bir manyetik alan ya da bir kayacın indüklenmiş mıknatıslanması ile ilişkili boyutsuz bir parametredir. Kayayı oluşturan mineraller, diamanyetik, ferromanyetik, paramanyetik, ferro ya da ferri manyetik özelliklerine göre manyetik davranışa sahiptir. Kaya örnekleri ya da minerallerde manyetik duyarlılık, ölçme yönü ile değişir ve üçe üçlük simetrik tensör ile gösterilebilir. Manyetik duyarlılığın bu anizotropik değişimi, üç eksenli bir elipsoidi tanımlar. Manyetik anizotropi genellikle mıknatıslanmadaki yönsel değişiklik olarak anlaşılmaktadır. Manyetik anizotropi mıknatıslanma enerjisindeki yönsel değişiklik olarak da ifade edilebilir. Zayıf manyetik alan içinde indüklenmiş bir kayacın manyetizasyonu alanın şiddetinin doğrusal bir fonksiyonudur. Buna göre,

$$M_1 = k_{11}H_1 + k_{12}H_2 + k_{13}H_3 \quad (2)$$

$$M_2 = k_{21}H_1 + k_{22}H_2 + k_{23}H_3 \quad (3)$$

$$M_3 = k_{31}H_1 + k_{32}H_2 + k_{33}H_3 \quad (4)$$

Burada,

$M_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) : Manyetizasyon vektörü bileşenleri,  
 $H_j$  ( $j=1, 2, 3$ ) : Manyetik alan şiddeti bileşenleri,  
 $K_{ij}$  ( $k_{ij} = k_{ji}$ ) : Manyetik duyarlılık tensörü (İkinci sıra simetri tensörünün sabitleri)

Manyetik duyarlılık tensörünün bileşenleri, genellikle sıfır değildir. Fakat manyetik duyarlılık tensörünün çapraz olmayan bileşenleri, sıfırdır. Bu durumda yukarıdaki eşitlik,

$$M_1 = k_{11}H_1 \quad (5)$$

$$M_2 = k_{22}H_2 \quad (6)$$

$$M_3 = k_{33}H_3 \quad (7)$$

olur.  $k_{11}$ ,  $k_{22}$ ,  $k_{33}$  birincil manyetik duyarlılık olarak adlandırılır. Yönleri de birincil yönlerdir. Birincil manyetik duyarlılıklar, genellikle en büyük, ortalama ve en küçük manyetik duyarlılıklar olarak tanımlanır. Manyetik duyarlılığın anizotropik davranışı, manyetik duyarlılık elipsoidi ya da büyüklük elipsoidi olarak bilinir (Hroudá 1981). Ortalama birincil manyetik duyarlılık yönlerinin  $k_{max}$ ,  $k_{ort}$  ve  $k_{min}$  yönlenmesi ve her alan için anizotropi parametrelerinin (Hroudá, 1982) elde edilmesi bootstrap yöntemi kullanılarak

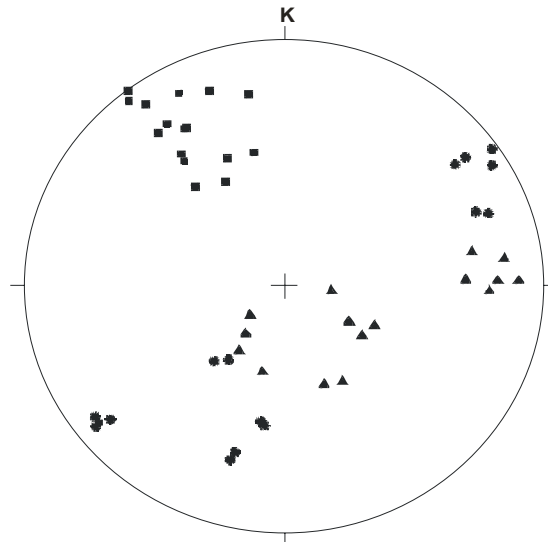
hesaplanmıştır (Tauxe ve Kent 1984) (Çizelge 2). Verilen bir alan için birincil kalıntı mıknatıslanma yönlerinin dağılımı oldukça saçılımlı ve hesaplanan ortalama yönler geniş güvenlik alanları oluşturmaktadır. Bu durumun sebeplerinden birisi çalışılan tüm kayaç tiplerinde anizotropinin çok düşük dereceli olmasıdır. Le Pennec ve diğ. (1998), Orta Anadolu Volkanik Alanında Kızılkaya ignimbiritlerinin manyetik duyarlılık dokusunun anizotropisini çalışmışlar, manyetik ve kinematik eksenler arasında doğrudan bir ilişki bulamamışlardır. Çalışılan örneklerde, manyetik sinyalin hidrotermal ve meteorik suyla alterasyon ve anizotropi dağılımı, manyetik taneciklerin kristallenmesi, şekilsel anizotropi gibi

nedenlerle oldukça karmaşık olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışma alanında yalnızca Acıgöl (AG) riyolitik ignimbirit sahasından alınan örneklerde ortalama birincil manyetik duyarlılık yönleri iyi tanımlanabilmiştir. Birincil yönleri iyi bir şekilde gruplanmış ve ortalama şekil parametresi T düşük negatif değerli olan anizotropi (P) derecesinin ortalama değeri 1.181'dir. Elde edilen manyetik doku,  $k_{max}$  dalm yönüne karşılık ekselel bir yön ile bazı zorlanmış tektonik deformasyonları yansıtabilir (Şekil 15). Diğer çalışılan alanlar için anizotropi derecesi yaklaşık %2'dir ve manyetik duyarlılık elipsoidi üstten düzleştirilmiş elips şekillidir.

**Çizelge 2:** Manyetik duyarlılığın anizotropisi- Birincil duyarlılık yönlerinin  $k_{max}$ ,  $k_{int}$  ve  $k_{min}$  dağılımı ve parametreler: Anizotropi derecesi P', şekil parametresi T.

**Table 2:** Anisotropy of Magnetic susceptibility-distribution of  $k_{max}$ ,  $k_{int}$  ve  $k_{min}$  and parameters: Degree of anisotropy P', shape parameter T.

Alan	Kayaç Tipi	$k_{max}$		$k_{int}$		$k_{min}$		P'	T
		D	I	D	I	D	I		
KK	Bazaltik andezit	127.7	5.0	7.7	80.0	218.4	8.6	1.0198	0.140
H	Andezitik bazalt	50.1	33.8	173.6	39.5	295.1	32.4	1.0177	0.464
MZ	Andezit	310.2	30.2	138.5	59.5	42.3	3.6	1.0324	0.761
AG	Riyolitik ignimbirit	328.6	31.4	218.6	29.3	95.2	44.4	1.181	-0.078
ER	Bazaltik andezit	223.4	22.7	89.1	59.1	322.1	19.8	1.0052	-0.349
GS	Ignimbirit	316.6	9.1	207.0	64.4	50.7	23.7	1.0141	0.214
GL	Ignimbirit	100.4	2.8	6.7	53.2	192.4	36.6	1.013	0.577
KZ	Ignimbirit	234.2	3.4	332.8	68.3	142.9	21.4	1.0198	0.475



**Şekil 15:** Acıgöl (AG) ignimbirit serisinin birincil manyetik duyarlılık eksenlerinin dağılımı.  $k_{max}$  (■),  $k_{int}$  (▲) and  $k_{min}$  (●).

**Figure 15:** Acıgöl examples of the site distribution of the principal susceptibility axes.  $K_{max}$  (■),  $K_{int}$  (▲) and  $K_{min}$  (●), maximum, intermediate and minimum axes of the AMS, respectively.

## PALEOCOĞRAFİK ve TEKTONİK YORUMLAR



Hesaplanmış VGP pozisyonu, paleoenlem ( $\lambda_p$ ) ve merkezi dipol alanı hipotezine göre elde edilmiş sonuçların özetleri Çizelge 3'de sunulmuştur. Miyosen dönemi ignimbiritlerinin (GS, GL ve KZ) olduğu kadar, bazaltik andezitlerde (KK ve ER) yermanyetik alanının negatif polariteli döneminde oluşmuştur. Yön belirleme amaçlı yapılan sonuçlar, ER için verilen radyometrik yaşın doğruluk derecesi yüksek olan ( $\alpha_{95}=3.7$ ) GS alanı için elde edilen KrKM yönüyle benzerlik gösterdiği için verilen üst sınıra doğru (6.5 Ma) sınırlandırılabilceğini gösterir. Daha genç ignimbiritik seriler GL ve KZ negatif KrKM yönler gösterir, fakat manyetik eğim açıları çok daha küçüktür. Gl ve KZ alanlarında, daha yaşlı olan ER ve GS alanlarının aksine çok düşük paleoenlemler elde edilmiştir. MZ alanı, yüksek bir paleoenlem değeri vermektedir. AG ve H formasyonları, düşük paleoenlem değerleriyle, bugünkü yermanyetik alanı yönündedirler. Bu bölgede yapılan paleomanyetik çalışmalarda bu bilgiye rastlanmaktadır ve dipol olmayan yapay bir alan gibi düşünülmektedir (Piper ve diğ., 2002). Farklı kayaç formasyonları için KrKM'nın sapmasından hesaplanan blok dönmeleri önceki çalışmalarla uyum içindedir ve saat yönünün tersindeki dönmeleri işaret etmektedir. Çizelge 3'de görülebileceği gibi en yüksek dönme miktarı, ER ve GS'den elde edilmiştir (Yaklaşık 8 Ma zaman döneminde). Bundan sonra ise hesaplanan dönme miktarı  $15^\circ$ 'den daha azdır. KrKM'nın elde edilen ortalama paleomanyetik yönleri kullanılarak, lokal GMK pozisyonları hesaplanmıştır. Kutuplar, bir eşit alan diyagramına çizilmiştir (Şekil 16). Görünür kutup

hareketlerinin yorumu, kolay değildir. Bununla birlikte, en düşük enlemle en büyük saat yönündeki dönmenin 2. lokasyon (ER)'da olması bu durumun bir açıklamasıdır. Lokasyonlar 7 (H) ve 8 (AG) saatin tersi yönünde dönme olayı gözlenmekte ve bugünkü kutup pozisyonuna yakın bir pozisyonda bulunmaktadır. Kutupların mekanizmaları, blok dönmeleri olarak bir diyagramda açıklanabilir. Blok dönmelerindeki adımlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Saat yönünde dönme ve en düşük enlem,
- Saatin tersi yönünde dönme ve düşük enlem,
- Şimdiki kutup pozisyonuna yakın

### SONUÇLAR

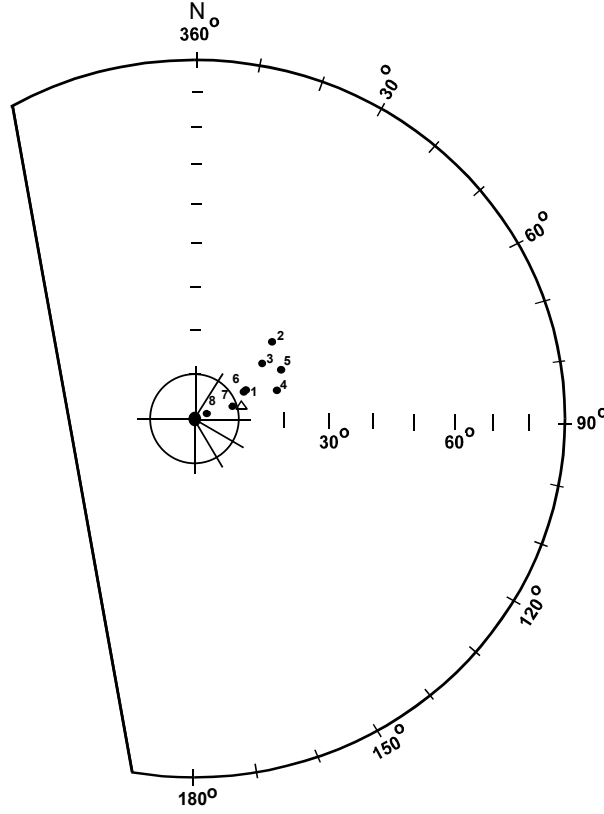
Kapadokya Bölgesi ve çevresine ait manyetik anomali haritasında gözlenen karmaşık yapı, çevre anomalilere göre farklılıklar göstermektedir. Manyetik anomalilerde kutupsal kaymalar vardır. Bu kaymaları gidermek için kutba indirgeme işlemi ve analitik sinyal çalışmaları yapılmıştır. Ancak kutupsal sapmalar birçok anomalide giderilememiştir.

Kalıntı mıknatıslanmanın varlığını kontrol etmek ve düzeyini belirlemek için çalışma alanında paleomanyetik laboratuvar çalışması yapılmıştır. Bu çalışmaya göre çalışma alanında andezit-bazalt ya da bu iki kayaç grubunun birlikte bulunduğu kayaçlar en yüksek mıknatıslanmayı gösterir. Çalışma alanında bulunan ignimbiritlerde yüksek oranda kalıntı mıknatıslanma vardır.

**Çizelge 3:** Kapadokya bölgesinden alınan numunelerin hesaplanmış görünür yermanyetik kutup pozisyonları, paleoenlemleri ve blok dönmelerine ait sonuçlar.

**Table 3:** Calculated Virtual geomagnetic polar positions of samples, results of palaeolatitute and rotations

Alan No	Alan ismi	Yaş (My)	D (Der.)	I (Der.)	$\alpha_{95}$	$\Phi_m$ (N)	$\lambda_m$ (E)	dp/dm	Paleoenlem	Saatin tersi yönünde dönme
1	KK	13.7-12.4	168.0	-50.0	25.8	77.7	271.4	23/34.4	30.7	12
2	ER	13.7- 6.5	149.5	-63.7	6.5	66.5	331.3	8.2/10.3	45.3	30.5
3	GS	~8	154.8	-60.9	3.7	70.5	322.6	4.3/5.7	41.9	25
4	GL	5 - 8	175.7	-37.0	15.0	71.9	227.2	10.2/17.5	20.6	5
5	KZ	5± 0.2	165.4	-36.5	10.3	67.8	253.0	7.0/11.9	20.1	15
6	MZ	6.5-5.1	168.1	-66.0	8.2	76.7	358.0	10.9/3.4	48.3	12
7	H	1.151 0.78-0.277	7.7	50.6	19.3	80.8	168.5	17.4/25.9	31.3	0
8	AG	0.4-0.019	2.7	56.1	15.2	87.1	165.2	15.7/21.8	36.6	0



**Şekil 16:** Bir eşit alan stereografik projeksiyonunda hesaplanan GMK kutuplarının yerleri. Üçgen işareti bugünkü yermanyetik alanının kuzey kutbunu gösterir.

**Figure 16:** Presentation of calculated VGP positions on the equal area stereographic projection. Triangle shows the present position of geomagnetic dipole.

Manyetik anomalilerde görülen kutupsal sapmalar, mıknatıslanma şiddeti yüksek olan Erdaş ve Melendiz bölgelerindeki kalıntı mıknatıslanmanın varlığı ile açıklanamaz. Çünkü bu bölgelerde indüklem mıknatıslanma oldukça yüksek olup kalıntı mıknatıslanma ihmal edilebilecek düzeydedir. Andezit ve ignimbiritlerde ana manyetik taşıyıcı mineral hematit ya da pirotitin bir parçası olan titanomanyetitdir. Bazaltlarda ise asıl ferromanyetik faz manyetitdir. Genel olarak andezit, bazalt ya da andezit-bazalt, kayalar ya da gruplarının koherziviteleri yüksek ve duraylı mıknatıslanma gösterirler. Buna karşılık Acıgöl riyolitik ignimbiritleri dışında kalan ignimbiritler düşük koherziviteli olup, genel olarak düşük duraylı mıknatıslanma gösterirler.

Kapadokya Bölgesi'nde manyetik duyarlılığın anizotropi gösterdiğinden bahsedilemez. Yalnızca Acıgöl yöresinde manyetik duyarlılığın anizotropisi ölçülebilmekte, diğer bölgelerde çok düşük anizotropi değerleri ile karşılaşmaktadır. Dolayısıyla, Kapadokya Bölgesindeki manyetik saçılmanın izlenmesi bu yolla oldukça zordur.

Kapadokya Bölgesi'nden alınan numunelerin paleomanyetik incelemesi sonunda, saatin tersi yönünde olmak üzere yaklaşık 12-13 milyon yıl önce  $12^\circ$ , yaklaşık 6.5-8 milyon yıl öncesinde  $25-30^\circ$ , yaklaşık 5 milyon yıl önce  $15^\circ$  lik dönmeler olduğu hesaplanmıştır. Son 5 milyon yıldan günümüze kutup pozisyonlarına ulaşıncaya kadar elde edilen bulgular ışığında herhangi bir dönme hesaplanamamıştır.

Kapadokya Bölgesi'nde ortaya çıkan geçmiş tektonik gelişim üç aşamada incelenebilir. Birinci dönem 13 milyon yıl ve öncesi dönemdir. Kapadokya Bölgesinin yaklaşık olarak günümüz pozisyonunda olduğu düşünülmektedir. 13 milyon yıldan başlayarak 5 milyon yıla kadar olan dönemde kuzeye doğru bir dönme olduğu ve  $25-30^\circ$ 'lik saat yönünün tersi yönünde bir hareket olduğu hesaplanmıştır. Üçüncü dönem ise 5 milyon yıldan günümüze kadar olan dönemdir. Bu dönemde daha önceki hareketin tersine bir hareketle yeniden eski konuma dönüş söz konusudur.

## DEĞİNİMLER

Yazarlar, Kapadokya Bölgesi'nin jeolojisi hakkında açıklayıcı bilgiler aktardığı ve paleomanyetik örneklerin toplanması sırasında yaptığı katkılar nedeniyle Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden Jeomorfoloğ Talat YILDIRIM'a teşekkür ederler. Manyetik anomalilere kutba indirgeme ve analitik sinyal uygulamalarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Funda Bilim'e teşekkür ederler. Havadan manyetik verileri sağladığı için MTA'ya teşekkür ederiz. A. Büyüksaraç ve A. Ateş Bulgar Bilimler Akademisi (BAS) tarafından, Sofya'da kurulu bulunan Paleomanyetik Laboratuvarı'nda paleomanyetik çalışma yapmak üzere davet edilmişlerdir, bu nedenle BAS'a sonsuz teşekkürlerini sunarlar. Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu tarafından 20010705050 nolu proje çerçevesinde kısmen desteklenmiştir.

## SUMMARY

As a part of the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC), Cappadocia region is affected by the major geologic and tectonic events occurring during the paleotectonic collisional phase of Africa and Eurasia and subsequent neotectonic continental deformation. Cappadocia shows also complicated surface morphology related to the recent volcanic activity. Geological and geophysical surveys are limited only to specific locations. There are only a few geophysical studies that have been done on the exploration of the deep geology of the Cappadocia region. Froger ve diğ. (1998), explored the hidden calderas by using multi-source geophysical data. Available paleomagnetic data for Central Anatolia are summarized by Piper ve diğ. (2002). Aeromagnetic survey in Turkey also reveal a complex shape of the anomalies over the Cappadocian region. One interesting and not very well understood feature of the general magnetic anomaly map (Ateş ve diğ., 1999) is the positive linear NW – SE anomaly along the margin of the Tuz Lake. In order to study in more details the outcropping geological units and their possible contribution to the observed anomalies, magnetic and palaeomagnetic investigations on different lithologies have been carried out. The analysis of aeromagnetic anomalies of the Cappadocia region reveals the existence of remanent magnetisation of magnetic polarity different from that of the modern Earth's magnetic field. From the RTP transformed map and the analytical signal anomalies, a magnetically quiet zone can be observed at the centre elongated in E-W direction. Results from the carried out magnetic and palaeomagnetic analysis confirms the major role of remanent magnetization of anomalous direction and petrologic non homogeneity for the observed anomalies connected with ignimbrites (GS, GL, KZ, AG) and basalts (H and KT). High amplitude magnetic anomalies

connected with andesites (ER and MZ) are governed by induced magnetization and thus, distortions in the anomaly map cannot be explained by anomalous remanence directions. The main remanence carrier in the ignimbrites and andesites is TM accompanied by a fraction of hematite or pyrrhotite. The main ferromagnetic phase in basalts is magnetite.

Interpretation of paleomagnetic directions reveals the presence of anticlockwise rotation of 25-30° for older formations (spanning the time interval 5 – 13 Ma) and smaller (~12°) for Pleistocene and recent formations.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Ateş, A., Kearey, P. and Tufan, S., 1999**, New gravity and magnetic maps of Turkey. *Geophys. J. Int.*, **136**, 499-502.
- Baldwin, R.T. and Langel, R., 1993**, Tables and maps of the DGRF 1985 and IGRF 1990. International Union of Geodesy and Geophysics Association of Geomagnetism and Aeronomy, *IAGA Bulletin* No: 54, 158.
- Besang, C., Eckhardt, F. J., Harre, W., Kreuzer, H. and Müller, P., 1977**, Radiometrische Altersbestimmungen an Neogenen Eruptivgesteinen der Türkei. *Geol. Jb. B 25*, 3-36 (In German).
- Bigazzi, G., Yeğingil, Z., Ercan, T., Oddone, M. and Özdoğan, M., 1993**, Fission track dating obsidians of Central and Northern Anatolia. *Bull. Volcanol.*, **55**, 588-595.
- Blakely, R.J., 1995**, *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University press, pp. 441.
- Ercan, T., Tokel, S., Matsuda, J., Ul, T., Notsu, K. and Fujitani, T., 1992**, New geochemical isotopic and radiometric data of the Quaternary volcanism of Hasandağı-Karacadağ (Central Anatolia). *TJK Bülteni*, **7**, 8-21 (In Turkish).
- Froger, J.L., Lenat, J.F., Chrowicz, J., Le Pennec, J.L., Bourdier, J.L., Kose, O., Zimitoğlu, O., Gündoğdu, N.M. and Gourgaud, A., 1998**, Hidden calderas evidenced by multisource geophysical data; example of Cappadocian Calderas, Central Anatolia. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **185**, 99-128.
- Henry, B. and Le Goff, M., 1995**, Application de l'extension bivariate de la statistique de Fisher aux données d'anisotropie de susceptibilité magnétique: intégration des incertitudes de mesure sur l'orientation des directions principales. *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*, **320, II**, 1037-1042.

- Hext, G., 1963**, The estimation of second-order tensors, with related tests and designs, *Biometrika*, **50**, 353.
- Hrouda, F., 1982**, Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophys. Surv.*, **5**, 37-82.
- Innocenti, F., Mazzuoli, G., Pasquare, F., Radicati Di Brozolo, F. and Villari, L., 1975**, The Neogene calcalkaline volcanism Central Anatolia: geochronological data on Kayseri-Niğde area. *Geological Magazine*, **112** (4), 349-360.
- Jelinek, V., 1978**, Statistical processing of anisotropy of magnetic susceptibility measured on groups of specimens. *Studia Geophys. Geod.*, **22**, 50-62.
- Jelinek V., 1981**, Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, **79**, 63-67.
- Kent, J., Briden, J., Mardia, K., 1983**, Linear and planar structure on ordered multivariate data as applied to progressive demagnetisation of palaeomagnetic remanence, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **75**, 593-621.
- Le Pennec, J.L., Bourdier, J.L., Froger, J.L., Temel, A., Camus, G. and Gourgaud, A., 1994**, Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): Stratigraphy distribution and source constraints *J. Volc. Geotherm. Res.*, **63**, 59-87.
- Le Pennec, J.L., Chen, Y., Diot, H., Froger, J.L., Gourgaud, A., 1998**, Interpretation of anisotropy of magnetic susceptibility fabric of ignimbrites in terms of kinematic and sedimentological mechanisms: An Anatolian case-study. *Earth Planet. Sci.Lett.*, **157**, 105-127.
- Nakamura, K., 1977**, Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-principle and proposal. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **2**, 1-16.
- Pasquare, G., 1968**, Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. *Atti Accad. Naz. Lincei*, **9**, 53-204.
- Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L. and Zanchi, A., 1988**, Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia. *Tectonophysics*, **146**, 217-230.
- Piper, J.D.A., Gürsoy, H. and Tatar, O., 2002**, Palaeomagnetism and magnetic properties of the Cappadocian ignimbrite succession, Central Turkey and Neogene tectonics of the Anatolian collage, *J. Vol. Geothermal Res.* **117**, 237-262.
- Roest, W. R., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992**, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, **57**, 116-125.
- Tauxe, L. and Kent, D. V., 1984**, Properties of a detrital remanence carried by haematite from study of modern river deposits and laboratory redeposition experiments, *Geophys. J. R.astr. Soc.*, **77**, 543-561.
- Toprak, V., 1998**, Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocian Volcanics, Turkey. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **85**, 55- 67.
- Zijderveld, J.D. A., 1967**, A.C. demagnetisation of rocks: Analysis of results. In: *Methods in Palaeomagnetism*, ed. D. W. Collinson, K. M. Creer and S.K. Runcorn, Elsevier, Amsterdam, pp. 254-286.

Yayına Geliş - Received : 22.09.2005

Yayına Kabul - Accepted : 27.12.2005