



Quantitative new findings about formation and origin of pillow lavas in the Yüksekova Arc Complex, Elazığ (Eastern Turkey)

Melek Ural*^{ID}, Metehan Alparslan Aktaş^{ID}

Department of Geological Engineering, Engineering Faculty, Firat University, 23119, Elazığ, Türkiye

Highlights:

- Late Cretaceous pillow lavas
- Morphological and physical classification
- Characteristic features of the volcanic eruptions

Keywords:

- Pillow lavas
- Porosity
- Specific gravity
- Viscosity
- Submarine eruption

Article Info:

Received: 20.08.2021

Accepted: 16.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.985161

Acknowledgement:

The authors thank to FÜBAP unit for the MF.20.08 numbered project.

Correspondence:

Author: Melek Ural

e-mail:

melekural@firat.edu.tr

phone: +90 424 237 0000

Graphical/Tabular Abstract

The pillow lavas of the Late Cretaceous Yüksekova Arc Complex are examined comparatively in terms of their physical and morphological character in Asker, Mastar, Çelemelik and Maden Mountains at the E-SE Elazığ (E Turkey). In the study area, pillow lavas with normal diameter (<1m) and mega pillow lavas (> 1m) were found in almost all regions except Mastar Mountains where pillows of smaller sizes occur together with few oversized pillows. The highest flattening rates (L/W) of the pillow lavas is in Çelemelik Mt. (5.2) and Asker Mt. (5). The lavas are in the "low and medium porous rock" class according to their pore volume. The highest specific gravity of the pillow lavas is in the range of 2.8 gr/cm³ to 3.1 gr/cm³, and they are in the class of 'low-medium density rocks'. Çelemelik, Asker and Maden Mountains are represented by the most flattened and coarse-sized pillow lavas in the region (Figure A).



Figure A. a, b) The images of some pillow lavas of the Yüksekova Arc Complex around Elazığ (E Turkey)

Purpose:

It is a quantitative approach for the origin of the lavas of Yüksekova Arc Complex (E Elazığ). The pillow lavas are expected to emerge as lava flow products with low viscosity in the submarine environment having steep topography. The pillow morphology and vesicle size-distribution may indicate a relatively high water depth for the submarine eruptions. The distribution of lavas characterise an irregular submarine mountain chain. Therefore, no shallow submarine extrusions are found in the region. Mega-height pillows may indicate the presence of dykes feeding the Yüksekova lavas, and also indicate multiple spreading centers rather than a single spreading center. The presence of hyaloclastites and brecciated lavas, variable lava forms, vesicle size and distribution suggests that the eruptions resemble abyssal environment in the vicinity of spreading ridges not less than a few kilometers deep.

Theory and Methods:

Dimensions (aspect ratios), porosity and specific gravity tests of pillow basalts were carried out from four main locations around Elazığ (Mastar, Asker, Maden and Çelemelik Mountains).

Results:

The pillow lavas have flattened, spheroidal, lobular, tubular, ellipsoidal and spherical forms and vary in length from 10 cm to 350 cm, and in width from 5 cm to 250 cm. The elongated and flattened pillow lavas are common in Çelemelik Mountains. The highest flattening ratio, lobous or oval pillow structures are common in Asker and Mastar Mountains, while the lavas of Maden Mountains have more ellipsoidal forms.

Conclusion:

The flat/elongated lavas around Elazığ (Eastern Turkey) indicate a steep topography and deep submarine extrusions within the Southern Neotethys. Mega-height pillows indicate the presence of dykes feeding the lavas, and also the presence of multiple spreading centers rather than a single one. The different lava forms, hyaloclastites and brecciated lavas reflect the deep submarine environment, while those with low vesicle size indicate that the eruptions resembling those in the abyssal parts of ridges not less than a few km deep.



Yüksekova yay karmaşığında yastık lavların oluşumu ve kökenine dair yeni kantitatif bulgular, Elazığ (Doğu Türkiye)

Melek Ural*^{ID}, Metehan Alparslan Aktaş^{ID}

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Üst Kretase yastık lavları
- Morfolojik ve fiziksel sınıflama
- Volkanik ortamın özellikleri

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 20.08.2021

Kabul: 16.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.985161

Anahtar Kelimeler:

Yastık lav,
gözeneklilik,
özellikler,
özellikler,
viskozite, sualtı püskürme

ÖZ

Geç Kretase yaşlı Yüksekova Yay Karmaşığında ait yastık lavların Elazığ ili çevresindeki yüzlelerinden Asker, Mastar, Çelemelik ve Maden Dağları yöresinde fiziksel ve morfolojik açıdan karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırma bölgesinde normal çaplı (<1m) yastık lavlarla birlikte mega yastık lavların (>1m) en fazla Maden Dağları, Çelemelik Dağları ve Asker Dağlarında bulunduğu saptanmıştır. Çalışılan yastık lavların yassılaştırma oranları (Uzunluk/Genişlik) Çelemelik Dağları (5,2) ile Asker Dağları (5)'nde maksimum seviyededir. Lavlar gözenek bollukları bağlamında 'düşük ve orta gözenekli kaya' kategorisindedirler. Çalışılan yastık lavların özgül ağırlıkları en yüksek 2,8 gr/cm³ ile 3,1 gr/cm³ aralığında olup, düşük-orta yoğunluklu kayaç' sınıftadırlar. Araştırma bölgesinde Çelemelik, Asker ve Maden Dağları'ndaki yastıkların bölgedeki en yaygın ve iri boyutlu yastık lavları temsil ettikleri saptanmıştır. Bu durum bu alanlardaki yastık lavların düşük viskoziteli ve yüksek eğimli topoğrafyaya sahip su altı ortamındaki akışkan lav akıntıları olarak ortaya çıktıklarına işaret etmektedir. Yastık morfolojisi ile örneklerdeki vezikül boyu ve dağılımı gibi tüm kantitatif veriler, bu alanda incelenen sualtı püskürmelerinin, Güney Neotetisin nisbeten dik topoğrafyalı ve sığ olmayan derinliklerinde oluştuğuna işaret eder.

Quantitative new findings about formation and origin of pillow lavas in the Yüksekova Arc Complex, Elazığ (Eastern Turkey)

H I G H L I G H T S

- Late Cretaceous pillow lavas
- Morphological and physical classification
- Characteristic features of the volcanic eruptions

Article Info

Research Article

Received: 20.08.2021

Accepted: 16.02.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.985161

Keywords:

Pillow lavas,
porosity,
specific gravity,
viscosity,
submarine eruption

ABSTRACT

The pillow lavas of the Late Cretaceous Yüksekova Complex are examined comparatively in terms of their physical and morphological character in Asker, Mastar, Çelemelik and Maden mountains around Elazığ. In the study area, pillow lavas with normal diameter (<1m) and mega pillow lavas (> 1m) were found in almost all regions except Mastar Mountains that often have smaller pillows with few oversized ones. The highest flattening rates (Length/Width) of the pillow lavas are in Çelemelik Mountains (5.2) and Asker Mountains (5). The lavas are in the "low and medium porous rock" class according to their pore volume. The highest specific gravity of the pillow lavas is in the range of 2.8 gr / cm³ to 3.1 gr / cm³, and they are in the class of 'low-medium density rocks'. It is determined that Çelemelik, Asker and Maden Mountains are represented by the most flattened and coarse-sized pillow lavas. This indicates that the pillow lavas in these areas are expected to emerge as lava flows with low viscosity formed in submarine environment having steep topography. All quantitative data, such as pillow morphology, vesicle size and distribution in the samples, point to a relatively steep topography and relatively high depth for submarine eruptions within the Southern Neotethys.

1. Giriş (Introduction)

Okyanus içi ortamlardaki denizaltı püskürmeleri, "yastık" lavlar gibi taze lav akıntıları üretir ve bunlar, lavların deniz tabanındaki bir merkezden yavaşça sızmasıyla oluşur [1]. Yastık lavlar, bazaltik bileşimli lavların su altı ortamda yerleştiğini gösteren en önemli veri iken, bunların yerleşme şekli, püskürme şekli ile aynı olmak zorunda değildir [2]. Lavların bazı fiziksel parametreleri (en-boy oranı vs), oluşum mekanizması ve tektonomagmatik oluşum ortam farklılığına dair deliller ortaya koyabilir [2]. Yastık lavların morfolojik özellikleri, lavların oluşum tarihçelerini anlamada, kronolojik olarak farklı akıntıların bulunup bulunmadığını tespit etmede, kaç tür püskürme evresinin var olduğunu belirlemek yanında, soğuma hızı, paleoakıntı derecesi ve akma derinliği hakkında fikir edinmede de yararlıdır [3].

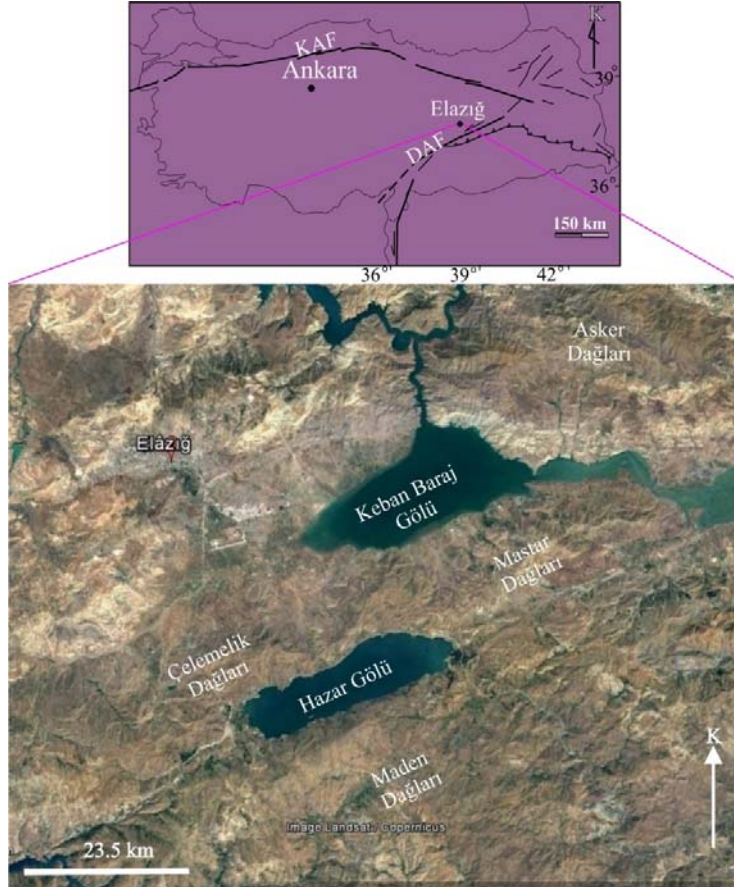
Neotetis'in Güney Kolunun [4-7] kapanması ile kenet zonunda ortaya çıkan kayaların başında Güneydoğu Anadolu Ofiyolitleri ve Yüksekova Karmaşığı birimleri gelmektedir [8] (Şekil 1). Bu zonda Elazığ çevresinde (Şekil 1 ve Şekil 2) yüzeyleyen Yüksekova Karmaşığına [10, 11] ait su altı lav ürünleri (bazaltik yastık lavlar, lav breşleri, lav akma ürünleri vs) ve bunlarla bir arada çökelmiş okyanusal sedimanlar (mikritik kireçtaşları, radyolyalı çörtler, şeyl) bulunmaktadır [12, 13].

Güney Neotetis okyanusal litosferinin temsilcilerinden olan Yüksekova Karmaşığı'nın [10-12] Geç Kretase 'de Neotetis'in güney kolu içerisindeki okyanus içi yitimle ilişkili yay- yay ardı çifti ile temsil edildiğine dair çalışmalar mevcuttur [14, 15].

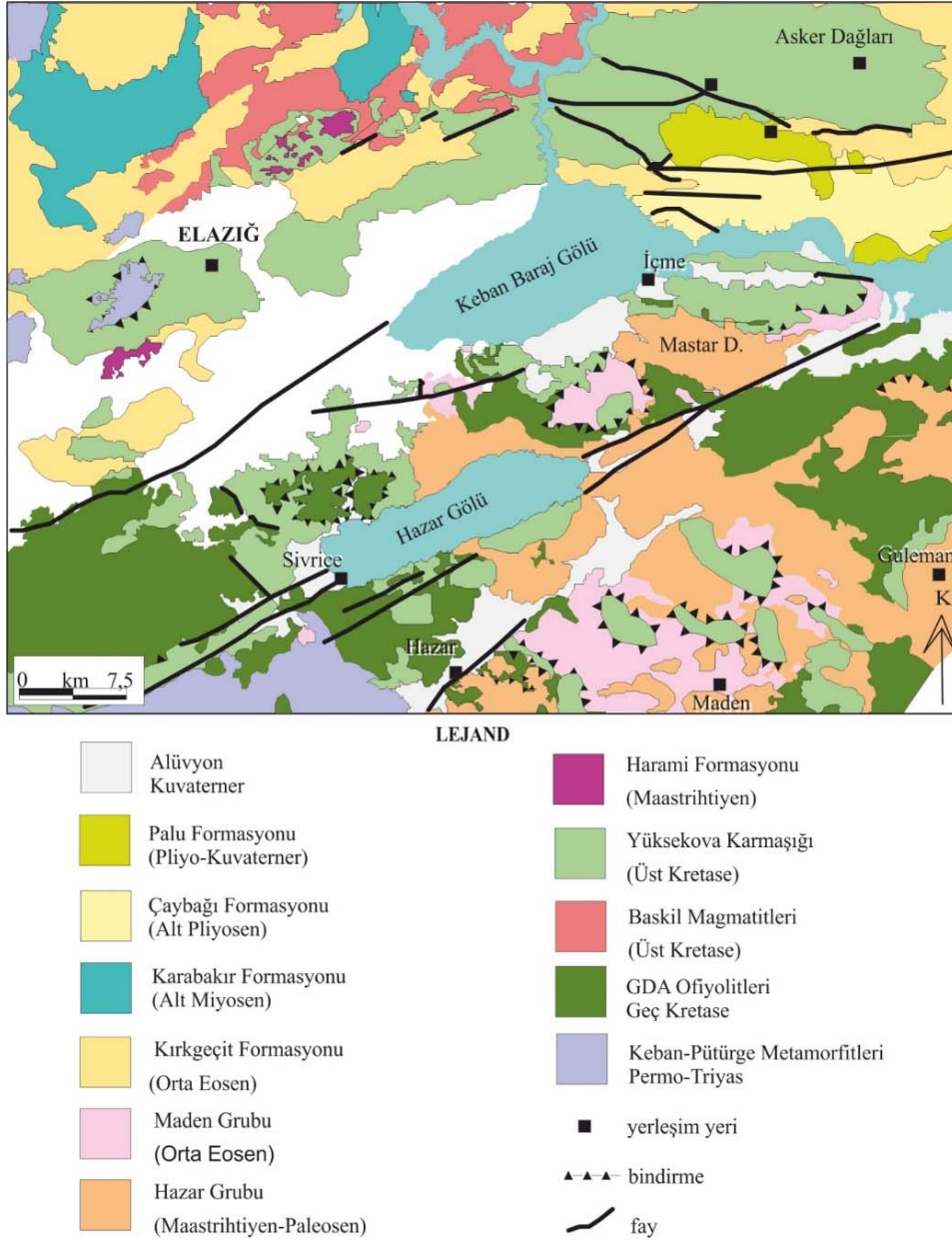
Elazığ ili civarında yüzeyleyen yastık lavlar daha önceki çalışmalara göre Yüksekova Karmaşığı ve Maden Karmaşığına aittir. Ancak Yüksekova Karmaşığı lavları Maden Karmaşığı lavlarından yaş ve kökensel açıdan farklılıklar gösterir [16-19]. [14] jeokimyasal olarak yay-yay ardı çifti olarak başlıca iki grupta tanımladığı Yüksekova Karmaşığına ait bazaltik yastık lavları fiziksel ve morfolojik açıdan da iki grup (yay-yay ardı) altında ele alarak sınıflandırmış, söz konusu yay-yay ardı gruplarının fiziksel açıdan benzer olduklarını öne sürmüştür. Bu çalışmada ise kimyasal açıdan farklı fakat fiziksel açıdan belirgin farklılık göstermediği düşülen bu lavların özellikleri kantitatif yöntemlerle ayrıntılı olarak irdelenecektir. Zira okyanusal yastık lavlar, önceden var olan buzul gölü, sualtı patlama vs gibi olayların ayrıntılarını belirlemeye yarayan kayıtlardır. Vesikül sıklığı ve dağılımı irdelenmesi sayesinde lav akıntısının difüzyon kaynağına dair bilgi edinilebildiği gibi, yastık lavların oluşum zamanlaması konusunda da fikir verirler. Çalışma alanında konu bu bağlamda ilk kez ele alınmaktadır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

Bu çalışma ile yastık lavların fiziksel ve morfolojik özelliklerini saptamak amacıyla Elazığ ili doğu ve güneydoğu civarından: Master, Asker, Maden ve Çelemelik Dağları olmak üzere başlıca dört lokasyon seçilmiştir. Buna göre yastıklı bazaltlardan şerit metreler yardımıyla ölçümler alınmıştır. Her bir lokasyondan farklı boyutlu ve tekrar olmaksızın farklı boyutlardaki yastıklar ölçülmeye gayret edilmiştir. Yersel çalışmalar ve arazi gözlemleri bazında gerçekleştirilen çalışmaların ardından veriler tamamen fiziksel ve



Şekil 1. a) İnceleme alanının konumu, b) Google earth görüntüsü üzerinde yer bulduru haritası [9]
(a. Location of the study area, b. Location map on Google earth image [9])



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası [15, 20]'den değiştirilerek (Geological map of the study area (modified from [15, 20]).

morfolojik olarak karşılaştırılmışlardır. Gözeneklilik, özgül ağırlık testleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji ve İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Gözeneklilik tayini örneklerin suya doygun hacmi ile doygun ağırlık arasındaki farkın kuru ağırlığa oranlanması ile, özgül ağırlıkları ise kayaların birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranlanması ile tespit edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Çalışma konusu olan Yüksekova Karmaşığı (YK) birimi ilk kez [21, 22] tarafından adlandırılmış ve tanımlanmıştır. Birim için içerisinde bulunan kırmızı renkli kireçtaşlarından derlenen fosil içeriklerine göre, Kampaniyen-Maastrichtiyen [22], radyolarya ve planktik foraminifer içeriklerine göre [11, 14] ise Senomaniyen-Maastrichtiyen (Geç Kretase) yaşı verilmiştir [15-18]. Birim için, güneye dalımlı okyanus içi ada yayı [23, 24], aktif kıta kenarı [25] kuzeye dalımla

gelişen ada yayı [26-29], ada yayı [30-33], okyanusal yay ortamları [34, 35] ile okyanus içi yay-yay ardı sisteminde [11, 12] oluştuğu görüşleri kabul edilmiştir [14, 36].

YK, *Asker Dağı (Elazığ KD) civarında* yaygın yastık lav morfolojili yüzlemler sunar [15-17]. Ana kaya türü yer yer spilitleşmiş bazaltik yastık lavlar, lav breşi ve volkanik kumtaşı aralanmalarından oluşurken, taban kayaları gözlenemeyen volkanik ve piroklastikler kesen andezit-riyodasit sil ile daykları da mevcuttur [36-38]. Pelajik sedimanlar yer yer doğrudan volkanitler üzerinde yer almaktadır [36-38]. Kuzey ve doğu kesimlerde birim Kırkgeçit ve Palu Formasyonları tarafından [39-42] uyumsuzlukla üzerlenmektedir [43-46]. Birim, *Mastar Dağı civarında* yastık lav-lav akıntıları ve diyabaz daykları halinde yüzlemler vermektedir. *Mastar ve Çelemelik Dağları (Elazığ D) civarında* Guleman Ofiyolitleri manto kayaları üzerinde tektonik dokanıklı olarak yer alırken, üstte ise Maastrichtiyen-Paleosen yaşlı Hazar Grubu sedimanları (Gehroz gri renkli kireçtaşları) tarafından

uyumsuzlukla örtülürler. Maden (Elazığ GD) çevresinde YK, yer yer 45 dereceye varan eğimlerle bulunur. YK volkanosedimanter istifler; volkanik tüf-breş-aglomera gibi piroklastitlerle, lav akıntısı ve yastık lavlardan oluşmaktadır. Birim tabanda yer yer spilitik bazaltik yastık lavlar, bunlarla merceksele geometri ve yer yer arakatıklı pelajik sedimanlar ile birlikte bulunmaktadır. Tabanda Guleman ofiyolitleri'ne ait serpantinleşmiş harzburjitler [34, 35] ve gabroik kümülalar [47-51] görülmekle birlikte yer yer taban kayaları görülmeksizin doğrudan yer yer spilitik lavlarla başlayıp yer yer pelajik istiflerle arakatıklı yada ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Birim, Hazar Grubu'nun gri renkli sedimanlarını uyumsuzlukla örtmektedir.

3.1. Fiziksel ve Morfolojik Özellikler (Physical and Morphological Characteristics)

3.1.1. Gözeneklilik (Porosity)

Genel olarak her dört lokasyondaki yastıkların gözeneklilik değerleri benzer aralıkta değişmekle birlikte; en yüksek gözenekliliğe sahip yastık lav örnekleri %14 ile Master Dağı dolaylarındadır (Tablo 1, Tablo 2). Araştırmacılar [8, 15, 52], Elazığ çevresinde yüzeyleyen yastık lavların kuru yoğunluk değerleri ve gözenek büyüklüklerine göre düşük poroziteli (%5) kayalar olduklarını belirtir. Bu çalışmada Elazığ D –GD civarında: Master-Maden-Asker-Çelemelik Dağları

Tablo 1. Elazığ çevresindeki çalışılan Yüksekova Karmaşığı yastık lavlarından hesaplanan gözeneklilik minimum, maksimum, ortalama ve ortanca değerleri
(Minimum, maximum, mean and median porosity values calculated from the studied Yüksekova Complex pillow lavas around Elazığ).

Lokasyon	Örnek sayısı	Ortanca	Ortalama	Minimum	Maksimum	Gözeneklilik (%)
Asker Dağları	15	0,088	0,075	0,002	0,113	0-11
Master Dağları	15	0,056	0,048	0,0015	0,140	0-14
Çelemelik Dağları	15	0,074	0,071	0,010	0,108	1-11
Maden Dağları	15	0,048	0,041	0,000	0,088	0-9

Tablo 2. Elazığ çevresindeki çalışılan Yüksekova Karmaşığı yastık lavlarından hesaplanan ÖA (Özgül Ağırlık), P (Gözeneklilik), Wk (Kuru Ağırlık), Wsd (Suya Doygun Ağırlık/Hacim), Wd (Doygun Ağırlık) değerleri. $\text{ÖA} = \text{Wk} / (\text{Wd} - \text{Wsd})$, $\text{P} = (\text{Wd} - \text{Wk}) / \text{Wk}$. ASD: Asker Dağı, MSD: Master Dağı, ÇLD: Çelemelik Dağı, MDD: Maden Dağı
(OA (Specific Gravity), P (Porosity), Wk (Dry Weight), Wsd (Water-Saturated Weight/Volume), Wd (Saturated Weight) values calculated from the studied Yüksekova Complex pillow lavas around Elazığ. OA=Wk/(Wd-Wsd), P=(Wd-Wk)/Wk). ASD: Asker Mountain, MSD: Master Mountain, CLD: Çelemelik Mountain, MDD: Maden Mountain).

Örnek	Wk	Wd	Wsd	ÖA	P	Örnek	Wk	Wd	Wsd	ÖA	P
ASD1	50,02	54,72	34,42	2,46	0,094	ÇLD1	51,97	55,49	35,73	2,63	0,068
ASD2	103,58	113,52	72,30	2,51	0,096	ÇLD2	22,38	24,8	15,5	2,41	0,108
ASD3	194,11	197,53	124,20	2,65	0,018	ÇLD3	45,07	48,48	30,59	2,52	0,076
ASD4	157,41	159,81	99,88	2,63	0,015	ÇLD4	83,04	90,2	56,35	2,45	0,086
ASD5	216,45	229,00	135,62	2,32	0,058	ÇLD5	54,94	58,8	38,19	2,67	0,070
ASD6	142,65	155,26	97,10	2,45	0,088	ÇLD6	218,8	220,89	141,47	2,75	0,010
ASD7	38,88	42,80	26,47	2,38	0,101	ÇLD7	76,59	82,21	52,8	2,60	0,073
ASD8	738,52	750,90	491,40	2,85	0,017	ÇLD8	68,99	74,09	48,11	2,66	0,074
ASD9	105,06	113,92	71,88	2,50	0,084	ÇLD9	464,48	464,32	308,3	2,98	0,000
ASD10	187,92	206,04	128,66	2,43	0,096	ÇLD10	346,55	346,81	224,4	2,83	0,001
ASD11	45,89	50,92	36,14	3,10	0,110	ÇLD11	80,5	86,62	56,8	2,70	0,076
ASD12	297,97	327,20	205,35	2,45	0,098	ÇLD12	160,12	160,86	105	2,87	0,005
ASD13	123,10	131,44	83,09	2,55	0,068	ÇLD13	88,96	94,7	61,05	2,64	0,065
ASD14	43,64	48,55	30,60	2,43	0,113	ÇLD14	26,4	28,36	18,73	2,74	0,074
ASD15	225,97	240,73	153,08	2,58	0,065	ÇLD15	204,57	206,58	131,88	2,74	0,010
MSD1	159,37	169,23	110,50	2,71	0,062	MDD-1	215,55	232,85	145,60	2,47	0,080
MSD2	164,13	173,38	115,25	2,82	0,056	MDD-2	260,55	262,52	168,08	2,76	0,008
MSD3	270,95	271,50	177,98	2,90	0,002	MDD-3	253,07	254,63	162,68	2,75	0,006
MSD4	150,43	162,16	103,50	2,56	0,078	MDD-4	101,58	104,00	65,65	2,65	0,024
MSD5	83,88	95,60	57,02	2,17	0,140	MDD-5	226,86	226,86	147,81	2,87	0,000
MSD6	265,07	266,43	172,20	2,81	0,005	MDD-6	149,58	160,05	101,24	2,54	0,070
MSD7	153,16	154,11	100,73	2,87	0,006	MDD-7	224,39	235,42	142,38	2,41	0,049
MSD8	171,72	173,63	114,13	2,89	0,011	MDD-8	294,31	299,08	192,63	2,76	0,016
MSD9	131,04	138,65	90,24	2,71	0,058	MDD-9	298,72	304,28	189,32	2,60	0,019
MSD10	134,87	142,09	92,63	2,73	0,054	MDD-10	135,60	147,53	92,18	2,45	0,088
MSD11	44,59	47,60	30,70	2,64	0,068	MDD-11	71,67	77,19	49,80	2,62	0,077
MSD12	215,81	217,89	139,28	2,75	0,010	MDD-12	190,24	192,72	123,55	2,75	0,013
MSD13	58,62	62,93	42,30	2,84	0,074	MDD-13	287,53	301,24	194,57	2,70	0,048
MSD14	82,95	87,86	58,80	2,85	0,059	MDD-14	67,70	71,40	46,99	2,77	0,055
MSD15	103,23	106,41	71,23	2,93	0,031	MDD-15	68,10	72,00	47,00	2,72	0,057

civarında ele alınan yastık lavlar [53] porozite sınıflamasına göre (%1-5 arasında değişen porozite oranı 'düşük porozite', % 5-15 arasındaki porozite değerleri ise 'orta porozite' sınıfına girer) gözenek miktarlarına göre 'düşük ve orta gözenekli kayalar' sınıflandırılır.

[54], artan su derinliğiyle birlikte basıncın artması yanında gaz kaçaşının önlenmesinin de sonucu olarak lavlardaki gözeneklerin boy ve yoğunluklarının azaldığını belirtir. Sığ sularda ve nispeten homojen bir kimyaya sahip yastık lav serilerinde daha büyük ve daha fazla miktarda gözenekliliğin olması beklenir [2]. İncelenen alanlarda çok iri gözeneklerin olmayışı, gözenek miktarının çok yüksek oranda olmaması ve gözeneklerin birbirinden bağımsız olmaları nedeniyle oluşum ortamları itibarıyla yastık lavların nispeten sığ olmayan su altı ortamında geliştiklerine işaret edebilir. İncelenen yastık lavlar, aralarında bağlantı bulunmayan yani etkin olmayan, birkaç mm'den 1 cm'ye kadar değişen, elipsoidal şekilli yer yer de kalsit, klorit, epidot gibi minerallerle doldurulmuş gözeneklere sahiptirler. Amigdaloidal doku, yani gözeneklerin kayaların gelişiminden sonraki hidrotermal süreçlerle ikincil bileşenlerce dolgululu olması gözenek boşluk (vesikül) hacmini tam olarak hesaplamayı engeller. Bu durumun sürecin yorumlanmasında dikkate alınması gerekir.

3.1.2. Özgül ağırlık (Specific gravity)

Özgül ağırlık, kayanın birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. Magmatik kayalardan granitik kayaların ortalama yoğunluğu $\sim 2,7 \text{ gr/cm}^3$ civarında iken, mafik kayaların (bazalt, gabro) ortalama yoğunluğu $\sim 3,0 \text{ gr/cm}^3$, ultramafik kayalar (peridotit) ise \sim

$3,3 \text{ gr/cm}^3$ ortalama yoğunluğa sahiptirler. Asker Dağları $2,32-3,10 \text{ gr/cm}^3$, Master Dağları $2,17-2,93 \text{ gr/cm}^3$, Çelemelik Dağları $2,41-2,75 \text{ gr/cm}^3$, Maden Dağları $2,41-2,87 \text{ gr/cm}^3$ aralığında özgül ağırlığa sahip yastık lavlara sahiptirler (Tablo 3). Elazığ çevresinden derlenen yastık lavların özgül ağırlıkları $2,2 \text{ gr/cm}^3$ ile $3,1 \text{ gr/cm}^3$ aralığında olup 'düşük-orta yoğunluklu kayalar' sınıfına girerler (Tablo 3). Master Dağı örneklerinde olduğu gibi ($2,2 \text{ gr/cm}^3$) ortalama yoğunluğu $\sim 3,0 \text{ gr/cm}^3$ altındaki yastık lavlar, içerdikleri gözenek miktarları ile maruz kaldıkları hidrotermal alterasyon süreçlerini yansıtmaktadırlar (Tablo 3). İstisnalar dışında yoğun gözenekli yastık lavlar düşük yoğunlukta, yüksek yoğunlukta ise hafif gözenekli olarak olağan ilişki sergilemektedir (Tablo 2 ve Tablo 3).

3.1.3. Boyut-Yuvarlaklaşma (Size-Rounding)

Yastık lavlardaki eksen değişiklikleri (uzun-kısa eksen) ki bu yuvarlaklaşmayı belirleyen bir parametreyle ilişkili olup, bacadan çıkan magmanın hacmi [55], viskozite ve havza tabanının morfolojisi [3] ile alakalıdır. İnceleme alanındaki yastık lavların boyutları 10 cm ile 350 cm ye, genişlikleri ise 5 cm ile 250 cm aralığında değişir (Tablo 4 ve Tablo 5). Genel olarak, Elazığ D ve GD çevresi yastık lavları; düzleşmiş, lobsu, elipsoidal/uzamış ve küresel formlardadır. Yastık lav örnekleri, uzunlukları bakımından büyükten küçüğe doğru; Maden Dağları (350 cm) ve Asker Dağlarında (220 cm) ölçülebilen boyutlara sahiptirler. Master Dağları (120 cm) ile Çelemelik Dağları (150 cm) bölgelerindeki yastık lavlar uzunlukları bakımından diğer bölgelere nazaran daha az büyüklüğe sahiptir (Tablo 4 ve Tablo 5). [8, 15, 52], Elazığ-Malatya GD çevresi yastık yapılı kayalar örneklerinin

Tablo 3. Elazığ çevresindeki çalışılan Yüksekova Karmaşığı yastık lavlarından hesaplanan özgül ağırlık (g/cm^3) minimum, maksimum, ortalama ve ortanca değerleri
(Minimum, maximum, mean and median values of specific gravity (g/cm^3) calculated from the studied Yüksekova Complex pillow lavas around Elazığ).

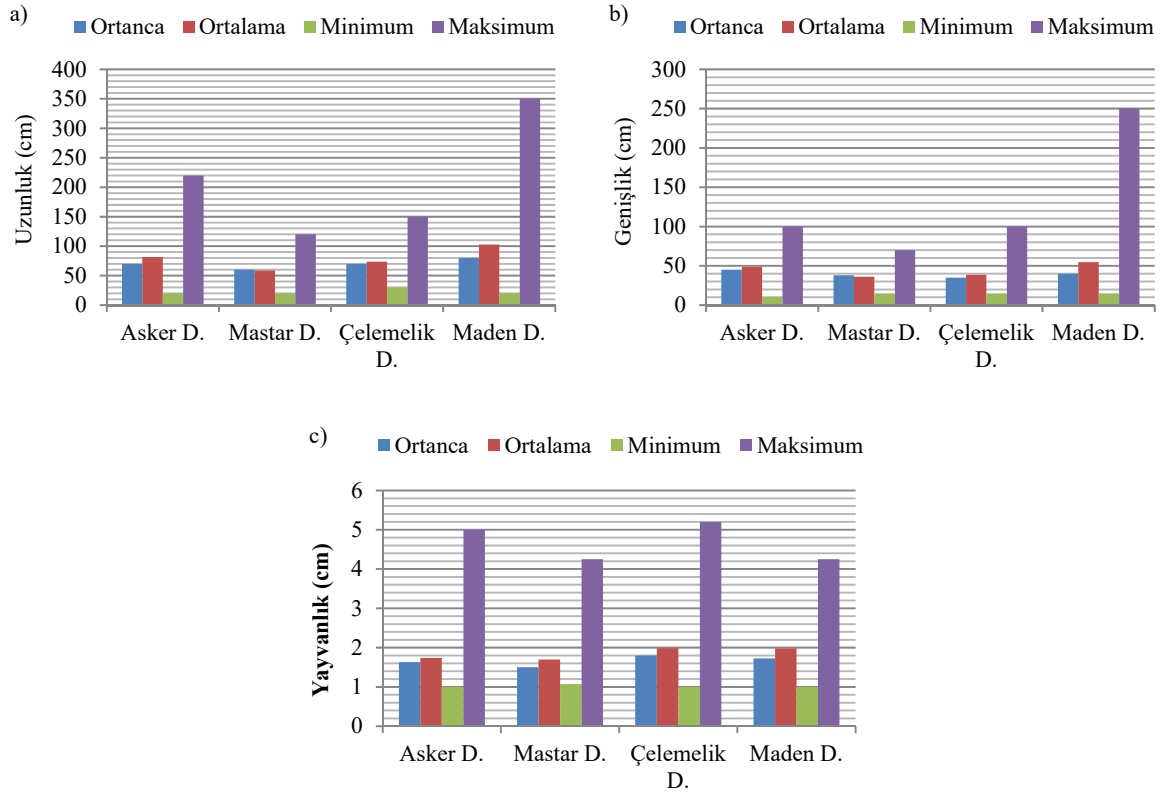
	Örnek Sayısı	Ortanca	Ortalama	Minimum	Maksimum
Asker Dağları	15	2,53	2,59	2,32	3,10
Master Dağları	15	2,76	2,73	2,17	2,90
Çelemelik Dağları	15	2,62	2,59	2,41	2,75
Maden-Guleman	15	2,67	2,65	2,41	2,87

Tablo 4. Elazığ çevresindeki çalışılan Yüksekova Karmaşığı yastık lavlarına ait cm cinsinden U (uzunluk), G (genişlik), yassılaşıma (U/G) değerleri
(U (length), G (width), flattening (U/G) values in cm of the studied Yüksekova Complex pillow lavas around Elazığ)

Lokasyon		Minimum	Maksimum
Asker Dağları	U	20	220
	G	10	100
	U/G	1	5,0
Master Dağları	U	20	120
	G	15	70
	U/G	1	4,3
Çelemelik Dağları	U	30	150
	G	15	100
	U/G	1	5,2
Maden Dağları	U	20	350
	G	15	250
	U/G	1	4,3

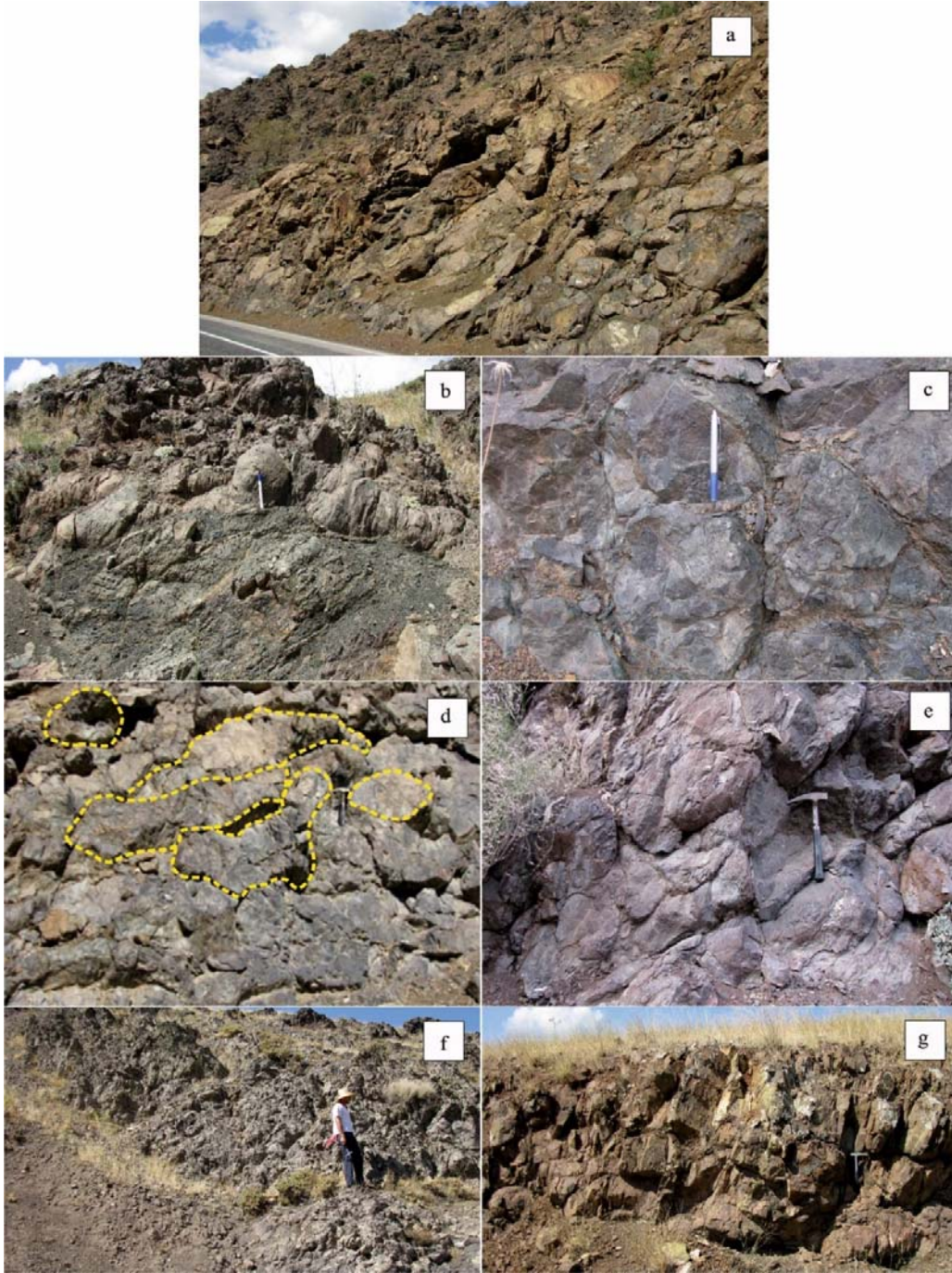
Tablo 5. Elazığ çevresindeki Yüksekova Karmaşığı yastık lavlarına ait ölçülen cm cinsinden U/G (uzunluk/genişlik) değerleri (U/G (length/width) values in cm measured for the pillow lavas of the Yüksekova Complex around Elazığ).

Asker Dağları			Çelemelik Dağları			Mastar Dağları		Maden Dağları			
20/20,	30/30,	40/40,	30/20,	30/30,	35/15,	20/15,	25/20,	30/25,	20/15,	30/20,	40/30,
45/25,	50/10,	55/35,	35/35,	35/30,	40/25,	33/30,	35/25,	40/25,	50/20,	55/40,	60/30,
60/30,	65/55,	70/30,	45/25,	55/30,	55/55,	50/30,	50/45,	55/30,	60/45,	75/35,	80/20,
70/60,	80/45,	80/60,	60/30,	70/30,	80/30,	60/35,	60/40,	60/50,	80/45,	90/50,	95/35,
80/80,	90/55,	90/80,	90/25,	90/40,	100/25,	65/30,	65/45,	70/20,	100/40,	100/70,	120/40,
100/70,	100/90,	115/65,	100/45,	105/50,	110/40,	70/35,	75/65,	80/50,	130/40,	130/70,	150/80,
120/40,	125/65,	145/55,	110/100,	115/45,	125/60,	85/20,	85/40,	90/25,	170/70,	190/110,	210/125,
150/90,	180/90,	200/80,	130/25,	130/50,	135/40,	90/45,	90/70,	100/40,	230/60,	250/180,	350/150,
220/100			150/65			120/50	350/250				

**Şekil 3.** Yüksekova Karmaşığı yastık lav örneklerinin a) uzunluk (U), b) genişlik (G), c) yayvanlık (U/G) dağılım grafikleri (Length (U), width (W) and flatness (L/W) distribution graphs of pillow lava samples of Yüksekova Complex).

uzun eksen boyutlarının genellikle benzer olduğunu, kısa eksenlerin ise Maden yöresindeki örneklerde daha kısa olduğunu belirtmektedir. Ancak bu çalışmaya göre kısa eksen uzunluklarında Maden Dağları yastık lavlarının kısa eksen uzunluklarının da diğer bölgelerden daha uzun olduğu ortaya konmuştur (Şekil 3). [56], yastık büyüklüklerinin vizkoziteyle ilintili olduğunu belirterek, küçük çaplı yastıkların daha hızlı büyüdüğünü de belirtir. Yazara göre, çapları 1 m'den küçük olan yastık lavlar normal yastık lavlar, çapları 1-3 m arasında olan yastık lavları ise mega yastık lavlar olarak tanımlar. Neredeyse tüm bölgelerde normal yastık lavlar dışında mega yastık lavların da bulunduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 3-Şekil 5). Mega yastıkların en az oranda Mastar Dağlarında yüzeylendiği, diğer bölgelerde daha büyük

boyutlu yastık lavların oranının fazla olduğu görülmektedir (Tablo 4 ve Tablo 5). Elde edilen en boy oranları ile Elazığ bölgesinde Asker, Mastar, Çelemelik ve Maden Dağlarında yüzeyleyen yastık lavların yassılaştırma oranının (U/G) en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla Çelemelik Dağları (5,2 cm), Asker Dağları (5 cm), Maden Dağları (4,3 cm) ile Mastar Dağları (4,3 cm) lokasyonlarında bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 4 ve Tablo 5). Buna göre, yassılaştırma oranının (U/G) en yüksek olduğu Çelemelik Dağlarında uzamış, yayvan yastıklar yaygınken, Asker ve Mastar Dağlarında çoğunlukla lobsu, oval/elipsoidal yastık yapıları yaygındır (Şekil 3-Şekil 5). Maden Dağları örnekleri ise daha çok uzamış yada elipsoidal formlara sahiptirler.



Şekil 4. a,b,c,d,e) Maden civarı, uzamış yastık lavlar, f, g) Çelemelik Dağları civarı, uzamış, yassılaştırmış yastık lavlar (a,b,c,d,e) Maden vicinity, elongated pillow lava, f, g) Elongated, flattened pillow lavas around Çelemelik Mountains)

5. Sonuçlar (Conclusion)

Geç Kretase yaşlı YK'na ait yastık lavlar, Elazığ çevresinde çok yaygın bir şekilde yüzeylenmektedir. Bu bölgede başlıca 4 coğrafik lokasyonlardan derlenen örnekler fiziksel ve morfolojik açıdan irdelenmiştir. Yapılan gözlemlerde incelenen yastık lavların sferoidal, lobsu, tubular şekilli olup boyutlarının yaklaşık 4 metreye vardığı saptanmıştır. İncelenen kayalar, 'düşük ve orta gözenekli kayalar' sınıfındadırlar. Genel olarak lokasyonlardaki gözeneklilik değerleri benzer aralıkta değişir. Fakat, en fazla gözenekli örnekler %14 ile

Mastar Dağlarındadır. İncelenen alanlarda çok iri gözeneklerin olmayışı, gözenek miktarının çok yüksek oranda olmaması ve gözeneklerin biri birinden bağımsız olmaları nedeniyle oluşum ortamları itibariyle bu alanlardaki yastık lavların nisbeten sık olmayan su ortamlarında geliştiklerine işaret edebilir. Bu yorum bölgedeki yastık lavların yer yer pelajik derin deniz sedimanlarıyla ara katkılı [14-16] olmasıyla desteklenir.

[15, 52], Elazığ çevresinde yüzeyleyen bazik volkanik kayaların düşük gözenekli (%5) ve yüksek yoğunluklu (2,69 g/cm³) kayalar

olduklarını belirtmiştir. Bu çalışmada ise yastık lavların hem düşük hem de orta büyüklükte gözenekli lavların varlığı saptanmıştır. İncelenen lokasyonlarda Asker Dağları 2,32-3,10 gr/cm³, Mastar Dağları 2,17-2,90 gr/cm³, Çelemelik Dağları 2,41-2,75 gr/cm³ ve Maden Dağları 2,41-2,87 gr/cm³ aralığında özgül ağırlık değerlerine sahiptirler. Elazığ çevresinden derlenen yastık lavların özgül ağırlıkları maksimum 2,8 gr/cm³ ile 3,1 gr/cm³ aralığında değişen yoğunluk değerlerine sahip olup, normal standartlara yakın değerlerde ve 'düşük-orta yoğunluklu kayaçlar' sınıfında kabul edilebilirler. Diğer taraftan minimum değerlerde ise Mastar dağı örneklerinde olduğu gibi 2,2 gr/cm³ ye kadar düşen yoğunluk değerlerine sahip kayaların varlığını hidrotermal alterasyonla açıklamak mümkündür. 2,6-2,8 gr/cm³ bandındaki yoğunluk değerleri mafik bir kaya birimi için olağan bir aralıkta değişim gösterir. Çok gözenekli kayaçlar düşük yoğunluklu, çok yoğun kayaçlar ise az gözenekli olacağı ve gözeneklilik ile özgül ağırlık arasında ters bir ilişkinin olması gerektiği ilkesinden yola çıkılarak, bu ilişkinin incelenen lokasyonlardaki örneklerde gözlenebildiği söylenebilir (Tablo 2 ve Tablo 3). Ancak, genellikle 3,0 g/cm³ ün altında özgül ağırlık değerlerine sahip olan bu kayaların normal bir magmatik kayaya göre daha düşük yoğunluğa sahip olmaları kısmen gözenek miktarının nispeten orta bollukta olmasıyla ve hidrotermal alterasyonla açıklanabilir.

Lav boyutları yuvarlaklaşmayı belirleyen bir parametre olarak ele alındığında, inceleme alanındaki yastık lavlarının boyutları 10 cm ile 350 cm arasında, genişlikleri ise 5 cm ile 250 cm aralığında değiştiği görülür. Uzunlukları bakımından büyükten küçüğe sırasıyla; Maden Dağları (350 cm), Asker Dağları (220 cm) örnekleri yer alır. Mastar Dağları (120 cm) ile Çelemelik Dağları (150 cm) bölgelerinde az oranda mega yastık lav bulunması yanında, diğer bölgelere nazaran daha küçük boyutlu yastık yapıları da sahiptirler (Tablo 4 ve Tablo 5). Araştırmacılar [8, 15, 52], Elazığ ve Malatya çevresindeki yastık lavların uzun eksen boylarının genellikle benzer olduğundan ve devasa yastıkların Maden yöresindeki varlığından söz etmiştir. İncelenen alanların hepsinde çapları 1m den büyük yastıklar mevcuttur. Dolayısıyla tüm bölgelerde normal yastık lavlar dışında mega yastık lavlar da bulunmaktadır. Maden Dağları, Çelemelik Dağları ve Asker Dağlarında mega yastıkların Mastar Dağı'ndakilere nazaran daha fazla olduğu gözlenir.

Elde edilen en boy oranları ile Elazığ yöresinde Asker Dağları, Mastar Dağları, Çelemelik Dağları ve Maden Dağları bölgelerinde yüzeyleme veren yastık lavların yassılaşıma oranının (Uzunluk/Genişlik; U/G), Çelemelik Dağları (5,2 cm), Asker Dağları (5 cm), Maden Dağları (4,3 cm), Mastar Dağları (4,3 cm) değerlerinde oldukları tespit edilmiştir. Tablo 4'teki uzunluk genişlik ölçümleri detaylı irdelendiğinde görülür ki, yassılaşıma oranının (U/G) en yüksek olduğu bölgelerin Çelemelik ve Asker Dağlarında oldukları görülür. Genel olarak, yayvanlık oranının benzerliği, örneklerin bazaltik kimyasal bileşimiyle [15] de uyumlu olarak akışkanlığı yüksek bir kayaktan itibaren gelişmelerini gösterir. Diğer taraftan yayvan yada uzamış lavların varlığı, lobsu lavları verebilecek düşük eğimli bir denizaltı yamacı olma ihtimalinden ziyade daha dik bir topografyaya işaret etmesi olasıdır. Çünkü, [57], lavların dik yokuşlardan aşağı akarken oluşan yastık lavların soğan şekilli yastıklar yerine dar ve uzun tüpler olduğunu belirtir. İncelenen bölgedeki lokasyonlar genel itibarıyla farklı formlar bulundurması yanında lobsu formlara da sahiptir. Abisal lav akıntılarında olduğu gibi, yüzeydeki pahohe lavlarına benzer şekilde düzleşmiş tubular formlarda lavların bulunması [57] dik ve minimum birkaç km derinlikteki denizaltı lav akmasına dair veriler ortaya koyar. Dolayısıyla, bölgede volkanizmanın orijinal konumunda, yani Güney Neotetis kolunda incelenen kayaları oluşturan sığ olmayan denizaltı ekstrüzyonlarının varlığından söz edilmelidir.

Sonuç olarak; sağlanan tüm diğer verilerin yanında incelenen alanlarda mega boylu yastıkların varlığı, Yüksekova lavlarını besleyen daykaların varlığına, ayrıca tek bir yayılma merkezinden ziyade birden fazla çıkış merkezine sahip olmasına işaret olabilir. Özellikle Çelemelik, Mastar ve Maden bölgelerinde hiyaloklastit ve breşik lavların varlığıyla birlikte değişen lav formlarının derin ortamı yanstimakla birlikte, zayıf vezikül boyu ve dağılımı, erüpsiyonların nisbeten sığ derinliğiyle alakalı olduğunu ve Güney Neotetisdeki volkanizmanın birkaç km den daha az olmayan derinlikteki okyanus ortası sırtlarındaki abisal bölgelerde geliştiğini ortaya koyabilmektedir. Ancak boşlukların önemli bir kısmının dolgu olması dolayısıyla beklenenin altındaki boşluk hacmi verileri ile birlikte bugüne kadar yapılan detaylı jeokimyasal bulgular dikkate alındığında [12, 14] incelenen volkanik kayaların konumu için derin denizel ortam söz konusudur.

Teşekkür (Acknowledgement)

This study (FUBAP MF.20.08) is financially supported by Fırat University Scientific Research Project Unit for. The authors thank to FUBAP unit for the MF.20.08 numbered project.'

Kaynaklar (References)

1. Chadwick, B., Submarine Volcanism, Oregon State University, NOAA Vents Program, 2004.
2. Helvacı, C., Erkül, F., Volkaniklastik Kayaçlar Oluşumu, Genel Özellikleri ve Sınıflaması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, İzmir, 2001.
3. Schnur, S.R., An analysis of the morphology and physical properties of pillow lavas of the Nicasio Reservoir Terrane, Marin County, California: Implications for Seamount Formation and Structure, Senior Integrative Exercise, Carleton College, Northfield, Minnesota, 88, 2007.
4. Göncüoğlu, M.C., Introduction to the geology of Turkey: Geodynamic evolution of the pre-Alpine and Alpine terranes., M.T.A Monography Series 5, 1-66, 2010.
5. Göncüoğlu, M.C., Comments on a single versus multiarmed Southern Neotethys in SE Turkey and Iran, 3rd International Symposium of IGCP, 589, Proceedings, 89-95, 2014.
6. Göncüoğlu, M.C., Geology, The Soils of Turkey: World Soils Book Series, Eds: Kapur S., Akça E., Günel H., Springer-Cham., 57-73, 2018.
7. Göncüoğlu, M.C., A review of the geology and geodynamic evolution of tectonic terranes in Turkey, Modern Approaches in Solid Earth Sciences, Eds: Pirajno, F., Ünlü, T., Dönmez, C., Bahadır Şahin, M., Springer Nature ISSN:1876-1682, 16, 19-72, 2019.
8. Ural, M., Arslan, M., Kürüm, S., Göncüoğlu, M.C., Petrographic and morphometric characteristics of Upper Cretaceous aged pillow lavas (Yüksekova Complex) in the Elazığ and Malatya areas, E Turkey, International Earth Science Colloquium on the Aegean Region (IESCA), Proceedings, 206, Dokuz Eylül University, October 1-5, İzmir, 2012.
9. URL-1, <https://earthpro.google.com/>
10. Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U.K., Arslan, M., Elazığ ve Yakın Çevresinde yer alan Yüksekova Karmaşığındaki Volkanik kayaların Yaşı ve Jeodinamik Yorumu, 19th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, 317-318, 2013.
11. Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Arslan, M., Tekin, U.K., Kürüm, S., Petrological and paleontological evidence for generation of an arc-back arc system within the closing southern branch of Neotethys during the Late Cretaceous, In: A. Begiraj et al. (Eds.), Proceed. 20th CBGA Congr., Bull. Shk. Gjeol. Spec. Issue, 2/2014, 51-54, 2014.
12. Ural, M., Arslan, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U.K. ve Kürüm, S., Late Cretaceous arc and back-arc formation within the Southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova Complex (Malatya-Elazığ, SE Turkey), Ofioliti, 40 (1), 2015.

13. Ural, M., Deniz, K., Sayit, K., Mafic volcanic and subvolcanic rocks from the Yüksekova Complex in the İçme-Kesikköprü province (East of Elazığ, Eastern Turkey): Whole-Rock Geochemistry and Confocal Raman Spectroscopy Characterization. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Proceedings, WMES, 9-13 September, Prague, Czech Republic, 362, 012122, 2019.
14. Ural, M., Sayit, K., Tekin, U.T., Whole-Rock and Nd-Pb Isotope Geochemistry And Radiolarian Ages of the Volcanics from the Yüksekova Complex (Maden Area, Elazığ, E Turkey): Implications for a Late Cretaceous (Santonian-Campanian) Back-Arc Basin in the Southern Neotethys, *Ofioliti*, 47 (1), 2022.
15. Ural, M., Elazığ ve Malatya Çevresindeki Yüksekova Karmaşığı Bazik Volkanitlerinin Petrokimyası, Petrolojisi ve Yaşı, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012.
16. Tekin, U.K., Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Arslan, M., Kürüm, S., Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey, *Comptes Rendus Palevol*, 14 (2), 73-84, 2015.
17. Ural, M., Kaya-Sarı, M., Paleogeographic and Age Findings on Planktonic Foraminiferal Assemblages of Yüksekova Complex in the Northeast of Elazığ (Eastern Turkey), In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 362 (1), 012146, 2019.
18. Ural, M., Sarı, B., New Planktonic Foraminifera Data from the Upper Cretaceous Pelagic Limestones of the Yüksekova Complex in the Maden Area (Southeast of Elazığ, Eastern Turkey), In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 362 (1), 012121, 2019.
19. Ural, M., Sayit, K., Tekin, U.K., Whole-rock and Nd-Pb Isotope Geochemistry and Radiolarian Ages of the Volcanics from the Yüksekova Complex (Maden Area, Elazığ, E Turkey): Implications for a Late Cretaceous (Santonian-Campanian) Back-Arc Basin in the Southern Neotethys, *Ofioliti*, 47 (1), 65-83.
20. M.T.A, Türkiye 1/500,000 ölçekli Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2002.
21. Perinçek, D., Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları, T.P.A.O., Ankara, Rap., 1361, 1979a.
22. Perinçek, D., The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Malatya area, Guide book, TJK yayını, 33, 1979b.
23. Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241, 1981.
24. Hempton, M., Savcı, G., Elazığ Volkanik Karmaşığı'nın petrolojik ve yapısal özellikleri, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 25, 143-150, 1982.
25. Yazgan, E., Doğu Toroslarda etkin bir paleokita kenarı etüdü (Üst Kretase-Orta Eosen), *Malatya-Elazığ, Doğu Anadolu, Yer Bilimleri*, 7, 8-104, 1981.
26. Asutay, H.J. Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojik ve petrografik incelemesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1985.
27. Akgül, B., Geochemical associations between fluorite mineralization and A-type shoshonitic magmatism in the Keban-Elazığ area, East Anatolia, Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, 111, 222-230, 2015.
28. Akgül, B., Bingöl, A.F., Piran (Keban) köyü çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri, *Selçuk Üniv., Müh.-Mim. Fak.*, 20. Yıl Jeoloji Semp. Bildirileri, 13-25, Mayıs, 1997.
29. Turan, M., Bingöl, A.F., Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri., Ed. Yetiş, C., Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler, Adana, 211-226, 1991.
30. Ural, M., Kurum, S., Microscopic and Diffractometric Studies Inferred from Skarn Zonations Between the Keban Metamorphites and Elazığ Magmatites, Around Elazığ, *Turkish Journal of Science & Technology*, 4 (2), 2009.
31. Kalender L., Aytimur G., Geochemical characterization of shore sediments and water of the Euphrates River between Keban and Karakaya Dams, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (4), 1243-1253, 2017.
32. Ertürk, M.A., Beyarslan, M., Chung, S.L., Lin, T.H., Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian orogenic belt: Magma genesis and tectonic implications, *Geoscience Frontiers*, 9 (6), 1829-1847, 2018.
33. Sar, A., Ertürk, M.A., Rizeli, M.E., Genesis of Late Cretaceous intra-oceanic arc intrusions in the Pertek area of Tunceli Province, eastern Turkey, and implications for the geodynamic evolution of the southern Neo-Tethys: Results of zircon U-Pb geochronology and geochemical and Sr-Nd isotopic analyses, *Lithos*, 350-351, 105263, 2019.
34. Rizeli, M.E., Beyarslan, M., Wang, K., Bingöl, A., Mineral chemistry and petrology of mantle peridotites from the Guleman ophiolite (SE Anatolia, Turkey): Evidence of a forearc setting, *Journal of African Earth Sciences*, 123, 392-402, 2016.
35. Rizeli, M.E., Sar, A., Ertürk, M.A., Keban Magmatik Kayaçları'nın Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri (Keban-Elazığ), *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3 (1), 69-80, 2021.
36. Ural, M., Sayit, K., Koralay, O.E., Goncuoglu, M.C., Geochemistry and Zircon U-Pb Dates of Felsic-Intermediate Members of the Late Cretaceous Yüksekova Arc Basin: Constraints on the Evolution of the Bitlis-Zagros Branch of Neotethys (Elazığ, E Turkey), *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 95 (4), 1199-1216, 2021.
37. Türkmen, İ., Palu-Çaybağı (Elazığ GD'su) yöresinin sedimentolojik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 79s, 1988.
38. Dönmez, C., Soğanlı-Uyandı (Elazığ) arasında yüzeyleyen Elazığ Magmatitleri'nin jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
39. Türkmen, İ., İnceöz, M., Aksoy, E., Kaya, M., New findings on Eocene stratigraphy and paleogeography of Elazığ area, *Bulletin for Earth Sciences*, 24, 81-95, 2001.
40. Koç-Taşgın, C., Altun, F., Soft-sediment deformation: Deep-water slope deposits of a back-arc basin (middle Eocene -Oligocene Kırkgeçit Formation, Elazığ Basin), Eastern Turkey, *Arabian Journal of Geosciences*, 12 (24), 1-20, 2019.
41. Akkoca, D.B., Yıldırım, İ., Ertürk, M.A., First data on the geochemistry of fluvial deposits of Çaybağı and Palu formations (Eastern Elazığ, Turkey). *Pamukkale University, Journal of Engineering Sciences*, 24 (3), 527-537, 2018.
42. Çelik, H., Master Dağı (Elazığ GD'su) çevresinin stratigrafik ve tektonik Özellikleri, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2003.
43. Çelik, H., Aksoy, E., Sarıkamış formasyonunun stratigrafisi ve çökme ortamı (Elazığ GD'su), *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 533-540, 2005.
44. Köküm, M., İnceöz, M., Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System, *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63, 2018.
45. Köküm, M., İnceöz, M., Paleostress analysis of the Yeşilyurt-Elazığ Fault Zone and its importance for the tectonic evolution, East Turkey, *Journal of Structural Geology*, 138, 104093, 2020.
46. Kaygılı, S., Reassessment of the age and depositional environment of the Kırkgeçit Formation based on larger benthic foraminifera, NW Elazığ, Eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30 (5), 580-600, 2021.
47. Özkan, Y.Z., Öztunalı, O., Petrology of the magmatic rocks of Guleman ophiolite, Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds.), *Geology of the Taurus Belt, Proceedings, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara*, 285-293, 1984.
48. Kılıç, A.D., Petrographical and geochemical properties of plagiogranites and gabbros in Guleman ophiolite, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 139, 33-49, 2009.
49. Kılıç, A.D., Petrogenesis of subduction zone and dunite bodies, *Journal of Earth Science and Engineering*, 2, 377-86, 2012.
50. Kılıç, A.D., Erdem, E., Hazar Gölü Güneyinin Jeolojik ve Petrografik Özellikleri, *Geosound*, 43 (1), 107-116, 2003.
51. Yıldırım, E., Karabulut, İ., Naldöken civarındaki Guleman Ofiyoliti'ne ait magmatik kayaların jeokimyası (GD Elazığ, D Türkiye), *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33 (2), 507-517, 2021.
52. Ural, M., Morphologic and Physical Features of Pillow Basalts of the Yüksekova Complex around Elazığ (East Anatolia, Turkey), *Journal of Tethys*, 2 (1), 70-80, 2014.
53. Anon, Classification of rocks and soils for Engineering Geological Mapping, Part I, Rock and Soil materials, Report of the Communication of Engineering Geological Mapping, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 19, 364-371, 1979.
54. Moore, J.G., Petrology of deep-sea basalt near Hawaii, *American Journal of Science*, 263, 40-52, 1965.
55. Schminke, H.U., Bednarz, U., Pillow, sheet flow and breccia flow volcanoes and volcano-tectonic hydrothermal cycles in the Extrusive Series of the northeastern Troodos ophiolite (Cyprus), in *Ophiolites*

- oceanic crustal analogues, Proceedings of the symposium 'Troodos 1987', 185-206, 1990.
56. Walker, G.P.L., Morphometric study of pillow-size spectrum among pillow lavas, Bulletin of Volcanology, 54, 459-474, 1992.
57. Wells, G., Bryan, W.B., Pearce, T.H., Comparative morphology of ancient and modern pillow lavas, The Journal of Geology, 87 (4), 427-440, 1979.

