



Çakallar Monojenik Sinder Konisi'nin Jeolojisi ve Yığışım Lapilli Oluşumları (Kula Na-Alkali Volkanizması-Batı Anadolu)

Geology of the Çakallar Monogenic Cinder Cones and Formation of the Accretionary Lapilli (Kula Na-Alkaline Volcanism-Western Anatolia)

Cüneyt Akal¹, Yeşim Yücel Öztürk¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE
*Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: yesim.yucel@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 13.08.2018
Kabul Tarihi / Accepted: 18.09.2018

DOI:10.21205/deufmd.2019216116
Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: AKAL, C., YÜCEL ÖZTÜRK, Y. (2019). Çakallar Monojenik Sinder Konisi'nin Jeolojisi ve Yığışım Lapilli Oluşumları (Kula Na-Alkali Volkanizması-Batı Anadolu). DEUFMD, 21(61), 155-171.

Öz

Yığışım lapillileri esas olarak cam veya camın alterasyon ürünleri olmak üzere tamamen kırıntılı volkanik malzemeden oluşan yaklaşık bezelye büyüklüğünde yapılardır. Yığışım lapillileri, bunları üreten volkanizmanın doğası, volkanizma ürünü kayaçları etkileyen çökelim sonrası değişimler ve stratigrafinin belirlenmesi ile ilgili önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu şekilde, volkanik faaliyetlere bağlı olarak gelişen ve bu faaliyetlerin meydana geldiği ortam ve köken açısından önemli ipuçları sağlayan yığışım lapillileri (accretionary lapilli) Kuvaterner yaşlı Na-alkali Kula volkanizmasının (Batı Anadolu) en genç (11.21 ka) ürünü Çakallar Sinder Konisi çevresinde yaygın şekilde gözlenmektedir. Çakallar volkanizması şiddeti az patlamalı-piroklastik püskürme ürünü ince kül yağması ile başlamıştır. Çok katmanlı kül tabakası arasında, eş boyutlu tanelere sahip, kül ara maddeli küresel yığışım lapilli zengin tabaka bulunmaktadır. İkinci evre patlamayla yığışım lapillilerin üzeri ince kül yağması ile tekrar örtülmüştür. Mezolitik dönem insanları Gediz nehri vadisine doğru inerken Çakallar konisinin etrafındaki yumuşak çamur kıvamındaki son kül tabakası üzerinde mükemmel şekilli ayak izlerini bırakmışlardır. Volkanik aktivitenin en son ve şiddetli evresinde Çakallar konisi son şeklini almıştır. Bu son evreye de tanıklık eden Mezolitik dönem insanları, sığınak olarak kullandıkları gnayslar üzerine şiddetli volkanik faaliyeti resimlemiş ve el izlerini bırakmışlardır.

Çakallar Sinder Konisi'ne ait Zon-tipi yığışım lapillileri volkanik aktive sırasında gelişen elektrostatik çekim ve buhar fazının etkin olduğu koşulları yansıtmaktadır. Yığışım lapillileri Çakallar konisinin püskürttüğü kül-yüklü bulutta, buhar fazının yoğunlaşması ile gelişen yağış sırasında yağmur damlalarının içine aldığı kül yığışımının birikmesiyle gelişmiştir ve dolu taneleri şeklinde ilk ince kül tabakası üzerine düşmüştür.

Anahtar kelimeler. *Yığışım lapilli, Çakallar Sinder Konisi, Kula volkanizması, Batı Anadolu*

Abstract

The accretionary lapilli are approximately pea-sized particles, consisting essentially of clastic volcanic material, mainly glass or glass alteration products. The accretionary lapilli provide useful information about stratigraphy, the nature of volcanism producing them and post-depositional changes affecting the rocks that they contain. In this way, accretionary lapilli, which develop due to volcanic activity and

provide important clues in terms of the environment and origin of these activities, are widely observed in the Çakallar Cinder Cone (Western Anatolia) which is the youngest (11.21 ka) product of the Quaternary Na-alkaline Kula volcanism. The Çakallar volcanism began with fine ash fall which is a low-explosive-pyroclastic eruption product. The ash fall has multiple layers and between these layers, there is a spherical accretionary lapilli-rich intermediate layer with equigranular grain and interstitial ash material. With a second stage explosion, accretionary lapilli has been covered by a very fine-ash fall. People, who lived in the Mesolithic Epoch, left their perfectly shaped footprints on this fine ash-layer which had a soft mud-like viscosity, when they descended towards the Gediz Valley. During the last destructive stage of the volcanic activity, the Çakallar cone has taken its final shape and has thrown volcanic bombs at nearby distances, reaching the meter-sized. The people of the Mesolithic Epoch who witnessed this last stage, also left their hand marks and depicted this volcanic activity on the gneisses (called as the Kanlı Kaya) that they used as shelters. It is emphasized that the accretionary lapilli of the Çakallar Cinder Cone, which is defined as rim-type accretionary lapilli, has probably been formed due to the conditions where the volcanic-related vapor phase was active during the Western Anatolian Quaternary volcanism. These structures probably developed with accumulation of ashfalls in the raindrops during the raining (precipitation) caused by the condensation of the vapor phase in an ash-charged volcanic cloud and fell into the form of hail-like grains.

Keywords. *Accretionary lapilli, Çakallar Cinder Cone, Kula volcanism, Western Anatolia*

1. Giriş

Lapilli (lapillus), volkanik püskürmelere bağlı olarak gelişen 2–64 mm çaplı piroklastik (sıcak volkanik kül) parçacıklardır [1 - 3]. Yığışım lapilli (accretionary lapilli), patlamalı volkanik püskürme ürünü piroklastik külün (>2 mm) elektrostatik çekim ile kümelenmesi ve patlama ile ilişkili oluşan buhara ait damlalar içinde yine çekim ile yığışması sonucu gelişmiş farklı boyutlara (cm - mm) sahip sferoidal kül toplardır [3].

Bu yapıların çoğu freato-magmatik püskürmeler sırasında oluşsa da su içeren diğer şiddetli volkanik püskürmeler de bu yapıları üretebilmektedir [1 - 5]. Bunun yanında, atmosferik su buharı yığışım lapilli oluşumu için gereken nemli ortam koşullarını da sağlayabilmektedir. Püskürme bulutlarındaki parçacık yüzeyleri üzerinde yoğunlaşan sıvılar, kalsiyum sülfat ve sodyum klorür gibi, yığışım lapillilerinin toprağa çarpmasından önce bünyesinde bulundurabileceği asit çözeltiler de olabilmektedir [5].

Yeryüzünde volkanik faaliyetlere bağlı gelişen ve oldukça yaygın şekilde gözlenen yığışım lapilli yapılarının oluşumları ve kökenlerine ilişkin birçok araştırma yer almaktadır [1-8]. [2] tarafından yığışım lapillisi gelişim mekanizmalarına dair, devir-daim rüzgâr tünellerinde deneysel incelemeler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma, yığışım lapillilerinin sıvı ile kaplanan kül parçacıkların

birbiri ile çarpışması ve yüzey gerilim kuvvetleri hatta ikincil mineral büyümeleri sonucu bağlanma ile kontrol edildiğini göstermiştir. Yığışım lapillisinin büyümesi sırasında ise belirli parçacık boyutlarının farklı zamanlarda küresel yapı üzerinde yoğunlaşmasıyla yığışım lapillisi içyapısında konsantrik tane boyu zonları da gelişebileceği gözlenmiştir. Rüzgâr tüneli hava akımındaki kül parçacıkların boyut analizi ve büyüyen yığışım lapillisine yapışan parçacıklar değerlendirildiğinde, kümelenme katsayısının yüksek oranda tane boyutuna bağlı olduğu saptanmıştır [2]. Püskürme bulutlarında yığışım lapilli büyümesine dair araştırmalara ait bu teorik simülasyon, 0.7mm çap için 0.5 km ve 20 mm çaplı maksimum boyut için 10 km'lik kül bulutu kalınlıklarının olması gerektiğini öngörmüştür.

Doğrudan gözlemler, ince taneli partiküllerin çoğunun volkanik bulutlardan (plumes) kül yağması olarak düştüğünü göstermiştir [9-11]. Üretilen yığışım lapillilerinin morfolojileri, katı (piroklastik kül), sıvı ve gaz fazlarını içeren bulut içindeki fiziksel ve kimyasal süreçlerin kompleks etkileşimi ile kontrol edilmektedir. Sıvı içeriğine göre yapılan sınıflandırmalar yığışım lapillilerinin, kuru yüksek-gözenekli lapillilerden, nemli düşük-gözenekli lapillilerden, çamur yağmurundan ve özellikle parçacık içermeyen sıvı damlalarından oluşturabileceğini göstermektedir [2]. Düşük sıcaklıklarda sıvı fazların katılmasında yığışım lapillileri bileşen parçacıklarına göre çok daha yüksek hızlarla

düşebilmektedir [12]. Bu nedenle, agregalaşma, ince partiküllerin volkanik kül bulutlarından (plumes) uzaklaşmasını hızlandırmakta ve çok çeşitli yığışım lapilli boyutlarının eşzamanlı olarak birikmesine izin vermektedir.

Kula Na-Alkali volkanizması ile ilgili yapılan çok sayıda çalışma volkanizmanın fiziksel, yapısal, petrolojik, petrojenetik ve jeokronolojik verilerini ayrıntılı şekilde içermektedir [13- 33].

Bu çalışmanın amacını ise Kula volkanik alanında gözlenen Kuvaterner yaşlı Çakallar sinder konisinin jeolojisi ve burada saptanan yığışım lapillilerinin oluşum mekanizması ve petrografik özellikleri oluşturmaktadır.

Çalışma alanı aynı zamanda, yoğun nem ile pekleşmiş kül örtünün üst seviyelerinde Mezolitik dönemde yaşamış insanlara ait ayak izlerini [34, 35] ve bu insanların bölgede gelişen volkanik faaliyeti kutsal sembolleri ile resimledikleri Kanlı Kaya'yı [36] bulundurması nedeniyle de oldukça önemli bir jeopark alanıdır (Şekil 3a). Ayak izleri, temeli oluşturan Menderes Masifi metamorfite art arda gerçekleşen birkaç şiddetli patlamayla örten ince kül tabakası üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3b). Böylece, bu çalışmada elde edilen yığışım lapillilerin oluşumları ve yaş ilişkilerine dayanan önemli verilerle, bir jeopark alanı olan Kula volkanik sahasında gözlenen ayak izleri ve Kanlı kayanın tarihçelerine ilişkin de net sınırlamalar getirilebilmektedir.

2. Bölgesel jeoloji

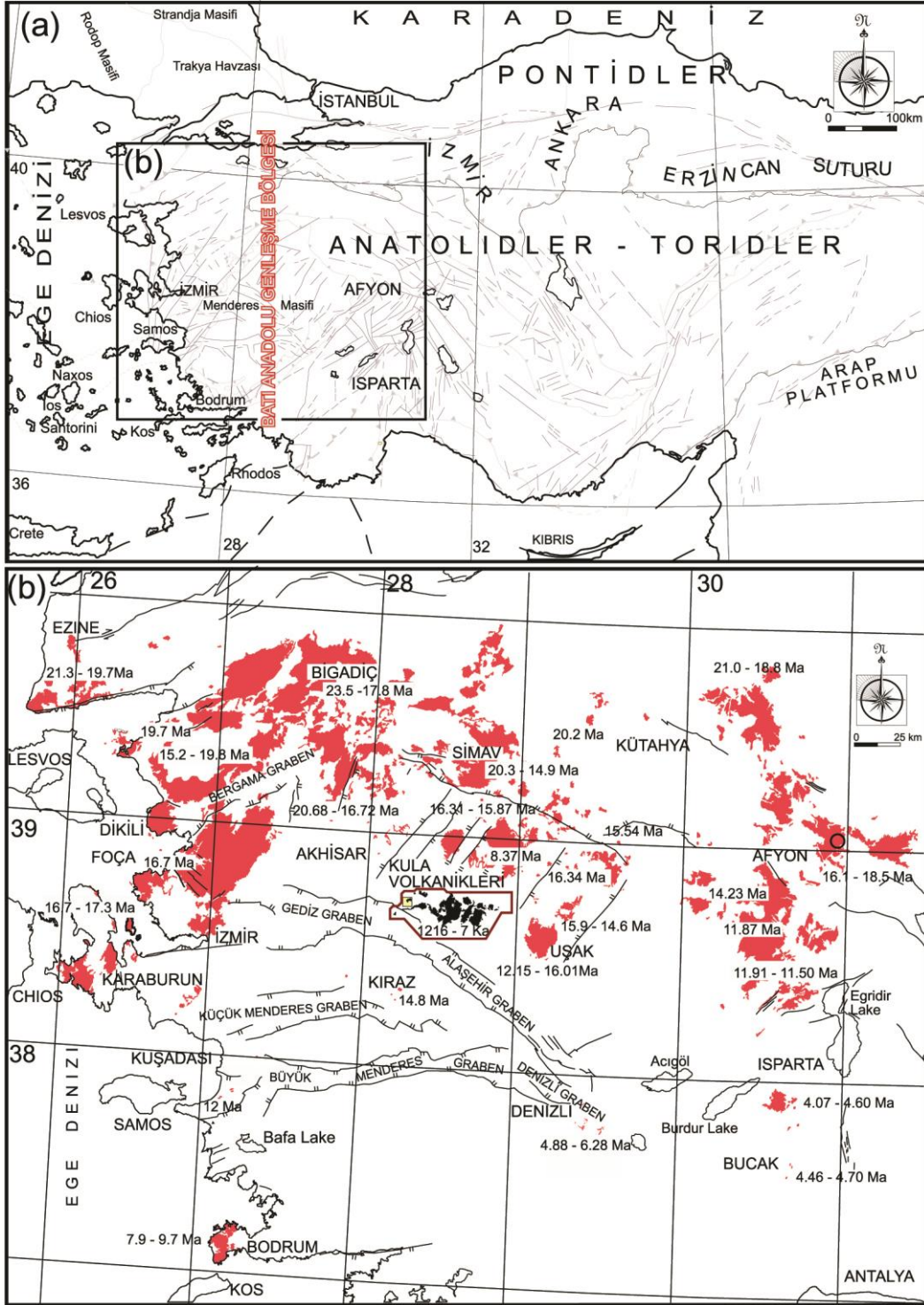
Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar, Hellenik dalma-batma zonunun yay gerisine ait bir bölgesi olan Batı Anadolu'nun önemli bir bölümünü kapsamaktadır (Şekil 1). Batı Anadolu volkanizmasının güneye doğru gençleşmesi, birçok araştırmacı tarafından yiten Afrika levhasının geri hareketine bağlanmaktadır [37, 21]. Aynı zamanda bu süreç, üst levhada önemli derecede kabuk genişlemesine [38, 39] ve ilişkili olarak litosferik mantonun incelmeye [17, 40] neden olmuştur. Batı Anadolu'da, KKD-GGB uzanımlı genişlemeye bağlı açılma geç Oligosen-erken Miyosen'de başlamıştır. Bu açılma, D-B yönlü normal faylarla kontrol edilen grabenlere, sıyrılmaya fayları ve aşınma ile Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayaların yükselerek yüzeylenmesine neden olmuştur [41-46]. Bu grabenlerin en büyükleri Büyük Menderes ve Gediz grabenleridir. Kula Na-Alkali volkanizması, bölgede temeli oluşturan kuzey

Menderes Asması'nda (Gördes Asması) gözlenen en genç volkanik faaliyeti temsil etmektedir.

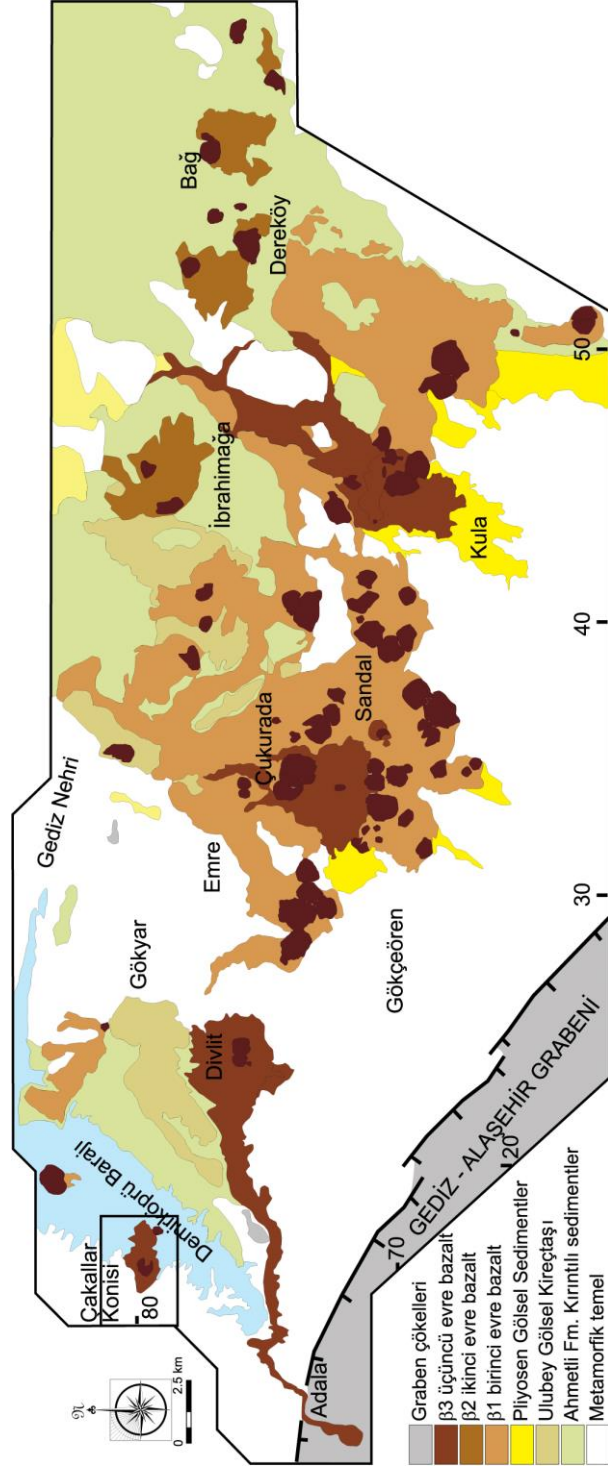
3. Kula volkanizmasının bölgesel jeolojisi

Batı Anadolu'da Gediz Grabeni ile Simav Grabeni arasında bulunan Selendi havzasında yer alan Kula volkanitleri, yaklaşık 80 adet bazaltik sinder (kül) konisi, 5 maar, 8 sıçratma konisi, 6 tümülüs ve bunlarla bir arada bulunan Kuvaterner yaşlı bazaltik lav akmalarından oluşmaktadır. Sinder koniler ana olarak skorya, bazaltik lav akmaları (alkali olivin bazaltlar, bazanitler ve fonotefritler) ve ikincil tuf ve tefra çökelimlerinden oluşmaktadır [48, 13, 17, 23, 32]. Birçok araştırmacı, KD-GB yönelimli havzaları içeren bölgede volkanizmanın kabuksal incelmeye ile geliştiğini belirtmiştir [49-51, 15, 23, 26, 29]. Kula volkanik ürünlerinin ayrıntılı petrografik ve jeokimyasal çalışması [32] tarafından gerçekleştirilmiştir. Buna göre, bölgede gözlenen lavlar, yerleşimleri ile ilişkili olarak porfirik, hipokristalen ve camsı doku sunmaktadır. Bazanitten fonotefrite kadar bileşimsel olarak değişen volkanik kayaların lav fasiyelerinin genel mineral bileşimleri benzerlik göstermekte olup olivin, klinopiroksen, hornblend, plajyoklas, nefelin ve lösit kristalleri içermektedir. Hornblend kristalleri volkanik faaliyetin ikinci evresine ait lav akmalarında ortaya çıkmaktadır [32].

Jeomorfolojik kriterlerin yanısıra K-Ar yaşlandırmasına göre de bölge, aralıklı üç ayrı patlama fazını yansıtmaktadır (Şekil 2). İlk evre (b1) $1,94 \pm 0,16 - 0,99 \pm 0,11$ milyon yıl K/Ar (hamur) ve Ar/Ar (amfibol) yaşı vermektedir [51, 52, 19, 23] ve artarda şiddeti fazla olmayan patlamalarla gelişen, kalınlığı yaklaşık 35-45 cm olan cüruf kül ile başlamakta ve bunu iyi gelişmiş sütun yapıları içeren plato bazaltlar izlemektedir. İkinci evrede monojenetik volkanlar oluşmuştur ve Kula volkanizmasının en yüksek hacimli lavlarına eşlik etmektedir (b2, 299 bin \pm 20 yıl - 50 bin \pm 9 yıllık K/Ar hamur ve amfibol yaşı [51, 19, 23]). Son evre ise, (b3, 25 bin \pm 7 yıl - 4 bin \pm 2 yıl K/Ar (hamurdan) [53, 19, 23] yüzeyi oldukça pürüzlü, gözenekli, keskin kenarlı bloklu, sütun soğuma çatlakları içeren aa-tipi bazaltik lav akmaları ile temsil edilmektedir [32]. Bu verilerin dışında, [33], bölgedeki en genç lav akıntıları ve kül konilerinin yaşını belirlemek için bazaltlardan alınan olivin fenokristalleri ve ksenolitlerden elde edilen kuvars minerallerinden yapılan ^3He ve ^{10}Be yaşlandırma yöntemini kullanmışlardır.



Şekil 1. a. Anadolu'nun basitleştirilmiş tektonik haritası. b. Önemli volkanik sahaları (kırmızı) ve bunların yaşlarını gösteren Batı Anadolu haritası [40].



Şekil 2. Kula Na-Alkali volkanizmasının jeoloji haritası ([47, 48, 23]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 3. a. Son evreye tanıklık eden Mezolitik dönem insanları, sığınak olarak kullandıkları gnayslar içindeki duvara şiddetli volkanik faaliyeti resimlemiş ve el izlerini bırakmışlardır. **b.** Yumuşak çamur kıvamına sahip piroklastik kül üzerine, Mezolitik dönemde yaşamış insanların Gediz nehri vadisine doğru inerken Çakallar Konisi'nin etrafında bıraktıkları ayak izleri.

Araştırmacılara göre, volkanik sahanın batısında, 15 km uzunluğundaki blok lav akıntısından alınan iki bazalt örneğinin ^3Be yaşları 1.5 ± 0.3 ve 2.5 ± 0.4 ka'dır. Aynı lav akmasına ait bir gözlü gnays ksenoliti için ise 2.4 ± 0.3 ka ^3Be yaşı elde edilmiştir. Çalışma alanını içeren ve Çakallar Tepe olarak adlandırılan kül konisinin tepesinden alınan bir metasedimenter ksenolitinden yapılan ^{10}Be yaşlandırması, bu koninin son püskürme yaşının 11.2 ± 1.1 ka olduğunu göstermiştir [33]. Çalışma alanında yer alan ve Anadolu'nun erken dönemlerdeki sakinlerinin bunu volkanik patlamalardan etkilendiğini gösteren ayak izleri ve duvar resminin de (Kanlı Kaya) aynı zaman aralığını yansıttığı düşünülmektedir.

4. Çakallar monojenik sinder konisi ve piroklastik çökelleri

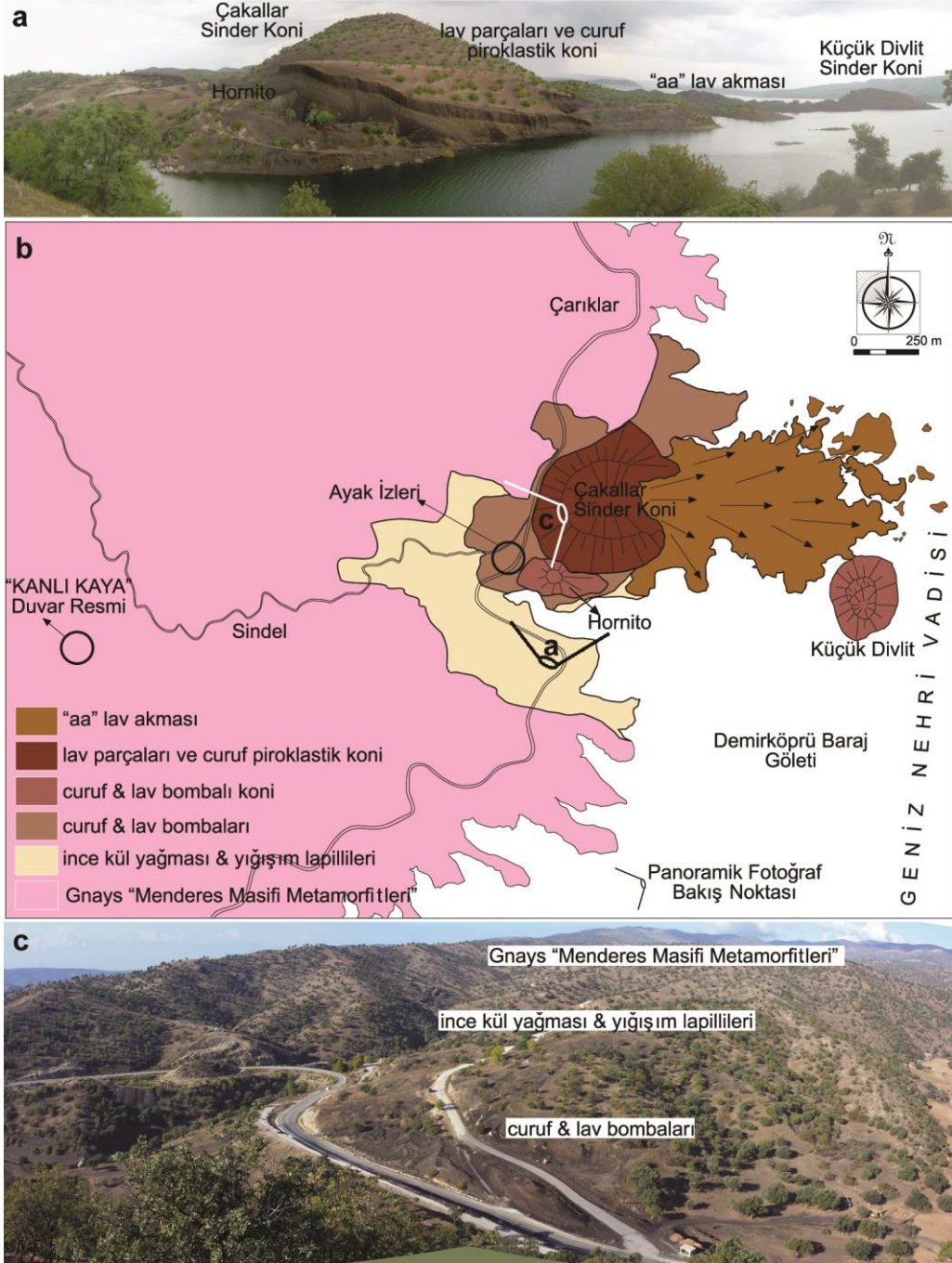
Kula volkanitlerinin yayılım sunduğu alanın en batısında, Manisa il sınırı içinde Adala ile Köprübaşı arasında Demirköprü baraj gölü batı kıyısında Çarıklı ve Sindel yerleşim alanında bulunan Çakallar monojenik sinder konisi ve piroklastitleri yaklaşık 5km^2 'lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 4b).

Kula volkanizmasının en son ürünlerinden biri olan Çakallar Konisi'nin doğu bölümü volkanik faaliyet sırasında çıktığı için hilal şeklinde gözlenmektedir. Çökmeye neden olan yoğun lav çıkışı Gediz nehri vadi yamacının eğimi etkisiyle doğuya doğru akmıştır. Lav akmalarının tam yayılımı bugün baraj gölü altında kalması nedeni ile gözlenememektedir. Çakallar Konisi'nin hemen güney yamacında küçük kül konisi (Hornito) ve yaklaşık 1.5 km batısında Küçük Divlit olarak bilinen iki küçük koni yer almaktadır. Bu iki lav çıkışına ait koniler Çakallar Konisi'nin piroklastitleri ve lav akmaları tarafından çevrenmekte ve örtülmektedirler. [35] tarafından saptanan bu özellikleri ile iki küçük koni ve hatta Çakallar Konisi'nin kalın piroklastik ve lav akmalarını üreten ana Çakallar volkanik patlamasının önceki evrelerine ait oldukları açıkça görülmektedir.

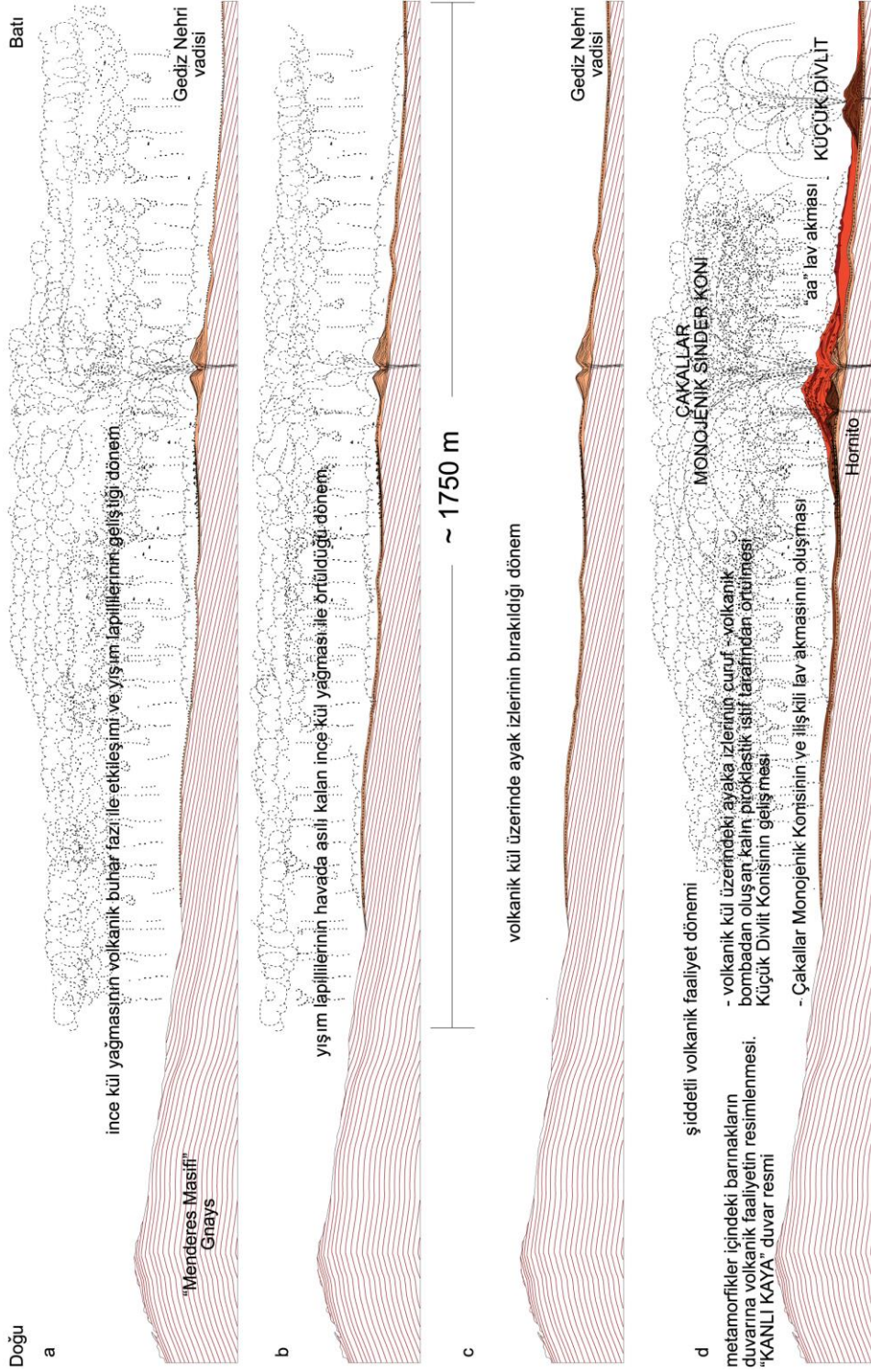
Çakallar Monojenik Sinder Konisi'nin (Şekil 4a) gelişimi tek evreli olmadığı ve birden fazla farklı siddette püskürme evreleri içerdiği yapılan

arazi gözlemlerinde de ortaya konmuştur. İlk evre, birbirine yakın noktalardan püsküren piroklastik külce zengin patlama evresidir. Bu evrede, mm ve mikron boyutunda volkanik cam ve mineral kırıntılarınınca zengin, piroklastik püskürmeyle yükselen kül bulutundan yağın küller Menderes Masifi metamorfik temelini örtmüştür (Şekil 4b,c ve 5a).

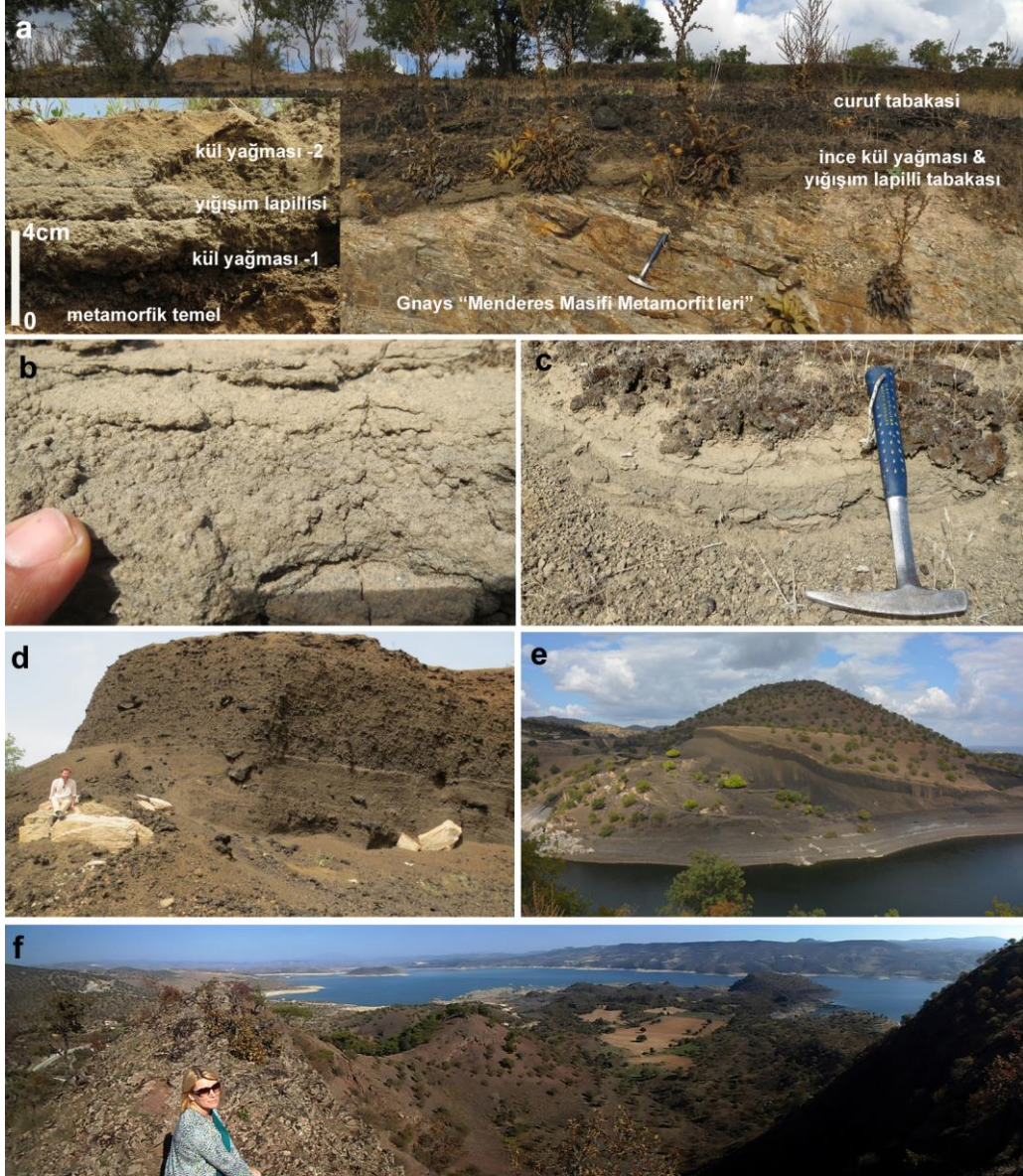
Devam eden sürede piroklastik malzemece zengin volkanik faaliyetin buhar fazı ile etkileşen piroklastik kül yığılması lapillilerini oluşturmuş ve yaklaşık 10 cm kalınlığa sahip ilk kül tabakası üzerine yağmışlardır. Yığılması lapillileri yüzlerce metrekairelik alanı kaplamaktadır (Şekil 5b). Volkanik aktivitenin yavaşlaması ile birlikte havada asılı bulunan çok ince kül yığınları zamanla çökerek yığılması lapillilerini tamamen örtmüşlerdir (Şekil 5c). İlk evrelerde oluşan kül tabakası, volkanizmanın tekrar şiddetini arttırarak aktif hale gelmesi ile birden fazla patlama noktasından türeyen kalın cüruf ve volkan bombasınınca baskın 1-30 cm arasında lav parçalarından oluşan piroklastik çökeller tarafından örtülmüştür (Şekil 5d). Bu evreye ait piroklastik istif, bileşenlerinin büyük boyutlarda olması nedeniyle geniş alanlara yayılmamış, çıkış merkezlerine yakın alanları kaplamış ve ilk birikim konilerini (sinder koni) oluşturmuştur. Çakallar Konisi ilk çatısı ile doğusundaki Küçük Divlit Konisi ve hemen güneyinde küçük ölçekli parazit koni (hornito) bu evrede gelişmiştir. Çakallar Konisi'ne şeklini veren son volkanik aktivitede, piroklastik ve lav püskürmesi gerçekleşmiştir (Şekil 5d). Aktivite sırasında gelişen yoğun lav çıkışı ve akması koninin doğu bölümünü aşındırarak çökmesine neden olmuştur. Hilal şeklinde yapı kazanan koniden yayılan lavlar yamaç aşağı Gediz nehri vadisine doğru akmış ve bu akmalar bir önceki evreye ait Küçük Divliti çevrelemiştir (Şekil 5d). Bu evredeki şiddetli püskürmeler ile 1-2m boyutlarındaki lav bombaları ve temele ait mermer, kuvarsit ve gnays parçaları yakın mesafelere fırlatılmıştır (Şekil 7). Çok şiddetli volkanik faaliyet, o dönemde ayak izlerini bırakan insan toplulukları tarafından gnays içindeki sığınaklarından gözlenmiş ve aktivite sığınak duvarlarına resmedilmiştir (Şekil 3). Bu resimlemelerin olduğu yer Kula-Jeopark alanı içinde "KANLI KAYA" olarak bilinmektedir.



Şekil 4. a. Çakallar Monojenik Sinder Koni. b. Bölgenin jeolojisi ve çoklu evre aktiviteye ait piroklastitlerin yayılımı. c. Çakallar Koni'sinin tepe noktasından batı bakış açılı panoramik görüntü.



Şekil 5. Çakallar bazaltik volkanik aktivitenin çoklu evrimi ve jeolojik kesitleri.



Şekil 6. Çakallar bazaltik volkanik aktiviteye ait piroklastik çökeller ve Çakallar Konisi'nin saha fotoğrafları. **a.** Menderes Masifi metamorfik temeline ait gnaysları örten yığışım lapilli içerikli kül tabakası ve üzerine gelen cüruf-lav parçaları içeren piroklastik döküntü. **b-c.** Yığışım lapilli tabakası ve ayak izlerini içeren ince lapilli tabakasını örten ince kül yağması. **d.** İkinci volkanik aktivite evresini temsil eden cüruf-lav parçalı kalın piroklastik döküntü. **e.** Çakallar Konisi. **f.** Çakallar Konisi tepesinden doğu bakışlı panoramik görüntü. Koninin doğu bölümünün şiddetli lav akması ile aşındırılarak çökmesi sonucu Çakallar Konisi hilal şeklindedir. Koniden yayılan lav akması Gediz nehri vadisine doğru akmıştır.



Şekil 7. Çakallar volkanik aktivitesinin son şiddetli evresinde volkan bacasından fırlatılmış metrik volkan bombası.

5. Yığışım lapillileri (acceleration lapilli)

Gnaysları örten kül tabakası arasında (ilk evre kül yağması) ortalama 5 cm kalınlık sunan araları ince kül ile bağlanmış yığışım lapilli düzeyinden (Şekil 6b ve c) alınan örneklerin makroskobik ve mikroskobik olarak detaylı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Volkanik kül yağması ile oluşan ilk kül tabakası, sıcak olmayan, çok ıslak-cıvık veya kuru-gevşek olmayan, nemli ve sertçe bir örtü halinde yüzeyi kaplamıştır. Kül tabakasının üzerine düşen

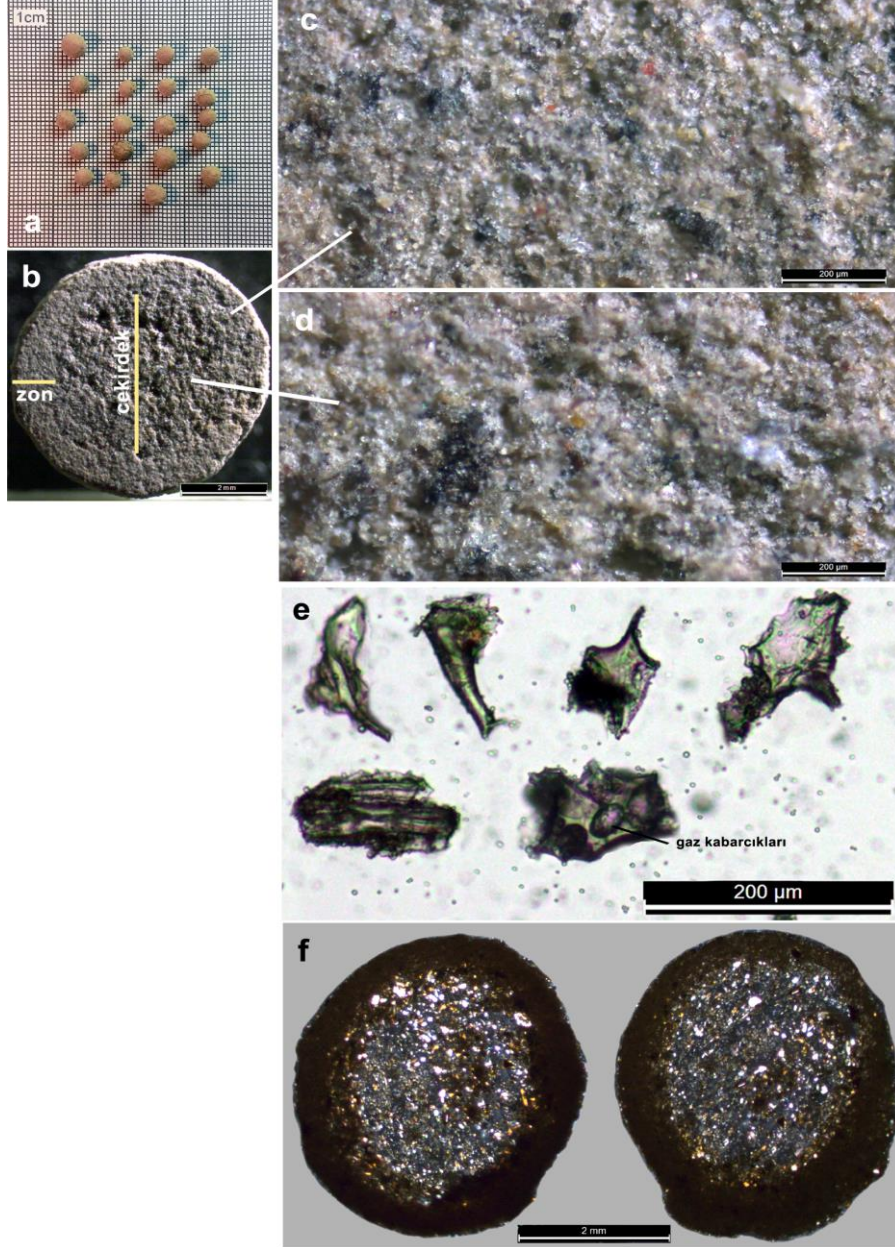
yığışım lapillileri tabaka içine gömülmemiş, sadece yüzeyde izler bırakacak şekilde tabakayı etkilemiştir (Şekil 8a). Yığışım lapillileri oldukça iyi pekleşmiştir, yani parmaklar arasında ezme oldukça güçtür. Yığışım lapillileri tam küresel ve düz yüzeylere sahiptir ve çapları 3 ile 6 mm arasında değişmektedir (Şekil 8a, 8b). Örneklerin yüzey rengi değişimleri çok az veya hiç yoktur. Yığışım lapillileri suda bekletildiğinde ayrılmamakta ve hidroklorik asit ile reaksiyona girmemektedir.



Şekil 8 a. Yığışım lapilli düzeyi içeren ilk evre kül boyutundaki piroklastik çökeller. İlk kül tabakası üzerine düşen yığışım lapillilerinin bıraktıkları izler. **b.** Kül ile bir arada eş boyutlu olarak bulunan yığışım lapillice zengin tabakanın üstten görünümü.

Çok sayıda yığışım lapillisi örneği epoksi reçine içine gömülerek kalıplandırılmış ve iç yapılarını gözlemlemek için yarıya kadar aşındırılarak petrografik ince kesitleri hazırlanmıştır. Aşındırılarak yarılanan lapillilerin bir bölümü ile

tek bir taneden çıkan kül malzeme binoküler altında incelenerek mineral ve volkanik parça bileşeni araştırılmıştır.



Şekil 9. Yığışım lapillilerine ait makroskobik ve mikroskobik ölçekli fotoğraflar. **a.** Eş tane boylu mükemmel küresel yığışım lapillileri. **b.** Yarıyı aşındırılmış zon-tipi yığışım lapillinin çekirdek ve dış zondan oluşan iç yapısı. Bileşenlerini mineral kırıntıları ve volkanik cam oluşturmaktadır. Dış zon (**c**) ve iç çekirdeğin (**d**) n binoküler mikroskop altındaki görüntüleri. Her iki bölümün bileşenlerini magmatik kristal parçaları ve patlama sırasında kül bulutu içinde katılarak camlaşan lav parçaları oluşturmaktadır. **e.** Yığışım lapillileri içinde gözlenen volkanik cam parçaları. **f.** Yığışım lapillilerinin polarizan mikroskop altındaki görüntüleri. İç çekirdek dış zona göre daha ince taneli külden oluşmuştur. İç çekirdekte piroksen (sarı-turuncu renkli parçalar), plajiyoklas, volkanik cam ve çevre kayalardan koparılmış kuvars taneleri gözlenebilmektedir.

Örneklerin merkezinde tek bileşen halinde volkanik litik parçadan (cam ve/veya mineral) oluşan bir çekirdek gözlenmemiştir. Taneler tamamen mikron boyutunda mineral ve cam parçalarınca zengindir. Yığışım lapilli tanelerinin tümü karakteristik eş merkezli iki katmana sahiptir (Şekil 9b ve f). Bu katmanlar arasında dokusal açıdan belirgin gözenek farklılığı olup hafif de olsa renk ve mikronize haldeki kül tane boyunda değişim gözlenmektedir (Şekil 9c ve d).

Çakallar Sinder Konisi'ne ait kül çökellerinden alınan yığışım lapillilerinin ince kesitlerinde merkez kısımları tüm ölçeklerde homojen özelliktedir. Genelde lapilli içinde gözlenen kırıntılar merkezde daha iri iken kenara doğru oldukça incelmektedir (Şekil 9b,c ve d). Lapilli örneklerinin tümü neredeyse tamamen çok ince kül taneli veya camsı doku sunan bir dış halkaya sahiptir. Yığışım lapillilerinin merkezinde yer alan tane bileşenlerinin plajiyoklas, piroksen kristalleri, cam ve patlama sırasında metamorfik temelden kopartılmış kuvars kristal parçaları ile çok az oranda boşluklar bulunmaktadır. Çoğu cam parçaları, içbükey yüzeylere sahiptir, bu da bu yüzeylerin kabarcıklara ait duvarların bir parçası olduğunu göstermektedir (Şekil 9e). Bunun yanında gaz kabarcıklarının yer yer korunduğu volkanik cam parçalar da bulunmaktadır (Şekil 9e).

6. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışma alanını kapsayan Kuvaterner yaşlı Çakallar Sinder Konisi'ni üreten piroklastik püskürme, kosmojenik yaşlandırma ile de desteklenmiş (11.2 ± 1.1 ka; [33]) ve Kula volkanizmasının en son evresi ürünüdür. Piroklastik ve lav akmasından oluşan Çakallar Konisi hilal şeklini koninin doğu bölümünü aşındıran şiddetli lav akmaları ile kazanmıştır. Çakallar volkanizması olarak da tanımlanan Na-alkali bazaltik volkanizma şiddeti az patlamalı-piroklastik püskürme ürünü ince kül yağması ile başlamıştır ve geniş bir alanı kaplamıştır. Bu kül tabakası çok katmanlı olup kül tabakaları arasında kül ara maddeli eş boyutlu mükemmel küresel yığışım lapillice zengin 5 cm kalınlığa ulaşan bir ara tabaka bulunmaktadır. Daha sonraki patlamayla yığışım lapillilerin üzeri çok ince kül tabakasıyla örtülmüştür. Bu üst kül tabakası çökeli mi sonrasında bünyesindeki nem

merkeze yakın zonlar boyunca "kart destesi (stack of cards)" dokusu sunmaktadır [4]. Tane

oranına bağlı olarak yumuşak çamur kıvamına sahip olduğu anda, Mezolitik dönemde yaşamış insanlar Gediz nehri vadisine doğru inerken Çakallar Konisi'nin etrafındaki bu kül tabakası üzerinde mükemmel şekilli ayak izlerini bırakmışlardır. Çakallar volkanik aktivitesi şiddetini arttırarak birden fazla noktadan püskürerek faaliyetlerine devam etmiştir. Volkanizmanın ikinci ana evresi, yakın mesafelere (proximal) yayılmış cüruf-lav-volkan bombalarından oluşan kalın piroklastik istif ve küçük ölçekli koniler ile temsil edilmektedir. Çakallar volkanik aktivitesinin en son şiddetli evresinde, Çakallar konisi son şeklini almış ve metre boyutuna ulaşan volkan bombalarını yakın mesafelere fırlatmıştır. Volkanik faaliyetin sahip olduğu şiddeti ifade eden metrik boyutlardaki gnays bloklar temelden kopartılarak püskürme sırasında yakın çevreye fırlatılmıştır. Son evreye tanıklık eden Mezolitik dönem insanları sığınak olarak kullandıkları gnayslar içindeki duvara şiddetli volkanik faaliyeti resimlemiş ve el izlerini bırakmışlardır.

[8, 4] yapısal olarak iki farklı yığışım lapilli tipi tanımlamışlardır: (1) İnce taneli bir dış zon ile çevrili ve bu dış zona göre daha iri taneli bir merkeze sahip olan zon (kenar)-tipi lapilli; ve (2) sadece iri taneli bir çekirdek içeren ve bir kenar zonu olmayan çekirdek-tipi lapilli. Her iki tip de kül yağışı, piroklastik akma ve taban türbülans çökellerinde (surge deposits) meydana gelebilmektedir.

Yığışım lapillisinin oluşum şekilleri, piroklastik çökellerin yapısı, kütle hareketi, bileşenlerinin tane boyutu özellikleri ve stratigrafik ilişkilerine bağlı farklılıklar göstermektedir [4]. Örneğin, piroklastik kül çökellerinde zon veya çekirdek-tipi lapilli stratigrafik olarak çökelin tabanında yoğunlaşırken, piroklastik akma ve taban türbülans çökellerinde patlamanın yakın mesafesinde (proximal) kenar-tipi, uzak mesafesinde (distal) ise çekirdek-tipi lapilli gözlenmektedir. Gözeneklilik sunan veziküler tüflerde sadece çekirdek-tipi lapilli ortaya çıkmaktadır. Yığışım lapilli taneleri taban türbülans çökellerinde piroklastik akma çökellerine göre daha iyi boylanmış ve daha küçüktür [4]. İç yapılarına göre yığışım lapillileri piroklastik akma çökellerinde disk şekilli iken, taban türbülans çökellerinde küreseldir. Kül çökellerinde gözlenen yığışım lapillilerin tane içi dokusu ise merkez ve

boyu dağılımı açısından da yığışım lapillileri ortamsal olarak farklılık göstermektedir. Kül

çökellerinde maksimum 250-350µm tane boyu ile birlikte tek bileşenli (unimodal) bir dağılım vardır. Piroklastik akma çökellerinde ise zon-tipi ve çekirdek-tipinde olup maksimum tane boyu 350-500 µm'dur. Taban türbülans çökellerinde ise daha iri tane boyu gözlenmektedir (maks. 2mm) ve genelde tek bileşenli ve zayıf olarak da iki bileşenli dağılım sözkonusudur [4].

Çakallar Konisi'ne ait yığışım lapillileri bol miktarda cam parçalar içermektedir. Bu da bu malzemenin patlama sırasında lavların parçalanması ve kül şeklinde püskürmesiyle oluştuğunu göstermektedir. Dinamik bir püskürme sütunu ve kül bulutu ortamında farklı boyutta tane türleri ve bolluğu (kristal parçaları, cam kırıkları ve kaya parçaları) ortaya çıkmıştır. Bu bileşenlerin oldukça değişken olması da yığışım lapillilerinin gelişmesinde oldukça etkin rol oynamıştır. Buna göre Çakallar Sinder Konisi'ne ait kül çökellerinden alınan örneklerin ince kesit incelemelerinde bölgedeki yığışım lapillilerinin [4]'in sınıflamasına göre zon-tipi yığışım lapilli olduğu saptanmıştır.

Teşekkür

Makaleye yapmış oldukları değerli katkılardan dolayı isimleri belirtilmemiş 3 hakeme teşekkür ederiz. Ayrıca Şekil 3b'de kullanılan fotoğraf Prof. Dr. Hülya İnaner'in fotoğraf arşivinden alınmıştır.

Kaynakça

- [1] Moore, J.B., Peck, D.L. 1962. Accretionary lapilli in volcanic rocks of the western continental United States. *Journal of Geology*, Cilt. 70, ss. 182-193.
- [2] Gilbert, J.S., Lane, S.J. 1994. The origin of accretionary lapilli. *Bulletin of Volcanology*, Cilt. 56, ss. 398-411.
- [3] Adams, P.M., Lynch, D.K., Buesch, D.C. 2016. Accretionary lapilli: what's holding them together?. 2016 Desert Symposium, ss. 256-265.
- [4] Schumacher, R., Schmincke, H.S. 1995. Models for the origin of accretionary lapilli. *Bulletin of Volcanology*, Cilt. 56, ss. 626-639.
- [5] Brown, R.J., Branney, M.J., Maher, C., Dávila-Harris, P. 2009. Origin of accretionary lapilli within ground-hugging density currents: Evidence from pyroclastic couplets on Tenerife; *Geological Society of America Bulletin*, Cilt. 122 (1-2), s. 305-320. doi: 10.1130/B26449.1
- [6] Lacroix, A. 1904. *La Montagne Pelée et ses éruptions*: Paris, ss. 1-662.
- [7] Lorenz, V. 1974. Vesiculated tufts and associated features. *Sedimentology*, Cilt. 21, ss. 273-291.
- [8] Schumacher, R., Schmincke, H.S. 1991. Internal structure and occurrence of accretionary lapilli - a case study at Laacher See Volcano. *Bulletin of Volcanology*, Cilt. 53, ss. 612-634.
- [9] Kittl, E. 1933. Estudio sobre los fenómenos volcánicos y material caído durante la erupción del grupo del "Descabezado" en el mes de abril de 1932. *Anal Museo Nac Hist Nat (Buenos Aires)*, Cilt. 37, ss. 321-364.
- [10] Sorem, R.K. 1982. Volcanic ash clusters: tephra rafts and scavengers. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Cilt. 13, ss. 63-71.
- [11] Gilbert, J.S., Lane, S.J., Sparks, R.S.J., Koyaguchi, T. 1991. Charge measurements on particle fallout from a volcanic plume. *Nature*, Cilt. 349, ss. 598-600.
- [12] Lane, S.J., Gilbert, J.S., Hilton, M. 1993. The aerodynamic behaviour of volcanic aggregates. *Bulletin of Volcanology*, Cilt. 55, ss. 481-488.
- [13] Güleç, N. 1991. Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. *Geological Magazine*, Cilt. 128, ss. 417-435.
- [14] Bunbury, J.M.R. 1996. The Kula Volcanic Field, western Turkey: the development of a Holocene alkali basalt province and the adjacent normal-faulting graben. *Geological Magazine*, Cilt. 133 (3), s. 275-283.
- [15] Seyitoğlu, G. 1997b. Late Cenozoic tectonosedimentary development of the Selendi and Uşak-Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east-west and north trending basins in Western Turkey. *Geological Magazine*, Cilt. 134, ss. 163-175.
- [16] Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.G. 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Cilt. 102, s. 67-95.
- [17] Alici, P., Temel, A., Gourgaud, A. 2002. Pb-Nd-Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (western Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Cilt. 115, s. 487-510.
- [18] Purvis, M., Robertson, A. 2005. Miocene sedimentary evolution of the NE-SW trending Selendi and Gördes basins, western Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology*, Cilt. 174, ss. 31-62.
- [19] Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D., Rowbotham, G., Maddy, D. 2004. Pliocene and Quaternary regional uplift in western Turkey: the Gediz River terrace staircase and the volcanism at Kula. *Tectonophysics*, Cilt. 391, ss. 121-169.
- [20] Tokçaer, M., Agostini, S., Savaşçın, M.Y. 2005. Geotectonic setting and origin of the youngest Kula volcanics (Western Anatolia), with a new emplacement model. *Turkish Journal of Earth Sciences*, Cilt. 14, ss. 145-166.
- [21] Innocenti, F., Agostini, S., di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., Tonarini, S. 2005. Neogene

- and quaternary volcanism in Western Anatolia: Magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology*, Cilt. 221, ss. 397-421.
- [22] Holness, M. B., Bunbury, J. M. 2006. Insights into continental rift-related magma chambers: Cognate nodules from the Kula Volcanic Province, Western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Cilt. 153, ss. 241-261.
- [23] Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Beck, A., Bridgland, D., Demir, T., Scaillet, S., Rowbotham, G. 2006. Late Cenozoic uplift of western Turkey: improved dating of the Kula Quaternary volcanic field and numerical modelling of the Gediz River terrace staircase. *Global and Planetary Change*, Cilt. 51, ss. 131-171.
- [24] Çoban, H. 2007. Basalt magma genesis and fractionation in collision and extension related provinces: a comparison between eastern, central and western Anatolia. *Earth Science Reviews*, Cilt. 80, s. 219-238.
- [25] Ersoy, E., Helvacı, C. 2007. Stratigraphy and geochemical features of the Early Miocene bimodal (ultrapotassic and calc-alkaline) volcanic activity within the NE-trending Selendi Basin, Western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, Cilt. 16, s. 117-139.
- [26] Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F., Bozkurt, E. 2008. A geochemical approach to Neogene-Quaternary volcanic activity of western Anatolia: an example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, Turkey. *Chemical Geology*, Cilt. 30, s. 265-282.
- [27] Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R. 2011. Stratigraphic, structural and geochemical geochemical features of the NE-SW-trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supradetachment and transtensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, Cilt. 41, s. 159-183.
- [28] Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R. 2012. Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE-SW-trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Cilt. 163, s. 379-401.
- [29] Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., Ersoy, E.Y. 2010. Petrogenesis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Volcanic Rocks of the Uşak-Güre basin, western Türkiye. *Lithos*, Cilt. 119, ss. 193-210.
- [30] Grützner, T., Prelevic, D., Akal, C. 2013. Geochemistry and origin of ultramafic enclaves and their basanitic host rock from Kula Volcano, Turkey. *Lithos*, Cilt. 180-181, ss. 58-73.
- [31] Şen, E., Aydar, E., Bayhan, H., Gourgaud, A. 2013. Kula Volkanik Alanı'nın (Batı Anadolu) Fiziksel Volkanolojisi (Physical volcanology of Kula Volcanic Field, western Anatolia). *İ.T.Ü. Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü*.
- [32] Şen, E., Aydar, E., Bayhan, H., Gourgaud, A. 2014. Alkali Bazalt ve Piroklastik Çökellerin Volkanolojik Özellikleri, Kula Volkanları, Batı Anadolu (Volcanological characteristics of alkaline Basalt and Pyroclastic Deposits, Kula Volcanoes, Western Anatolia). *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe Univ.* Cilt. 35, ss. 219-252.
- [33] Heineke, C., Niedermann, S., Hetzel, R., Akal, C. 2016. Surface exposure dating of Holocene basalt flows and cinder cones in the Kula volcanic field (Western Turkey) using cosmogenic ^3He and ^{10}Be . *Quaternary Geochronology*, Cilt. 34, ss. 81-91.
- [34] Ozansoy, F. 1969. Türkiye pleistosen fosil insan ayak izleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, Cilt. 72, ss. 204-209.
- [35] Kayan, I., 1992. Demirköprü baraj gölü batı kıyısında Çakallar volkanizması ve fosil insan ayak izleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, Cilt. 6, ss. 1-34.
- [36] Akal, C., Bulut, S., Kaya, T., Savaşçın, M.Y., Süvari, E.F., Türe, A. 2009. Turkey offers a new geopark to the world: Katakakaumene- Burnt Fires geopark Project. *Geoturismo & Desenvolvimento local (Geotourism & Local Development)*, s. 138-149.
- [37] Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., Villari, L. 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region, ss. 687-699. Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. ed. 1984. *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society of London Special Publications 17, 825s.
- [38] Faccenna, C., Jolivet, L., Piromallo, C., Morelli, A. 2003. Subduction and the depth of convection in the Mediterranean mantle. *Journal of Geophysical Research*. Cilt. 108 (B2), s. 2099. <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB001690>.
- [39] Brun, J.-P., Sokoutis, D. 2010. 45 m.y. of Aegean crust and mantle flow driven by trench retreat. *Geology*, Cilt. 38, s. 815-818.
- [40] Prelević, D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R.L., Stracke, A., van den Bogaard, P. 2012. Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for post-collisional Dynamics of orogenic lithospheric mantle: the case of southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Petrology*, Cilt. 53, ss. 1019-1055.
- [41] Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1991. Late Cenozoic extension and basin formation in West Turkey. *Geological Magazine*, Cilt. 128, ss. 155-166.
- [42] Bozkurt, E., 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications, ss. 385-403. Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A., ed. 2000. *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society of London Special Publications, 173, 521s.
- [43] Purvis, M., Robertson, A. 2004. A pulsed extension model for the neogene-recent EW-trending Alas, ehir Graben and the NE-SW-trending Selendi and Gordes Basins, western Turkey. *Tectonophysics*, Cilt. 391, ss. 171-201.
- [44] Thomson, S.N., Ring, U. 2006. Thermochronologic evaluation of postcollision extension in the Anatolide

- orogen, western Turkey. *Tectonics*, Cilt. 25, TC3005. <http://dx.doi.org/10.1029/2005TC001833>.
- [45] Glodny, J., Hetzel, R. 2007. Precise U-Pb ages of syn-extensional Miocene intrusions in the central Menderes Massif, western Turkey. *Geological Magazine*, Cilt. 144, ss. 235-246.
- [46] Buscher, J.T., Hampel, A., Hetzel, R., Dunkl, I., Glotzbach, C., Struffert, A., Akal, C., Rätz, M. 2013. Quantifying rates of detachment faulting and erosion in the central Menderes Massif (western Turkey) by thermochronology and cosmogenic ¹⁰Be. *Journal of Geological Society, London*, Cilt. 170, s. 669-683.
- [47] Ercan, T. 1993, Interpretation of geochemical, radiometric and isotopic data on Kula volcanics (Manisa-W.Anatolia), *Geological Bulletin of Turkey*, Cilt. 36, s. 113-129.
- [48] Richardson-Bunbury, J.M. 1996. The Kula Volcanic Field, western Turkey: the development of a Holocene alkali basalt province and the adjacent normal faulting graben. *Geological Magazine*, Cilt. 133, ss. 275-283.
- [49] Yılmaz, Y. 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey, ss. 159-189. Şengör, A.M.C. ed. 1989. *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Kluwer Academic Publishers, 698s.
- [50] Yılmaz, Y. 1990. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Cilt. 44, ss. 1-19.
- [51] Bunbury, J.M., Hall, L., Anderson, G.J., Stannard, A. 2001. The determination of fault movement history from the interaction of local drainage with volcanic episodes. *Geological Magazine*, Cilt. 138, s. 185-192.
- [52] Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F., Mazzuoli, R. 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island). *Bulletin of Volcanology*. Cilt. 36, s. 473-496.
- [53] Göksu, H.Y. 1978. The TL age determination of fossil human footprints. *Archaeo-Physika*, Cilt. 10, ss. 455-462.