



Yerbilimleri, 2019, 40 (1), 1-34, DOI:10.17824/yerbilimleri.496519

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Bir demir cevherinden manyetit ve bakır kazanımı amacıyla entegre bir akım şeması geliştirme stratejileri

Strategies for developing an integrated flow-sheet for the recovery of magnetite and copper from an iron ore

ERGİN GÜLCAN ^{1,*A}, ÖZCAN YILDIRIM GÜLSOY ^{1B}, İLKAY BENGÜ CAN ^{1C}, MEHMET ÖZYURT ^{2D},
ERGUN TUNCER ^{2E}

¹ Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, TÜRKİYE

² Bilfer Madencilik ve Turizm A.Ş., Ataç Sk.35/6 Yenişehir-Çankaya-Ankara, TÜRKİYE

Geliş (received): 13 Aralık (December) 2018 Kabul (accepted): 13 Nisan (April) 2019

ÖZ

Son yıllarda ağır sanayi ve demir-çelik endüstrisinin enerji maliyetlerini düşürmeye yönelik talepleri, manyetit ve demir cevherlerinin safsızlık alt sınırlarının düşmesine sebep olmuştur. Daha yüksek kalite hedefleri konvansiyonel akım şemalarının sınırlarını zorlamakta ve metal verimi bir problem haline gelmektedir. Bu çalışmada, Erzincan bölgesinde bulunan demir cevherindeki manyetit ve bakırın zenginleştirilebilirliğine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel çalışmalarda yüksek verimde ve kalitede manyetit cevherinin yanında satılabilir tenörde bakır eldesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda detaylı mineralojik ve karakterizasyon çalışmalarını takiben manyetik ayırma ve flotasyon yöntemleri kullanılarak ilgili cevherin ekonomik olarak değerlendirilebilirliği incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında -500 µm, -300 µm ve -106 µm boylarında kademeli manyetik ayırma testleri, manyetik ayırma ile kalite artırımı testleri, -75 µm ve -53 µm boylarında manyetik ayırma atığı ve beslemeden bakır kazanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ürünlerin demir içerikleri yeterince yüksek olmakla birlikte, sonuçlar yaş manyetik ayırmanın da tek başına yeterince temiz ürün üretmekte yeterli olmadığını göstermiş, sonrasında manyetik ürünün toplu sülfür flotasyonuna tabi tutulması ile impüritelerin daha da azaltılabileceği belirlenmiştir.

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.496519>



Ergin GÜLCAN ergingulcan@hacettepe.edu.tr

^A Hacettepe Üniversitesi, Maden Müh. Böl., 06800, Beytepe, Ankara, TÜRKİYE, ORCID 0000-0002-8861-8061, ergingulcan@hacettepe.edu.tr,

^B Hacettepe Üniversitesi, Maden Müh. Böl., 06800, Beytepe, Ankara, TÜRKİYE, ORCID 0000-0002-7063-7432, ogulsoy@hacettepe.edu.tr,

^C Hacettepe Üniversitesi, Maden Müh. Böl., 06800, Beytepe, Ankara, TÜRKİYE, ORCID 0000-0002-3335-9285, ilkay@hacettepe.edu.tr,

^D Bilfer Madencilik ve Turizm A.Ş., Ataç Sk.35/6 Yenişehir-Çankaya-Ankara, TÜRKİYE, mehmetozyurt@bilfer.com.tr,

^E Bilfer Madencilik ve Turizm A.Ş., Ataç Sk.35/6 Yenişehir-Çankaya-Ankara, TÜRKİYE, erguntuncer@bilfer.com.tr.

Ayrıca manyetik ayırma sonrasında flotasyonla sülfür içeriği düşürülen nihai konsantreden bir çökeltme tankı ile kaba şlam atılması durumunda silis, alümina ve magnezyum içerikleri daha düşük ürünler elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Devamında, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak simülasyon destekli tesis tasarımı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tasarlanan akım şeması ile %87-88 demir verimli ve %65.5-66.5 Fe tenörlü bir manyetit konsantresinin yanında, yaklaşık %47 verimle %18-19 Cu tenörlü bakır konsantresinin de elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Anahtar sözcükler: Manyetit, bakır, manyetik ayırma, flotasyon.

ABSTRACT

Through recent years, demand to reduce energy costs in iron and steel industry have triggered the need to lessen the critical limits of impurities in magnetite and iron ores. Higher targets in final product quality are pushing the boundaries of conventional process schemes and recovery becomes a problem. In this study, studies on enrichment of magnetite and copper in an iron ore of Erzincan region have been carried out. Experimental studies have aimed to obtain salable grade copper concentrate efficiently along with the magnetite product. In this context, after detailed mineralogical characterization studies, the evaluation of the relevant ore was examined by using magnetic separation and flotation methods.

Experimental studies covered gradual magnetic separation tests at -500 µm, -300 µm and -106 µm sizes, quality enhancement tests with magnetic separation, and copper and magnetite recovery from tail and feed samples at particle sizes of -75 µm and -53 µm. While the iron content of the obtained products was sufficiently high, the results showed that the wet magnetic separation alone was not enough to produce perfectly clean products. It had also been determined that the impurities could also be further reduced by subjecting the magnetic product to bulk sulfur flotation. Additionally, the low sulfur-final concentrate obtained after flotation and magnetic separation processes was subjected to desliming process, thus lowering silica, alumina and magnesium contents in final product.

Following simulation-assisted process, flowsheet design studies were carried out using the data obtained from experimental studies. According to the results, it was possible to obtain a magnetite concentrate with 65.5-66.5% Fe-grade (87.5-86% iron

recovery) along with a salable copper concentrate having 18-19% Cu-grade (47% copper recovery).

Keywords: *Magnetite, copper, magnetic separation, flotation.*

GİRİŞ

Günümüz ağır ve metalurji sanayileri, üretim hedeflerini karşılamak için yüksek kaliteli hammaddelere ihtiyaç duymaktadır. Metalurjik hammaddeler, temelde metal içeriği endüstriyel standartlar ölçüsünde yüksek olan ve zenginleştirmeye ekonomik olarak uygun olan doğal minerallerden oluşan konsantrelerdir. Buradan hareketle maden kaynaklarının en verimli şekilde kazanımı amacıyla hem endüstri standartlarında kaliteli metalik konsantreler elde etmek, hem de mevcut cevherin barındırdığı tüm metalleri uygun yöntemlerle kazanmak zorunluluğu doğmaktadır. Bu kapsamda değerli yan ürünlerin de verimli bir şekilde eldesi önem kazanmaktadır.

Ağır ve metalurji sanayi endüstrilerinden özellikle demir üretimine dayalı çelik endüstrisi, maliyeti düşürmek için gittikçe artan yüksek kaliteli hammaddeler talep etmektedir (Holmes ve Lu, 2015). Nihai konsantrede alkali, alüminyum, fosfor ve sülfür safsızlıklarının oldukça kritik düzeylere çekildiği talepleri karşılamak için mineralojik olarak zorlayıcı demir cevherlerinin iyi planlanmış zenginleştirilme işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir (Lovel vd., 2015). Bununla birlikte cevherin bünyesinde değerli sülfür minerallerinin de bulunması ve serbestleşme sorunlarının da mevcut olması durumunda zenginleştirme işleminde ultra-ince boylara inilmesi zorunluluğu doğmaktadır. İnceliğin yeterli olması durumunda geleneksel gravite yöntemleri, manyetik ayırma, flotasyon ve seçimli flokülasyon yöntemleri ayrı ayrı veya kademeli olarak demir zenginleştirilmesinde uygulanabilmektedir (Rousseau, 1987; Napier-Munn, 2005; Gupta ve Yan, 2016a; Gupta ve Yan, 2016b; Gupta ve Yan, 2016c).

Manyetik ayırma, manyetik alınganlığı yüksek demir cevherlerinin manyetik özellikte olmayan alkali ve silikatlı safsızlıklardan ayrılmasının en etkin yoludur (Clout ve Manuel, 2015; Ezhov ve Shvaljov, 2015; Xiong vd., 2015; Quast, 2018). Demir cevherinin türü, yapı-doku özellikleri, mineralojisi, sınıflandırılması ve bunların fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilişkileri zenginleştirme stratejisinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Clout ve Manuel, 2015). Buradan hareketle cevhere özgü,

yüksek veya düşük alan şiddetlerinde, yaş veya kuru uygulanacak olan kademeli manyetik ayırma testleri tasarlanmaktadır.

En yaygın demir cevheri türleri manyetit ve hematittir (Haldar ve Tisljar, 2014). Hematit cevheri doğrudan metalurjik işlemlere tabi tutulmadan önce genellikle -30+10 mm (fındık) ve -10 mm (toz) olarak sınıflandırılır (Mare vd., 2015). Bu boylarda ürün eldesi amacıyla kırma ve eleme işlemleri uygulanır. Manyetit cevheri ise bünyesindeki silis matrislerinin ve diğer safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla mikron boylarında zenginleştirilir (Jankovic, 2015). Bununla birlikte manyetik alınganlığı daha düşük hematit ve limonit cevherlerinin mineralojik ve proses kaynaklı gerekçelerle mikron boyutunda yüksek alan şiddetli manyetik ayırma ile zenginleştirildiği örnekler de mevcuttur (Song vd., 2002). Manyetitten farklı olarak limonit ve hematitin manyetik ayırma işlemi, sodyum oleat ile floküle edilen malzeme kullanılarak gerçekleştirilir.

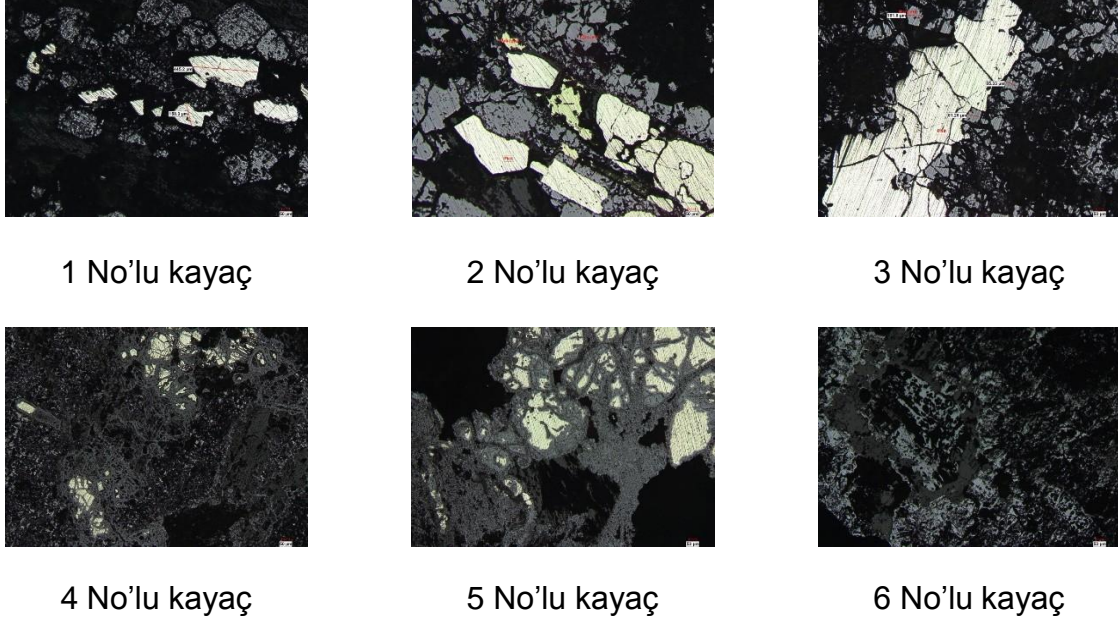
30 mikron seviyelerine kadar inmenin normal bir prosedür olduğu manyetik ayırma ile manyetit kazanımı, safsızlıkların değerli metal ve elementler içerdiği cevherleşmelerde dikkatli bir mineralojik çalışma gerektirmektedir. Nadir toprak elementlerinin kazanımında manyetik ayırma ve flotasyonun birlikte kullanıldığı zenginleştirme yöntemlerine benzer şekilde, manyetitin sülfürlü bileşenlerinin değerli metaller içerdiği durumlarda fiziksel ve yüzey kimyasına dayalı karma akım şemalarının tasarlanması önem kazanmaktadır (Xionga vd., 2018). Bu amaçla manyetik ayırmanın flotasyon ile entegre edildiği kontrollü akım şemaları kullanılarak gerek atıktan değerli metallerin kazanılması, gerekse manyetik ayırma konsantresinin temizlenmesi mümkün olmaktadır (Xiong vd., 2015; Wang vd., 2018).

Bu çalışma kapsamında bünyesinde sülfür, alüminyum, fosfor ve silis gibi matris düzeyinde safsızlıklar ile yer yer pirit oluşumları ve kalkopirit minerali barındıran bir manyetit cevherinin zenginleştirilebilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda detaylı mineralojik karakterizasyon çalışmalarını takiben, cevher yapısına ve tane boyuna bağlı olarak en uygun manyetik ayırma ve flotasyon koşulları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ilgili manyetit cevherinin ekonomik olarak zenginleştirilebileceği bir tesis tasarlanmıştır.

NUMUNE KARAKTERİZASYON VE HAZIRLAMA ÇALIŞMALARI

Bu makale kapsamında BİLFER Madencilik ve Turizm A.Ş.'ye ait (Bizmişen) bakır içeren kompleks yapıdaki manyetit cevherinin zenginleştirilebilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere sondaj çalışmalarından elde edilmiş olan karotlardan kompozit ve temsili bir numune hazırlanmıştır. Yapılan kimyasal analizler sonucunda cevherin ortalama demir ve bakır içeriğinin sırasıyla %46-48 Fe ve %0.10-0.13 Cu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte sülfür, alüminyum, fosfor ve silis içeriklerinin yaklaşık olarak sırasıyla %1-2 S, %2-3.5 Al₂O₃, %0.02 P, %12.5-15 SiO₂ arasında olduğu belirlenmiştir.

Karakterizasyon çalışmaları kapsamında karot numunelerinden el örnekleri seçilmiştir. El örnekleri farklı yapı ve dokuların tanımlanması amacıyla mikroskop altında incelenmek üzere kullanılmıştır (Şekil 1). Şekil 1'de görüldüğü üzere cevher çoğunlukla manyetitten oluşan, mika, feldspatlar, kil ve sülfür minerallerini içeren bir yapıya sahiptir. Cevher, yapısal olarak yüzeyi temiz ve yer yer ince boyda alümina ve alkali (Al, Ca, Mg, K ve Na) geçişlerine sahip manyetit tanelerinden oluşmaktadır. Manyetit genel olarak iri tane boylarında bulunmaktadır. Ayrıca pirit oluşumları ile birlikte bakır minerali olarak kalkopirite rastlanmıştır. Manyetit yanında bozunma ürünü olan martitleşme de gözlenmektedir. Yan kayaç minerallerinden olan kuvars bazen masif bazen de cevher mineralleri arasında matriks yapıda bulunmaktadır. El örneklerindeki cevher minerallerini mikroskop altında daha iyi görebilmek için bu örneklerin Struers Mineralojik Kesit Parlatma cihazında parlak kesitleri hazırlanmıştır. Parlak kesitler üstten aydınlatmalı metalografik mikroskopla incelenmiştir. Elde edilen görüntülerde cevher minerali olarak çoğunlukla manyetit, pirit ve kalkopirite rastlanmıştır.



Şekil 1. Karot numunelerinden alınan altı farklı parlak kesit numunesinin genel görünümü.

Figure 1. Overview of six different surface-polished section samples taken from core samples.

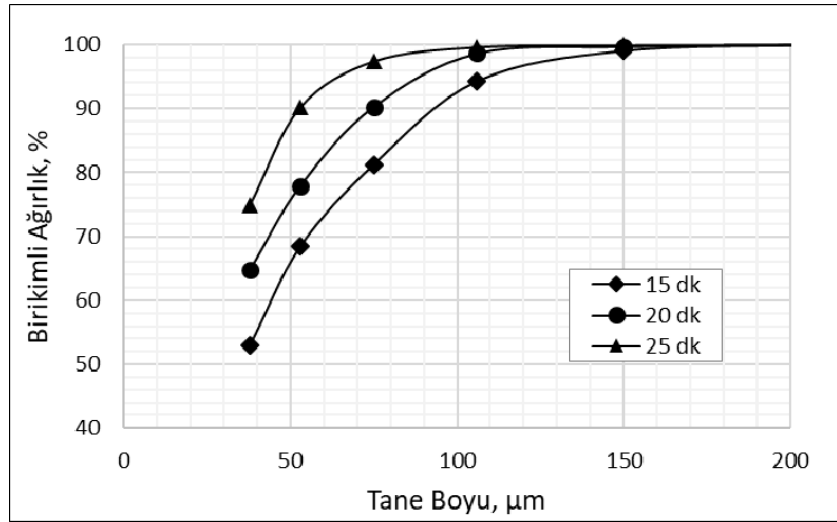
Şekil 1'de verilen parlak kesitler detaylı incelendiğinde;

- 1 No'lu kayacın parlak kesit görüntüsünde yan kayaç matriksi içine dağılmış olan pirit ve manyetit mineralleri görülmektedir. Bu görüntüde minerallerin tane büyüklüğü 150-500 μm aralığında değişmektedir.
- 2 No'lu kayaç örneğinde manyetit ve pirit damarları arasında kalkopirit minerali görülmektedir. Özellikle kalkopiritin 106 μm 'den daha iri tane büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Diğer minerallerle olan yapı-doku ilişkisi incelendiğinde bu minerale ilişkin serbestleşme problemiyle karşılaşılmayacağı öngörülebilir. Fakat bakırdaki oksidasyonun nihai bakır verimi üzerinde etkili olabilmesi mümkündür.
- 3 No'lu kayaç örneğinin parlak kesit görüntüsünde yine ana cevher minerali olarak manyetit ve piritin olduğu görülmektedir. Pirit çatlaklı yapıdadır. Manyetit ise yaklaşık 106 μm 'nin altındaki tane boylarında, pirit damarı etrafında matriks minerali içinde dağılmıştır. Matriks mineralinin (silikatlar) manyetit taneleri arasındaki ince sokulumları bu yapının serbestleşme sorunu çıkartacağına önemli bir göstergesidir.

- 4 No'lu kayaç örneğinin parlak kesit görüntüsünde diğer kayaç örneklerine göre daha farklı bir yapı-doku örneği mevcuttur. Pirit minerali manyetit mineralinin içindeki boşluklarda büyüme göstermektedir. Manyetit minerali diğer kayaç örneklerinden farklı olarak birbirinden bağımsız taneler halinde olmayıp birbirine bağlı bir ağ yapısı sergilemektedir. Bu yapı da ince boyda serbestleşme gerekliliğini işaret etmektedir.
- 5 No'lu kayaç örneği de 4 No'lu kayaç örneğine benzer yapıdadır ve manyetit içinde pirit büyümeleri görülmektedir. Kayacın bazı kesimleri cevher minerali olarak sadece manyetitten oluşmaktadır. Pirit çok az miktarda ve ince boyda dağılmış durumdadır. Özellikle nihai üründeki kükürt içeriğinin düşürülmesine yönelik olarak manyetit içindeki pirit kapanımlarının serbestleştirilmesi gerekmektedir. Bu da ince boylara öğütme ile olabilir. Özellikle bazı pirit kapanımlarının boyu 50 μm 'nin de altında görülmektedir. Bu da cevherin zenginleştirme testleri sonunda elde edilecek nihai ürüne bakılarak öğütme boyunun daha ince boylara indirilmesini gerektirebilir.
- 6 No'lu kayaç örneğinde manyetit minerali yan kayaçla birlikte görülmektedir. Cevherde manyetit oldukça iri tane boyuna sahip olmakla birlikte, bazı numunelerde ince pirit kapanımları ve doku içine girmiş silikatlı mineraller görülmektedir. İri (500 μm) boylarda zenginleştirme yapılabilir. Fakat cevherin içerdiği ince boylardaki pirit nedeniyle nihai ürünün kükürt içeriği hedef değerlerin üzerinde kalabilir. Bu nedenle ince boylara öğütme yapılarak manyetit konsantrasyonunun bu boylarda üretilmesi gerekebilir. Bazı boylarda özellikle silikatlı yan kayaçla dokunaklı bölgelerde alterasyon ve manyetit dışındaki demirli mineral yapısı mevcuttur. Buralarda killeşmeye benzer yapılar da görülmektedir. Bu durum nihai manyetik üründe alümina içeriğini artırabilir. Bozunma ürünleri dikkat çekicidir. Martitleşme düşük alan şiddetli manyetik ayırma ile yapıdaki tüm demirin kazanılmasına izin vermeyecek şekilde dağılım göstermektedir. Bozunma ürünü olması nedeniyle killeşme de bu yapıda sorun oluşturabilir.

Karakterizasyon çalışmalarının devamında, cevherin öğütülmesine yönelik olarak laboratuvarında Bond İş İndeksi belirleme testi gerçekleştirilmiştir. Standart Bond değirmeni kullanılarak yapılan testte manyetit numunesine ait iş indeksi değeri, 9.70 kWh/t olarak hesaplanmıştır. Serbestleşme verileri cevherin iri boyda zenginleştirilmesinin mümkün olmadığını ortaya koymaktadır. Buradan hareketle üç

farklı süre için cevherden alınan temsili numuneler laboratuvar değirmeninde öğütülmüş ve elde edilen tane boyu dağılımları Şekil 2’de verilmiştir. Çalışmanın devamında 25 ve 20 dk öğütme süreleri kullanılarak d_{90} boylarının sırasıyla -75 μm ve -53 μm olduğu ürünler elde edilebileceği görülmektedir. Bunlara ek olarak yine mineralojik serbestleşme verilerden yola çıkılarak d_{100} boylarının -500 μm , -300 μm ve -106 μm olduğu numuneler hazırlanmıştır. Her ne kadar mineraloji ince boyda serbestleşme göstermiş olsa da özellikle iri boylardan başlanarak zenginleştirme yapıp yapılamayacağını da deneysel çalışmalar kapsamında ayrıca incelenmesi planlanmıştır. Çizelge 1’de -500 μm , -300 μm ve -106 μm öğütme boyları için satmagan (*Saturation Magnetization Analyzer*) cihazı ile belirlenmiş olan



Şekil 2. 15, 20 ve 25 dakika öğütme sonucunda elde edilen tane boyu dağılımları.

Figure 2. Particle size distributions obtained after 15, 20 and 25 min grinding operations.

boyları için satmagan (*Saturation Magnetization Analyzer*) cihazı ile belirlenmiş olan manyetit (Fe_3O_4) içeriği ve %Fe içerikleri verilmektedir. Çizelge 1’de görüldüğü gibi demirli bileşenlerin tamamı manyetit değildir. Manyetit kaynaklı Fe miktarı kimyasal analizle ölçülmüş olan Fe miktarından küçüktür. Bu da cevherdeki Fe’nin tamamının manyetit kaynaklı olmadığını göstermektedir. Bu durum deneysel tasarım aşamasında göz önünde tutulması gereken diğer önemli bir noktadır.

Farklı inceliklere öğütülmüş besleme	Manyetit %	% Fe	% Cu
-500 µm	47.8	46.33	0.11
-300 µm	48.8	46.93	0.12

Çizelge 1. Cevherin manyetit içeriği ve % Fe içerikleri.

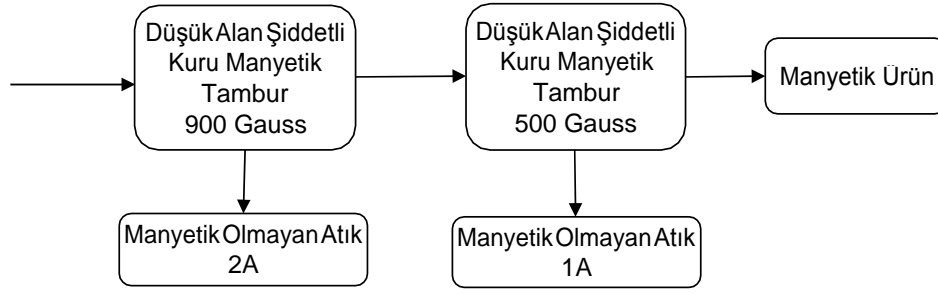
Table 1. % Magnetite and Fe contents of the ore.

DENEYSEL YÖNTEM

Deneysel çalışmalar kapsamında cevherin genel yapısına bağlı olarak, manyetit cevherinden ince boyda manyetit ve flotasyon ile bakır ürünü alınması, aynı zamanda da alkali ve alümina gibi safsızlıkların da uzaklaştırılmasına yönelik test çalışmaları planlanmıştır. Zenginleştirme deneylerinde kullanılacak deneysel yöntem, mineralojik veriler ve cevherin serbestleşme davranımı göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bu kapsamda farklı sondaj karotlarından alınan ocak numunesi -10 mm'ye kırılmış ve temsili numune gruplarına ayrılmıştır. Öncelikle bir grup temsili -10 mm numune iri boyda atık (gang) minerallerinin uzaklaştırılabilirliğini incelemek amacıyla, düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma testlerine (cobbing) tabi tutulmuştur. Devamında, belirlenen tane boylarına öğütülen numunelerle nihai ürünlerdeki kayıplar göz önünde bulundurularak düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testleri, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma testleri ve nihai kalite artışına yönelik yaş manyetik ayırma ve flotasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ilgili cevherin en yüksek verimle zenginleştirilebileceği bir akım şeması tasarlanmıştır.

Manyetik Ayırma Testleri

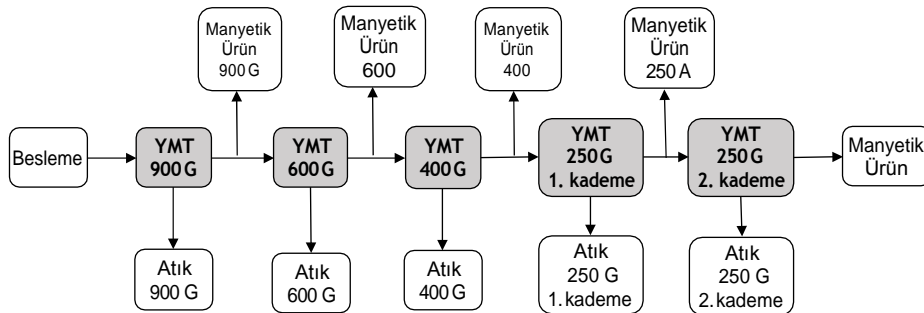
Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma testlerinde orijinal sondaj karotları -10 mm tane boyuna indirilerek iki kademeli olarak temizlenmiştir. Bu kapsamda Şekil 3'de verilen akım şeması doğrultusunda düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile 900 Gauss ve takiben 500 Gauss alan şiddetlerinde testler gerçekleştirilerek manyetit içeriği yüksek bir ürün alınması hedeflenmiştir.



Şekil 3. -10 mm'ye kırılmış numune ile yapılan düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma (cobbing) testleri şematik görünümü.

Figure 3. Schematic view of low intensive dry magnetic separation (cobbing) tests performed with -10 mm crushed sample.

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testleri kapsamında, mineralojik veriye uygun olarak -500 μm , -300 μm ve -106 μm tane boylarında üç farklı numune grubu hazırlanmıştır. Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla tambur tipi bir yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Şekil 4'de üç farklı incelikte öğütülmüş malzemeye uygulanmış olan yaş manyetik ayırma testlerinin şematik olarak görünümü verilmektedir. Yaş manyetik ayırma testlerinde besleme numunesi öncelikle 900 Gauss alan şiddetinde zenginleştirilerek bir atık atılmış ve alınan manyetik ürün 600 Gauss alan şiddetinde tekrar temizlenmiştir. Yine 600 Gauss'da alınan manyetik ürünün sırasıyla 400 Gauss alan şiddetinde bir defa ve 250 Gauss alan şiddetinde iki defa olmak üzere toplam beş kademe temizlenerek nihai ürün elde edilmiştir. Her kademe atıklar ve manyetik ürünlerden numuneler alınarak analiz edilmiştir. Manyetik ayırma nihai atığı ile gerçekleştirilmesi planlanan Cu flotasyonu testlerinde kullanılmak üzere 10 kg'ın üzerinde nihai atık elde edilene kadar testlere devam edilmiştir.



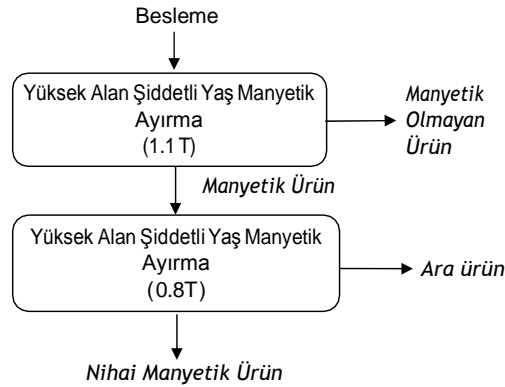
Şekil 4. Yaş manyetik ayırma testleri akım şeması (YMT: Yaş manyetik ayırma testi).

Figure 4. Flowsheet of the wet magnetic separation tests (YMT: Wet magnetic separation tests).

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma işleminde demir (% Fe) kaybı kaçınılmaz olmaktadır. Bu kayıplardan demir kazanımını incelemek amacıyla düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma sonrasında manyetik olmayan kısma giden atık; yüksek alan şiddetli, yaş, matriks tipi ayırıcıyla manyetik ayırma işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma testlerinin şeması Şekil 5'de verilmektedir. Bu işlemde öncelikle alan şiddeti 1.1 T değerine ayarlanarak mümkün olduğunca demirli mineraller yakalanmaya çalışılmıştır. Daha sonra bu aşamada alınan manyetik ürün 0.8 T alan şiddetinde temizlemeye tabi tutulmuştur.

Flotasyon ile Bakır Kazanımı ve Kalite Artışına Yönelik Testler

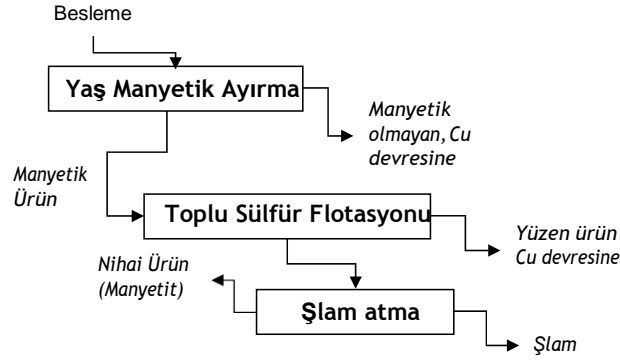
Flotasyon çalışmalarında manyetik ayırma sonrasında elde edilen konsantreden sülfürlü minerallerin uzaklaştırılması ve atıktan bakır konsantresi eldesi amaçlanmıştır. Flotasyon testlerinde Denver tipi flotasyon makinesi kullanılmıştır.



Şekil 5. Atığa uygulanan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma işlemi test şeması.

Figure 5. High-gradient wet magnetic separation test procedure applied to waste.

Kaba flotasyon aşamasında 4.5 lt hacimli hücre kullanılarak flotasyon işlemi %35 ağırlıkça katı palp yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir. Temizleme flotasyonu aşamalarında 1 lt hacimli hücreler kullanılmıştır. Uygulanması planlanan testlerin basit şeması Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. $d_{90}=75 \mu\text{m}$ ve $d_{90}=53 \mu\text{m}$ 'a öğütülmüş numunelere uygulanan testlerin şematik görünümü.

Figure 6. Schematic view of the tests applied to the samples ground to $d_{90} = 75 \mu\text{m}$.

Manyetik konsantresindeki kükürdün düşürülebilmesi amacıyla manyetik ayırma+toplu sülfür flotasyonu, $d_{90}=75$ ve $53 \mu\text{m}$ inceliklere öğütülmüş olan numunelere ayrı ayrı uygulanmıştır. Manyetik konsantrelere uygulanan toplu flotasyonda, manyetik ayırma sırasında meydana gelen yüzey oksidasyonunu azaltmak için $250\text{g/t Na}_2\text{S}$ kullanılmıştır. Toplayıcı olarak potasyum amil ksantat (KAX) ve köpürtücü olarak DOW_{250} (ppg) kullanılmıştır. Bu sayede hem bakır kaçağı hem de manyetit konsantresinin kükürt ve bakır içeriğinin azaltılması planlanmıştır. Mineralojik karakterizasyonda görüldüğü üzere killeşme cevher yapısında önemli bir etki göstermektedir. Bu nedenle flotasyondan sonra ürün içinden kabaca şlam atımı gerçekleştirilmiştir.

Ana cevher numunesi ve manyetik ayırma atık numunesi kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon testlerinde ise, cevherde bulunan bakır minerallerinin flotasyon davranımlarını incelemek amacıyla aşağıdaki parametrelerin etkisi incelenmiştir:

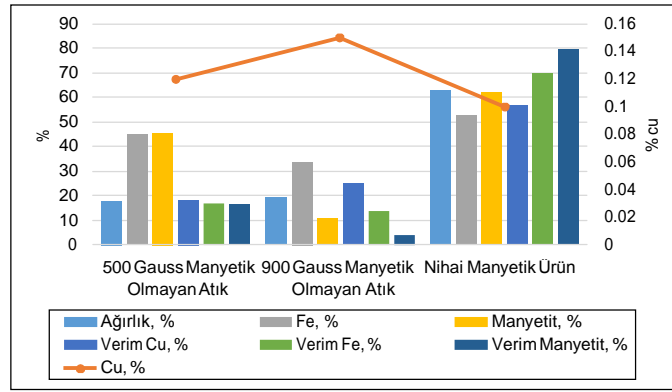
- flotasyon besleme malzemesinin inceliği
- pH
- farklı toplayıcıların etkisi
- sülfidizasyonun etkisi

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Düşük Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırma Testleri (Cobbing)

Düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma ürünlerinin demir, manyetit ve bakır içerikleri ile bunların verimleri Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere, 10

mm tane boyunda gerçekleştirilen testlerde birinci kademe %33.91 Fe içeren, ikinci kademe ise %45.02 Fe içeren atıklar ayrılabilmiş ve iki kademe sonunda alınan manyetik ürünün %52.71 Fe içerdiği tespit edilmiştir. Bu tane boyunda verim son derece düşüktür ve temiz bir atık atılamamıştır. -10 mm ile yapılan testlerde %79.32 verimle %61.70 manyetit içeren bir ürün alınabilmektedir. Özellikle 900 gauss alan şiddetinde demir kaybı %13.67 olurken, manyetit kaybı %4.2 olarak ölçülmüştür. Bu durum cevherde manyetit dışında, manyetik alınganlığı manyetite göre daha düşük başka demirli minerallerin olduğu yönündeki bulguları doğrulamaktadır. Sonuçlar iri boylarda düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma ile bir ön zenginleştirmenin mümkün olamayacağını göstermektedir. Cevherdeki bakır açısından da iri boyda bir ön zenginleştirme sağlamak mümkün olmamaktadır.



Şekil 7. Düşük alan şiddetli kuru manyetik tambur ürünlerinin özellikleri.
Figure 7. Properties of low-intensity dry magnetic separation products.

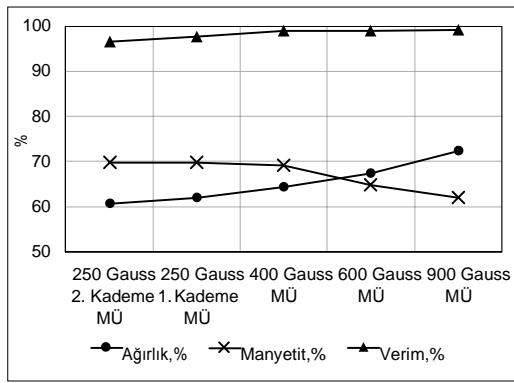
Düşük Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma Testleri

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testleri ile demir kazanımı

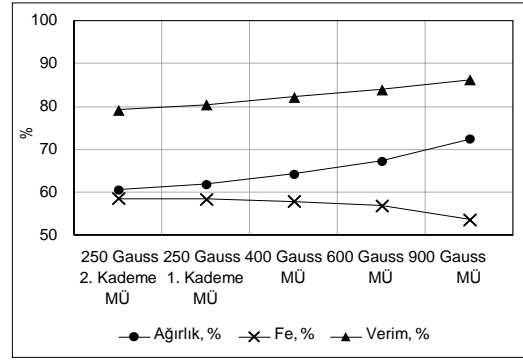
Beş kademe manyetik ayırma ile -500 µm, -300 µm ve -106 µm tane boylarına öğütülmüş numunelere ayrı ayrı uygulanan düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testlerinin demir ve manyetit içerikleri açısından sonuçları Şekil 8 a-f'de verilmiştir. Tüm testler açık devre olarak yapılmış ve temizleme atıkları da atık olarak ayrılmıştır.

Şekil 8 a ve b'de verilen -500 µm yaş manyetik ayırma ürünlerinin satmagan analizleri, manyetit içerikleri ve verimleri incelendiğinde; 900 Gauss ile yapılan birinci kademe manyetik ayırma işleminde %61.9 manyetit içeren, ağırlıkça %72.41 oranında alınan ürüne karşılık %1.2 manyetit içeren, ağırlıkça %27.59 manyetik

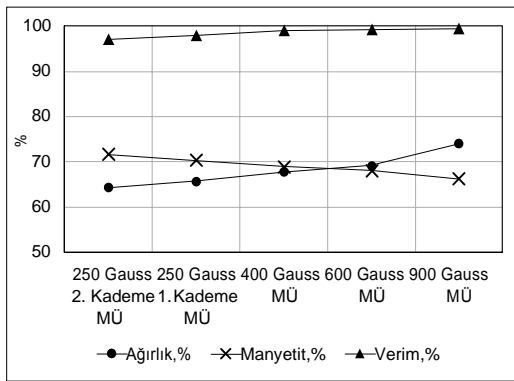
olmayan atık uzaklaştırılabildiği görülmektedir. İlk kademenin manyetik ürününü temizlemek amacıyla 600 Gauss alan şiddetinde uygulanan ikinci kademe manyetik ayırmada ağırlıkça %5.09 oranında ve %1.9 manyetit içeren bir ürün atılırken, manyetik ürünün manyetit içeriği %64.80'e yükselmektedir. Bu aşamada da önemli ölçüde safsızlık ayrılmaktadır. 600 Gauss'da manyetik ayırma işlemi takiben yapılan 400 Gauss ve 250 Gauss temizleme sonucunda %69.80 manyetit içeren manyetik ürünün %96.63 verimle alınabildiği görülmektedir. -500 µm ile yapılan test çalışması sonucunda beslemenin ağırlıkça % 60.57'sine karşılık gelen bir manyetik ürün ve her bir temizleme kademesinde alınan atıkların toplamı olan ağırlıkça % 39.43 miktarında bir manyetik olmayan ürün elde edilmiştir. Tamamı -500 µm tane boyuna indirilmiş numune ile yapılan yaş manyetik ayırma testlerinde 250 Gauss alan



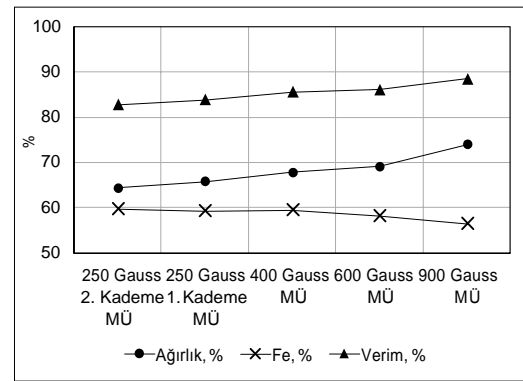
(a)



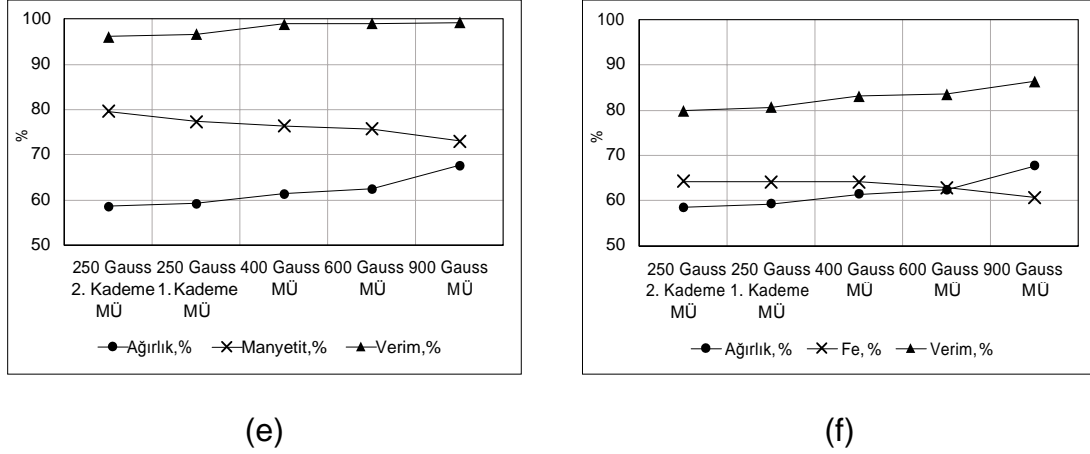
(b)



(c)



(d)



Şekil 8. -500 (a, b), -300 (c, d) ve -106 (e, f) µm tane boyu ile yapılan yaş manyetik ayırma ürünlerinin Fe ve manyetit içerikleri ve verimleri (MÜ: manyetik ürün).

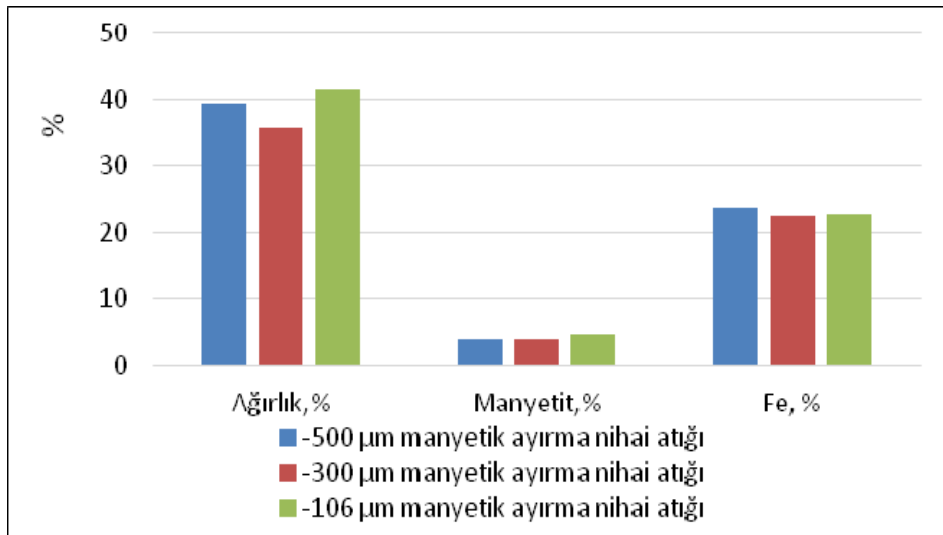
Figure 8. Fe and magnetite contents and yields of wet magnetic separation tests performed with -500 (a, b), -300 (c, d) and -106 (e, f) µm feeds (MÜ: magnetic product).

şiddetinde yapılan son kademe temizleme sonucunda %58.55 Fe içeren manyetik ürünün % 79.19 Fe verimi ile alınabildiği görülmektedir. Bu tane boyunda beslemedeki toplam demirin %20.81'i atığa gitmektedir. Manyetit verimi beş kademe temizlemeden sonra dahi %96'nın üzerinde olurken demir (Fe) açısından bakıldığında son kademe temizleme aşamasından sonra demir verimi %79.19 olarak belirlenmiştir. Bu durum geri dönecek akışlarla demir kazanımı lehinde olabilecektir. Fakat nihai ürünün Fe içeriği %58.55 değerinde kalmaktadır. Bu da impüritelerin bu boyda yeterince uzaklaştırılmadığını göstermektedir.

-300 µm inceliğe öğütülmüş numune ile yapılan manyetik ayırma test sonuçları Fe ve manyetit kazanımı açısından Şekil 8 c ve d'de incelenmiştir. Tamamı -300 µm tane boyuna indirilen numune ile yapılan yaş manyetik ayırma testlerinde 250 Gauss alan şiddetinde yapılan beşinci kademe temizleme sonucunda %71.60 manyetit içeren manyetik ürünün %97.08 verimle alınabildiği görülmektedir. -300 µm ile yapılan test çalışması sonucunda beslemenin ağırlıkça %64.31'ini oluşturan bir manyetik ürün ve her bir temizleme kademesinde alınan atıkların toplamı olan ağırlıkça %35.69 miktarında bir manyetik olmayan atık elde edilmiştir. Bu tane boyunda beslemedeki toplam manyetit %2.92'si atığa gitmektedir. Manyetit minerali kazanımı açısından sorun olmadığı görülmektedir. 250 Gauss alan şiddetinde yapılan son kademe temizleme sonucunda %59.69 Fe içeren manyetik ürünün %82.73 verimle alınabildiği

görülmektedir. Bu tane boyunda beslemedeki toplam demirin %17.27'si atığa gitmiştir. Besleme tane boyunun incilmesi ile hem verim artışı olmuş hem de %Fe tenörü artmış, yaklaşık olarak %60 değerine yükselmiştir.

-106 μm inceliğe öğütülmüş cevher ile yapılan testlerin sonuçları Şekil 8 e ve f'de verilmektedir. Tamamı -106 μm tane boyuna indirilen numune ile yapılan yaş manyetik ayırma testlerinde 250 Gauss alan şiddetinde yapılan son kademe temizleme sonucunda %79.60 manyetit içeren manyetik ürünün %96.15 verimle alınabildiği görülmektedir. -106 μm ile yapılan test çalışması sonucunda beslemenin ağırlıkça %58.51'ini oluşturan bir manyetik ürün ve her bir temizleme kademesinde alınan atıkların toplamı olan ağırlıkça %41.49 miktarında manyetik olmayan atık elde edilmiştir. Bu tane boyunda beslemedeki toplam manyetitin % 3.85'i atığa kaçmaktadır. Yine tamamı -106 μm tane boyuna indirilen numune ile yapılan yaş manyetik ayırma testlerinde 250 Gauss alan şiddetinde yapılan son kademe temizleme sonucunda %64.21 Fe içeren manyetik ürünün %79.90 verimle alınabildiği görülmektedir. Bu tane boyunda beslemedeki toplam demirin %20.10'u atığa gitmiştir. Diğer testlerde olduğu gibi bu test de açık devre olarak yapılmış yani, temizleme atıkları bir önceki kademeye devrettirilmemiştir. Burada önemli olan nokta manyetik konsantrenin demir içeriğinin %64 Fe değerinin üzerinde olmasıdır. Tüm tane boyları için, temizleme aşamalarında atıklar bir önceki aşamaya döndürülebilir. Tüm tane boylarında beslemedeki toplam manyetitin yaklaşık %3-4'ü atığa kaçmaktadır (Şekil 9).

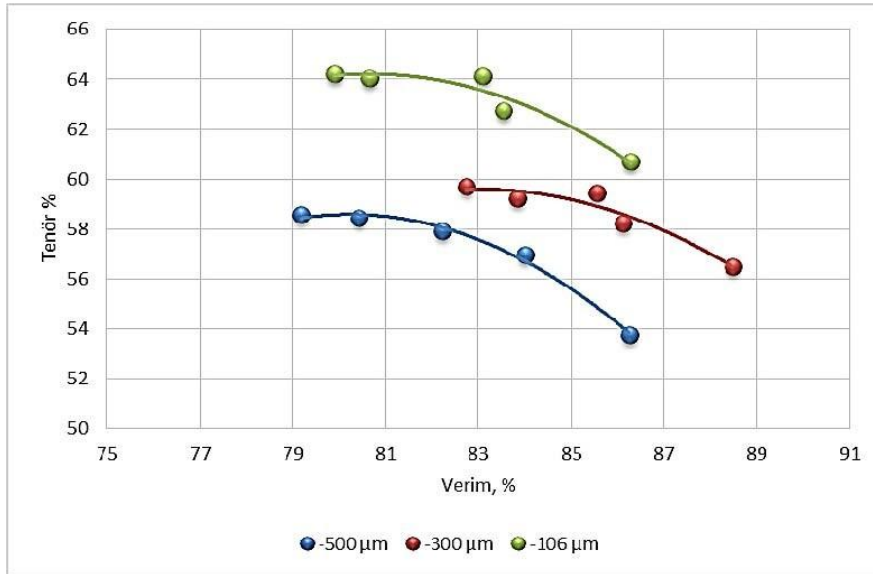


Şekil 9. Tüm tane boylarında, beslemedeki toplam manyetitin atıklara dağılımı.

Figure 9. Distribution of total magnetite to feed in all particle sizes.

Şekil 10'da verilen besleme tane boyuna bağlı tenör verim ilişkisi incelendiğinde, özellikle cevherin ince boylara öğütülmesiyle demir tenörünün önemli ölçüde artabileceği görülmektedir. Bu ilişki cevherin demir kazanımı açısından ince boylara öğütülmesi gerekliliğinin en önemli göstergelerinden birisidir. Manyetik ayırma testleri sonucunda Al_2O_3 , S, MgO gibi impüritelerin düşürülmesi için 106 μm 'den ince boylarda zenginleştirme yapılmasının uygun olduğu görülmektedir.

Nihai demir konsantresinin impürite içeriklerini incelemek amacıyla -500 μm , -300 μm ve -106 μm tane boyuna öğütülmüş olan numunelerden elde edilmiş nihai manyetik konsantrenin detaylı kimyasal analizleri yapılmıştır. Çizelge 2'de verilen bu analizler incelendiğinde nihai ürünün hem kükürt içeriği hem de alümina içeriğinin ince tane boylarında düştüğü görülmektedir. Manyetik ayırma testleri sonunda mineralojik bulgularla uyumlu test sonuçları elde edilmiştir. Cevherin 106 μm 'nin altına öğütülmesi ile nihai ürün Fe içeriği %65 gibi bir seviyeye çıkartılabilirken özellikle



Şekil 10. Farklı inceliklerde manyetik ayırma testi tenör-verim ilişkisi.

Figure 10. Magnetic separation grade-recovery relation of different particle fineness.

kükürt ve alümina içerikleri açısından sorunların bu incelikte dahi devam ettiği anlaşılmaktadır.

Nihai konsantre tane boyu	106 μ	300 μ	500 μ
Al, %	1.23	1.35	1.38
Al ₂ O ₃ , %	2.32	2.55	2.61
Fe, %	64.21	59.69	58.55
K, %	0.03	0.04	0.04
Mg, %	0.78	1.11	1.19
MgO, %	1.3	1.85	1.98
P, %	0.02	0.06	0.07
S, %	0.39	1.26	1.59
Cu, ppm	226	531	593

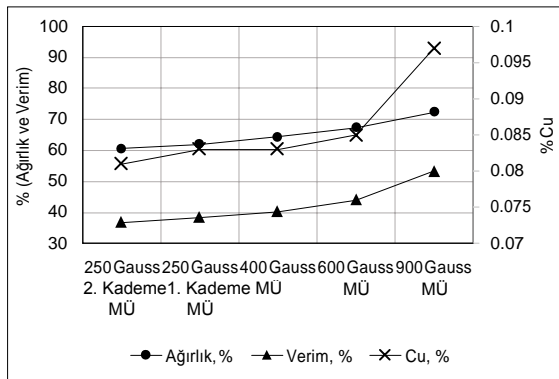
Çizelge 2. Farklı inceliklerde yapılmış olan manyetik ayırma testleri sonucu üretilen konsantrelerin genel bileşimi (-106 μ m, -300 μ m, -500 μ m).

Table 2. The general composition of the resulting magnetic separation concentrates (-106 μ m, -300 μ m, -500 μ m).

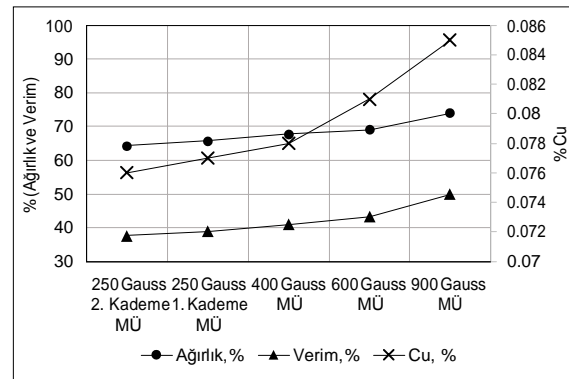
Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testleri ile bakır kazanımı

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma testlerinin bakır içerikleri açısından sonuçları Şekil 11 a, b ve c'de verilmiştir.

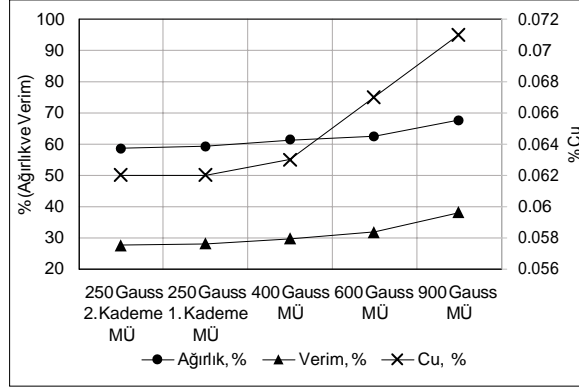
-500 μ m tane boyu ile yapılan yaş manyetik ayırma testlerinde, beslemede %0.13 değerinde olan bakır ilk kademe manyetik ayırma atığında hemen hemen iki katına çıkarak %0.223 değerine ulaşmaktadır (Şekil 11a). Manyetik ayırmanın ilk aşamasında ayrılan manyetik üründe ise bakır tenörü %0.097 değerine düşmüştür. Temizleme aşamalarında da bir miktar bakır atık akışına yönelmiştir. Bu boyda beş



(a)



(b)



(c)

Şekil 11. -500, -300 ve -106 μm tane boyu ile yapılan yaş manyetik ayırma testi ürünlerinin bakır içerikleri ve verimleri.

Figure 11. Copper contents and yields of wet magnetic separation test products performed with -500, -300 and -106 μm feed samples.

kademe temizleme sonrasında beslemedeki bakırın %63.22'si manyetik ürün içinden atığa ayrılabilmiştir.

-300 μm tane boyunda, beslemedeki bakırın yaklaşık olarak yarısı ilk aşama manyetik ayırma sonunda manyetik üründen ayrılmakta ve atığa geçmektedir (Şekil 11b). İlk aşama manyetik ayırma sonunda dahi manyetik üründe kalan bakır tenörü %0.085 seviyesinde olmaktadır. Daha sonraki temizleme aşamalarında da manyetik üründe kalan bakırın önemli bir bölümü atığa gönderilebilmiştir. Beş aşama manyetik ayırma sonunda beslemedeki bakırın %62.39'u manyetik üründen ayrılabilirken %37.61'i hala manyetik üründe kalmaktadır. Bu da manyetik üründe bakır tenörünün %0.076 seviyesinde kalmasına neden olmuştur.

Düşük alan şiddetli manyetik ayırma testlerinde besleme tane boyu -106 μm 'nin altına indiğinde, manyetik üründe kalan bakır, ayırma giren toplam bakırın %27.77'sidir (Şekil 11c). Bu durum bir önceki boyda yapılan ayırım ile kıyaslandığında tane boyu inceldikçe bakırın manyetik üründen daha etkili bir şekilde ayrılabilceğini göstermektedir. Beslemedeki bakırın %72.23'ü manyetik ayırma devresi atık akışına geçmiştir. Buna rağmen bu boyda dahi nihai manyetik ürünün içinde %0.062 seviyesinde bakır kalmaktadır.

Manyetik ayırma işlemi ile cevher içindeki Cu içeriği yaklaşık %0.13 değerinden %0.23 değerine kadar çıkartılabilmektedir. Ağırlık olarak değerlendirildiğinde cevherin

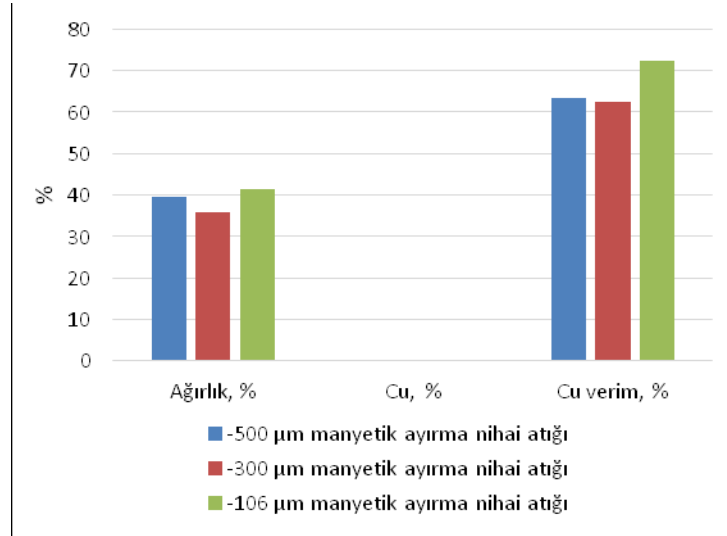
%60 düzeyinde manyetik ürüne ayrılacağı göz önüne alınırsa, toplam beslemenin ağırlıkça %40'ından fazlası bakır içeriği açısından orijinale göre iki kat daha zengin olarak bakır flotasyon devresine verilebilir.

Sonuçlar, manyetik ayırma atığının bakır flotasyonuna tabi tutulması ve hatta manyetit konsantrasyonunun de tekrar bakır flotasyonuna tabi tutulması gerektiğini göstermiştir. Bu şekilde hem manyetik ürüne kaçan bakır belirli oranlarda kazanılabilir, hem de nihai manyetik ürünün kükürt içeriği biraz daha düşürülebilir. Bu nedenle nihai manyetik konsantrasyonuna toplu sülfür flotasyon testleri uygulanmıştır. Daha ince boylara inilmesinin hem demir devresinde hem de bakır devresinde performans artışına neden olabileceği göz önüne alınarak daha ince boylarda flotasyon çalışmalarına devam edilmiştir.

Tüm tane boylarında, beslemedeki toplam bakırın atığa kaçan miktarları Şekil 12'de verilmektedir.

Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırma ile Kalite Artırmaya Yönelik Testler

Düşük alan şiddetli manyetik ayırma işleminde demir (Fe) kaybı %15-20 arasında olmaktadır. Bu kayıp, sadece demir oksitler yüzünden değil aynı zamanda atığa giden pirit (FeS_2) içindeki demirden de kaynaklanmaktadır. Bu kayıplardan demir kazanımını incelemek amacıyla düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırma sonrasında manyetik olmayan kısma giden atık yüksek alan şiddetli, yaş, matriks tipi ayırıcıyla manyetik ayırma işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan testin şeması Şekil 13'de verilmektedir. Bu işlemde yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıya giren malzemenin (düşük alan şiddetli manyetik ayırma atığı) ağırlıkça %58.06'sı ürün olarak alınabilmiştir (Çizelge 3). Bu ürün 0.8 T gibi görece düşük bir alan şiddetinde temizleme aşamasında alınmasına rağmen SiO_2 içeriği %15.98, Al_2O_3 içeriği %4.00 gibi oldukça yüksek değerlerde kalmaktadır. Demir içeriği ise %36.46 olarak orijinal cevher beslemesinin de altında kalmaktadır. İki aşama yüksek alan şiddetli manyetik ayırma işleminde dahi bu değerlere ulaşılabilmesi, düşük alan şiddetli manyetik ayırma atığının da bulunan demirin satılabilir bir şekilde kazanılamayacağını göstermektedir.



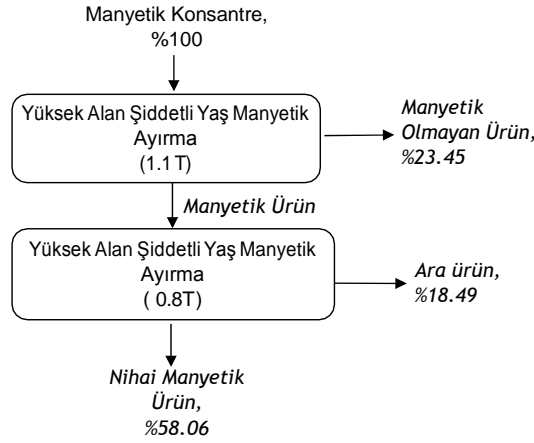
Şekil 12. Tüm tane boylarında, beslemedeki toplam manyetitin atıklara dağılımı.

Figure 12. Distribution of total magnetite from feed to in all particle sizes.

	Atıktan ayrılabilen nihai manyetik ürün
Miktar %	58.06
% Fe	36.46
% SiO ₂	15.98
% Al ₂ O ₃	4.00
% CaO	8.80
% MgO	5.33
% K ₂ O	0.17
% Na ₂ O	0.03
% P	0.21
% S	1.63
% Cu, ppm	1120

Çizelge 3. Atığa uygulanan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma işlemi sonucu alınan ürünün kimyasal içeriği.

Table 3. Chemical content of the product obtained after high intensity wet magnetic separation applied to the waste.



Şekil 13. Düşük alan şiddetli manyetik ayırma atığına uygulanan yüksek alan şiddetli manyetik ayırma işlemi sonucunda alınan ürünler.

Figure 13. Products of high intensity magnetic separation applied to low intensity magnetic separation products.

Bakır Kazanımı ve Kalite Artışına Yönelik Flotasyon Testlerinin Sonuçları

Manyetik ayırma testlerinde -106 μm incelikte dahi nihai ürünün kükürt içeriğinin %0.38 seviyesinde kaldığı görülmektedir. Bu sebeple manyetik ayırma ürünü ile toplu sülfür flotasyonu testleri gerçekleştirilmiştir. Manyetik konsantrelere uygulanan toplu flotasyon sonuçları Çizelge 4'de verilmektedir. $d_{90} = 75 \mu\text{m}$ ve $53 \mu\text{m}$ inceliklere öğütülmüş olan numunelere ayrı ayrı uygulanan flotasyon sonucunda manyetik konsantrenin bakır içeriği %0.01 Cu değerine kadar azaltılabilmektedir. Manyetik konsantresindeki bakırın %44'ü, %0.37 tenörlü bir konsantre olarak ayrılabilir.

	$d_{90} = 75 \mu\text{m}$			$d_{90} = 53 \mu\text{m}$		
	Yüzen Ürün 1	Yüzen Ürün 2	Manyetik Konsantre	Yüzen Ürün 1	Yüzen Ürün 2	Manyetik Konsantre
% Ağırlık	1.85	0.55	97.6	1.27	0.34	98.39
% Cu	0.37	0.37	0.01	0.28	0.16	0.01
% Cu verim	34.29	9.98	55.74	27.26	4.22	68.53
% Birikimli Cu	0.37	0.37		0.28	0.26	
% Birikimli Cu verim	34.29	44.26		27.26	31.47	

Çizelge 4. $d_{90} = 75 \mu\text{m}$, $d_{90} = 53 \mu\text{m}$ incelikler için manyetik ayırma + flotasyon + şlam atma test sonucu bakır kazanımı.

Table 4. Copper recovery test result of magnetic separation + flotation + desliming for finenesses of $d_{90} = 75 \mu\text{m}$ and $d_{90} = 53 \mu\text{m}$.

$d_{90} = 75$ ve $53 \mu\text{m}$ boylarında uygulanmış olan zenginleştirme sonucunda ürünlerin genel bileşimleri Çizelge 5'de verilmektedir. $d_{90} = 75 \mu\text{m}$ inceliğe öğütülmüş olan cevherle yapılan test sonucunda manyetik ayırma ile %65'in üzerinde Fe içeren bir konsantre elde edilmiştir. Fakat bu ürünün SiO_2 içeriği %3.04 olmuştur. Kükürt içeriği (S) ise %0.38 seviyesindedir. Bu nedenle bu ürüne toplu sülfür flotasyonu uygulanmış ve bunun sonucunda SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğinde önemli bir değişiklik olmazken kükürt içeriği %0.06 gibi satış sorunu yaratmayacak değerin altına düşürülebilmektedir. Flotasyon kükürt içeriğinde önemli oranda bir düşüş sağlamaktadır. Flotasyon sonrası manyetik konsantrede kalan silikatların uzaklaştırılması amacıyla flotasyon konsantresine şlam atımı uygulanmıştır. $d_{90} = 53 \mu\text{m}$ inceliğe öğütülmüş olan cevherle yapılan test sonucunda ana beslemenin %57.6'sı %65.86 Fe, %2.53 SiO_2 , %2.19 Al_2O_3 ve %0.02 S içeren bir ürün olarak alınabildiği görülmüştür.

	-75 μm MAK*	-75 μm MAK-FS*	-75 μm MAK-FS-ŞA*	-53 μm MAK*	-53 μm MAK-FS*	-53 μm MAK-FS-ŞA*
Ağırlık, %	61.68	58.3	57.6	59.39	55.9	55.2
% Fe	65.61	65.45	65.86	65.7	65.6	66.47
% SiO_2	3.04	3.17	2.53	2.28	2.3	1.44
% Al_2O_3	2.01	2.08	2.19	1.6	1.62	1.46
% CaO	1.22	1.26	1.1	0.81	0.83	
% MgO	1.07	1.11	1.2	0.9	0.99	0.75
% Mn	0.12	0.14	0.11	0.13	0.14	
% K_2O	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	
% Na_2O	0.062	0.063	0.05	0.07	0.061	
% P	0.022	0.019	0.01	0.011	0.007	
% S	0.38	0.06	0.02	0.19	0.11	0.02
% Cu	0.015	0.015	0.011	0.009-0.01	0.008	

Çizelge 5. $d_{90}=75$ ve $-53 \mu\text{m}$ manyetik ayırma+flotasyon+şlam atma test sonucu.

Table 5. Overall test result of magnetic separation + flotation + desliming for finenesses of $d_{90} = 75 \mu\text{m}$ and $d_{90} = 53 \mu\text{m}$.

$d_{90}=75 \mu\text{m}$ tane boyunda şlam atma işleminden sonra dahi elde edilen nihai ürünün Al_2O_3 ve MgO içeriği sırasıyla %2.19 ve %1.20 düzeyinde kalmaktadır. Ayrıca manyetik ayırma atıklarına bu boyda ($d_{90}=75 \mu\text{m}$) uygulanan bakır flotasyonu testlerinde konsantre verim ve tenörünün düşük olması nedeniyle daha ince boyda bakır kazanımını tespit etmek amacıyla cevher $d_{90}=53 \mu\text{m}$ 'a öğütülmüştür. $d_{90}=53 \mu\text{m}$ inceliğindeki cevhere de beş kademe yaş manyetik ayırma uygulandıktan sonra elde

edilen manyetik konsantreye toplu sülfür flotasyonu uygulanmıştır. Buradan elde edilmiş olan ürünün de şlamı uzaklaştırılarak nihai manyetik ürün alınmıştır. Temizleme atıkları sisteme geri döndürülmemiştir. Nihai üründe demir içeriği %65'in üzerine çıkarken kükürt içeriğinin de %0.1'in altına düşürülebildiği görülmüştür.

Bu sonuçlar doğrultusunda cevherden manyetik ürün elde edilebilmesi amacıyla öğütme inceliğinin (d_{90}) $53\mu\text{m}$ olacak şekilde ayarlanması nihai ürün kalitesi açısından önem taşımaktadır. Hem bakır kaçağı hem de manyetit konsantrisinin kükürt ve bakır içeriği önemli oranda azaltılabilmektedir. Mineralojik karakterizasyon bölümünde bahsedildiği gibi killeşme cevher yapısında önemli bir etki göstermektedir. Bu nedenle manyetik ayırmayı takip eden flotasyon sonunda üründe bir miktar kil kalmış ve bu da nihai ürünün Al_2O_3 içeriğinin yüksek kalmasına neden olmuştur. Bu nedenle flotasyondan sonra ürün içinden kabaca şlam atımı şeklinde killer uzaklaştırılmıştır.

Bakır kazanımına yönelik testler ise orijinal cevher numunesi ve manyetik ayırma atık numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu testler kapsamında pH, tane boyu, toplayıcı karışımları ve sülfidizasyonun bakır kazanımı üzerine etkileri incelenmiş ve cevher için ideal bakır kazanımı devresinin tanımlanması amaçlanmıştır.

Seçimli bakır flotasyonu için yaygın olarak kullanılan üç toplayıcının flotasyon performansına etkileri incelenmiştir. Bu toplayıcılar; Aerophine 3418A (dithiofosfin), Aero9863 (thionocarbamat), Aero3477 (dithiofosfat) olarak seçilmişlerdir. Bu toplayıcılara ek olarak, seçimliliği göreceli olarak daha düşük ancak kuvvetli bir toplayıcı olan KAX (potasyum amil ksantat) diğer toplayıcılarla karışım halinde kullanılmıştır. Toplayıcıların flotasyon performanslarının karşılaştırması kaba flotasyon verim ve tenörü üzerinden yapılmıştır (Çizelge 6). Elde edilen konsantrelerin tenör değerleri benzer olmasına karşın, en yüksek verim değeri Aero3477+KAX karışımı ile elde edilmiştir.

	Cevher Numunesi			Manyetik Ayırma Atık Numunesi	
	3418A	Aero9863	Aero3477+KAX	3418A	3418A+KAX
% Ağırlık	5.85	6.3	6.66	12.22	13.17
% Cu	0.97	0.98	0.93	1.07	1.01
% Cu verim	56.86	57.49	59.78	57.45	56.1

Çizelge 6. Toplayıcı türü ve karışımlarının bakır flotasyonuna etkisi.

Table 6. Effect of collector species and mixtures on copper flotation.

$d_{90}=106 \mu\text{m}$ ile $d_{90}=53 \mu\text{m}$ arasında olduğunda, flotasyon besleme inceliğinin flotasyon performansına önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Her üç tane boyunda da yaklaşık %1 Cu tenörlü kaba flotasyon konsantresi %56-57 verimle elde edilmiştir. Konsantreye taşınan malzemenin ağırlık verimi -106 μm tane boyunda %12.22, diğer boylarda ise %5.5-6 civarında olmuştur. Bu durum, -106 μm deneyinde manyetik ayırma atığı, diğer deneylerde ise cevher numunesinin flotasyon beslemesi olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Cevherin bakır içeriği (%0.1 Cu) çok düşük olduğundan, cevherin doğal pH'sında toplu sülfür flotasyonu yapılarak flotasyon verimi yükseltilmeye çalışılmıştır. Elde edilen kaba flotasyon konsantresi pH 11.5-12'de temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu deneye alternatif olarak, kaba flotasyon aşamasında pH 11.5-12 değerine kireç ile yükseltilecek seçimli bakır flotasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar flotasyon performansının her iki pH değeri için benzer olduğunu göstermiştir.

Çizelge 6'da görüldüğü üzere bakır veriminin en iyi koşullarda %60 civarında olması, uzun süre bekletilmiş karot numunelerinden hazırlanan test numunesinin belli bir oranda oksitlenmiş olabileceği ihtimalini ortaya koymuştur. Oksitlenmiş sülfürlü mineral yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla 250 g/t Na_2S öğütme aşamasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar sülfidizasyonun hem konsantre tenörü hem de verimini belli bir ölçüde artırdığını göstermiştir. Ancak, verim değeri %61 değerine kadar artırılabilmiştir.

Gerçekleştirilen tarama deneylerinin ve kullanılan kimyasalların malzeme üzerindeki etkilerinin sonuçlarına dayanarak, akım şemasını geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan deneylerde kaba flotasyon, süpürme flotasyonu ve temizleme flotasyonu aşamaları uygulanmıştır. Öncelikli olarak gerçekleştirilen baz koşullardaki (orijinal cevher ile gerçekleştirilen) 1 Numaralı Cu flotasyonu testinde, cevherde bulunan kilin flotasyona olumsuz etkisini gidermek amacıyla öğütme aşamasında değirmene 1 kg/t Na-Silikat eklenmiştir. Öğütme işlemi doğal pH'da (pH=8), kaba flotasyon ise pH=11'de gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı olarak Aero3477+KAX karışımı kullanılmıştır. Kaba flotasyon konsantresi üç aşama temizleme flotasyonuna tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlarda kaba flotasyon bakır

verimi %55 civarında olduğu ve üç kademe temizleme sonrasında yaklaşık %12 Cu tenörlü bakır konsantresi elde edilebildiği görülmüştür. Cevherin bakır içeriği %0.1 Cu gibi düşük bir değerde olduğundan, 3 kg besleme malzemesinden üçüncü temizleme konsantresinde yalnızca 2.6 gr malzeme elde edilebilmiştir. Bu sebeple laboratuvar ölçekli deneylerde temizleme flotasyonunda aşama sayısının ve konsantre tenörünün artırılması 1 Numaralı test kapsamında mümkün olmamıştır. Fakat bu test kapsamında toplam bakır verimini artırmak amacıyla ek toplayıcı ilavesiyle süpürme flotasyonu uygulanmış ve %5 verimle %0.57 Cu tenörlü ek bir konsantre elde edilmiştir.

Bunu takip eden 2 Numaralı Cu flotasyonu testinde bakır veriminin artırılması için öğütme aşamasında 250 g/t Na_2S eklenerek sülfidizasyon işlemi yapılmıştır. Kaba flotasyon ve temizleme flotasyonu aşamalarında da piritin daha etkin bir şekilde bastırılabilmesi için $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ilavesi yapılmıştır. 2 Numaralı testlerden elde edilen sonuçlar, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ eklemesinin konsantredeki bakır tenörünü artırdığını ancak kaba flotasyon bakır verimini düşürdüğünü göstermiştir. 2 Numaralı test kapsamında, üç aşama temizleme flotasyonu sonrasında bakır konsantresinin tenörü %14.25 Cu değerine yükseltilebilmiştir.

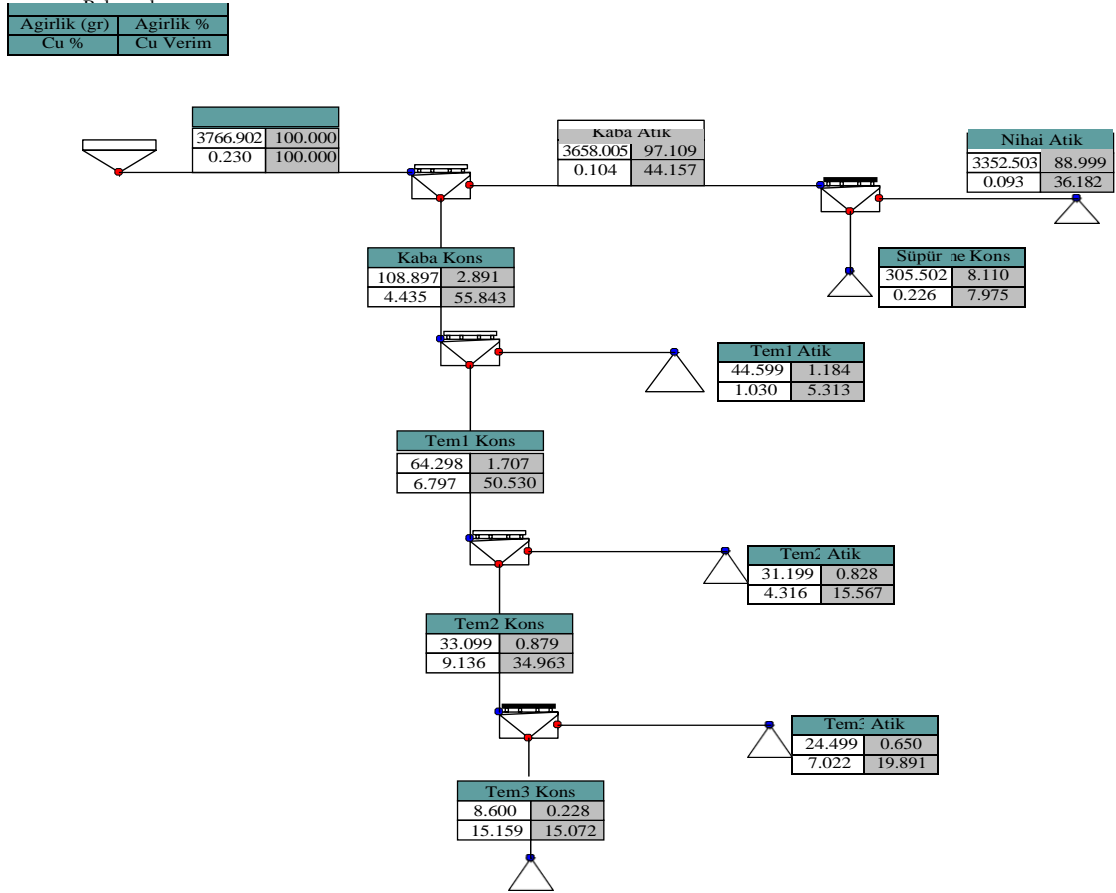
Ek olarak, 2 Numaralı testte uygulanan kimyasal koşullar kullanılarak manyetik ayırma atığı ile de Cu flotasyonu testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde iki farklı akım şeması uygulanmıştır. Bunlardan akım şemalarının ilkinde kaba flotasyon ve süpürme flotasyon konsantreleri birleştirilerek dört aşamalı temizleme flotasyonuna tabi tutulmuştur. İlk kademe temizleme flotasyonunun atığına süpürme flotasyonu uygulanarak, mümkün olan en yüksek tenörlü konsantrenin en yüksek bakır verimiyle elde edilmesine amaçlanmıştır. Bu deneyden elde edilen sonuçlarda, kaba konsantre bakır veriminin %58.5 olduğu ve bunun yaklaşık olarak %9'unun Temizleme 1 atığına kaçtığı görülmüştür. Birinci temizleme aşamasına beslenen toplam malzemenin yaklaşık olarak %50'si %0.43 Cu tenörlü atık olarak atılmaktadır. Bu malzemenin tamamını kaba flotasyon aşamasına çevirmemek için birinci temizleme atığına toplayıcı ilave edilerek süpürme flotasyonu gerçekleştirilmiştir. Temizleme-Süpürme flotasyonuna beslenen bakırın %63'ü %0.59 Cu tenörlü konsantre olarak elde

edilmiştir. Bu akım şemasında Temizleme-Süpürme konsantresi kaba flotasyon aşamasına geri çevrilirken, bakırın %3.45'ini içeren atık akışı ise nihai atık olarak devreden uzaklaştırılabilecektir.

2 Numaralı testte uygulanan kimyasal koşullar kullanılarak manyetik ayırma atığı ile gerçekleştirilen akım şemalarının ikincisinde, bakır kaba flotasyon konsantresi temizleme işlemine tabi tutulmuş ve süpürme flotasyon konsantresi kaba flotasyon devresine çevrilecek şekilde ayrı bir konsantre olarak alınmıştır (Şekil 14). Bu ikinci akım şemasında ilk temizleme flotasyonu artığına süpürme flotasyonu uygulanmamıştır. Bu akım şemasında hem ilk temizleme atık hem de süpürme konsantresi kaba flotasyon devresine geri çevrilmiştir. İkinci akım şemasına uygun testler onucunda bakır kaba flotasyon konsantresinin tenörü %4.43 Cu ile elde edilen en yüksek tenörlü konsantre olmuştur. Buna bağlı olarak, üç aşama temizleme flotasyonu sonrasında konsantre tenörü %15 Cu değerinin üzerinde olmuştur. Kaba flotasyon ve süpürme flotasyonundan elde edilen toplam bakır verimi %63.82 ile yine elde edilen en yüksek verim değeri olmuştur. Bu nedenle, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elden edilen en iyi akım şeması ve ürünlerin dağılımı ile flotasyon koşulları Şekil 14, Çizelge 7 ve Çizelge 8'de verilmiştir.

Şekil 14 ve Çizelge 7'de verilen flotasyon verileri, flotasyon devresi madde denkliği ve simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır. Kaba flotasyon ve süpürme flotasyonu aşamalarında en yüksek bakır verimi ve üç aşama temizleme flotasyonu sonrasında en yüksek konsantre tenörünün elde edildiği koşulun verileri kullanılarak, kapalı devre çalışılması durumunda elde edilecek verim ve tenör değerleri modelleme-simülasyon yardımıyla hesaplanmıştır. Madde denkliği çalışmalarından elde edilen verim ve tenör değerleri kullanılarak her flotasyon aşaması için bakır ve safsızlıkların flotasyon hız sabitleri hesaplanmıştır. Hız sabitleri ve laboratuvar deneylerinde kullanılan flotasyon süreleri baz alınarak temizleme atık akışları ve süpürme konsantresi geri çevrildiğinde elde edilecek verim ve tenör değerleri hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçları Şekil 15'deki akım şemasında verilmiştir. Akım şemasında verilen lejantın sol üst kısmı deneyde kullanılan toplam malzeme miktarını, sağ üst kısmı tonajı % bazında, sol alt kısmı bakır tenörünü ve sağ alt kısmı flotasyon

devresine beslenen malzemedeki bakır miktarına göre hesaplanmış bakır verimini göstermektedir.



Şekil 14. Elde edilen en iyi bakır flotasyon devresi.

Figure 14. Best copper flotation circuit obtained.

	Cu %	Cu Verim %
Nihai atık	0.09	36.47
Süpürme konsantresi	0.20	8.04
Temizleme 1 atık	1.02	5.28
Temizleme 2 atık	4.29	15.47
Temizleme 3 atık	6.98	19.76
Nihai konsantre	15.07	14.98
Besleme	0.23	100.00
	Cu %	Cu Verim %
Flotasyon beslemesi	0.02	81.59
Yaş manyetik ayırma atığı flotasyon şlamı	0.22	16.47
Yaş manyetik ayırma atığı kaba şlamı	0.21	1.95
Yaş manyetik ayırma atık	0.23	100.00

Çizelge 7. Cu flotasyonu çalışmalarında elde edilen en iyi deneysel sonuçlar.

Table 7. Overall best results of Cu flotation experimental.

	Na ₂ S	Na-silikat	Na ₂ S ₂ O ₅	Aero3477+KAX
Öğütme	250 g/t	1 kg/t	-	-
Koşullandırma	-	-	300 g/t	-
Kaba flotasyon	-	-	-	40 g/t
Süpürme flotasyonu	-	-	-	20 g/t
Temizleme 1	-	+	+	-
Temizleme 2	-	-	-	-
Temizleme 3	-	-	-	+

Çizelge 8. Cu flotasyonu çalışmalarında elde edilen en iyi akım şemasına ilişkin flotasyon koşulları.

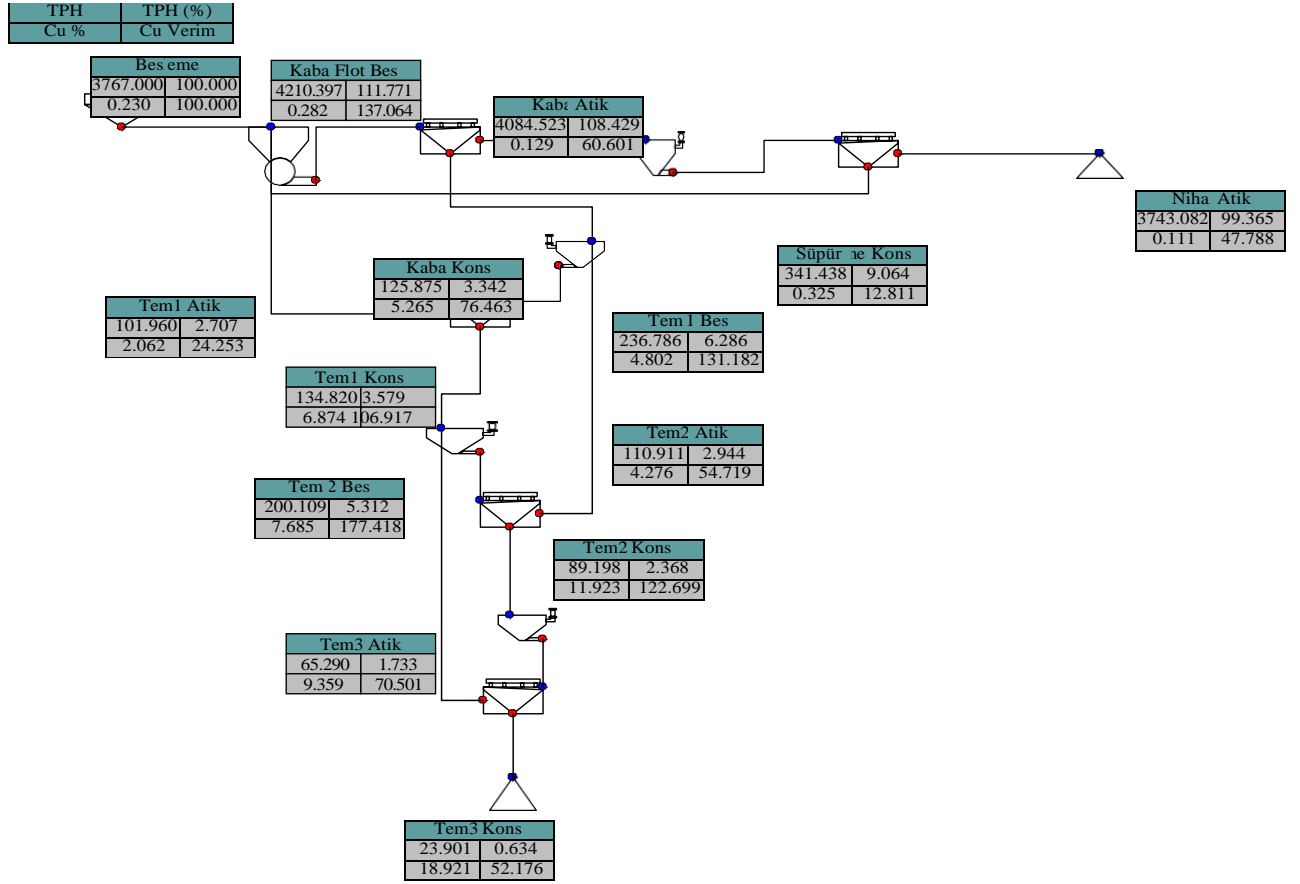
Table 8. Flotation conditions of the best Cu flotation flowsheet obtained.

Şekil 15'de görüldüğü gibi %0.23 Cu tenörlü beslemeden üç aşama temizleme flotasyonu sonrasında yaklaşık %19 Cu tenörlü bakır konsantresi %52 verimle elde edilebilmektedir. Süpürme flotasyonu konsantresi ve Temizleme 1 atık akışları kaba flotasyon kondisyonerine geri çevrilmektedir. Temizleme 2 ve Temizleme 3 aşamalarının atıkları bir önceki aşamaya geri çevrilmektedir. Temizleme flotasyonu aşamalarına daha fazla malzemenin alınabilmesi için iki deneyin kaba flotasyon konsantreleri birleştirilmiştir. Cevherde bulunan kilin flotasyona olumsuz etkisini gidermek amacıyla öğütme aşamasında değirmene 1 kg/t Na-Silikat eklenmiştir. Öğütme işlemi doğal pH'da (pH=8), kaba flotasyon ise pH=11'de gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı olarak Aero3477+KAX karışımı kullanılmıştır. Kaba flotasyon konsantresi üç aşama temizleme flotasyonuna tabi tutulmuştur.

CEVHERE ÖZGÜ AKIM ŞEMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Son olarak manyetik ayırma ve flotasyon testleri verilerine dayanarak, cevhere uygun zenginleştirme akım şeması geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tesis tasarımında, laboratuvar çalışmaları doğrultusunda öncelikle kırılmış ve öğütülmüş tuvenan cevher, azalan manyetik alan şiddetlerinde beş kademe düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırmaya tabi tutulmuştur. İlk kademe manyetik ayırıcı atığı bakır flotasyonuna gönderilirken diğer ayırıcı atıkları bir önceki kademedeki manyetik ayırıcıya beslenmektedir. Beşinci kademe manyetik ayırıcı ürünü ise toplu sülfür flotasyonuna gönderilmektedir. Simülasyon kullanılarak tasarlanan akım şeması ve akışlara dair veriler Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmektedir.

Akım şemasında toplu sülfür flotasyonu yüzen ürünü yine bakır flotasyon devresine gönderilirken, batan ürünün şlamı bir kabaran yataklı ayırıcıda atıldıktan sonra nihai

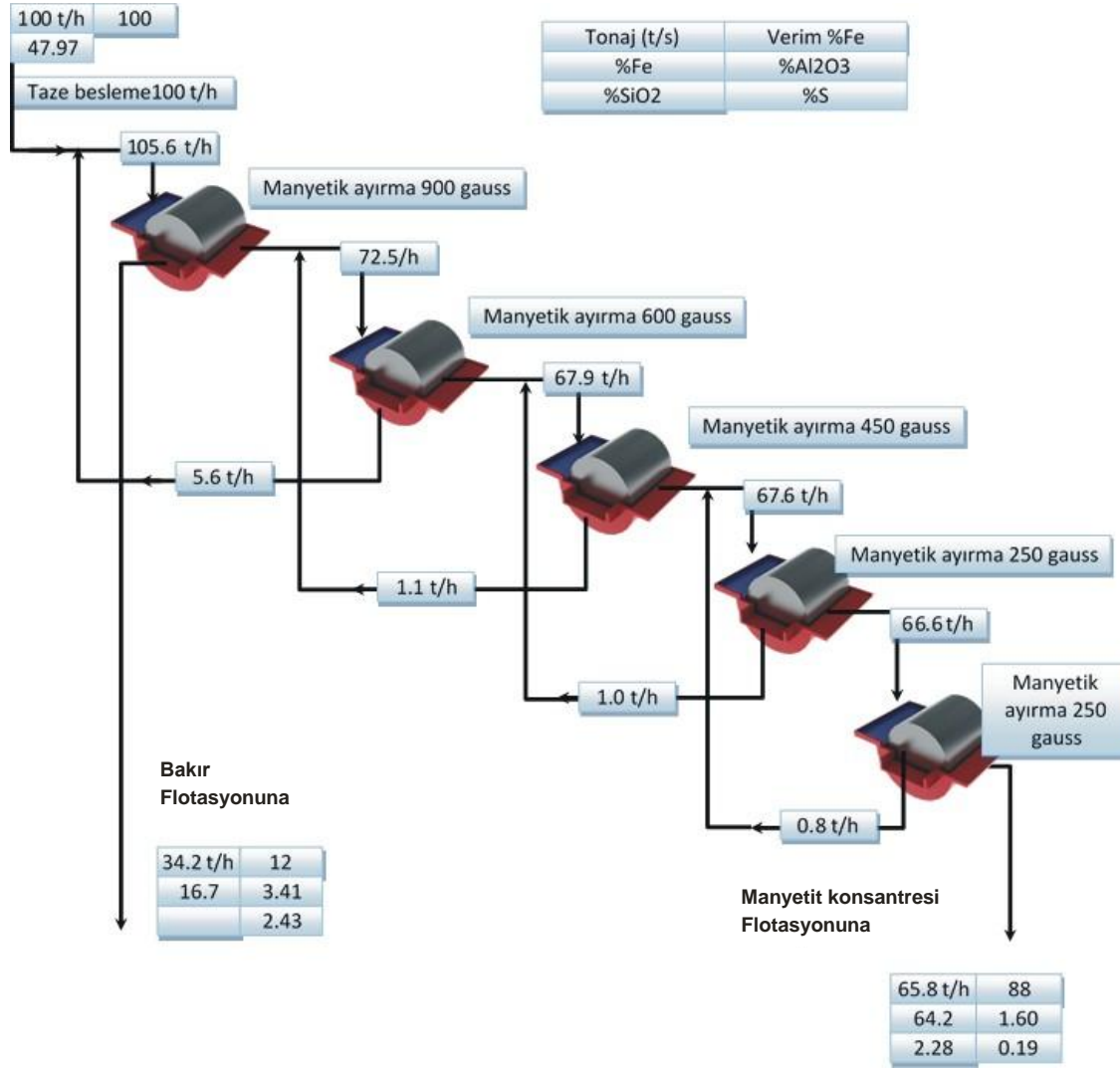


Şekil 15. Bakır flotasyon devresi simülasyon sonuçları.

Figure 15. Simulation results of copper flotation circuit.

manyetit konsantresi olarak alınmaktadır. Bakır flotasyonuna gelen cevher, kaba flotasyon sonrası üç kademe temizleme flotasyonuna tabi tutulmaktadır. Temizleme kademelerinde her bir kademe atığı bir önceki kademeye gönderilirken 3. Kademe temizleme ürünü nihai bakır konsantresi olarak alınmaktadır. Bakır kaba flotasyon atığı ve basit bir alttan akışlı şlam atma sistemi (kabarın yataklı ayırıcı) ile atılan şlam ise nihai atığı oluşturmaktadır.

Açık devre laboratuvar testlerinde ilk kademe manyetik ayırmada manyetit kazanımı %99 gibi oldukça yüksek düzeydedir. Fakat temizlemenin son aşamasında bu oran %96 değerine kadar düşmektedir. Bu durumda temizleme atıklarının önceki aşamalara geri döndürülmesi ile nihai ürünlerdeki toplam demir kazanımının artacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle manyetik ayırma devresi için her bir aşamanın kütle bölme oranları kullanılarak apalı devre çalışmanın etkisi simülasyon yoluyla belirlenmiştir.

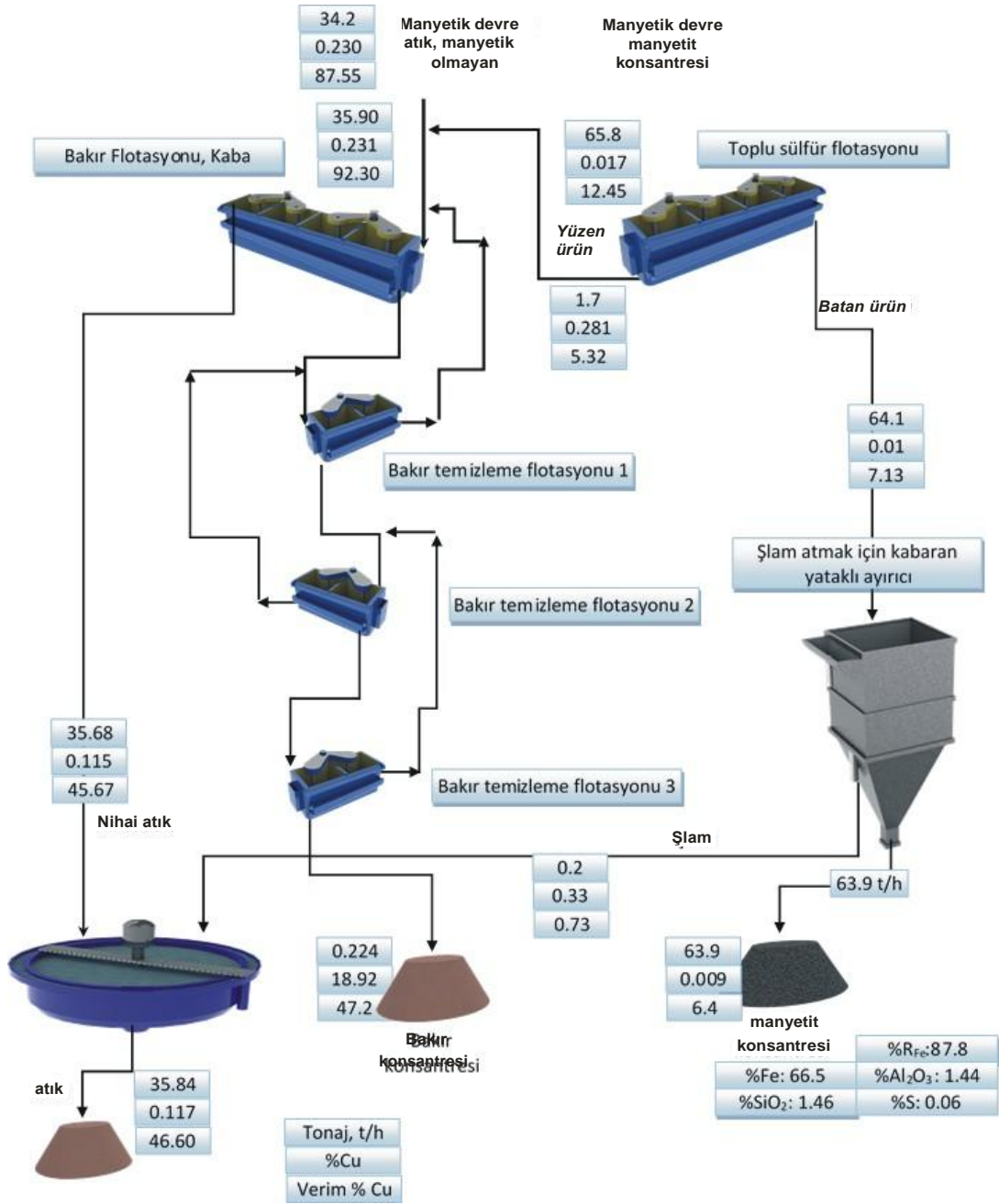


Şekil 16. Manyetik ayırma devresi akım şeması ve 100 t/s tesis kapasitesi için akışlara ait veriler.

Figure 16. Flowsheet for the magnetic separation circuit and flow regimes calculated for a 100 t/h plant.

Benzer şekilde laboratuvar flotasyon verileri yardımıyla da flotasyon devresi için kapalı devre simülasyonu yapılmıştır.

Buna göre ilgili cevherin tasarlanan akım şeması ile 100 t/s kapasitede, %87-88 demir verimi ile saatte 63.9 ton %65.5-66.5 Fe tenörlü manyetit konsantresi ve yaklaşık %47 verimle saatte 0.22 ton %18-19 Cu tenörlü bakır konsantresi alınacağı ve saatte 35.84 ton atık ortaya çıkacağı belirlenmiştir.



Şekil 17. Flotasyon devresi akım şeması ve 100 t/s tesis kapasitesi için akışlara ait veriler.

Figure 17. Flowsheet for the flotation circuit and flow regimes calculated for a 100 t/h plant.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Erzincan bölgesinde bulunan demir cevherinin zenginleştirilebilirliğine yönelik detaylı karakterizasyon ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Manyetik

ayırma testlerinde gerekli inceliğe öğütülmüş cevher sırasıyla 900, 600, 450 ve 2 defa da 250 gauss alan şiddetlerine sahip manyetik ayırıcıdan geçirilerek beş kademe temizleme işlemine tabi tutularak bir manyetik ürün üretilmiştir. Manyetik ayırma atığı ise bakır flotasyonuna tabi tutularak satılabilir bakır konsantresi elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar cevhere özgü zenginleştirilebilirlik stratejileri geliştirmede kullanılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda cevher inceldikçe demir içeriği yüksek ve impürite içerikleri açısından görece düşük içerikli ürünler üretilbileceğini göstermektedir. Elde edilen ürünlerin demir içerikleri yeterince yüksek olmakla birlikte, sonuçlar yaş manyetik ayırmanın da tek başına yeterince temiz ürün üretmekte yeterli olmadığını göstermiş, sonrasında manyetik ürünün toplu sülfür flotasyonuna tabi tutulması ile impüritelerin daha da azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca manyetik ayırma sonrasında flotasyonla sülfür içeriği düşürülen nihai konsantreden kaba bir çökeltme tankı ile şlam atılması durumunda silis, alümina ve magnezyum içerikleri daha düşük ürünler elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Cevher bünyesinde kil varlığı, konsantrelerdeki kükürt içeriği, manyetitin yer yer morfolojik bozunmaya uğramış olması, ince boylarda çok kademeli ve kontrollü manyetik ayırma testlerinin gerekliliği gibi cevhere özgü zorluklara rağmen, geleneksel yöntemlerle satılabilir konsantreler mümkün olan en yüksek verimlerle elde edilebilmiştir.

KATKI BELİRTME

BİLFER MADENCİLİK VE TURİZM A.Ş.'ye veri kullanımı ve yayılması konusundaki desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Clout J.M.F., Manuel J.R., 2015. Mineralogical, chemical and physical characteristics of iron ore. In: Lu, Liming (Ed.), Iron Ore: Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability. Elsevier, (Chapter 2), sayfa 45–84.
- Ezhov A.M., Shvaljov Y.B., 2015. Dry magnetic separation of iron ore of the Bakchar deposit. *Procedia Chem.* 15, sayfa 160–166.
- Gupta A., Yan D., 2016a. Mineral Processing Design and Operations (Second Edition), Chapter 16 - Gravity Separation, Elsevier, sayfa 563-628, ISBN 9780444635891.
- Gupta A., Yan D., 2016b. Mineral Processing Design and Operations (Second Edition), Chapter 17 - Magnetic and Electrostatic Separation, Elsevier, sayfa 629-687, ISBN 9780444635891.

- Gupta A., Yan D., 2016c. Mineral Processing Design and Operations (Second Edition), Chapter 18 - Flotation, Elsevier, sayfa 689-741, ISBN 9780444635891.
- Haldar S.K., Tišljär J., 2014. Chapter 2 - Basic Mineralogy, Editor(ler): S.K. Haldar, Josip Tišljär, Introduction to Mineralogy and Petrology, Elsevier, sayfa 39-79, ISBN 9780124081338.
- Holmes R.J., Lu L., 2015. 1 - Introduction: overview of the global iron ore industry, Editor(ler): Liming Lu, Iron Ore, Woodhead Publishing, sayfa 1-42, ISBN 9781782421566.
- Jankovic A., 2015. 8 - Developments in iron ore comminution and classification technologies, Editor(s): Liming Lu, Iron Ore, Woodhead Publishing, sayfa 251-282, ISBN 9781782421566.
- Lovel R.R., Sparrow G.J., Fisher-White M.J., 2015. 12 - Developments in chemical separation of iron ore, Editor(ler): Liming Lu, Iron Ore, Woodhead Publishing, sayfa 357-372, ISBN 9781782421566.
- Maré E., Beven B., Crisafio C., 2015. 10 - Developments in nonmagnetic physical separation technologies for hematitic/goethitic iron ore. Iron Ore, Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability, sayfa 309-338.
- Quast K., 2018. A review on the characterisation and processing of oolitic iron ores, Minerals Engineering 126, sayfa 89–100.
- Rousseau R.W., 1987. Handbook of Separation Process Technology, John Wiley & Sons, 1010, ISBN 9780750644501.
- Song S., Lu S., Lopez-Valdivieso A., 2002. Magnetic separation of hematite and limonite fines as hydrophobic flocs from iron ores. Minerals Engineering 15, sayfa 415–422.
- Tim Napier-Munn, 2005. Wills' Mineral Processing Technology (Seventh Edition), Editor(ler): Barry A. Wills, Tim Napier-Munn, 7th Edition, Butterworth-Heinemann, sayfa 225-245.
- Xiong D., Lu L., Holmes R.J., 2015. 9-Developments in the physical separation of iron ore: magnetic separation. In: Lu, L. (Ed.), Iron Ore – Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability. Elsevier, sayfa 283–307.
- Xionga W., Dengb J., Chenb B., Dengb S., Weia D., 2018. Flotation-magnetic separation for the beneficiation of rare earth ores. Minerals Engineering 119, sayfa 49–56.
- Wanga S., Guoa K., Qia S., Lub L., 2018. Effect of frictional grinding on ore characteristics and selectivity of magnetic separation. Minerals Engineering 122, sayfa 251–257.



Yerbilimleri, 2019, 40 (1), 35-71, DOI:10.17824/yerbilimleri.501506

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Bey Dağları Karbonat Platformu'nun doğu bölümünde orta-üst Senomaniyen platform kireçtaşlarında Geç Kretase yaşlı ardışık pelajik neptüniyen dayk dolguları (Katran Dağ, Antalya, GB Türkiye)

Late Cretaceous successive pelagic neptunian dike infillings within the middle-upper Cenomanian platform limestones of the eastern part of the Bey Dağları Carbonate Platform (Katran Dağ, Antalya, SW Turkey)

BİLAL SARI¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Tınaztepe Yerleşkesi, Buca-İzmir

Geliş (received) : 24 Aralık (December) 2018 Kabul (accepted) : 13 Nisan (April) 2019

ÖZ

Bey Dağları Otoktonu'nun doğu bölümüne karşılık gelen Katran Dağ alanında sığ denizel Jura-Kretase karbonat istifi en üstte orta-geç Senomaniyen yaşlı bol rudistli platform kireçtaşları (Yağca Köy Formasyonu) ile temsil edilir. Bu çalışmada, platform kenarı ortamında çökelmiş kireçtaşlarında daha derin ortamı işaret eden planktonik foraminifer ve kalsisifer içeren mikritik pelajik neptüniyen dayk dolguları ilk kez tanımlanmıştır. Bu dolgular en az üç farklı zamanda yerleşmiştir. D2 ve D3 dolgularında tanımlanan planktonik foraminifer toplulukları, dolguların geç Koniasiyen-Santoniyen ve en geç Kampaniyen-Maastrichtiyen'de gerçekleştiğini gösterir. D2 dolgusundan daha önce gerçekleşen D1 dolgusunun yaşı planktonik foraminifer içermemesi nedeniyle belirlenememektedir. Benzer şekilde, neritik kireçtaşları veya D2 dolgusundan oluşan yan kayacı kesen D4, D5 ve D6 dolguları da karakteristik planktonik foraminifer içermemeleri nedeniyle yaşlandırılmamaktadır. Ancak, özellikle D4 dolgusunun bazı bölümlerinin fasiyes özellikleri D3 dolgusu ile az çok benzerdir. D2 ve D3 dolgularında tanımlanan fasiyes ve planktonik foraminifer toplulukları Bey Dağları Otoktonu'nun yaygın yüzlekleri

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.501506>



Bilal SARI bilalsari73@gmail.com

bulunan pelajik istifler ile oldukça benzerdir. Bu veri, platformda gözlenen pelajikleşmenin platformun doğu bölümünde de gerçekleştiğini gösterir. Platformun doğu bölümünde, Santoniyen sonrası ve Maastrichtiyen sonunda gerçekleşen aşınma dönemlerinde pelajik istifler aşınmış olmalıdır. Neptüniyen dayk dolguları çoğunlukla genişleme tektoniğine bağlı olarak gelişen platform boğulmaları ile ilişkili olmaları nedeniyle, platformun bu bölümünün de kuzey bölümde olduğu gibi geç Koniasiyen-Santoniyen ve en geç Kampaniyen-Maastrichtiyen'de boğulduğunu gösterir.

Anahtar Kelimeler: Neptüniyen dayk, karbonat platformu, planktonik foraminifer, Üst Kretase, Katran Dağ, Bey Dağları Otoktonu, GB Türkiye.

ABSTRACT

Shallow marine Jurassic-Cretaceous carbonate succession is represented by abundant rudist bearing middle-late Cenomanian platform limestones (Yağca Köy Formation) at the top in the Katran Dağ area, which corresponds to the eastern part of the Bey Dağları Autochthon. Micritic pelagic neptunian dike infillings were first identified within the limestones accumulated in a platform edge environment in this study. Planktonic foraminifera and calcispheres observed in the infillings suggest a deeper marine conditions. These infillings were emplaced at least at three different times. The planktonic foraminiferal assemblages observed within the D2 and D3 infillings indicate that the infillings occurred during the late Coniacian-Santonian and latest Campanian-Maastrichtian times. Although the D1 infilling predates the D2, the age can not be determined as the infilling does not have planktonic foraminifera. Likewise, the age of the infillings D4, D5 and D6 cutting the host rock of neritic limestones or D2 infilling can not be determined as well because of absence of planktonic foraminifera. However, facies characteristics of some parts of the infilling D4 are more or less similar to the infilling D3. Facies types and planktonic foraminiferal assemblages observed in the infillings D2 and D3 are similar to those documented in the widespread pelagic successions throughout the northern part of the Bey Dağları Autochthon. These data show that the onset and development of the pelagic deposition occurred in the eastern part of the platform as in the northern part. The pelagic deposits accumulated in the eastern part of the platform should have been eroded during the post Santonian and latest Maastrichtian erosional events. As

the neptunian dike infillings are mostly associated with the platform drowning events as a result of extensional tectonics, the data obtained in this study suggest that this part of the platform was drowned during the late Coniacian-Santonian and latest Campanian-Maastrichtian as in the northern part of the platform.

Keywords: *Neptunian dike, carbonate platform, planktonic foraminifera, Upper Cretaceous, Katran Dağ, Bey Dağları Autochthon, SW Turkey.*

GİRİŞ

Neptüniyen dayk dolguları, denizaltı koşullarında gerçekleşen sedimanter dolgular olarak tanımlanır (Bates ve Jackson, 1987; Winterer ve Sarti, 1994; Flügel, 2010). Bu dolgular özellikle tektonik açıdan aktif, tortullaşma ile yaşıt riftleşme ortamlarında gelişirler (Flügel, 2010). Çeşitli ortamlarda oluşmuş fosil ve güncel neptüniyen dayk dolguları Smart vd. (1988) tarafından ayrıntılı olarak gözden geçirilmiştir. Karasal ve denizel ortamlarda, kırıntılı ve karbonat kayaçlarda, boşluk oluşumu, boşluk gelişimi ve bu boşluklara dolan sedimanter dolgunun niteliğini temel alarak dolguları sınıflayan Smart vd. (1988), neptüniyen dayk dolgu duvarlarının niteliğinin, dolgu litolojisinin, dolgunun içerdiği fosil topluluklarının ve sedimantolojik özelliklerinin ortaya konularak, dolguların gerçekleştiği tektonostratigrafik ortam ve zaman hakkında detaylı veriler elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Akdeniz kuşağı Mesozoyik (veya daha yaşlı) karbonat istiflerinde, platform karbonatlarında riftleşme ile gelişen açıklıklara, platformun boğulması sırasında veya hemen sonrasında pelajik dolgular yerleştiğine dair çok sayıda kayıt vardır (Wendt, 1971; Winterer ve Bosellini, 1981; Füchtbauer ve Richter, 1983; Blendinger, 1986; Lehner, 1991; Winterer vd., 1991; Winterer ve Sarti, 1994; Cozzi, 2000; Flügel, 2010). KD Türkiye’de de benzer Mesozoyik istiflerinde neptüniyen dayk dolguları tanımlanmıştır (Bektaş ve Çapkınoğlu, 1997; Bektaş vd., 2001; 2002; Yılmaz, 2002; 2006).

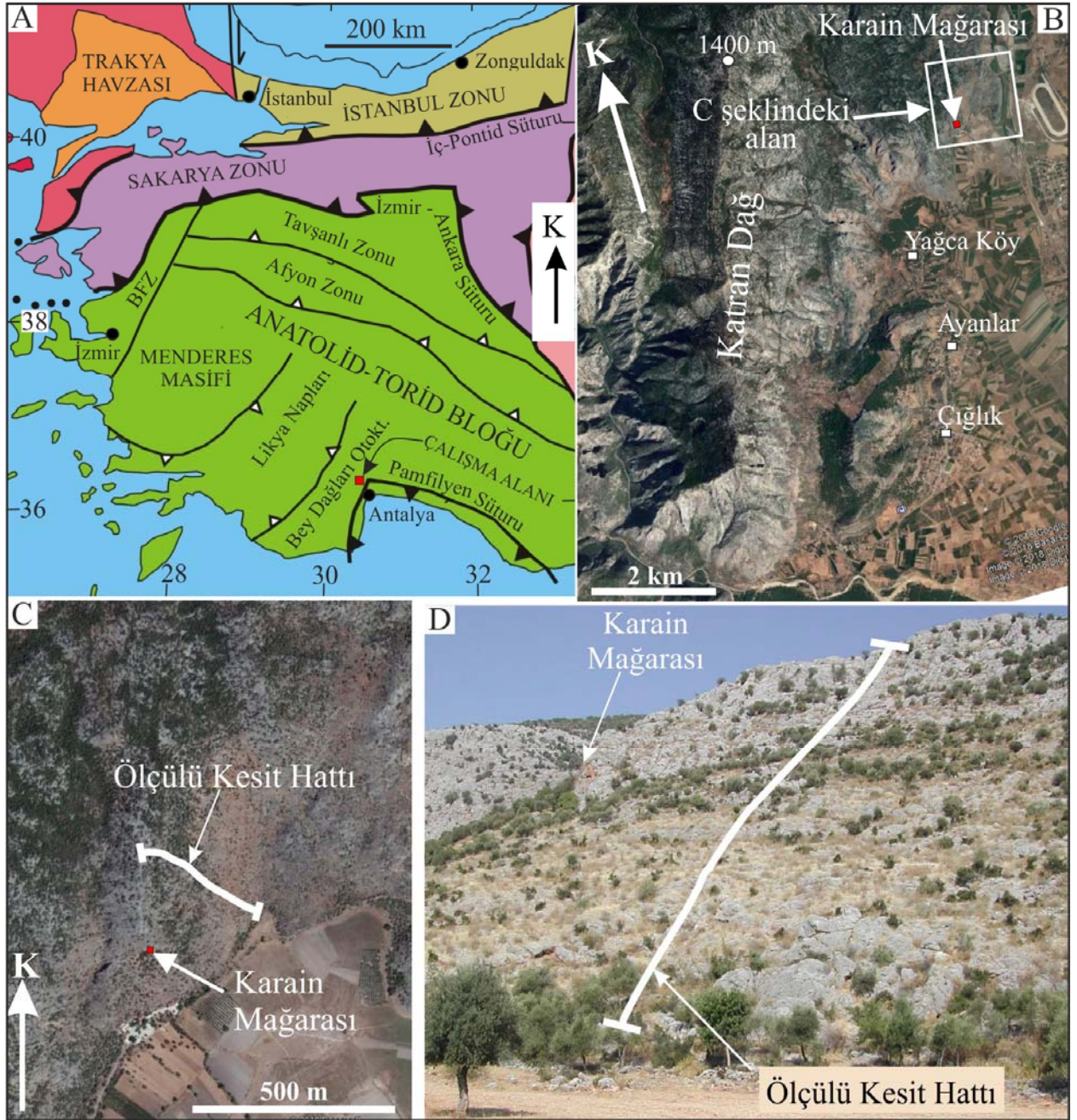
Pelajik neptüniyen dayk dolgularının yaşı çoğunlukla içerdikleri mikrofosiller, özellikle de planktonik foraminiferler ile belirlenebilir (Flügel, 2010). Ardışık dolguların yaşlandırılması ile, özellikle sığ denizel kireçtaşlarını üzerleyen pelajik istiflerin

aşındığı durumlarda, boğulmuş karbonat platform kenarlarında, tekrarlanan tortullaşmayla yaşıt genişlemeli tektonik olaylara dair önemli veriler elde edilmiş olur (Lehner, 1991; Schlische ve Ackerman, 1995; Cozzi, 2000; Bektaş vd., 2001).

Bu çalışma ile, Bey Dağları Otoktonu'nun neritik kireçtaşlarında neptüniyen dayk dolguları ilk kez tanımlanmıştır. Senomaniyen'den sonra aşınan pelajik çökellere ait dolguların Senomaniyen istifinde gözlenmesi, platformun bu bölümünün geçirdiği jeodinamik evrimin aydınlatılması ve platformun kuzey bölümü ile karşılaştırılabilmesi açısından önemli veriler sunar. Bu çalışmada, planktonik foraminifer içeren pelajik neptüniyen dayk dolguları yaşlandırılmış ve platformun bu bölümünün evrimi aydınlatılmaya çalışılmıştır.

JEOLJİK YAPI VE STRATİGRAFI

Batıda Likya Napları ve doğuda Antalya Napları ile tektonik hatlarla sınırlandırılmış olan Bey Dağları Otoktonu, bugün Kaş'dan Isparta'ya değin GB-KD yönlü uzanım sunan göreceli olarak otokton konumlu bir ünitedir (Poisson, 1977; Özgül, 1976; 1984; Poisson vd., 1984; Okay ve Tüysüz, 1999; Göncüoğlu, 2011) (Şekil 1A). Geyik Dağı Birliği'nin (Özgül, 1976) en batı bölümüne karşılık gelen göreceli otoktonda Triyas'tan Eosen'e değin az çok kesiksiz karbonatça baskın istifler yer alır (Poisson, 1977). Doğu Akdeniz havzasında yer alan bu istiflerin en azından Üst Kretase bölümünün yalıtılmış bir karbonat platformu ortamında çökeldiği kabul edilmektedir (Dercourt et al., 2000) (Şekil 2). Susuzdağ ve güneyini kapsayan otoktonun güney bölümü sığ niteliğini tüm Kretase boyunca az çok korumuştur (Poisson, 1977; Gutnic vd., 1979; Sarı ve Özer, 2009; Sarı vd., 2009). Elmalı-Çamlıdere arasına karşılık gelen kuzey bölümde Üst Kretase istifleri, neritik fasiyesin pelajik fasiyese değiştiği, istif içinde süreksizliklerin bulunduğu ve dolayısıyla platformun evrimi açısından önemli veriler içeren stratigrafik bir aralığı oluşturur (Poisson, 1977; Farinacci ve Köylüoğlu, 1982; Gutnic vd., 1979; Sarı, 2006a; 2009). Platformun bu bölümünün Türoniyen'den sonra pelajikleşmesi, genel olarak bölgesel kabuksal genişlemeyle ilişkilendirilmiştir (Poisson, 1984; Robertson, 1993; Robertson vd., 2003). Kampaniyen-Maastrichtiyen aralığı Bey Dağları Platformu'nda olduğu gibi, özellikle Apulia Platformu ve çevresinde pelajik fasiyesin daha da yaygınlaşarak boğulan platformları (Friuli, Karst, Parnassos vb.) örttüğü bir dönemdir (Poisson, 1977; Sarı, 2009; Philip vd., 1993). Bu zaman aralığı aynı zamanda, Tetis Okyanusu'nun bu



Şekil 1. A) Bey Dağları Otoktonu'nun konumunu gösteren batı Türkiye'nin ana tektonik kuşakları (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır), B) Katran Dağ ve çevresinin Google Earth görüntüsü. Ölçülü kesit Katran Dağ'ın doğu yamacında, Yağca Köy'ün KD'sinde yer alır, C) Ölçülü kesitin konumunu gösteren Google Earth görüntüsü, D) Karain Mağarası'nın KD'sinde orta-geç Senomaniyen yaşlı rudistli kireçtaşlarının arazi görünümü ve ölçülü kesit hattı.

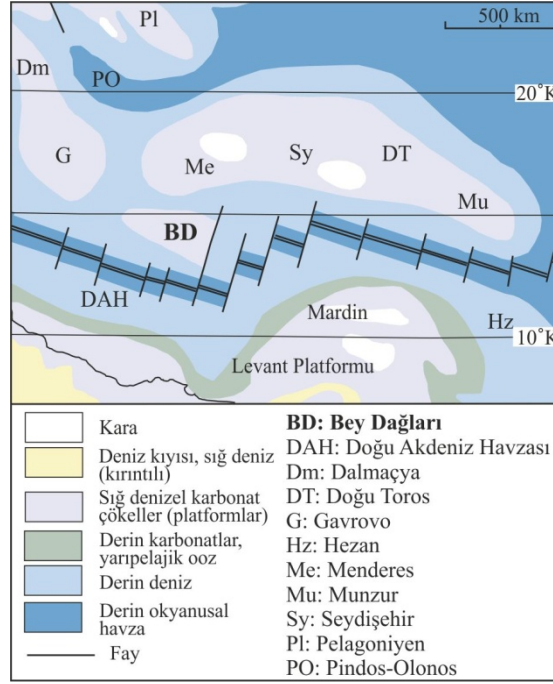
Figure 1. A) Main tectonic units of western Turkey showing location of the Bey Dağları Autochthon (modified after Okay and Tüysüz, 1999), B) Google Earth image

of the Katran Dağ and surroundings. The measured section is located on the eastern slope of the Katran Dağ to the NE of Yağca Köy, C) Google Earth image showing the location of the measured section, D) Field view of the middle-late Cenomanian rudist bearing limestones and measured section to the NE of the Karain Cave.

Otoktonun doğu bölümüne karşılık gelen Katran Dağ istifi ise Üst Jura'dan Senomaniyen'e dek uzanan 1000 metreden fazla kalınlığa sahip neritik kireçtaşı istifi ile temsil edilir (Poisson, 1977). İstifin daha az makrofosilli olan ve ilk kez Poisson (1973) tarafından tanımlanan Üst Jura-Alt Kretase bölümü Burhan Dere Formasyonu, bol kavkı parçası içeren ve yaklaşık olarak 300-400 metrelik kalınlığa sahip Senomaniyen bölümü ise Yağca Köy Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Poisson, 1977). Senomaniyen istifi üstte bir erozyon yüzeyi ile kesilir ve sırasıyla 1.5 metre kalınlığındaki çakıldaşı düzeyi ve bordo renkli ince kırıntılılar tarafından uyumsuz olarak üzerlenir (Poisson, 1977; Sarı, 2006b). Kireçtaşı çakıldaşında bileşenler Senomaniyen kireçtaşlarından türemiştir ve planktonik foraminiferli bordo renkli çamurlu mikritik bir matriksle tutturulmuştur (Sarı 2006b; Sarı vd., 2009). Çakıldaşının matriksinde tanımlanan planktonik foraminiferler engeç Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşını işaret eder (Sarı, 2006b). İstif üste doğru Paleosen yaşlı çamurtaşlarına devam eder (Poisson, 1977). Bu alanda bugüne değin, Senomaniyen sonrasında ve geç Kampaniyen öncesinde çökemiş tortul bilinmemektedir ve bu yaş aralığı bir stratigrafik boşluk ile temsil edilmektedir.

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma, Katran Dağ'ın doğu yamacında yer alan Karain Mağarası'nın doğu yamacından ölçülen 120 metre kalınlığındaki istifi konu alır (Şekil 1B-D). İstif boyunca gözlenen neritik kireçtaşları ile bu kireçtaşları içine neptüniyen dayklar şeklinde yerleşmiş daha genç pelajik dolgulardan derlenen 63 adet kireçtaşı örneğinin mikrofasiyes özellikleri tanımlanmıştır. Çalışılan örneklerin 46 adeti sıg denizel kireçtaşlarından, 17 adeti ise dolgulardan alınmıştır. Mikrofasiyes tanımlamalarında Embry ve Klovan (1971) tarafından değiştirilen Dunham (1962)'in doku ağırlıklı kireçtaşı sınıflaması temel alınmıştır. Karain istifinde tanımlanan başlıca mikrofasiyesler Wilson (1975) ve Flügel (2010)'in Standart Mikrofasiyes Tipleri (SMT) ve Standart Fasiyes Kuşakları (SFK) ile karşılaştırılarak, kireçtaşlarının olası



Şekil 2. Akdeniz Tetisi'nin geç Senomaniyen paleocoğrafyası (Dercourt vd., 2000'den değiştirilerek ve basitleştirilerek alınmıştır). Bey Dağları Karbonat Platformu (BD) Doğu Akdeniz Havzası'nda pelajik havzalarla çevrelenmiş yalıtılmış bir platform olarak kabul edilmektedir.

Figure 2. Late Cenomanian paleogeography of the Mediterranean Tethys (modified and simplified after Dercourt et al., 2000). The Bey Dağları Carbonate Platform is reconstructed as an isolated platform surrounded by pelagic basins in the eastern Mediterranean Basin.

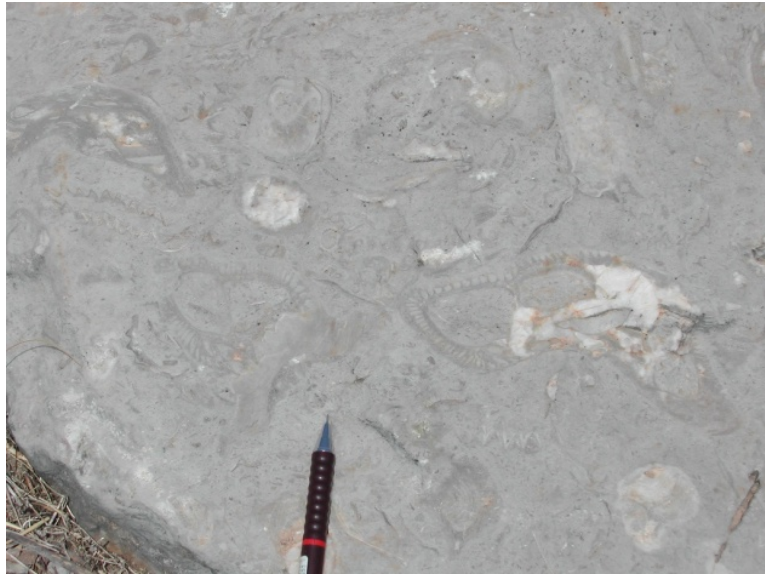
depolanma ortamları belirlenmiştir. Neptüniyen dayk dolgularında gözlenen planktonik foraminiferler tanımlanarak ve dolguların kesen/kesilen ilişkileri gözetilerek dolgular yaşlandırılmaya çalışılmıştır.

YAN KAYAÇ

Litostratigrafi ve Yaş

Katran Dağ (eski adı Sam Dağ) ve çevresinde yüzeyleyen (Şekil 1B,C) rudistçe zengin Senomaniyen yaşlı sığ denizel kireçtaşları Poisson (1977) tarafından Yağca Köy Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Katran Dağ'ın doğu yamacında 120 metreden fazla kalınlığa sahip olan istif gri renkli, bitüm kokulu, kalın katmanlı (0.5 - 2 metre) veya masif yapılı neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 3). Kireçtaşları

baskın olarak bol rudist kavkısı ve kavkı parçası içeriği ile dikkati çeker (Şekil 3,4). Rudist kavkı parçalarının yanında daha seyrek olarak gastropod, mercan ve diğer bivalvia kavkıları gözlenir. Rudist ve rudist kavkı parçalarının baskın olduğu ve mercan ve gastropodların eşlik ettiği biyoklastlar özellikle istifin 15.-25., 50.-54. ve 80.-120. metreleri arasında olmak üzere üç düzeyde belirgin bir şekilde bollaşır (Şekil 4). Özellikle caprinid, ichthyosarcolitid ve radiolitid'lerin baskın olduğu rudist faunası orta-geç Senomaniyen yaşını işaret eder (Sarı ve Özer, 2009). İnce kesitlerde, oldukça seyrek olmakla birlikte, *Merlingina cretacea* ve *Pseudorhapydionina laurinensis* gibi yaş açısından karakteristik bentik foraminiferler gözlenir (Bignot ve Poisson, 1974; Sarı vd., 2009). 03-634 nolu örnekte tanımlanan bentik foraminiferler bu seviye ve daha üst bölümlerin yaşının orta Senomaniyen'den daha yaşlı olamayacağını gösterir (Sarı vd., 2009).



Şekil 3. Çalışılan istifte rudistçe baskın sığ denizel kireçtaşlarının arazi görünümü. Fotoğraf istifin 20. metresinden çekilmiştir.

Figure 3. Field view of the rudist-dominated shallow marine limestones in the studied succession. The photo was taken from the 20th meter of the section from the base.

Mikrofasiyes Özellikleri ve Çökeltme Ortamı

İnce kesitlerde, 120 metrelik istifin 55 metrelik alt bölümü ile yaklaşık 40 metrelik üst bölümünde farklı mikrofasiyeslerin bolluğu dikkati çeker (Şekil 4). Alt bölümde biyoklastlı-intraklastlı Tanetaşı ve İstiftaşı mikrofasiyeslerinin baskınlığı dikkati çeker (Şekil 4, 5A,B). Bu bölümde, daha iri tanelerden oluşan biyoklastlı (rudist ve mercan) Kabataş mikrofasiyesi de, özellikle alt kesimlerde olmak üzere yaygın olarak gözlenir (Şekil 5C,D). Tanetaşı ve Kabataş mikrofasiyeslerinde iyi yuvarlaklaşmış biyoklastlar çoğunlukla tümüyle yeniden kristalleşmiştir ve çoğunlukla mikritik zarf ile sarılmıştır. Yeniden kristalleşmenin ileri olmadığı tanelerde, tanelerin baskın olarak rudist ve daha az oranda mercan parçaları olduğu tanınabilmektedir (Şekil 5D). Bu fasiyeslerde ilksel ortospar çimento çoğunlukla psydospara dönüşmüştür. SMT 11 ve FK 6'ya karşılık gelen bu mikrofasiyesler, platform (şelf) kenarı ortamında sürekli dalga hareketi altında mikrit çamurunun yikanarak ortamdan uzaklaşması sonucu oluşur (Wilson, 1975). İstifin alt bölümünde, SMT 7 ve FK 5'e karşılık gelen mercanlı Çatıtaşı mikrofasiyesi seyrek olarak gözlenir (Şekil 5E). Bu bölümde SMT 12 ve FK 6-7'ye karşılık gelen biyoklastlı (rudist) ve intraklastlı Yüzertaş mikrofasiyesi de seyrek olarak gözlenir. 03-649 nolu örnekten itibaren istifin üst bölümü oldukça homojen bir şekilde bol biyoklastlı (başlıca rudist ve bentik foraminifer) ve intraklastlı Yüzertaş/Vaketaşı mikrofasiyesleri ile temsil edilir (Şekil 5F). SMT 5, 12 ve FK 5-6'ya karşılık gelen bu mikrofasiyeslerde seyrek olarak gastropod ve mercan da gözlenir.

Bir bütün olarak değerlendirildiğinde, tanımlanan mikrofasiyesler, orta-geç Senomaniyen'de platform kireçtaşlarının özellikle şelf (platform) kenarı ortamı ve çevresinde çökeldiğini gösterir.

stratigrafi kesiti. D3 dolgusunda tanımlanan planktonik foraminifer topluluğu için metne bakınız. Stratigrafik kesit Yağca Köy'ün 2 km KD'sinde yer alan Karain Mağarası'nın doğu yamacından ölçülmüştür. 1/25000 ölçekli N25-d4 Antalya paftasında yer alan kesitin başlangıç ve bitiş koordinatları sırasıyla 84210/06375 ve 84085/06615'dir.

Figure 4. Measured stratigraphic section showing the microfacies characteristics of the host rocks and the neptunian dike infillings filled into the host rocks and distribution of the planktonic foraminifers. See to the text for the planktonic foraminiferal assemblages determined in the D3 infilling. The stratigraphic section was measured from the eastern slope of the Karain Cave to the 2 km NE of the Yağca Köy. The beginning and ending coordinates of the stratigraphic section are 84210/06375 ve 84085/06615 respectively on the 1/25000 scale N25-d4 Antalya sheet.

NEPTÜNİYEN DAYK DOLGULARI

Orta-geç Senomaniyen yaşlı neritik kireçtaşlarının 5 farklı düzeyinde çoğunlukla planktonik foraminifer ve kalsisifer içeren pelajik dolgular gözlenmiştir (Şekil 4). Dolgular daha çok, ayrışma yüzey rengi açık gri, taze yüzey rengi kremimsi gri renkli mikritik kireçtaşlarından yapıldır. Yan kayacı oluşturan neritik kireçtaşlarının da daha çok açık gri renkli mikritik kireçtaşlarından yapıllı olması nedeniyle, arazide dokunun benzer olduğu kesimlerde neptüniyen dayk dolgularını tanımak oldukça güçtür. Yan kayacın Tanetaşı/Kabataş mikrofasiyesi ile temsil edildiği kesimlerde ise dolgu ile belirgin bir fasiyes farkı oluşması nedeniyle, dolgu yan kayaç ayrımı yapmak mümkündür. Bu dolguların dördünde, dolgunun daha genç başka bir dolgu tarafından kesildiği gözlenmektedir (Şekil 4). Planktonik foraminifer içeren dolguların yaşları çoğunlukla belirlenebilirken, planktonik foraminifer içermeyen dolguların yaşlarını belirlemek ise mümkün değildir. Bu çerçevede, farklı zamanlarda gelişmiş en az üç farklı neptüniyen dayk dolgusu tanımlanabilmektedir. Fosilsiz dolguların yaşı için fasiyes benzerliği ve yan kayaç-dolgu ilişkilerinden yararlanılarak yaklaşımlarda bulunulmuştur. Dolgularda yapılan gözlemler aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir. Dolguların yan kayaç ile olan ilişkileri ve diğer özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

DOLGU TÜRÜ	DOLGU FASİYESİ	FOSİL	DOLGU YAŞI	YAN KAYAÇ FASİYESİ	YAN KAYAÇ YAŞI
D1	Rekristalize allokemler içeren Vaketaşı	Yok	Senomaniyen sonrası- Koniasiyen- Santoniyen veya öncesi	Rekristalize biyoklastlar içeren Tanetaşı/İstiftaşı	Orta-geç Senomaniyen
D2	Planktonik foraminifer, kalsisifer ve rekristalize allokemler içeren Vaketaşı/Çamurtaşı. Yersel laminalanma	Planktonik foraminifer ve kalsisifer	Geç Koniasiyen- Santoniyen	D1	Koniasiyen-Santoniyen veya öncesi
				Rekristalize biyoklastlar içeren Tanetaşı/İstiftaşı	Orta-geç Senomaniyen
D3	Planktonik foraminifer, kalsisifer ve rekristalize allokemler içeren Vaketaşı/Çamurtaşı. Yersel laminalanma	Planktonik foraminifer ve kalsisifer	En geç Kampaniyen- Maastrichtiyen	D2	? Koniasiyen- Santoniyen
D4	Seyrek planktonik foraminifer ve seyrek kalsisifer içeren Çamurtaşı	Seyrek planktonik foraminifer ve kalsisifer	Koniasiyen- Santoniyen sonrası ?	D2	? Koniasiyen- Santoniyen
D5	Çamurtaşı	Yok	Koniasiyen- Santoniyen sonrası ?	D2	? Koniasiyen- Santoniyen
D6	Çamurtaşı. Yersel laminalanma	Yok	Senomaniyen sonrası ?	Rekristalize biyoklastlar içeren Tanetaşı/Kabataş	Orta-geç Senomaniyen

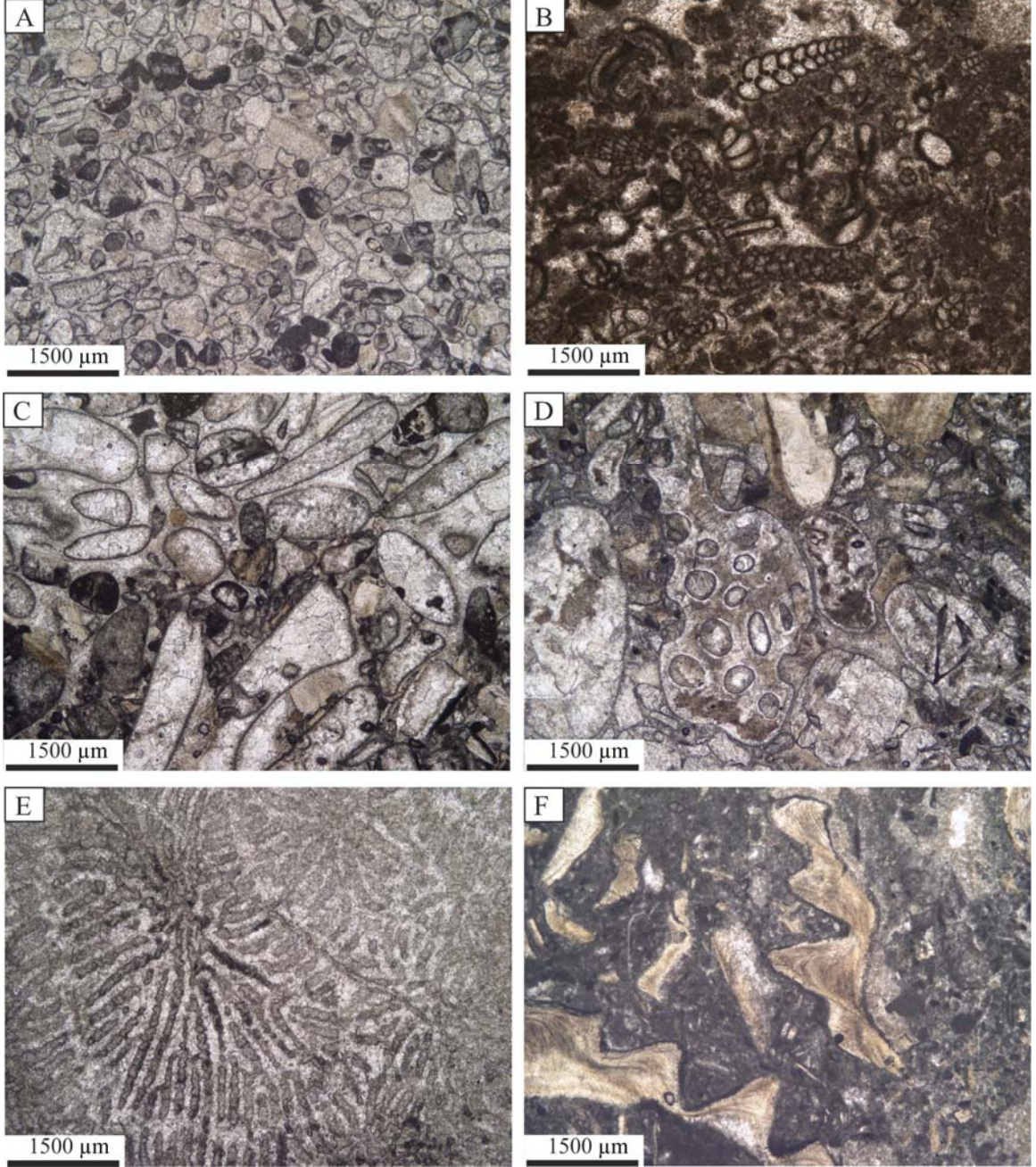
Çizelge 1. Katran Dağ istifinde gözlenen neptüniyen dayk dolguları ve içine yerleştikleri yan kayalara ait fasiyes, fosil ve yaş bilgileri.

Table 1. Facies, fossil and age data collected from the neptunian dike infillings and associated host rocks from the Katran Dağ succession.

D1 Dolgusu

Sadece 03-618 nolu örnekte gözlenen ve olasılıkla en yaşlı dolguyu oluşturan bu dolgu orta-geç Senomaniyen veya olasılıkla daha yaşlı yan kayacı kesen boşluklara dolmuştur (Şekil 4). Yan kayaç rekristalize biyoklastların bol olduğu Tanetaşı/İstiftaşı mikrofasiyesi ile temsil edilir (Şekil 6). İki ardışık neptüniyen dayk dolgusundan, daha yaşlı olan bu dolgu yan kayaç ile düzlemsel olmayan bir sınır ile ayrılır. Planktonik foraminifer ve kalsisifer gözlenmeyen dolgu, bol rekristalize allokemli (olasılıkla biyoklast) Vaketaşı dokusu ile tanınır (Şekil 6). Yan kayaç ile olan sınırdaki belirgin kalsit kristalleşmesinin gözlenmemesi, dolgunun boşluk gelişiminin hemen ardından gerçekleştiğini gösterir. Dolgu içinde herhangi bir fosil gözlenmemesi nedeniyle,

dolgunun yaşı belirlenememektedir. Ancak, aşağıda ayrıntıları verilen D2 dolgusu tarafından kesilmesi nedeniyle, D1 dolgusunun istifte gözlenen en yaşlı dolgu olduğu söylenebilir.



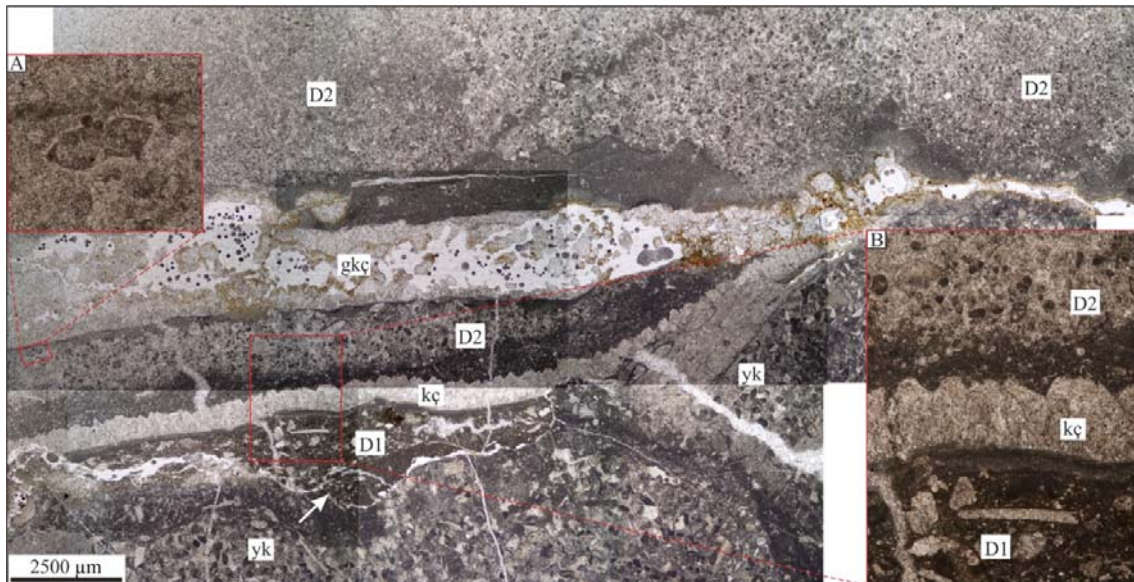
Şekil 5. Yan kayacı oluşturan platform kireçtaşlarında tanımlanan mikrofasiyes türlerine bazı örnekler. A) Yıkılmış biyoklastlı ve intraklastlı Tanetaş microfasiyesi. Olasılıkla rudist ve mercan parçaları olan biyoklastlar çoğunlukla iyi yuvarlaklaşmış ve mikritik zarflarla sarılmıştır. Neredeyse tüm allokemler ve ilksel ortospar çimento yeniden kristalleşmiştir (örnek no: 03-608), B) Bol bentik foraminiferli ve seyrek intraklastlı Vaketaş/Istiftaş microfasiyesi (örnek no: 03-634), C) Yıkılmış biyoklastik Kabataş microfasiyesi. Dokusal özellikler A'ya benzer, ancak allokemlerin boyu belirgin şekilde

daha büyüktür (örnek: 03-607), D) Biyoklastlı Tanetaşı/Kabataş mikrofasiyesi. Allokemlerin tümüyle rekristalize olmadığı alanlarda biyoklastlar biyoklast olduğu tanınabilmektedir (örnek no: 03-627), E) Mercan Çatıtaşı mikrofasiyesi (örnek no: 03-620), F) İstifin üst bölümünde yaygın olarak gözlenen bol rudist kavkı parçalı Yüzertaş/Vaketaşı mikrofasiyesi (örnek no: 03-653).

Figure 5. Some examples of the microfacies types observed in the host rock comprising platform limestones. A) Winnowed bioclastic and intraclastic Grainstone microfacies. The bioclasts (most probably rudist and coral fragments) are mostly well-rounded and coated by a micritic envelope. Almost all the allochemes and original sparry calcite cement were recrystallized (sample no: 03-608), B) Wackestone/Packstone microfacies with abundant benthic foraminifera and rare intraclast (sample no: 03-634), C) Winnowed bioclastic Rudstone microfacies. Texture is more or less similar to A, but size of the allochemes are distinctly larger (sample no: 03-607), D) Bioclastic Grainstone/Rudstone microfacies. Bioclasts can be recognized in areas, where the allochemes were not totally recrystallized (sample no: 03-627), E) Coral Framestone microfacies (sample no: 03-620), F) Abundant rudist fragments bearing Floatstone/Wackestone microfacies, which is widespread in the upper part of the succession (sample no: 03-653).

D2 Dolgusu

Birçok düzeyde yaygın olarak gözlenen bu tip dolgu, tipik olarak bol rekristalize allokem (olasılıkla biyoklast), seyrek planktonik foraminifer ve seyrek veya daha bol kalsisifer içeren Vaketaşı/Çamurtaşı dokusu ile temsil edilir (Şekil 4,6,7). Bazı kesimlerde planktonik foraminifer bolluğu oldukça azalır veya planktonik foraminifer gözlenmeyebilir (Şekil 7B,C). Genellikle bol olan kalsisiferlerin de bolluğu değişkendir. Bazı düzeylerde ise rekristalize allokemlerin bolluğu azalır veya hiç gözlenmeyebilir. Bu tip dolgu istifte dört farklı düzeyde gözlenir (Şekil 4). İstifin en altında yer alan 3 metre kalınlığındaki bölümde fasiyes baskın olarak bol rekristalize allokem, seyrek planktonik foraminifer ve kalsisifer içeren Vaketaşı dokusu ile temsil



Şekil 6. D1 ve D2 dolgularını ve yan kayaç ilişkilerini gösteren ince kesit fotoğrafı (örnek no: 03-618). Yan kayaç (yk) baskın olarak yıkanmış biyoklastik Tanetaşı dokusuna sahiptir. İstifteki olasılıkla en yaşlı dolgu olan D1 dolgusu köşeli allokemlerin (olasılıkla biyoklast) mikrit içinde yüzdüğü bir dokuya sahiptir ve yan kayaç ile düz olmayan bir sınır ilişkisi sunar (ok). D1 dolgusu ve yan kayaç kalsit çimento (kç) ile kaplanmış ikinci bir dolgu yüzeyi tarafından kesilmiştir. Kalsit çimentonun çökelinin ardından ikinci nesil dolgu (D2) gerçekleşmiştir. D2 dolgusu seyrek planktonik foraminifer, kalsisifer ve tanımlanamayan biyoklastlar içeren Vaketaşı/Çamurtaşı dokusu ile temsil edilir. Tüm doku kalsit dolgulu genç bir çatlak (gkç) tarafından kesilmektedir. A) D2 dolgusu içerisinde gözlenen dicarinellid (*D. aff. primitiva*)'in yakından görünümü, B) D1 ve D2 dolguları ile iki dolgu arasında gözlenen kalsit çimentonun (kç) ayrıntısı.

*Figure 6. Thin section photograph showing infillings D1 and D2 and host rock relationships (sample no: 03-618). The host rock (yk) is dominated by winnowed bioclastic Grainstone texture. The D1, probably the oldest infilling in the succession has a texture, where angular clasts (probably bioclasts) are embedded within the micrit and has a irregular boundary with the host rock (arrow). The infilling D1 and the host rock were cut by a second infilling surface, which is covered by a calcite cement (kç). Following the precipitation of the calcite tapestry, a second generation infilling (D2) filled the cavities. The infilling D2 is represented by rare planktonic foraminifera, calcisphere and unidentifiable bioclast bearing Wackestone/Mudstone texture. All the texture is cut by a young crack filled by calcite cement (gkç). A) Close-up view of the dicarinellid (*D. aff. primitiva*) observed in the infilling D2, B) Details of the infillings D1 and D2 and the calcite cement (kç) between two infillings.*

edilir (Şekil 4,7). Benzer mikrofasiyes ve planktonik foraminifer içeriğine sahip dolgu en yaşlı dolgunun (D1) da gözlendiği 03-618 nolu örnekte de saptanmıştır. Bu kesitte D2 dolgusunu oluşturan fasiyes seyrek planktonik foraminifer ve kalsisferli Vaketaşı/Çamurtaşı dokusu ile simgeseldir (Şekil 4,6). Birkaç planktonik foraminifer dicarinellid (*Dicarinella aff. primitiva*, Şekil 4, Levha 1C), tanımlanamayan marginotruncanid ve küresel localı morfotiplere aittir. Yan kayaç ile olan sınırın girintili çıkıntılı oluşu, açıklığın bir kırıktan çok denizaltı çözünmesi ile ilişkili olduğunu

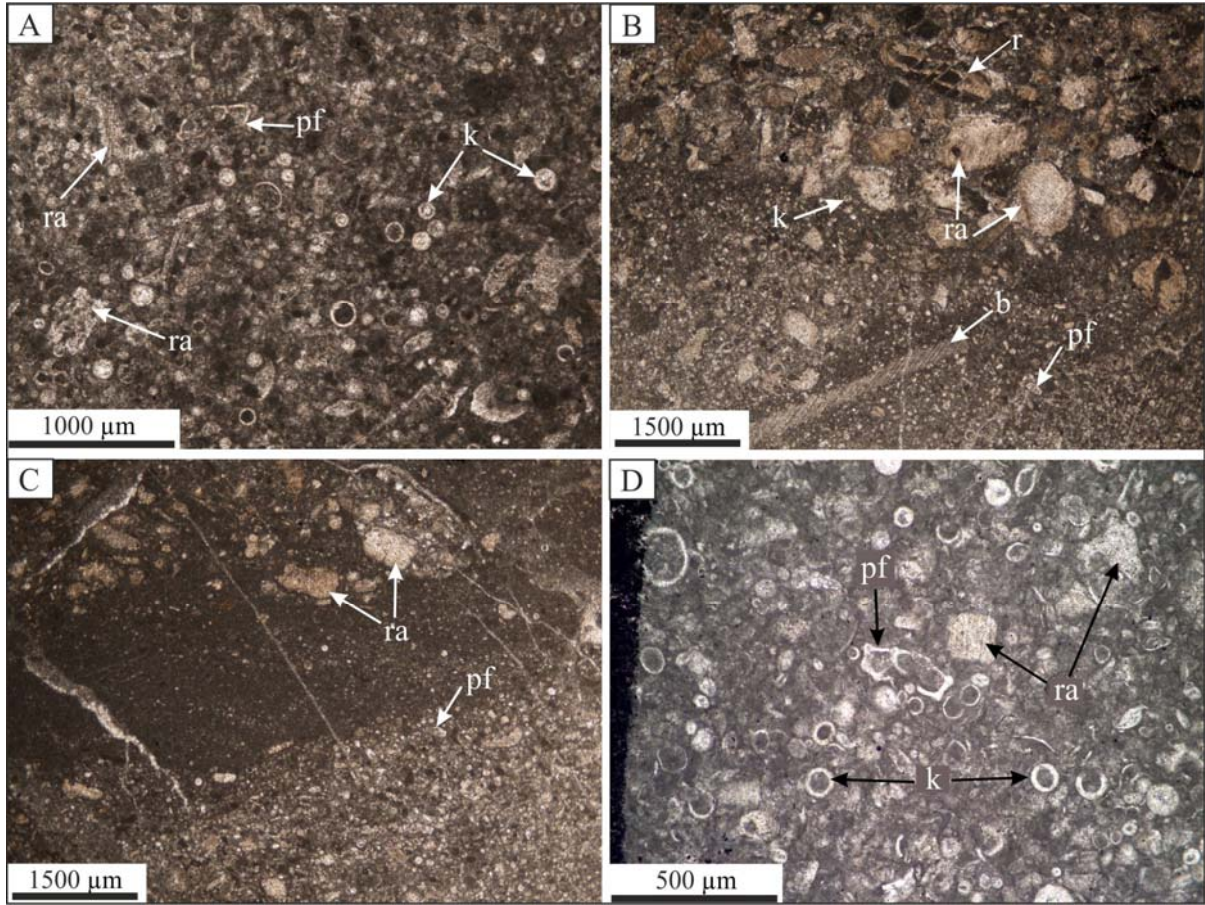
gösterir (Şekil 6). Yüzeyde belirgin bir kalsit çimentonun gözlenmesi (Şekil 6B) açıklık oluşuktan sonra, açıklığın belirli bir süre boş kaldığını, dolgunun hemen gerçekleşmediğini gösterir.

Benzer fasiyes, istifin yaklaşık 45. metresinden alınan 03-633 numaralı örnekte de gözlenir. Birbirini kesen iki dolgunun gözlendiği bu örnekte D2 dolgusu yan kayacı oluşturur ve rekristalize allokemler içeren kalsisiferli vaketaşı mikrofasiyesi ile temsil edilir (Şekil 4, 7). Doku, mikritik matriks de dahil olmak üzere çoğunlukla rekristalize olmuştur ve yersel olarak dolomitleşmiştir. Rekristalizasyonun ileri olmadığı bazı allokemlerin rudist kavkı parçası olduğu tanınabilmektedir (Şekil 7B). Planktonik foraminiferlerin gözlenmediği doku 03-605, 03-606, 03-637 ve 03-638 ile 03-648 arası örneklerde gözlenen D2 dokusu ile oldukça benzerdir.

D2 dolgusuna ait fasiyesler istifin orta bölümlerinde yaygın olarak gözlenir. 03-637 nolu örnekten 03-648 nolu örneğe kadar 12 örneğin tümünde ve istifin 56. metresi ile 77. metresi arasındaki yaklaşık 21 metre kalınlığa ulaşan bir düzeyde bu fasiyes gözlenir (Şekil 4, 7A-C).

Baskın olarak seyrek planktonik foraminiferli, kalsisiferli ve rekristalize olmuş allokemler (olasılıkla biyoklast) içeren Vaketaşı/Çamurtaşı fasiyesi ile temsil edilen dolguların allokem içeriği örnekten örneğe ve aynı örnek içinde değişiklik gösterir (Şekil 4, 7A-C). Bazı örneklerde sadece kalsisifer gözlenirken, tümüyle mikritten yapılabazı örneklerde hiç bir allokem gözlenmez. Bazı örneklerde ise akmayı işaret eden belirgin laminalanma ve yönlenme gözlenir (Şekil 7C). Büyük bir açıklığı doldurmuş olması gereken bu dolguda bazı düzeylerde (özellikle 03-640 ve 03-641 nolu örneklerde) bağıl olarak daha bol planktonik foraminifer gözlenir. Bu düzeylerde ve istifin en alt bölümünden alınan örneklerde benzer planktonik foraminifer toplulukları gözlenir. Baskın olarak dicarinellid ve marginotuncanidler ile temsil edilen topluluklarda *Dicarinella aff. asymetrica* (Sigal), *Dicarinella aff. primitiva* (Dalbiez), *Marginotruncana cf. coronata* (Bolli), *Marginotruncana marginata* (Reuss), *Marginotruncana pseudolinneiana* Pessagno, *Marginotruncana cf. renzi* (Gandolfi), *Marginotruncana schneegansi* (Sigal), *Marginotruncana tarfayaensis* (Lehmann) türleri tanımlanmıştır (Şekil 4, Levha 1). Tipik olarak geç Turoniyen-Santoniyen istiflerinde yaygın olarak gözlenen bu topluluklar içinde *Dicarinella aff. asymetrica*'nın gözlenmesi geç Koniasiyen-Santoniyen yaşını işaret eder (lon ve Szasz, 1994; lon

vd, 1999; Robaszynki vd., 2000; Gale et al., 2007; Lamolda vd., 2007; Ogg ve Hinnow, 2012; Anthonissen ve Ogg, 2012; Coccioni ve Premoli Silva, 2015).



Şekil 7. D2 dolgusunun mikrofasiyes özelliklerini gösteren mikrofotograflar. A) D2 dolgusu tipik olarak seyrek planktonik foraminifer (pf), kalsisifer (k) ve rekristalize allokemler (ra) içeren Vaketaşı/Çamurtaşı dokusu ile temsil edilir (örnek no: 03-640). Planktonik foraminiferler baskın olarak dicarinellid ve marginotruncanid türleri ile temsil edilir. B) Rekristalize allokemlerin (ra) bolluğu bazı düzeylerde artar. Allokemlerin çoğunun biyoklastlara (b) ait olduğu anlaşılabilir. Bölümsel olarak rekristalize olmuş tanelerden bazılarının da rudist kavkı parçası (r) olduğu anlaşılabilir. Planktonik foraminifer (pf) ve kalsisiferlerin (k) bolluğu bazı örneklerde belirgin şekilde azalır (örnek no: 03-646), C) D2 dolgusunda bazı kesimlerde laminalanma gözlenir (pf: planktonik foraminifer, ra: rekristalize allokemler) (örnek no: 03-644), D) Bey Dağları Otoktonu'nun kuzey bölümünde gözlenen Koniasiyen-Santoniyen yaşlı yarıpelajik kireçtaşlarına ait tipik mikrofasiyes görüntüsü (örnek no: 03-142; Kocaboğaz Dere, Koordinat: 80820/47563). Fasiyes baskın olarak D2 dolgusunda olduğu gibi, tipik olarak seyrek planktonik foraminifer (pf), kalsisifer (k) ve rekristalize allokemler (ra) içeren Vaketaşı dokusu ile temsil edilir.

Figure 7. Microphotographs showing microfacies characteristics of the infilling D2. A) The infilling D2 is typically represented by Wackestone/Mudstone texture with rare

planktonic foraminifera (pf), calcisphere (k) and recrystallized allochemes (ra) (sample no: 03-640). Planktonic foraminifera are dominated by dicarinellid and marginotruncanid species. B) The abundance of recrystallized allochemes (ra) increases in some levels. It is distinguishable that most of the allochemes are bioclasts (b). It is also distinguishable that some partly recrystallized allochemes are rudist fragments (r). The abundance of planktonic foraminifera (pf) and calcispheres (k) sharply decreases (sample no: 03-646), C) Lamination is observed in some parts of the infilling D2 (pf: planktonic foraminifera, ra: recrystallized allochemes) (sample no: 03-644), D) Typical microfacies view of the Coniacian-Santonian hemipelagic limestones observed in the northern part of the Bey Dağları Autochthon (sample no: 03-142; Kocaboğaz Dere, Coordinate: 80820/47563). The facies is typically dominated by Wackestone texture with rare planktonic foraminifera (pf), calcisphere (k) and recrystallized allochemes (ra) as in the infilling D2.

D2 dolgusunun fasiyesi, genel mikrofasiyes özellikleri ve planktonik foraminifer içeriği dikkate alındığında Bey Dağları Otoktonu'nun kuzey bölümünde ince bir düzey şeklinde (en fazla 26 metre kalınlığında) gözlenen yarıpelajik kireçtaşlarına (Beydağları Formasyonu'nun en üst bölümü) oldukça benzerdir (Şekil 7D,8) (Farinacci ve Yeniay, 1986; Özkan ve Köylüoğlu, 1988; Sarı ve Özer, 2001; Sarı ve Özer, 2002; Sarı, 2006b; 2009). İki fasiyes arasındaki en belirgin farklılık, Katran Dağ istifinde gözlenen dolgularda bol miktarda rekristalize allokem (olasılıkla biyoklast) gözlenmesidir (Şekil 7B,D). Allokemlerin orta-geç Senomaniyen yaşlı sığ denizel nitelikli yan kayaçta gözlenen rekristalize allokemlere oldukça benzer oluşu, bu allokemlerin neptüniyen dayk dolguları sırasında yan kayaçtan koparak dolguya karıştığını gösterir. İki fasiyes arasındaki diğer bir farklılık ise, bazı kesimlerde Katran Dağ istifi dolgularında allokemlerde yönlenme gözlenmesidir (Şekil 7B,C). Yönlenme, neptüniyen dayk dolguları sırasında tüm malzemenin akmasıyla ilişkilidir.

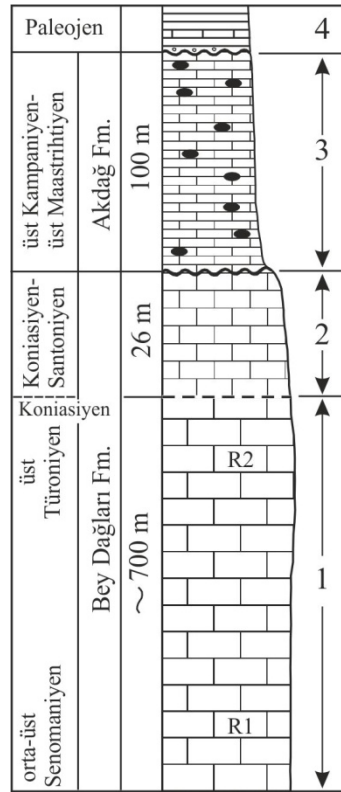
D3 Dolgusu

Belirgin olarak sadece 03-633 numaralı örnekte gözlenen D3 dolgusu planktonik foraminifer ve seyrek kalsisiferli Vaketaşı dokusu ile temsil edilir (Şekil 9A-C). Dolgunun bazı kesimlerinde allokem ve mikritik matrikste akmadan kaynaklanan yönlenme belirgindir. Özellikle bu alanlarda kırılmış, yönlenmiş planktonik foraminifer kavkı parçaları gözlenir. Bu örnekte D3 dolgusu ile birlikte, üstte özellikleri verilen ve D2 dolgusuna karşılık gelen yan kayaç da gözlenir. Yan kayaç ile dolgu sınırı düzensiz ve girintili-çukurlu bir özellik gösterir (Şekil 9B,C). Bu veri, sınırın bir kırık yüzeyi olmadığını, ya da ilksel olarak bir kırık yüzeyi ise de, daha sonraki denizaltında gerçekleşen bir çözünme ile bu özelliği kazandığını gösterir. Sınırdaki

kalsit çimentonun bulunmayışı da dolgunun, açıklığının oluşumundan hemen sonra geliştiğini gösterir.

Dolguda baskın olarak iki karenli globotruncanidlerden yapıllı olan bir planktonik foraminifer topluluğu gözlenir (Levha 2). *Gansserina* cf. *gansseri* (Bolli), *Gansserina wiedenmayeri* (Gandolfi), *Globotruncana arca* (Cushman), *Globotruncana bulloides* Vogler, *Globotruncana linneiana* (d'Orbigny), *Globotruncana neotricarinata* Petrizzo et al., *Globotruncana* cf. *ventricosa* White ve *Globotruncanita* cf. *angulata* (Tilev) türlerinden yapıllı olan toplulukta *Ga.* cf. *gansseri* ve *Gt.* cf. *angulata* türlerinin gözlenmesi bu dolgunun en geç Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı olduğunu gösterir (Premoli Silva ve Verga, 2004; Ogg ve Hinnow, 2012; Anthonissen ve Ogg, 2012; Coccioni ve Premoli Silva, 2015).

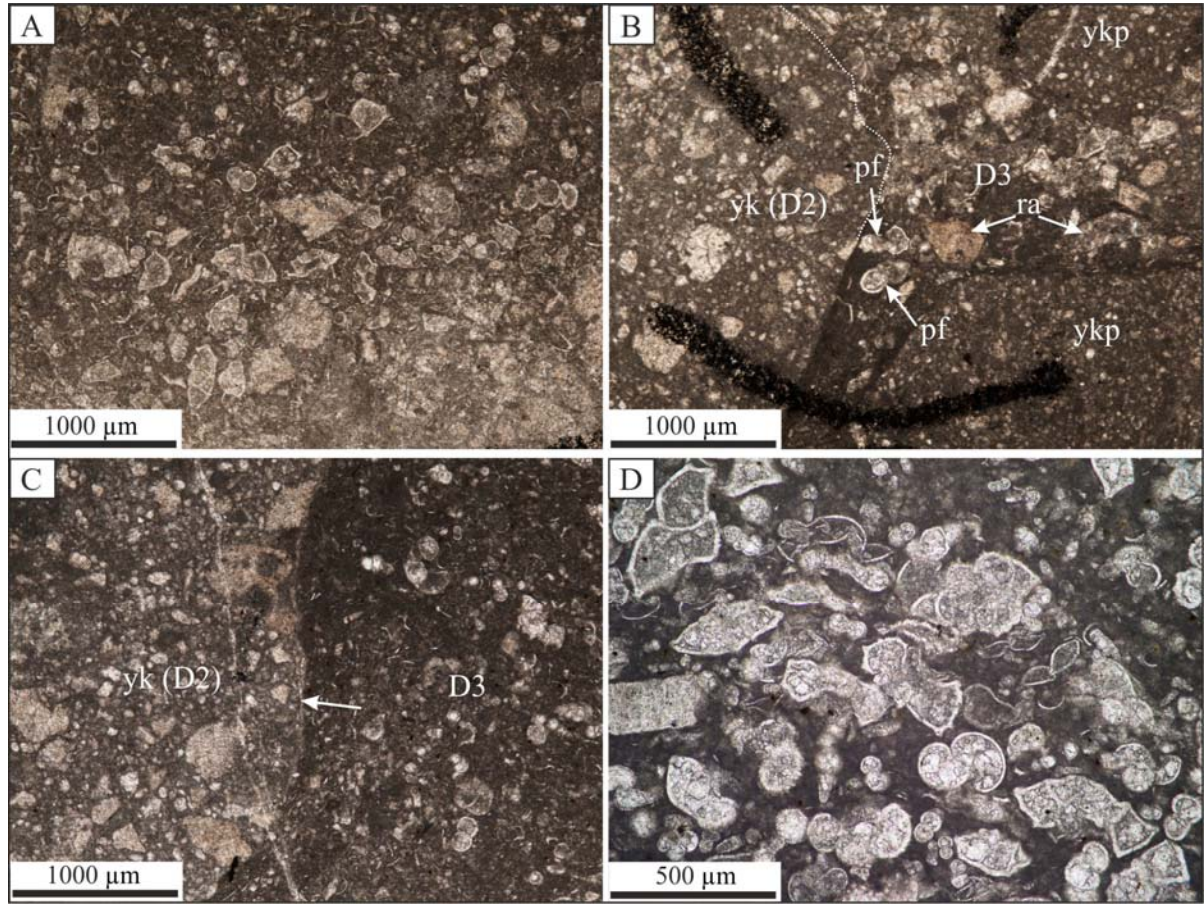
Bu dolguda gözlenen planktonik foraminifer toplulukları ve doku, Bey Dağları Otoktonu'nun kuzey bölümünde yaygın yüzlekleri bulunan pelajik kireçtaşlarında (Akdağ Formasyonu) tanımlanan planktonik foraminifer toplulukları ve dokuya oldukça benzerdir (Şekil 8, 9D) (Farinacci ve Yeniay, 1986; Özkan ve Köylüoğlu, 1988; Sarı ve Özer, 2001; Sarı ve Özer, 2002; Sarı, 2006b; 2009).



Şekil 8. Bey Dağları Otoktonu'nun kuzey bölümünün genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Sarı, 2009; Sarı ve Özer, 2009; Sarı vd., 2009'dan değiştirilerek alınmıştır). 1. Bentik foraminifer ve iki belirgin rudist litosomu (orta-geç Senomaniyen: R1 ve geç

Turoniyen: R2 olmak üzere) içeren orta-kalın, yersel olarak masif katmanlı neritik kireçtaşları, 2. Planktonik foraminifer ve kalsisifer içeren masif katmanlı yaripelajik kireçtaşları, 3. İnce-orta belirgin katmanlı, çört yumruları içeren bol planktonik foraminiferli pelajik kireçtaşları, 4. Planktonik foraminiferli pelajik marnlar (bazı lokalitelerde altta ince bir çakıltaşı düzeyi ile başlar).

Figure 8. Generalized stratigraphic column of the northern part of the Bey Dağları Autochthon (modified after Sarı, 2009; Sarı and Özer, 2009; Sarı et al., 2009). 1. Middle to thick, locally thick-bedded neritic limestones with benthic foraminifera and two rudist lithosomes (middle-late Cenomanian: R1 and late Turonian: R2), 2. Planktonic foraminifera and calcispheres bearing massive bedded hemipelagic limestones, 3. Thin to medium distinct bedded, abundant planktonic foraminifera bearing pelagic limestones with chert nodules, 4. Planktonic foraminifera bearing marls (a thin conglomerate level at the base in some localities).



Şekil 9. D3 dolgusunun mikrofasiyes özelliklerini gösteren mikrofotografılar. İlk üç fotoğraf 03-633 nolu örnekten çekilmiştir. A) D3 dolgusu tipik olarak planktonik foraminiferli ve seyrek kalsisiferli Vaketaşı dokusu ile temsil edilir. Planktonik foraminiferler tek ve çift kareli Kampaniyen-Maastrichtiyen globotruncanid morfotipleri ile temsil edilir ve bu özelliği ile D2 dolgusundan ayrılır, B) D3 dolgusu ve yan kayacı

oluşturan D2 dolgusu arasındaki sınır düzlemsel değildir (beyaz noktalı çizgi). D3 dolgusu, yan kayacı oluşturan D2 dolgusundan türeme irili ufaklı parçalar içerir. Büyük parçalar (ykp) köşelidir ve küçük rekristalize allokemler (ra) ile birlikte planktonik foraminiferli (pf) mikrit içinde yüzerler, C) D3 dolgusu ile yan kayacı oluşturan D2 dolgusu (yk) arasında düzlemsel olmayan ve kalsit çimento içermeyen sınırın yakından görünümü (ok), D) Bey Dağları Otoktonu'nun kuzey bölümünde gözlenen geç Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı pelajik kireçtaşlarına ait tipik mikrofasiyes görüntüsü (Kocçaliler (Katran Dağ'ın yaklaşık 30 km KD'si), örnek no: 01-420; Koordinat: 97900/33675). Mikrofasiyes, D3 dolgusunda olduğu gibi çoğunlukla, tipik olarak bol planktonik foraminiferli Vaketaşı dokusu ile temsil edilir.

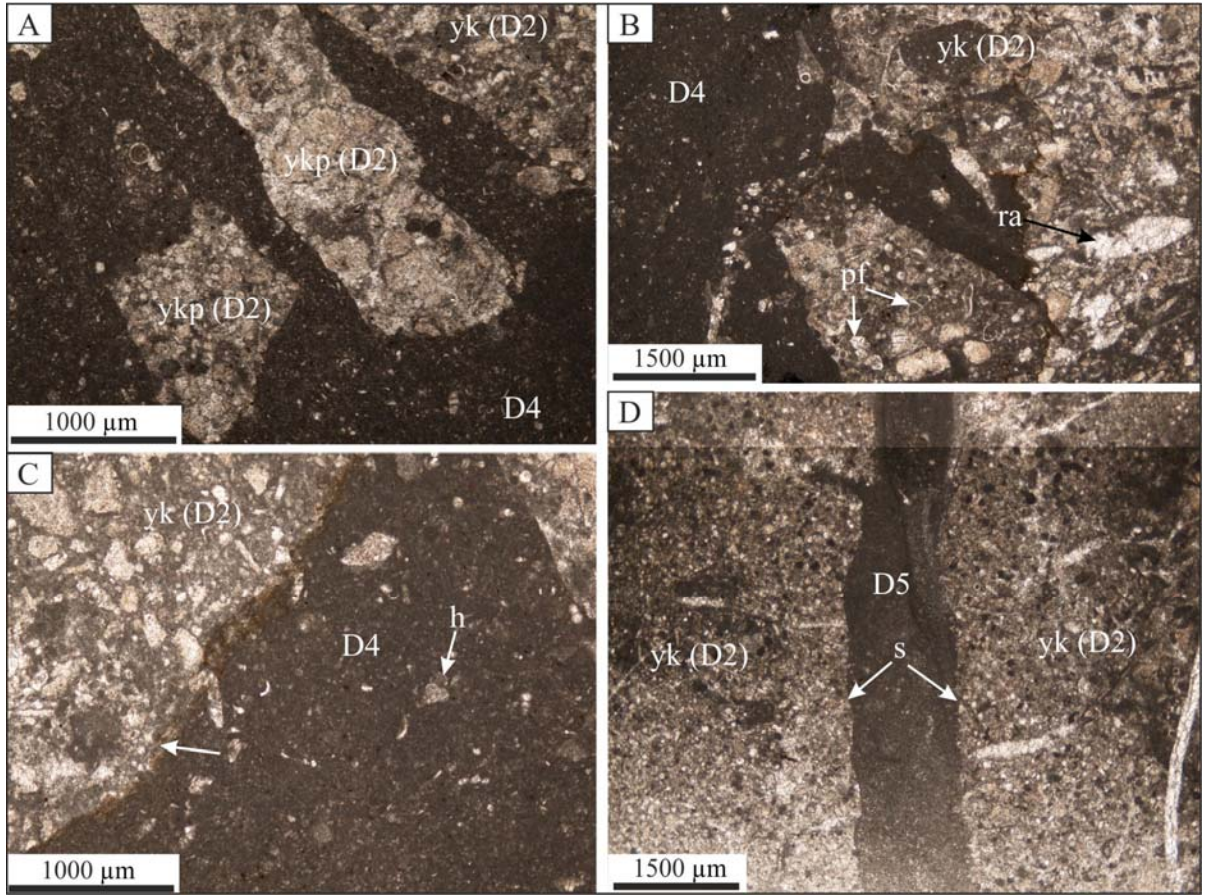
Figure 9. Microphotographs showing microfacies characteristics of the infilling D3. The following three photo were taken from sample 03-633. A) The infilling D3 is typically dominated by Wackestone texture with planktonic foraminifera and rare calcisphere. The planktonic foraminifera are represented by single and double-keeled Campanian-Maastrichtian globotruncanid morphotypes, which separate infilling D3 from infilling D2, B) The boundary between the infilling D3 and the host rock comprising infilling D2 is not planar (white dashed line). The infilling D3 comprises small and large clasts derived from the host rock of D2 infilling. The large clasts (ykp) are angular and embedded within the planktonic foraminifera (pf) bearing micrite together with small recrystallized allochemes (ra), C) Close-up view of the non-planar boundary between the infilling D3 and the host rock comprising D2 infilling (yk). The boundary does not show calcite cement (arrow), D) Typical microfacies view of the late Campanian-Maastrichtian pelagic limestones observed in the northern part of the Bey Dağları Autochthon (Kocçaliler (some 30 km NE to the Katran Dağ), sample no: 01-420; Coordinate: 97900/33675). The microfacies is typically dominated by Wackestone texture with abundant planktonic foraminifera as in the D3 infilling.

Yaşı Bilinemeyen Dolgular

Karakteristik fosil içermemesi nedeniyle yaşı bilinmeyen D4, D5 ve D6 dolguları ile ilgili gözlemler aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir.

D4 dolgusu

İstifin en alt bölümünde 03-606 numaralı örnekte D2 dolgusunu kesen daha genç bir dolgu gözlenmektedir (Şekil 4, 10A-C). Dolguda yaş verebilecek herhangi bir planktonik foraminifer gözlenmemektedir. Oldukça seyrek '*Heterohelix*' benzeri planktonik foraminifer ve seyrek kalsisifer içeren ve Çamurtaşlı mikrofasiyesi ile temsil edilen dolgu, yan kayaktan (D2 dolgusu) türeme köşeli taneler içerir (Şekil 10A). Bu veri, dolgunun yerleşimi sırasında duvarlardan kopan parçaların dolgunun içine karıştığını, tanelerin köşeli oluşu da taşınmanın fazla olmadığını gösterir. D4 dolgusu, yan kayacı oluşturan D2 dolgusundan ani ve düzensiz bir sınırla ayrılır ve sınırdan



Şekil 10. Yaşı bilinmeyen neptüniyen dayk dolgularının (D4 ve D5 dolguları) mikrofotoğrafları. A) D4 dolgusu yan kayacı oluşturan D2 dolgusuna (yk:D2) yerleşmiştir. D4 dolgusu tanımlanamayan çok seyrek planktonik foraminifer ve kalsisiferli Çamurtaşlı mikrofasiyesi ile temsil edilir (örnek no: 03-606). Yan kayacı oluşturan D2 dolgusuna ait köşeli taneler (ykp) mikritik matriks içinde yüzer

konumdadır, B) Yan kayaçta gözlenen planktonik foraminiferler (pf) (*Dicarinella* sp. ve *Marginotruncana* sp.) ve bol miktarda rekristalize allokem (ra) içeren doku, yan kayacın D2 dolgusu ile aynı özelliklere sahip olduğunu gösterir (örnek no: 03-606), C) D4 dolgusu ile D2 dolgusundan yapıları olan yan kayaç (yk) düzgün olmayan ve kalsit çimento içermeyen bir sınır ile ayrılır (ok). Mikritik dolguda 'Heterohelix' benzeri seyrek planktonik foraminifer (h) gözlenir (örnek no: 03-606), D) Herhangi bir allokem içermeyen mikritten yapıları D5 dolgusu da yan kayacı oluşturan D2 dolgusuna (yk) yerleşmiştir. D5 dolgusu ile yan kayaç sınırları (s) düze yakındır, az çok paraleldir ve kalsit çimento içermez (örnek no: 03-642).

*Figure 10. Microphotographs of the neptunian dike infillings (D4 and D5) of unknown age. The infilling D4 filled the cavities of the host rock comprising D2 infilling (yk:D2). The D4 infilling consists of Mudstone microfacies with quite rare unidentifiable planktonic foraminifera and calcisphere (sample no: 03-606). The angular clasts (ykp) derived from the host rock of D2 infilling are embedded within the micritic matrix, B) The planktonic foraminifers (pf) (*Dicarinella* sp. and *Marginotruncana* sp.) included and the texture comprising abundant recrystallized allochemes (ra) within the host rock show that the host rock has similar characteristics with the infilling D2 (sample no: 03-606), C) The infilling D4 and the host rock (yk) comprising D2 are separated by a non-planar boundary (arrow) without a calcite cement. Rare 'Heterohelix' like planktonic foraminifera (h) are observed within the micritic infilling (sample no: 03-606), D) The infilling D5 does not have any allochemes and fills the host rock (yk) comprising D2 infilling as well. The boundaries (s) between the infilling D5 and the host rock are more or less planar, parallel and do not show calcite cement (sample no: 03-642).*

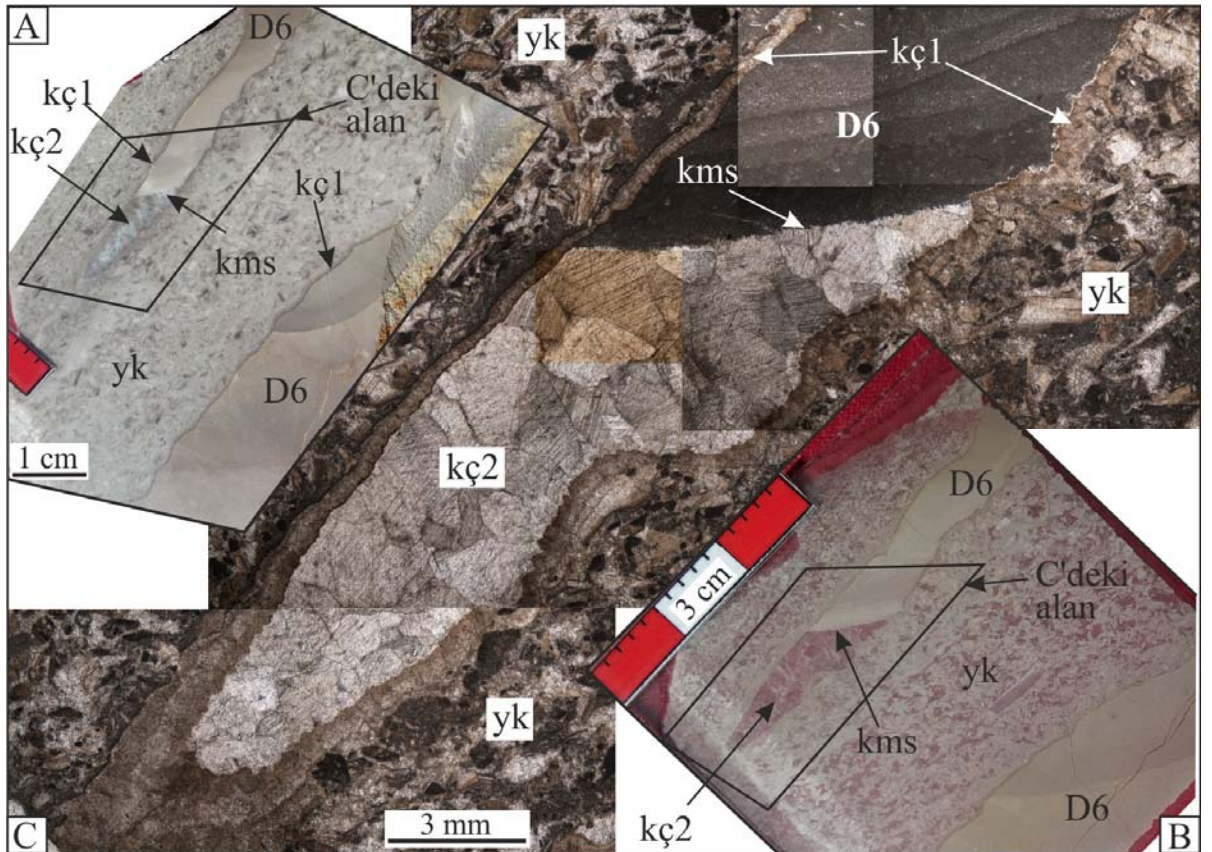
kalsit çimento gözlenmez (Şekil 10A-C). Bu veri boşluğun daha çok denizaltı çözünmesiyle geliştiğini ve boşluğun gelişiminin ardından ani bir şekilde doldurulduğunu gösterir. 03-633 numaralı örnekte gözlenen D3 dolgusunda da benzer fasiyes ve sınır ilişkilerinin gözlenmesi, her iki dolgunun eş yaşlı olabileceğini düşündürür.

D5 dolgusu

03-642 numaralı örnekte de iki dolgu birlikte gözlenir (Şekil 10D). Bu örnekte, laminalanma sunan D2 dolgusunu planktonik foraminifer içermeyen daha genç bir dolgu kesmektedir (D5 dolgusu). Planktonik foraminifer içermemesi nedeniyle dolgunun yaşı bilinemez. Yaklaşık 1-1.5 mm açıklığa sahip olan dolgu ile yan kayaç sınırı düze yakındır ve dolgu duvarları az çok paraleldir. Bu veri açıklığın bir çatlak ile ilişkili olduğunu gösterir. Sınırdaki kalsit çimento gözlenmemesi dolgunun çatlak gelişiminden hemen sonra gerçekleştiğini gösterir (Şekil 10D).

D6 dolgusu

İstifin alt bölümlerinde (istifin 10. metresi) yaşı bilinmeyen dolgular gözlenmektedir. Bu noktada yan kayacı biyoklastik Tanetaşı/Kabataş mikrofasiyesine sahip neritik



Şekil 11. İstifin alt bölümünde gözlenen D6 dolgusu ve yan kayaç ilişkilerini gösteren fotoğraflar. A) Neptüniyen dayk dolgularının parlatılmış el örneğinde görünümü. Dolgu ve yan kayacın farklı doku ve renklere sahip olması nedeniyle, dolgu (D6) ile

yan kayaç (yk) sınırları açık olarak gözlenebilir. Tüm açıklık sınırını saran yaklaşık 0.5-1 mm kalınlığındaki birinci nesil kalsit çimento (kç1) ile, boşluğun alt bölümünü dolduran ikinci nesil kalsit çimento (kç2) farklı zamanlarda oluşmuştur. Kç2'nin çökeliminden sonra geride kalan boşluğa laminalı mikritten yapıları D6 dolgusu yerleşmiştir. Kalsit çimento (kç2) mikritik dolgu (D6) sınırı (kms) açık olarak gözlenmektedir, B) Aynı örnekten yapılmış ince kesitin makrofotografı, C) Örneğin ince kesit görüntüsü. Biyoklastik Tanetaşı dokusundan yapıları yan kayaç (yk) içine yerleşmiş olan dolgu (D6) allokem içermez. Kalsit çimento (kç2) ile mikritik dolgu (D6) arasındaki sınır (kms) ince kesitte de açık olarak gözlenebilir.

Figure 11. Photographs showing relationship between the infilling D6 and the host rock from the lower part of the succession. A) Neptunian dike infillings in the polished slab. The boundaries between the infilling and the host rock are clearly seen as the infilling (D6) and the host rock (yk) have different textures and colors. The 0.5-1 mm-thick first generation calcite cement (kç1) covering the whole cavity surface and the second generation calcite cement (kç2) filling lower part of the cavity occurred in different times. The infilling D6 comprising laminated micrite filled the cavities left after precipitation of the kç2. The boundary (kms) between the calcite cement (kç2) and the micritic infilling (D6) can easily be seen, B) Macro photograph of the thin section prepared from the same section, C) Micro photograph of the sample. The infilling (D6) filled the cavities of the host rock (yk) of bioclastic Grainstone texture and does not comprise allochemes. The boundary (kms) between the calcite cement (kç2) and the micritic infilling (D6) can clearly be seen in thin section as well.

kireçtaşları oluşturur (Şekil 11A-C). Dolgular yersel laminalanma sunan ve hiçbir allokem içermeyen mikritten (Çamurtaşı mikrofasiyesi) yapılarıdır (Şekil 11C). Bu örneklerin diğer dolgu içeren örneklerden farkı dolgu uçlarının gözlenmesidir. Tüm dolgu sınırı boyunca 0.2-2 mm kalınlığında bir kalsit çimentonun varlığı ve dolgunun uç bölümünde yaklaşık 2 cm kalınlığında kalsit birikiminin gözlenmesi, boşlukta yer alan sudan farklı iki dönemde kalsit çimento çökeldiğini ve mikritik dolgu öncesi belirli bir süre boş kaldığını gösterir (Şekil 11A-C). Kalsit çimento ile mikritik dolgu sınırı, kalsit çimentonun oluşumu sırasındaki yatay düzleme karşılık gelir (Şekil 11C).

D4, D5 ve D6 dolgularının neredeyse hiç planktonik foraminifer içermemesi, açıklıkların fazla olmadığı neptüniyen dayk dolgularında gözlenebilen mikrit çamurunun süzülmesi (Lehner, 1991) ile ilgili olabilir. Bu durumda, yaşı bilinmeyen ancak bağıl olarak daha genç olan D4, D5 ve D6 dolguları D3 dolgusu ile deneştirilebilir ve dolayısıyla D3 dolgusu ile eş yaşı olabilir. Alternatif olarak, bu dolguların üçü de daha genç başka bir dolguya ait olabilir, ya da her dolgu farklı bir zamanda da gelişmiş olabilir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bey Dağları Otoktonu'nun doğu bölümüne karşılık gelen Katran Dağ'ın doğu yamacında yaygın yüzlekleri bulunan orta-geç Senomaniyen yaşlı rudistli sığ denizel kireçtaşları farklı zamanlarda gelişmiş pelajik neptüniyen dayk dolguları içermektedir. Pelajik dolgular ile yan kayacın benzer renk ve dokuya sahip olduğu düzeylerde, dolguları arazide tanımlamak oldukça güçtür. Bu seviyelerden alınan örneklerin ince kesitlerinde doku ve fosil toplulukları tanımlanarak dayk-yan kayaç ayrımı yapılabilmektedir. D2 ve D3 dolgularında tanımlanan planktonik foraminifer toplulukları, dolguların geç Koniasiyen-Santoniyen ve en geç Kampaniyen-Maastrichtiyen'de geliştiğini göstermektedir. D2 dolgusundan önce gelişen D1 dolgusu planktonik foraminifer içermemesi nedeniyle yaşlandırılmamaktadır. D4, D5 ve D6 dolguları neritik kireçtaşlarını ve D2 dolgularını keserler ve karakteristik planktonik foraminifer içermezler. Karakteristik planktonik foraminifer içermeyen ve D3 dolgusu ile benzer doku ve yan kayaç ilişkisine sahip olan D4 dolgusunun D3 dolgusu ile eş yaşı olabileceği düşünülebilir. Hiçbir planktonik foraminifer içermeyen D5 ve D6 dolgularının yaşı saptanamamaktadır.

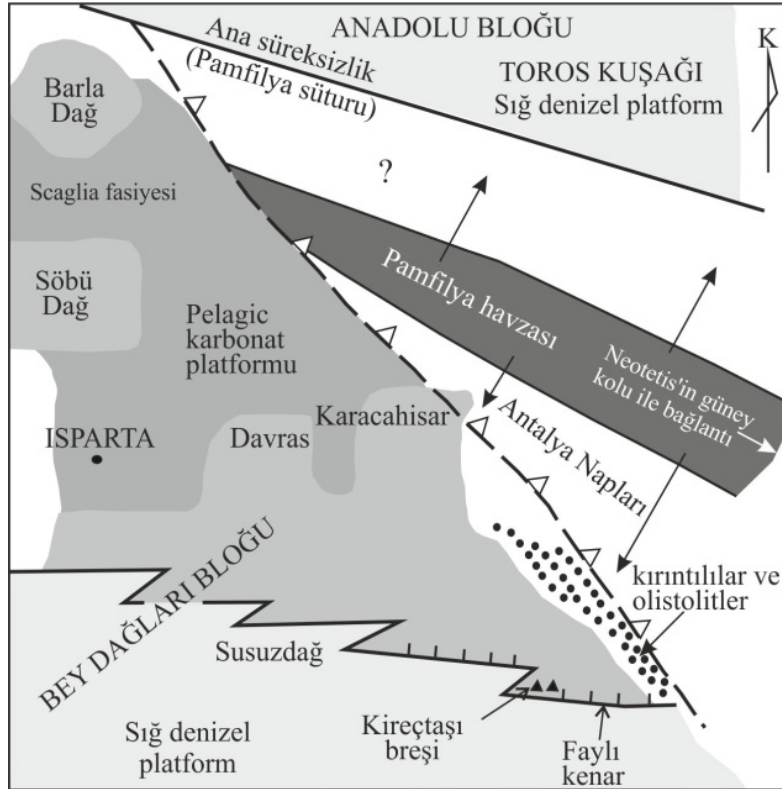
Elde edilen veriler, Katran Dağ alanında, platform kireçtaşlarında dayk ve dolgu gelişiminin geç Koniasiyen-Santoniyen ve en geç Kampaniyen-Maastrichtiyen olmak üzere, en az iki evrede ve pelajik kireçtaşlarının çökelişi veya hemen öncesinde gerçekleştiğini gösterir. D4, D5 ve D6 dolgularının D3 dolgusundan farklı zamanlarda

gelişmiş olması durumunda ise, otoktonun bu bölümünde platformun sürekli olarak benzer genleşme kuvvetleri etkisi altında kalmış olması gerekmektedir.

Dolgu-yan kayaç sınırlarında çoğunlukla kalsit çimentonun gelişmemiş olması, boşluklarının gelişiminin hemen ardından pelajik mikrit ile doldurulduğunu göstermektedir. Kalsit çimentonun gelişebildiği dolgu sınırlarının ise, ilk aşamada mikrit dolgunun ulaşamadığı, az çok kapalı boşluklar olduğu düşünülebilir. Bu boşluklar da belirli bir süre sonra deniz tabanındaki mikritin ulaşabileceği şekilde deniz tabanına kadar açılmış olmalıdır. Bazı dolgularda gözlenen laminalanma, mikritin boşluklara oldukça hızlı bir şekilde dolduğunu gösterir (Lehner, 1991; Cozzi, 2000; Flügel, 2010). Dolgularda gözlenen yan kayaç duvarından kopmuş köşeli taneler ise, mikritik çamur dolgunun belirli bir hidrostatik basınç altında gerçekleştiğini gösterir (Lehner, 1991). Katran Dağ neptuniyen dayk dolguları ve yan kayaçta su üstü koşullarında çözünme, aşınma ve dolguyu yansıtabilecek, boksit, laterit vb. gibi herhangi bir karasallaşma verisi gözlenmemiştir. Bu nedenle, tüm açıklıklar ve dolgular su altında gelişmiş olmalıdır. Dolayısıyla neptüniyen dayk tanımına uymaktadır. Tüm dolguların pelajik niteliği de bu gözlemi desteklemektedir.

Yaşlandırılabilen D2 ve D3 dolgularının fasiyes ve planktonik foraminifer toplulukları açısından Bey Dağları Otoktonu'nun kuzey bölümünde tanımlanan sırasıyla Koniasiyen-Santoniyen ve geç Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı pelajik kayaçlara benzer oluşu (Farinacci ve Yeniay, 1986; Özkan ve Köylüoğlu, 1988; Sarı ve Özer, 2001; 2002; Sarı, 2006a; 2009), Geç Kretase'de otoktonun doğu bölümünün kuzey bölüm ile benzer bir jeodinamik evrim geçirdiğini, bu nedenle benzer pelajik istiflerin platformun doğu bölümünde de çökeldiğini, ancak daha sonra gelişen aşınma dönemlerinde pelajik kayaçların aşındığını göstermektedir. Pelajik dolgular Geç Kretase'de platformun en az iki farklı dönemde (geç Koniasiyen-Santoniyen ve en geç Kampaniyen-Maastrichtiyen), platformun boğulmasına da neden olan, genleşme tektoniği etkisi altında kaldığını göstermektedir. Poisson vd., (2003) platformun Geç Kretase evriminin ve pelajikleşmesinin, platformun doğu-kuzeydoğusunda bulunan

Pamfilyen Okyanusu'nun kapanma süreci ve ilişkili ofiyolit yerleşimleri ile doğrudan bağlantılı olduğunu öne sürmüşlerdir (Şekil 12). Bir diğer görüşe göre ise, platformun pelajikleşmesi, platformun güneyinde yer alan ve kuzeye dalan okyanus kabuğunun geriye kaçması (roll-back) ile ilişkilidir (Poisson, 1984; Robertson, 1993; Robertson vd., 2003). İkinci görüş, genişleme ile ilişkili neptüniyen dayk dolgularının gelişimini de açıklayabileceği için bu çalışmada elde edilen verilerle örtüşmektedir.



Şekil 12. Geç Kretase'de (Koniasiyen-Maastrichtiyen) Pamfilyen havzası ve çevresindeki karbonat platformlarını gösteren paleocoğrafik harita (Poisson vd., 2003'ten değiştirilerek alınmıştır). Bu modele göre karbonat platformlarının evrimi (yüzeyleme ve boğulma) K-G yönlü sıkışmaya bağlı olarak Pamfilyen havzasının kapanması ile doğrudan ilişkilidir.

Figure 12. Reconstruction of the Pamphylian basin and surrounding carbonate platforms in Late Cretaceous (Coniacian-Maastrichtian) time (modified after Poisson et al. 2003). The model suggests that the evolution of the carbonate platforms (exposure and drowning) was directly related to the closure of the Pamphylian basin owing to N-S convergence.

KATKI BELİRTME

Yazar, makaleyi değerlendirerek değerli katkılar sunan iki isimsiz hakeme teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Anthonissen, D. E. ve Ogg, J. G., (derleyenler) (2012): Appendix 3: Cenozoic and Cretaceous biochronology of planktonic foraminifera and calcareous nannofossils. In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. ve Ogg, G.M. (eds.). The Geologic Time Scale 2012, Volume 2. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, pp. 1083-1127.

Bates R.L. ve Jackson J.A., 1987. Glossary of Geology, 3rd edn. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, pp.335 ve 446.

Bektaş, O. ve Çapkınoğlu, Ş.,1997. Doğu Pontid magmatik arkında (KD Türkiye) neptüniyen dayklar ve blok tektoniği: Mesozoyik havzalarının kinematiği ile ilgili bulgular. Çukurova Univ. Jeoloji Eğitiminde 20 yıl sempozyumu, Bildiri Özetleri, 187-189, Adana.

Bektaş, O., Çapkınoğlu, Ş. ve Akdağ, K., 2001. Successive extensional tectonic regimes during the Mesozoic as evidenced by neptunian dikes in the Pontide Magmatic Arc, northeast Turkey. *International Geology Review*, 43, 840-849.

Bektaş, O., Çapkınoğlu, Ş. ve Akdağ, K., 2002. Neptüniyen dayklar ve tektonik önemleri. *Mavi Gezegen*, 5, 78-80.

Bignot, G. ve Poisson, A., 1974. Le Cénomaniyen du flanc oriental du Katran Dağ (Sam dağ) pres d'Antalya (Turquie). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 82, 71-77.

- Blendinger, W., 1986. Isolated stationary carbonate platforms: the Middle Triassic (Ladinian) of the Marmolada area, Dolomites, Italy. *Sedimentology*, 33, 159-183.
- Camoin, G., Bellion, Y., Dercourt, J., Guiraud, R., Lucas, J., Poisson, A., Ricou, L.E. ve Vrielynck, B., 1993. Late Maastrichtian (69.5-65 Ma). In: Dercourt, J., Ricou, L.E., Vrielynck, B. (Eds.), *Atlas Tethys Palaeoenvironmental Maps. Explanatory Notes*. Gauthier-Villars, Paris, pp. 179-196.
- Coccioni, R. ve Premoli Silva, I., 2015, Revised Upper Albian-Maastrichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetostratigraphy of the classical Tethyan Gubbio section (Italy). *Newsletter on Stratigraphy*, 48(1), 47–90.
- Cozzi, A., 2000. Synsedimentary tensional features in Upper- Triassic shallow-water carbonates of the Carnian Prealpes (northern Italy) and their importance as paleostress indicators. *Basin Research*, 12, 133-146.
- Dercourt, J., Gaetani, M., Vrielynck, B., Barrier, E., Biju-Duval, B., Brunet, M. F., vd., (eds). 2000. *Peri-Tethys Palaeogeographical Maps Atlas*. Commission Carte Géologique du Monde-Commission Geological Map of the World. Paris.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In. W. E. Ham, (Ed). *Classification of Carbonate Rocks*. Am. Ass. Petrol. Geol. Mem. 1, 108-121.
- Embry, A.F. ve Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Can. Petrol. Geology Bull.* 19, 730-781.
- Farinacci, A. ve Köylüoğlu, M., 1982. Evolution of the Jurassic-Cretaceous Taurus Shelf (southern Turkey). *Bolletino Della Societa Paleontologica Italiana* 21, 267-276.
- Farinacci, A., Yeniay, G., 1986. Biostratigraphy and event-analysis of the Cenomanian-Maastrichtian carbonates of the Bey Dağları (western Taurus, Turkey). *Geologica Romana* 25, 257-284.

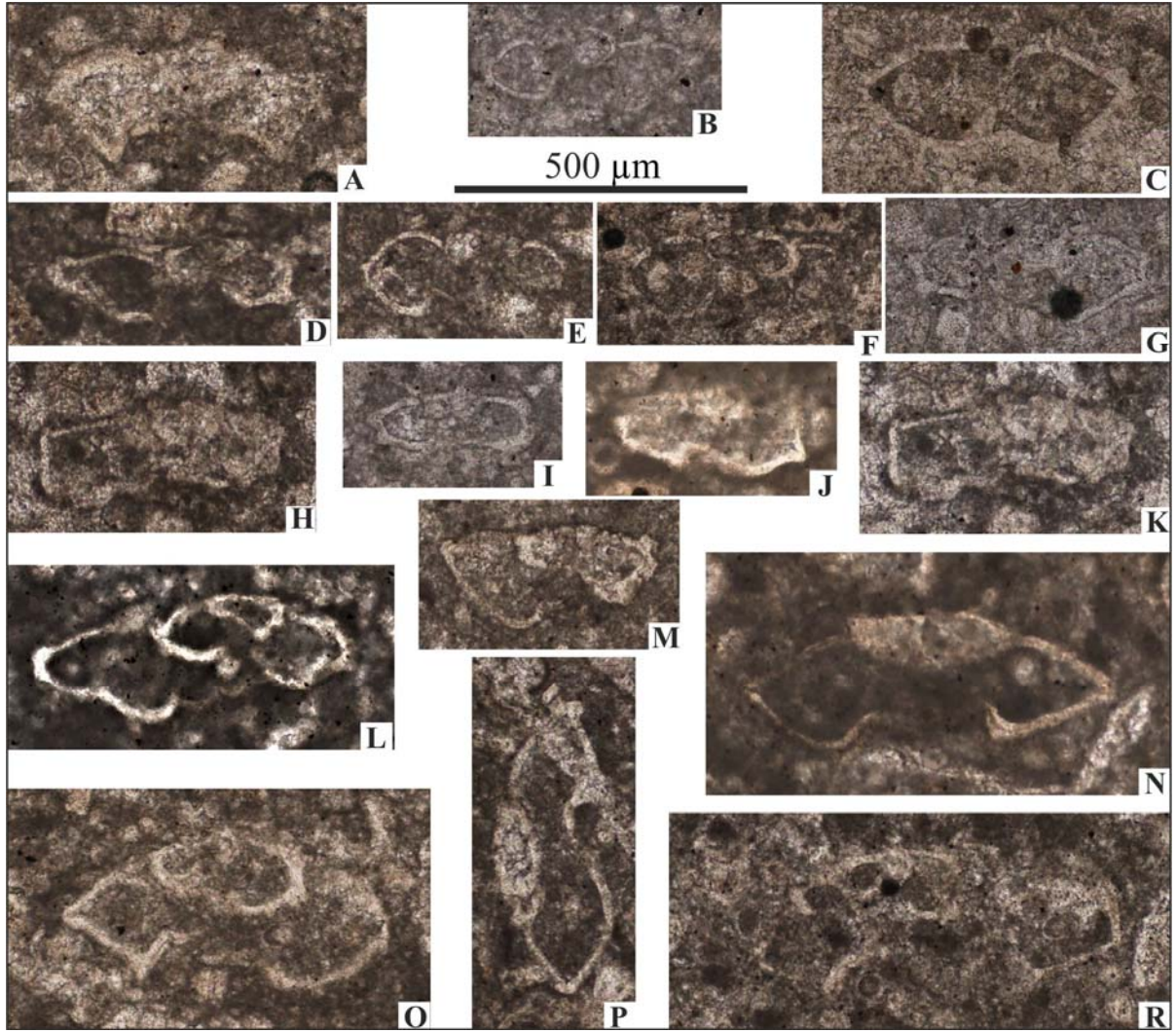
- Füchtbauer, H. ve Richter, D.K., 1983. Relations between submarine fissures, internal breccias and mass flow during Triassic and earlier rifting periods. *Geologische Rundschau*, 72 (1), 53-66.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application*. 2nd edition. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 984 p.
- Gale, A.S., Kennedy, J.W., Lees, J.A., Petrizzo, M.R., Walaszczyk, I., 2007. An integrated study (inoceramid bivalves, ammonites, calcareous nannofossils, planktonic foraminifera, stable carbon isotopes) of the Ten Mile Creek section, Lancaster, Dallas County, north Texas, a candidate Global boundary Stratotype Section and Point for the base of the Santonian Stage. *Acta Geologica Polonica*, v. 57, pp. 113-160.
- Göncüoğlu, M.C., 2011. Geology of the Kütahya-Bolkardağ Belt. *M.T.A. Bulletin*, 142, 223-277.
- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A. ve Dumont, J.F., 1979. Géologie des Taurus occidentales (Turquie). *Mémoires de la Société Géologique de France* 58, 1-112.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. ve Vail, P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since Triassic. *Science* 235, 1156-1167.
- Ion, J. ve Szasz, L., 1994. Biostratigraphy of the Upper Cretaceous of Romania. *Cretaceous Research* 15, 59-87.
- Ion, J., Antonescu, E., Melinte, M. ve Szasz, L., 1999. Integrated biostratigraphy of the Lower and Middle Coniacian in Romania. *Acta Palaeontologica Romaniaae* 2, 213-221.
- Lamolda, M.A. ve Paul, C.R.C., 2007. Carbon and oxygen stable isotopes across the Coniacian/Santonian boundary at Olazagutia, northern Spain. *Cretaceous Research* 28 (1), 37-45.

- Lehner, B.L., 1991. Neptunian dykes along a drowned Carbonate platform margin: an indication for recurrent extensional tectonic activity? *Terra Nova*, 3, 593-606.
- Ogg, J. G. ve Hinnov, L. A., 2012. Cretaceous. In: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. ve Ogg, G.M. (eds.): *The Geologic Time Scale 2012, Volume 2*. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, pp. 793-854.
- Okay, I.A. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications* 156, 475-515.
- Özgül, N., 1976. Some basic geological properties of Taurides. *TJK Bülteni (Bulletin of Geological Society of Turkey)* 19, 65-78.
- Özgül, N., 1984. Stratigraphy and Tectonic evolution of the central Taurus. In: Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C., (Eds.), *Geology of the Taurus Belt, Proceedings*, p. 77-90.
- Özkan, S. ve Köylüoğlu, M., 1988. Campanian-Maastrichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Beydağları Autochthonous Unit, Western Taurids, Turkey. *Middle East Technical University, Journal of Pure and Applied Sciences* 21, 377-388.
- Philip, J., Babinot, J.F., Tronchetti, G., Fourcade, et al., 1993. Late Cenomanian (94-92 Ma). In: Dercourt, J., Ricou, L.E., Vrielynck, B. (Eds.), *Atlas Tethys Palaeoenvironmental Maps. Explanatory Notes*. Gauthier-Villars, Paris, pp. 153-178.
- Poisson, A., 1973. La coupe du Katran Dağ (Sam Dağ) pres d'Antalya (Taurus Lycien, Turquie). Découverte de Jurassique et de Crétacé inférieur. Mise en évidence d'une lacune dans le Crétacé supérieur. *C.R. Acad. Sci.*, Paris.
- Poisson, A., 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). Thèse Doct. d'Etat, Université de Paris-Sud, Orsay, 795 pp. (yayınlanmamış).

- Poisson, A., Akay, E., Dumont, J.F. ve Uysal, Ş., 1984. The Isparta angle: a Mesozoic paleorift in the Western Taurides. In: Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C. (Eds.), Geology of the Taurus Belt. International Symposium 26-29 September. 1983, Ankara 11-26.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M. ve Şentürk, M., 2003. New insights on the tectonic setting and evolution of the Isparta Angle, SW Turkey. *Geological Journal* 38, 257-282.
- Premoli Silva, I. ve Verga, D., 2004. Practical manual of Cretaceous planktonic foraminifera. In: Verga, D. ve Rettori, R. (eds.): International School on planktonic foraminifera, 3rd Course: Cretaceous. Universities of Perugia and Milan, Tipografia Pontefelcino, Perugia (Italy), pp. 283.
- Robaszynski, F., Gonzales Donoso, J. M., Linares, D., Amedro, F., Caron, M., Dupuis, C., Dhondt, A.V. ve Gartner, S., 2000. Le Crétacé supérieur de la région de Kalaat Senan, Tunisie centrale. Litho-biostratigraphie intégrée: zones d'ammonites, de foraminifères planctoniques et de nannofossiles du Turonien supérieur au Maastrichtien. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production. Elf-Aquitaine* 22, 359-490.
- Robertson, A.H.F., Poisson, A. ve Akıncı, Ö., 2003. Developments in research concerning Mesozoic-Tertiary Tethys and neotectonics in the Isparta Angle, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 195-234.
- Robertson, A.H.F., 1993. Mesozoic-Tertiary sedimentary and tectonic evolution of Neotethyan carbonate platforms, margins and small ocean basins in the Antalya Complex, southwest Turkey. *International Association of Sedimentologists, Special Publication*, 20, 415-465

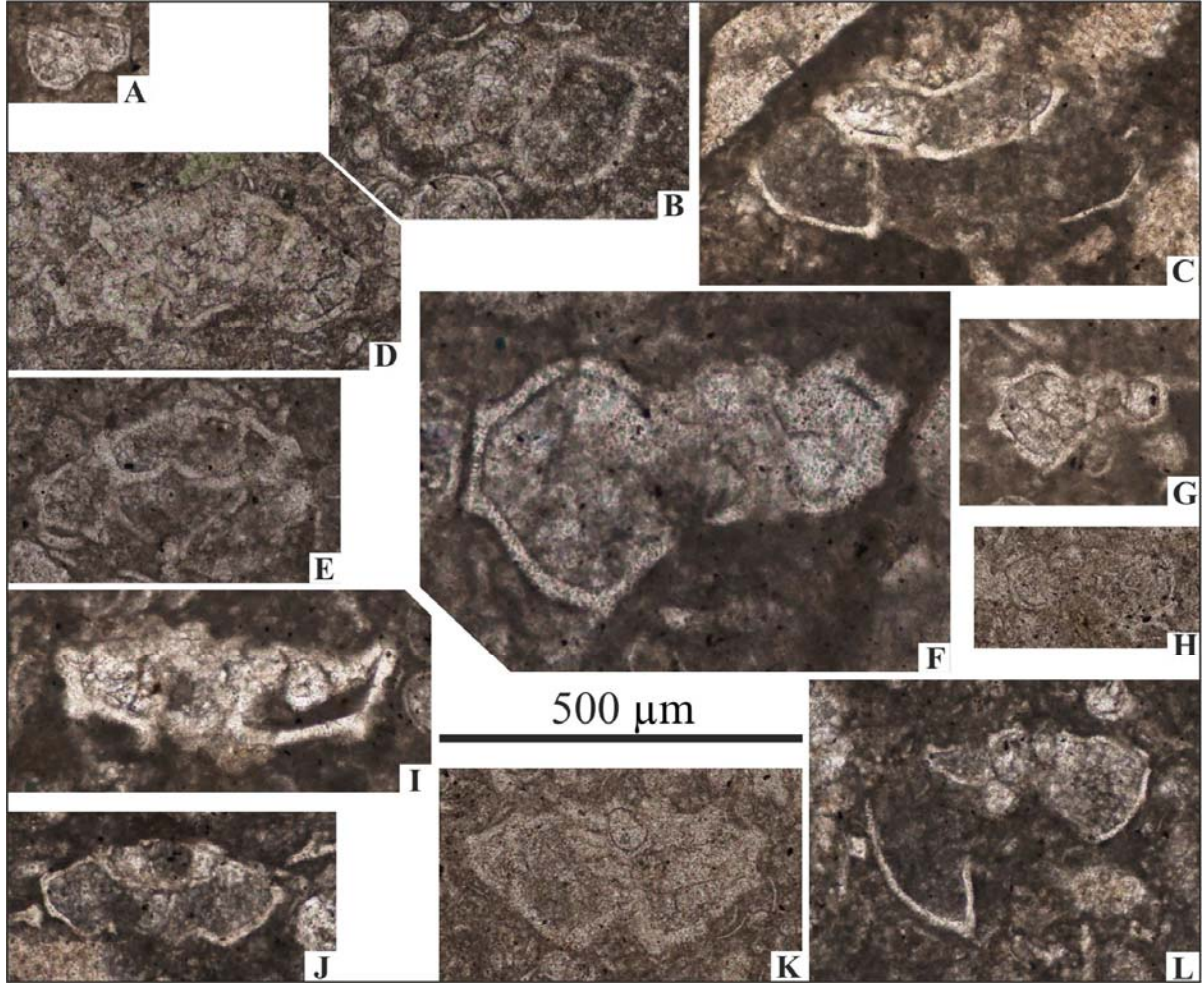
- Sarı, B., 2006a. Upper Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Bey Dağları autochthon in the Korkuteli Area, Western Taurides, Turkey. *Journal of Foraminiferal Research* 36, 241-261.
- Sarı, B., 2006b. Foraminifera-rudist biostratigraphy, Sr-C-Isotope stratigraphy and microfacies analysis of the Upper Cretaceous sequences of the Bey Dağları autochthon (western Taurides, Turkey). PhD thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, 436 pp. (yayınlanmamış).
- Sarı, B., 2009. Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Coniacian-Maastrichtian sequences of the Bey Dağları Autochthon, western Taurides, Turkey: Thin section zonation. *Cretaceous Research* 30, 1103-1132.
- Sarı, B. ve Özer, S., 2001. Facies characteristics of the Cenomanian-Maastrichtian sequence of the Beydağları carbonate platform in the Korkuteli area (western Taurides). *International Geology Review* 43, 830-839.
- Sarı, B., ve Özer, S., 2002. Upper Cretaceous stratigraphy of the Beydağları carbonate platform, Korkuteli area (Western Taurides, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 39-59.
- Sarı, B., ve Özer, S., 2009. Upper Cretaceous rudist biostratigraphy of the Bey Dağları Carbonate Platform, Western Taurides, SW Turkey. *Geobios*, 42 (3), 359-380.
- Sarı, B., Taslı, K. ve Özer, S., 2009. Benthonic foraminiferal biostratigraphy of the Upper Cretaceous (Middle Cenomanian-Coniacian) sequences of the Bey Dağları Carbonate Platform, western Taurides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18 (3), 393-425.
- Schlische, R.W. ve Ackermann, R.V., 1995. Kinematic significance of sediment-filled fissures in the North Mountain Basalt, Fundy rift basin, Nova Scotia, Canada. *Journal of Structural Geology*, 17, 987-996.

- Smart, P. L., Palmer, R.J., Whitaker, F. ve Wright, V.P., 1988. Neptunian Dikes and Fissure Fills: An overview and account of some modern Examples. In: Noel P. James, Philip W. Choquette (eds). *Paleokarst*. 149-163. Berlin (Springer).
- Wendt, J., 1971. Genese und Fauna submariner sedimentärer Spaltenfüllungen im mediterranen Jura. - *Palaeontographica*, Abteilung A, 136, 122-192, Stuttgart.
- Winterer, E.L. ve Sarti, M., 1994. Neptunian dykes and associated features in southern Spain: mechanics of formation and tectonic implications. *Sedimentology*, 41, 1109-1132.
- Winterer, E.L. ve Bosellini, A., 1981. Subsidence and sedimentation on Jurassic passive continental margin. Southern Alps, Italy. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 65, 394-421.
- Winterer E.L., Metzler C.V. ve Sarti M., 1991. Neptunian dikes and associated breccias (Southern Alps, Italy and Switzerland): role of gravity sliding in open and closed systems, *Sedimentology*, 38, 381-404.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt yöresindeki Mesozoyik havzalarının tektono-sedimentolojik kayıtları ve kontrol etkenleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45 (1), 141-164.
- Yılmaz, C., 2006. Platform–slope transition during rifting: The mid-Cretaceous succession of the Amasya Region (Northern Anatolia), Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 194–206.



Levha 1. D2 dolgusunda tanımlanan planktonik foraminifer toplulukları. A) *Dicarinella* aff. *asymetrica*, örnek no:03-640, B) *Dicarinella* aff. *primitiva*, örnek no:03-604, C) *Dicarinella* aff. *primitiva*, örnek no:03-618, D) *Marginotruncana* cf. *coronata*, örnek no:03-605, E) *Marginotruncana* cf. *marginata*, örnek no:03-605, F) *Marginotruncana* cf. *marginata*, örnek no:03-640, G) *Marginotruncana marginata*, örnek no:03-605, H) *Marginotruncana pseudolinneiana*, örnek no:03-605, I) *Marginotruncana pseudolinneiana*, örnek no:03-604, J) *Marginotruncana pseudolinneiana*, örnek no:03-641, K) *Marginotruncana pseudolinneiana*, örnek no:03-605, L) *Marginotruncana* cf. *renzi*, örnek no:03-641, M) *Marginotruncana* cf. *renzi*, örnek no:03-646, N) *Marginotruncana* cf. *schneegansi*, örnek no:03-640, O) *Marginotruncana schneegansi*, örnek no:03-606, P) *Marginotruncana schneegansi*, örnek no:03-641, R) *Marginotruncana tarfayaensis*, örnek no:03-640.

Plate 1. Planktonic foraminiferal assemblages observed in the infilling D2. A) *Dicarinella* aff. *asymetrica*, sample no:03-640, B) *Dicarinella* aff. *primitiva*, sample no:03-604, C) *Dicarinella* aff. *primitiva*, sample no:03-618, D) *Marginotruncana* cf. *coronata*, sample no:03-605, E) *Marginotruncana* cf. *marginata*, sample no:03-605, F) *Marginotruncana* cf. *marginata*, sample no:03-640, G) *Marginotruncana marginata*, sample no:03-605, H) *Marginotruncana pseudolinneiana*, sample no:03-605, I) *Marginotruncana pseudolinneiana*, sample no:03-604, J) *Marginotruncana pseudolinneiana*, sample no:03-641, K) *Marginotruncana pseudolinneiana*, sample no:03-605, L) *Marginotruncana* cf. *renzi*, sample no:03-641, M) *Marginotruncana* cf. *renzi*, sample no:03-646, N) *Marginotruncana* cf. *schneegansi*, sample no:03-640, O) *Marginotruncana schneegansi*, sample no:03-606, P) *Marginotruncana schneegansi*, sample no:03-641, R) *Marginotruncana tarfayaensis*, sample no:03-640.



Levha 2. D3 dolgusunda tanımlanan planktonik foraminifer toplulukları. A) *Gansserina cf. gansseri*, B) *Gansserina wiedenmayeri*, C) *Globotruncana cf. arca*, D) *Globotruncana arca*, E) *Globotruncana arca*, F) *Globotruncana bulloides*, G) *Globotruncana bulloides*, H) *Globotruncana cf. linneiana*, I) *Globotruncana linneiana*, J) *Globotruncana neotricarinata*, K) *Globotruncana cf. ventricosa*, L) *Globotruncanita cf. angulata*. Tüm fotoğraflar 03-633 nolu örnekten çekilmiştir.

Plate 2. Planktonic foraminiferal assemblages observed in the infilling D3. A) *Gansserina cf. gansseri*, B) *Gansserina wiedenmayeri*, C) *Globotruncana cf. arca*, D) *Globotruncana arca*, E) *Globotruncana arca*, F) *Globotruncana bulloides*, G) *Globotruncana bulloides*, H) *Globotruncana cf. linneiana*, I) *Globotruncana linneiana*, J) *Globotruncana neotricarinata*, K) *Globotruncana cf. ventricosa*, L) *Globotruncanita cf. angulata*. All the photos were taken from sample 03-633.



Yerbilimleri, 2019, 40 (1), 72-91, DOI:10.17824/yerbilimleri.509982

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Karlıca Volkanitlerinin (Hamur-Ağrı) Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri

Petrographic and Geochemical Features of the Karlıca Volcanites (Hamur-Ağrı)

MUSTAFA AÇLAN^{1*}, NURSELİ DAVRAN^{1B}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080 Van

Geliş (received): 8 Ocak (January) 2019 Kabul (accepted) 13 Nisan (April) 2019

ÖZ

Bu çalışma, Demirkapı (Hamur-Ağrı) dolaylarındaki volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanındaki volkanitler subalkali, kalkalkali, yüksek K'lu seri ve şoşonitik özelliklere sahip olup andezit, dasit, ignimbrit ve tüflerden meydana gelirler. Bu volkanik kayalar hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve büyük iyonlu litofil elementler (BİLE) (Cs, Rb, Ba, K) açısından zenginleşme gösterirler. Karlıca volkanitlerinin Nb/Yb and (Th/Nb)_N oranları sırasıyla 8.56-15.52 ve 12.59-15.43 arasında değişir. Ortalama Sr ve Ba değerleri 505.15ppm ve 626.16 ppm olup bu değerler ortalama kıtasal kabuk değerlerinin üzerindedir. Karlıca volkanitlerindeki bu zenginleşmeler ve yüksek Sr ve Ba değerlerinden bu kayaların oluşumu ve evrimi sırasında fraksiyonel kristallenme ile birlikte kabuksal kirlenmenin de etkili bir süreç olduğu sonucu çıkarılabilir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu, Ağrı, Karlıca volkanitleri, andezit, ignimbrit.

ABSTRACT

This study was carried out to reveal the petrographic and geochemical features of the rocks around Demirkapı (Hamur-Ağrı). The volcanites in the study area have subalkaline, calc-alkaline, high-K calc-alkaline and shoshonitic features and consist of andesite, dacite, ignimbrite and tuffs. These volcanic rocks show enrichments in

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.509982>



Mustafa AÇLAN maclan@yyu.edu.tr

^A Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl., 65080 Van, ORCID 0000-0002-2131-8646, maclan@yyu.edu.tr

^B Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl., 65080 Van, ORCID 0000-0003-2646-3305, nurselidavran@hotmail.com

light rare earth elements (LREE) and large ion lithophile elements (LILE) (Cs, Rb, Ba, K). The Nb/Yb and (Th/Nb)_N ratios of the Karlıca volcanites range between 8.56-15.52 and 12.59-15.43, respectively. Average Sr and Ba values are 505.15ppm and 626.16ppm, respectively, and these values are higher than average Sr and Ba values of the continental crust. These enrichments in Karlıca volcanites, and high Sr and Ba values suggest that crustal contamination is an effective process with fractional crystallization during the formation and evolution of the these rocks.

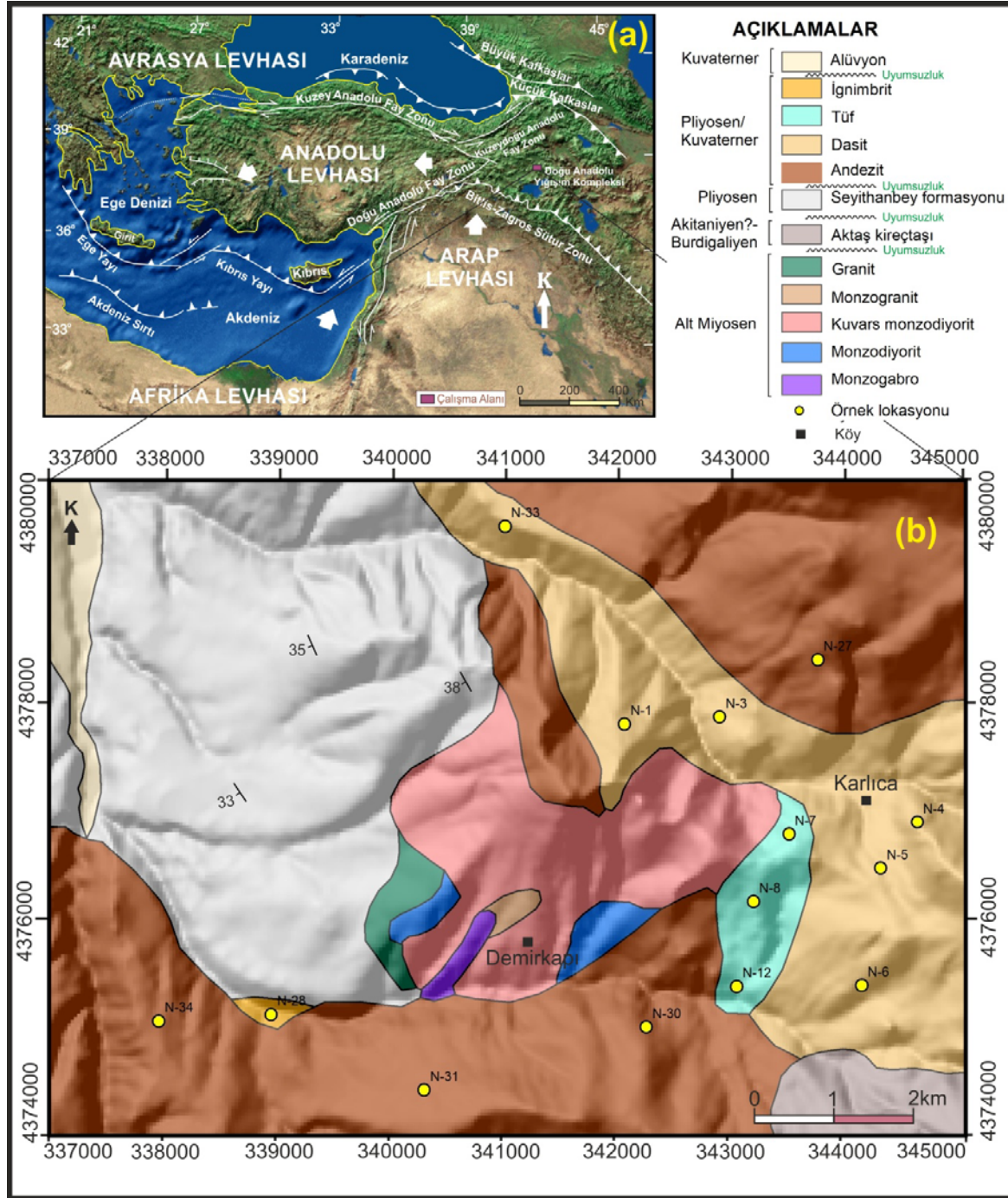
Keywords: Eastern Anatolia, Ağrı, Karlıca volcanites, andesite,ignimbrite.

GİRİŞ

Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki çarpışma sonucu meydana gelen kıtasal çarpışma kuşağı içindeki Doğu Anadolu Yığışım Kompleksi (DAYK) (Şengör ve ark. 2003) içinde yer alan çalışma alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Ağrı ilinin 23 km güneydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanını da kapsayan bölgede volkanizma ve volkanik kayalara yönelik jeoloji, jeokimya, köken, jeokronoloji ve volkanostratigrafi içerikli birçok çalışma mevcuttur. Innocenti vd. (1976) bölgede magmatizmanın kalk-alkalin özellikte başlayıp, yüksek K'lu kalk-alkalin ve alkalin ile devam ettiğini belirtmişlerdir. Kıral ve Çağlayan (1980) Kağızman (Kars) - Taşlıçay (Ağrı) dolayının jeolojisini, Öner (1985) Ağrı-Eleşkirt-Kilisedere dolayının jeolojisini çalışmışlardır. Yılmaz vd. (1987) Arap ve Avrasya levhalarının Miyosen'de yakınlaşmaya başladığını; Pearce vd. (1990) bölgede çarpışma ile ilgili volkanizmanın başlangıcının 20 my olduğunu ileri sürmüşlerdir. Türkecan vd. (1992) Patnos-Tutak-Hamur (Ağrı) yöresinin jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisini çalışmışlardır. Keskin vd. (1998) Erzurum-Kars platosundaki volkanik kayaların stratigrafik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Şengör vd. (2003 ve 2008) Doğu Anadolu'nun Arap ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucu oluşan bir yığışım kompleksi (Doğu Anadolu Yığışım Kompleksi) ve kuzey-güney yönünde kısalma ile meydana gelen bir yüksek plato olduğunu ifade etmişlerdir. Çolakoğlu vd. (2014) bölgedeki yitimle ilgili volkanizmayı Türk-İran sınırının karşısındaki volkaniklerle korele etmişlerdir. Rolland (2017), bölgede yapılan çalışmaların incelemesine dayanarak, Kafkasya dağ kuşağının Paleozoyik'ten günümüze jeodinamik evrimini özetlemiştir. Açlan ve Turgut, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018 Van gölü kuzeyinde Taşlıçay ve Diyadin yöresindeki volkaniklerin jeokimyasal özelliklerini belirlemek için yaptıkları

çalışmalarda bölgedeki volkaniklerin kalk-alkalin özellikte olduklarını ortaya koymuşlardır.



Şekil 1. a) Çalışma alanının yer bulduru haritası (yer bulduru haritası üzerindeki tektonik hatlar Bozkurt (2001) ve Koçyiğit (2013)'ten modifiye edilmiştir) b) Çalışma alanının jeoloji haritası (Davran, 2018).

Figure 1. a) The location map of the study area (tectonic lines on the location map modified from Bozkurt (2001) and Koçyiğit (2013)) b) Geological map of the study area (Davran, 2018).

DAYK içinde dört farklı ana kaya grubu dikkat çekmektedir. Birinci grup Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik kayalardan meydana gelir (Perinçek, 1980; Yılmaz vd., 1993) ve bu gruptaki kayalar bölgedeki temel litolojiyi temsil ederler. İkinci grup, Üst Kretase-Oligosen yaşlı ofiyolitik melanaj (Ketin, 1977; Yılmaz vd., 1993) ve Tetis'in okyanusal litosferinin güney kolunun tükenmesiyle oluşan flişlerdir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Eosen-Alt Miyosen yaşlı okyanusal sedimanter kayalar (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 2008) ve Orta Miyosen ve daha genç kalk-alkalin - alkalin volkanik kayalar bu kompleks içinde üçüncü kaya grubunu oluştururlar (Innocenti vd., 1980; Yılmaz vd., 1987; Keskin, 2003). Son grup Pliyosen-Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar ile temsil edilmektedir (Özdemir vd., 2006; Şengör vd., 2008; Oyan vd., 2016; Açlan ve Turgut, 2017).

Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası Şekil 1'de, genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma alanında temel Demirkapı granitoidi olarak isimlendirilen, monzogabro, kuvars monzogabro monzodiyorit, monzogranit ve granit türü kayalardan oluşan birim tarafından temsil edilmektedir. Akitaniyen?-Burdigaliyen yaşlı Aktaş Kireçtaşı (Davran, 2018), Demirkapı Granitoidi üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı içerikli Pliyosen yaşlı Seyithanbey formasyonu (Çakır vd., 1994) Aktaş kireçtaşı üzerine uyumsuz olarak gelir. Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Karlıca volkanikleri Seyithanbey formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Bölgedeki en genç litoloji Kuvaterner yaşlı alüvyonlar olup diğer birimler üzerine uyumsuzlukla gelir (Şekil 2).

Bu çalışma, Demirkapı (Hamur-Ağrı) dolaylarında gözlenen volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma ile bölgede bulunan volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla çalışma alanında gözlenen kayalardan 14 adet kayaç örneği derlenmiştir. Araziden derlenen kayaç örneklerinin tamamının petrografik ince kesitleri Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü incekesit laboratuvarında hazırlanmıştır. Kayaların petrografik tanımlanmaları Jeoloji Mühendisliği Bölümünde polarizan mikroskop ile yapılmıştır.

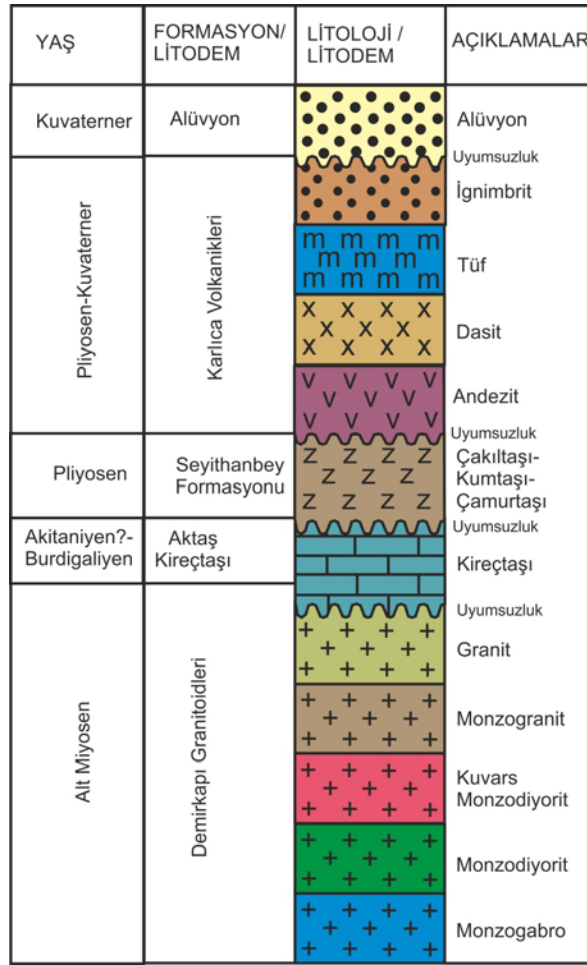
Mikroskopik incelemeler sonucunda jeokimyasal analiz için uygun olan 7 adet kayaç örneğinin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME laboratuvarlarında (Vancouver-Kanada) yaptırılmıştır.

Ana elementler, LiBO₂ ile füzyondan sonra İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES-Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy) ile ölçülmüştür. Ana element saptama limitleri yaklaşık % 0,001-0,04 arasındadır. İz ve nadir toprak elementleri için, 0.2 g numune tozu ve 1.5 g LiBO₂ eritkeni grafit potada karıştırılmış ve ardından 15 dakika boyunca 1.050°C'ye kadar ısıtılmıştır. Erimeş numune daha sonra % 5 HNO₃ içinde çözülmüştür. Sonraki aşamada numune çözeltileri bir İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresine (ICP-MS- Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) aspire edilmiştir. Element konsantrasyonları, STD GS 311, STD GS910–4, STD OREAS45EA, STD DS10, STD SO 18 standartlarına göre belirlenmiştir. Tespit sınırları, 0.01 ila 0.5 ppm aralığındadır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Petrografi

Çalışma alanında andezitler; arazide koyu kahverengi tonlarda gözlenmiş olup, yer yer sütunlar halinde bulunurlar (Şekil 3a). Dasitler krem-kahverengi ve açık gri tonlarda görülmekte olup birimler büyük sütunlar (~20-30m) halinde gözlenmiştir (Şekil 3b). Çalışma alanında gözlenen ignimbritler kahverengi tonlarda olup sınırlı bir alanda yayımlıdır ve sütunsal debiye sahiptirler (Şekil 3c). Tüfler arazide grimsi boz renklerde gözlenmiştir (Şekil 3ç). Çalışma alanındaki volkanik ve piroklastik birimlere ait kayaç örneklerinin petrografik özellikleri, modal mineralojik bileşimleri ve lokasyon koordinatları Çizelge 1'de verilmiştir.

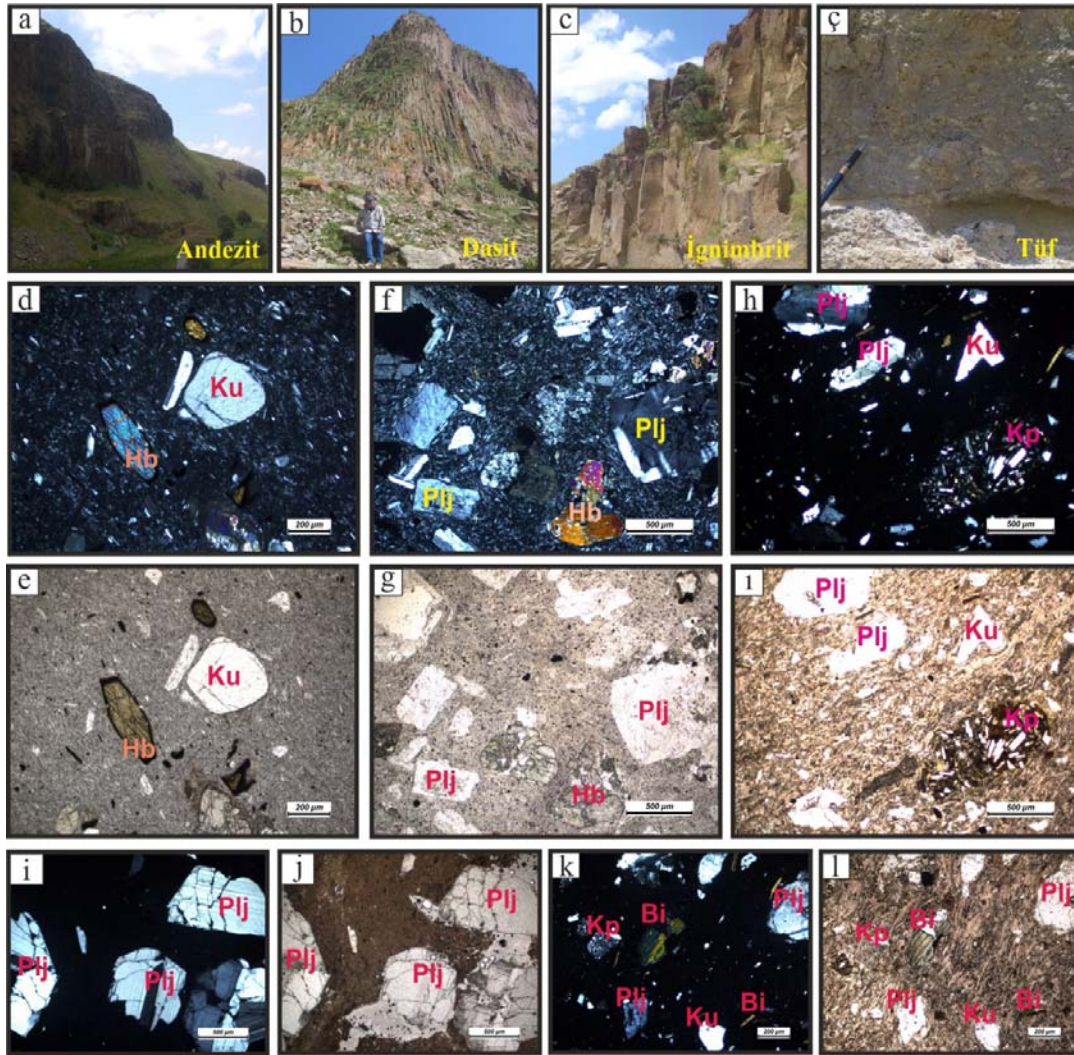


Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (ölçeksiz) (Davran, 2018).
Figure 2. Generalized stratigraphic section of the study area (not scaled) (Davran, 2018).

Örnek No	Kayaç Adı	Doku	Modal Mineralojik Bileşim	Örnek GPS Koordinatları	
				X	Y
N-1	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Hb, Bi, Ku, Or	341384	4378128
N-3	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Hb, Bi, Ku, Or	342108	4378181
N-4	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Hb, Bi, Ku, Or	343615	4377383
N-5	Dasit	Trakitik	Plj, Hb, Bi, Ku, Or	343336	4377035
N-6	Dasit	Glomeroporfirik	Plj, Hb, Bi, Ku, Or	343191	4376146
N-7	Kristal Tüf	Hyaloporfirik	Plj, Ku, Hb, Pir	342638	4377294
N-8	Kristal Tüf	Hyaloporfirik	Plj, Ku, Hb, Pir	342366	4376781
N-12	Vitrik Tüf	Hyaloporfirik	Plj, Ku, Hb, Bi	342237	4376139
N-27	Andezit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Kl.Pir	342856	4378615
N-28	İgnimbrit	Hyaloporfirik	Plj, Ku, Hb,Pir	338692	4375926
N-30	Andezit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Kl.Pir	341551	4375830
N-31	Andezit	Trakitik	Plj, Hb, Kl.Pir	339858	4375354
N-33	Dasit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Bi, Ku, Or	340474	4379627
N-34	Andezit	Glomeroporfirik	Plj, Hb, Kl.Pir	337834	4375876

Çizelge 1. Karlıca volkanitlerinin modal mineralojisi, petrografik özellikleri ve GPS koordinatları (Plj:Plajiyoklaz, Hb: Hornblend, Bi: Biotit, Ku: Kuvars; Or: Ortoklaz, Kl.Pir:Klinopiroksen, Pir: Piroksen) .

Table 1. Modal mineralogy, petrographic features and GPS coordinates of the Karlıca volcanites (Plj:Plagioclase, Hb:Hornblende, Bi:Biotite, Ku:Quartz, Or:Ortoclase, Kl.Pir:Clinopyroxene, Pir:Pyroxene) .



Şekil 3. Karlıca volkanitlerine ait arazi (a: Andezit; b: Dasit; c: İgnimbrit; ç: Tüf) ve polarizan mikroskop görüntüleri. d-e) Andezit (ÇN-TN); f-g) Dasit (ÇN-TN); h-ı) İgnimbrit (ÇN-TN); i-j) Kristal tüf (ÇN-TN); k-l) Vitrik tüf (ÇN-TN). (Plj: plajiyoklaz, Hb: hornblend, Bi: biyotit, Ku: kuvars, Kp: kayaç parçası, ÇN: çift nikol, TN: tek nikol).

Figure 3. Field images (a: Andesite; b: Dacite; c: Ignimbrite; ç: Tuff) and polarizing microscope images of the Karlıca volcanites d-e) Andesite (XPL-PPL), f-g) Dacite (XPL-PPL); h-ı) Ignimbrite (XPL-PPL); i-j) Crystal tuff (XPL-PPL); k-l) Vitric tuff (XPL-PPL). (Plj: plagioclase, Hb: hornblende, Bi: biotite, Ku: quartz, Kp: rock fragment, XPL: cross polarized light, PPL: plane polarized light).

Volkanik birimlerden andezitler, mikrolitik porfirik, glomeroporfirik ve trakitik dokulara sahip olup plajiyoklaz, hornblend ve klinopiroksen minerallerini içerirler (Şekil 3d, e). Anortit içerikleri %38-%45 arasında değişen andezin türü ile temsil edilen plajiyoklazlar fenokristal ve hamur içinde yaklaşık %60-75 oranında, hornblendler %5-10, klinopiroksen ise %5 civarındadır. Dasitler, mikrogranüler porfirik,

glomeroporfirik ve trakitik dokuya sahiptirler. Kayaçta bulunan plajiyoklaz, kuvars, hornblend, biyotit ve ortoklaz mineralleri kayaç yapıcı bileşenlerdir (Şekil 3f, g). Plajiyoklazlar kayaçta %60-70 oranında bulunur ve %20-%28 arasında anortit içerikli oligoklaz ile temsil edilirler. Kayaçta kuvars %10-15, hornblend %10, biyotit % 5 civarında bulunur. Piroklastik birimlerden ignimbitlerde hyaloporfirik doku gözlenir, plajiyoklaz, kuvars, hornblend ve piroksen kayaç yapıcı bileşenlerdir (Şekil 3h, ı). Çalışma alanındaki tüfler ise kristal tuf ve vitrik tuf bileşimindedir. Tüflerde hyaloporfirik doku gözlenir. Kristal tüfler başlıca plajiyoklaz, kuvars, hornblend ve piroksen kristallerini (Şekil 3i, j), vitrik tüfler ise plajiyoklaz, kuvars, hornblend ve biyotit kristallerini içerirler (Şekil 3k, l).

Jeokimya

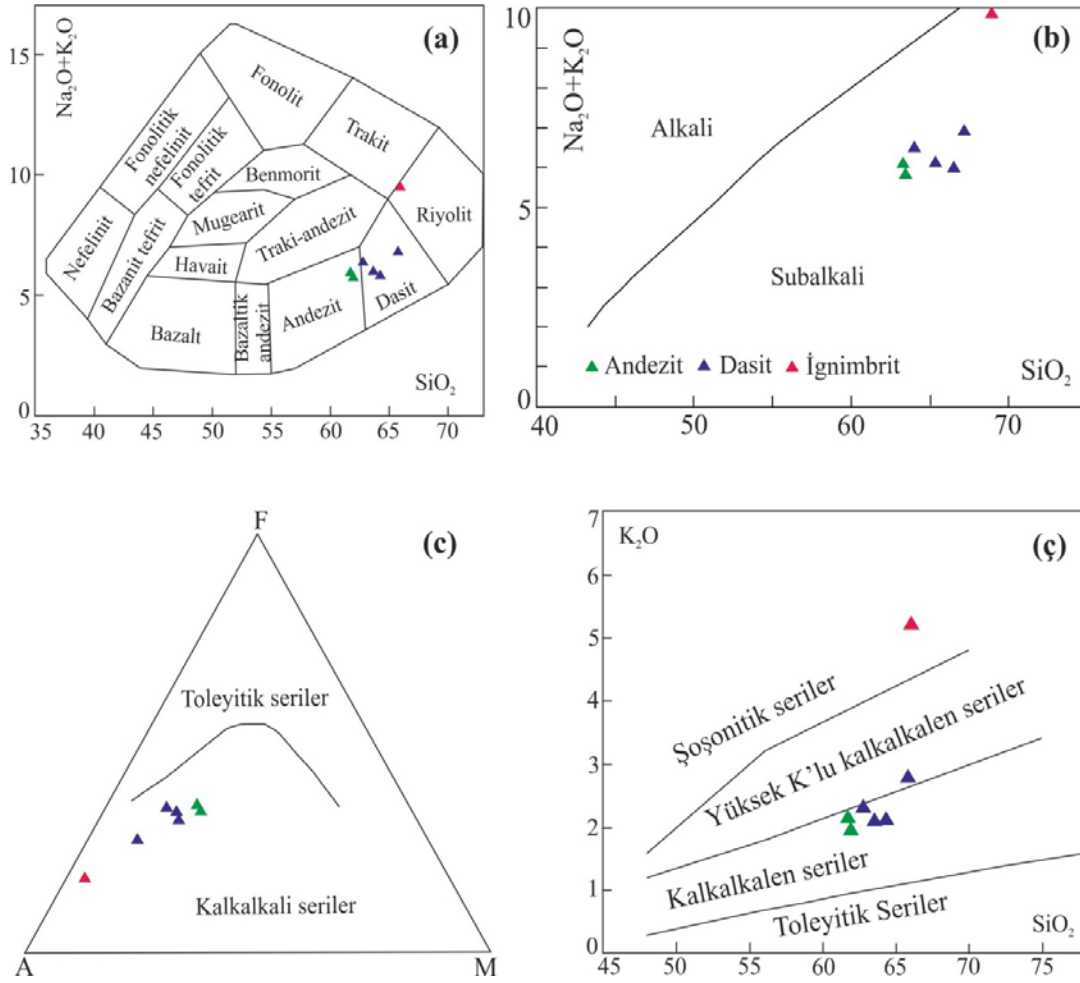
Çalışma alanında bulunan volkanik kayaçlara ait ana ve eser element analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Ana element analiz sonuçlarına dayalı olarak hazırlanan toplam alkali (%Na₂O+K₂O)-silis (SiO₂) (TAS; Cox vd., 1979) diyagramında çalışma alanındaki volkanik kayaçlar andezit, dasit ve riyolit (arazi ve mikroskop incelemesi sonucu riyolit alanına düşen örneğin ignimbit olduğu tespit edilmiştir) alanına düşmektedirler (Şekil 4a). Kayaç örnekleri Irvine ve Baragar (1971)'in TAS diyagramında tamamen subalkali (Şekil 4b); Irvine ve Baragar (1971)'in AFM diyagramında kalkalkalen bölgede yer alırlar (Şekil 4c). Peccerillo ve Taylor (1976)'nın SiO₂-K₂O diyagramında yüksek kalkalkalen, yüksek K'lu kalkalkalen ve şoşonitik özellikli alanda yer alırlar (Şekil 4ç).

Örnek no	N-27	N-34	N-33	N-3	N-4	N-6	N-28
Kayaç adı	Andezit	Andezit	Dasit	Dasit	Dasit	Dasit	İgnimbit
SiO ₂	61.96	61.71	63.66	65.78	64.27	62.77	66.01
Al ₂ O ₃	16.28	16.10	16.63	16.44	16.85	16.80	15.32
Fe ₂ O ₃	4.88	4.92	4.38	3.24	4.30	4.34	2.33
MgO	2.44	2.79	1.90	1.20	1.47	2.18	0.55
CaO	5.78	5.50	4.42	3.94	3.54	5.05	1.47
Na ₂ O	3.72	3.76	3.88	3.99	3.68	4.04	4.23
K ₂ O	1.98	2.16	2.09	2.78	2.12	2.32	5.23
TiO ₂	0.62	0.65	0.58	0.50	0.58	0.60	0.60
P ₂ O ₅	0.28	0.26	0.19	0.22	0.19	0.26	0.11
MnO	0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.08	0.08
AK (LOI)	1.7	1.8	2.0	1.6	2.8	1.3	3.8
Toplam	99.82	99.77	99.83	99.85	99.86	99.80	99.79
Eser elementler							

Ba	900	616	584	562	547	548	941
Co	13.2	17.5	13.4	8.6	10.5	13.4	1.6
Cs	2.0	1.3	1.6	3.4	1.8	2.9	8.3
Nb	15.1	16.5	13.0	18.0	12.2	15.9	46.2
Rb	56.8	65.9	64.5	81.6	62.2	70.5	209.7
Sr	537.7	550.2	511.3	469.9	411.9	549.9	159.4
Sc	11	11	9	6	9	7	7
Th	10.1	10.7	9.2	14.3	9.1	10.5	34.1
U	3.0	3.1	2.2	3.8	2.4	3.1	9.5
Zr	165.2	182.0	170.8	206.5	165.5	205.6	593.6
Y	18.4	20.2	15.1	13.6	12.9	16.1	50.7
La	43.2	38.9	33.5	41.1	32.0	39.0	90.6
Ce	61.9	64.9	55.7	67.5	50.8	65.1	169.4
Pr	7.64	7.15	6.28	7.21	5.97	7.07	18.24
Nd	26.4	26.2	22.5	24.3	20.7	25.5	62.8
Sm	4.57	4.28	3.99	4.23	3.95	4.32	10.54
Eu	1.23	1.26	1.13	1.05	1.06	1.16	2.09
Gd	4.15	4.28	3.66	3.30	3.28	3.65	9.85
Hf	4.1	4.2	4.0	5.0	4.2	4.7	13.8
Dy	3.27	3.40	2.76	2.65	2.62	2.75	8.99
Ho	0.61	0.64	0.56	0.48	0.48	0.53	1.84
Er	1.74	1.95	1.53	1.27	1.42	1.54	5.89
Tm	0.23	0.26	0.22	0.18	0.18	0.22	0.83
Yb	1.56	1.71	1.36	1.16	1.13	1.33	5.40
Lu	0.21	0.24	0.20	0.18	0.18	0.21	0.83
Ga	16.9	18.4	19.8	19.5	18.6	19.4	19.7
V	85	92	81	53	79	74	20
(Th/Nb) _N	15,43	12,82	14,48	12,99	14,33	13,74	12,59
Zr/Nb	0,76	1,01	1,06	1,22	1,10	1,16	1,22
Y/Nb	0,76	1,01	1,06	1,22	1,10	1,16	1,22
Nb/Yb	15,52	11,95	10,80	9,68	8,56	9,56	9,65
Nb/Th	1,26	1,51	1,34	1,50	1,35	1,41	1,54

Çizelge 2. Çalışma alanındaki volkanik ve piroklastik birimlerin ana ve eser element jeokimyasal analiz sonuçları (ana element sonuçları % oksit cinsinden, eser element sonuçları ppm cinsinden verilmiştir; Th/Nb normalize değerleri Pearce ve Parkinson, 1993'den alınmıştır).

Table 2. Major and trace element geochemical analysis results of the volcanic and pyroclastic units in the study area (major element results given as %oxide, trace element result given as ppm; Th/Nb normalizing values from Pearce and Parkinson, 1993).



Şekil 4. Volkanik birimlere ait kayaç örneklerinin a) TAS adlandırma diyagramındaki (Cox vd., 1979) b) Irvine ve Baragar'ın (1971)'in TAS diyagramındaki c) AFM (A; Na₂O+K₂O, F; FeO, M; MgO) diyagramındaki (Irvine ve Baragar, 1971) ç) K₂O – SiO₂ diyagramındaki (Peccerillo ve Taylor, 1976) konumları.

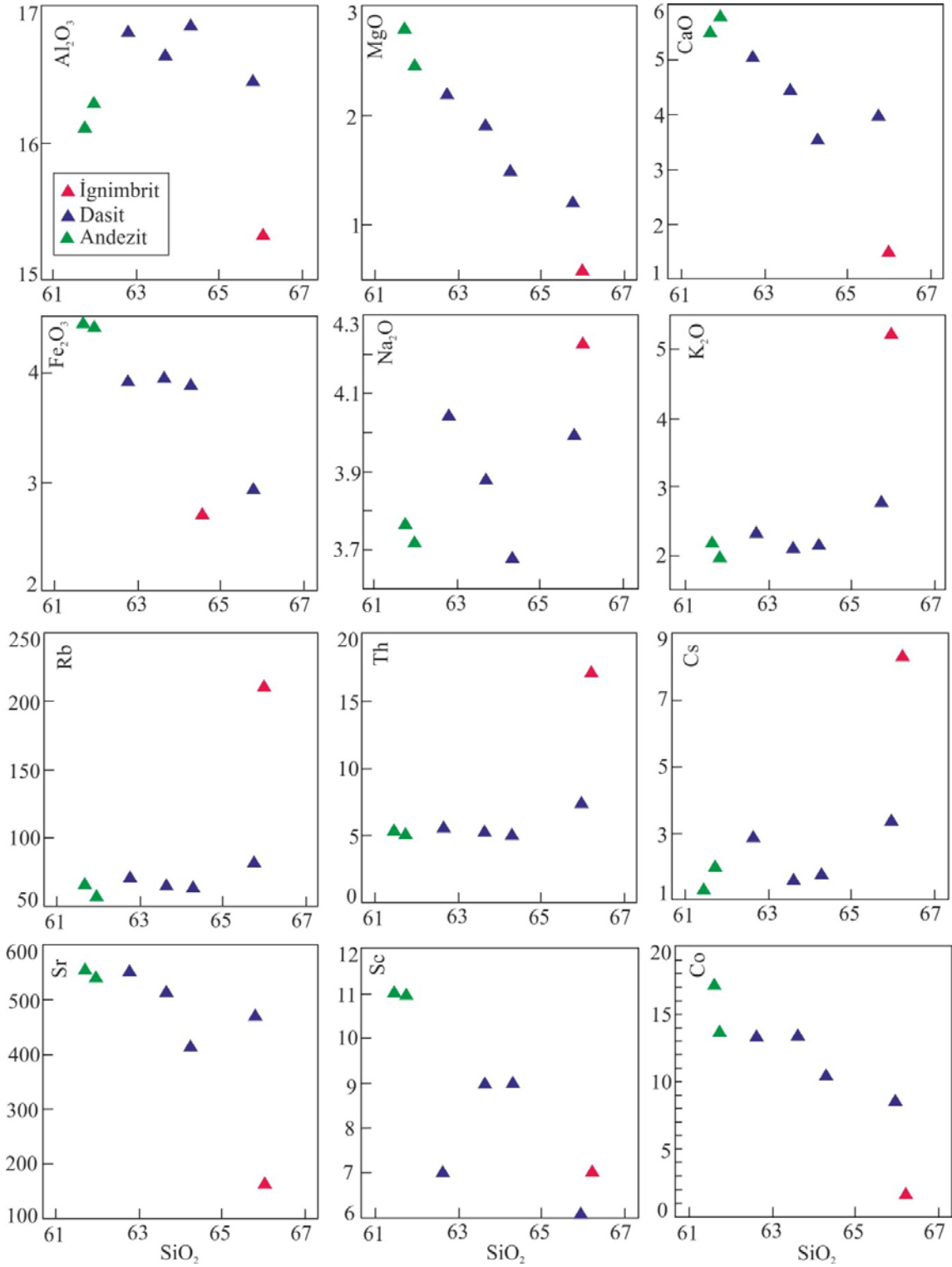
Figure 4. Locations of the rock samples of volcanic units a) in TAS nomenclature diagram (Cox et al., 1979) b) In TAS diagram of Irvine and Baragar (1971) c) AFM (A; Na₂O+K₂O, F; FeO, M; MgO) diagram (Irvine ve Baragar, 1971) ç) K₂O–SiO₂ diagram (Peccerillo ve Taylor, 1976).

Volkanik kayaçların ana element oksitlerinin SiO₂'ye göre ikili değişim diyagramlarında Al₂O₃, MgO, CaO, Fe₂O₃ değerleri SiO₂ artışına bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 5). Na₂O ve K₂O değerlerinde alterasyon nedeniyle dağınık bir desen gözlenmektedir. Al₂O₃ içeriği silis oranının artışı ile plajiyoklaz kristalizasyonu nedeniyle düzenli bir azalma gösterir (Şekil 5). MgO ve Fe₂O₃ değerlerinde piroksen, horblend ve biyotit kristallenmesinden dolayı negatif trend gözlenir (Şekil 5). CaO içeriği piroksen ve kalsik plajiyoklazların kristallenmesi nedeniyle negatif trend

gösterir (Şekil 5). Na_2O içeriğinde SiO_2 artışına bağlı olarak artış gözlenir (Şekil 5). K_2O içeriği K'un uyumsuz element davranışı sergilemesinden ötürü SiO_2 artışı ile artar (Şekil 5).

Volkanik kayaç örneklerine ait eser elementlerden Rb, Th, Cs, Sr, Sc ve Co'nun SiO_2 'ye göre değişimleri incelendiği zaman bu elementlerden SiO_2 ile Rb, Th ve Cs arasında pozitif, SiO_2 ile Sr, Sc ve Co arasında ise negatif bir ilişki gözlenir (Şekil 5). SiO_2 ile uyumsuz özelliğe sahip Rb, Th ve Cs arasındaki pozitif trend ve SiO_2 ile uyumlu özelliğe sahip eser elementlerden Sr, Sc ve Co arasındaki negatif trendler bu elementlerin fraksiyonel kristalleşme sırasındaki davranışlarına benzemektedir. Sr'un fraksiyonel kristallenme sırasında negatif trend sergilemesi Sr'un plajiyoklazlarda Ca'un yerine geçmesi ve kalsik plajiyoklazların fraksiyonlanması ile ilgilidir. Sc ve Co'nun negatif trend göstermesi ise klinopiroksen ve mikalardaki Mg, Fe ve Al'un yerini alması nedeniyledir.

İyonik yarıçapının K elementinin iyonik yarıçapına benzerliğinden ötürü onun yerini alan Rb elementi fraksiyonel kristallenmede K-feldispat, hornblend, biyotit minerallerinin yapısına girer. Bu mineraller bir ergiyikte geç evrede kristallendikleri için SiO_2 ile pozitif trend sunarlar. Ba, Th ve Cs elementlerinin iyonik yarıçaplarının Rb'a yakın oluşu nedeniyle geç evre kristallerinin bünyesinde yer alarak SiO_2 ile pozitif trend gösterirler (Şekil 5).

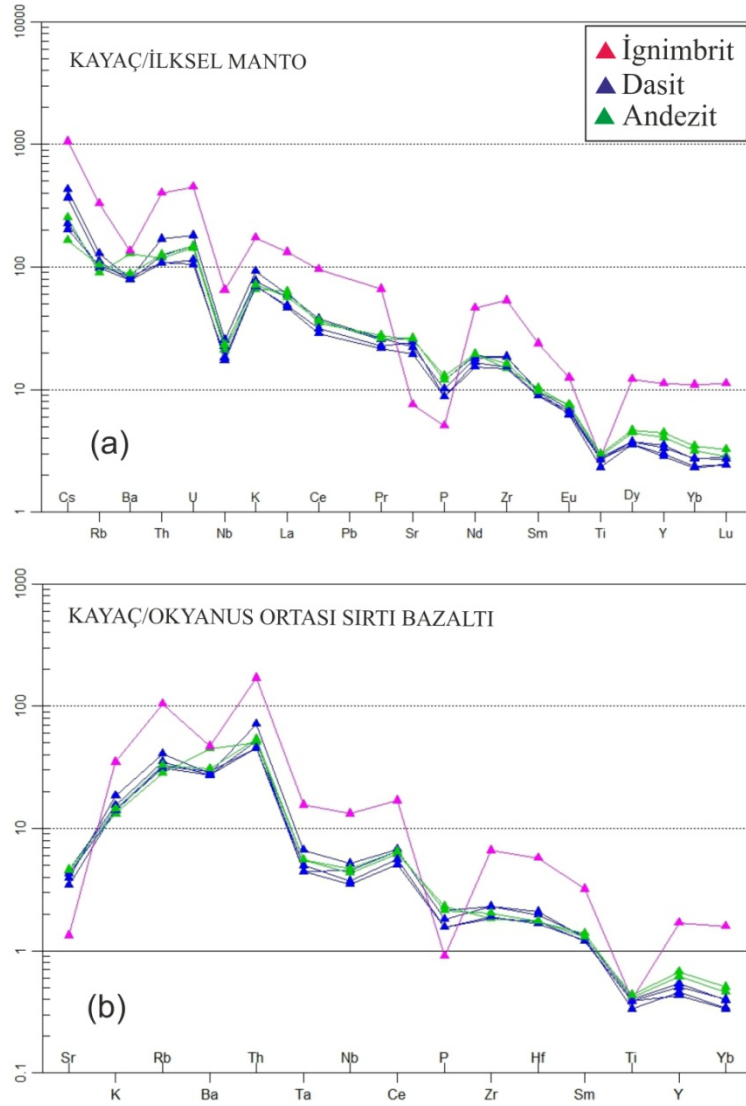


Şekil 5. Volkanik birimlerin SiO₂-ana ve eser element ikili değişim diyagramlarındaki konumları.

Figure 5. Locations of the volcanic units in the SiO₂-major and trace element binary variation diagrams.

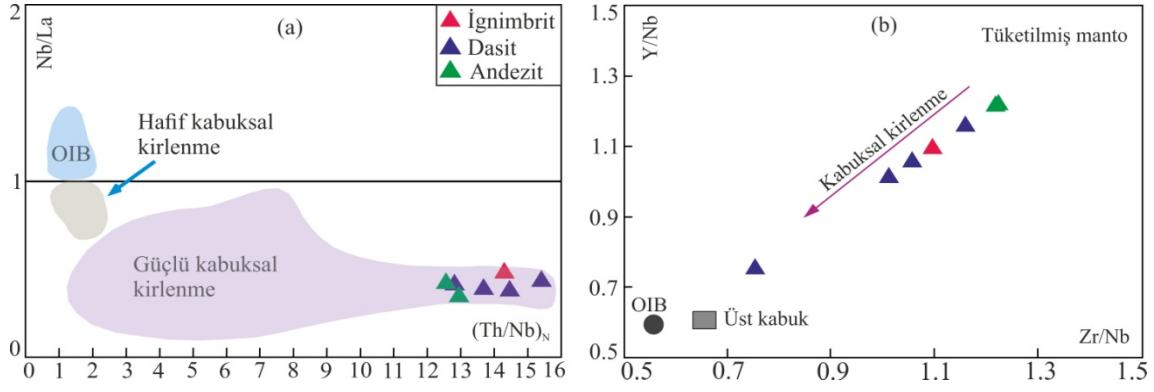
İksel manto (İM) ve okyanus ortası sırtı bazaltlarına (OOSB) göre normalize edilerek hazırlanan iz element ve nadir toprak elementleri örümcek diyagramlarında (Şekil 6a, b) Cs, Rb, Ba, K gibi büyük iyonlu litofil elementler (BİLE) ve hafif nadir toprak elementlerinde (HNTE) zenginleşme; Th, U ve Nb gibi yüksek değerlikli katyonlar (YDK) ve ağır nadir toprak elementlerinde ise (ANTE) tüketilme söz konusudur. Nb/Yb and Th/Nb)_N oranları sırasıyla 8.56-15.52 ve 12.59-15.43 arasında değişir. Kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerleri sırasıyla 348ppm ve 259ppm dir (Rudnick ve Gao, 2003). Çalışılan volkanik kayaların ortalama Sr ve Ba değerleri 505.15ppm ve 626.16ppm olup bu değerler ortalama kıtasal kabuk değerlerinin çok üzerindedir. Bu BİLE ve HNTE açısından gözlenen zenginleşmeler bu kayaların oluşumları sırasında kıtasal kabuktan kirlenmeye maruz kaldıklarına bir işaret olarak kabul edilebilir. Kabuksal kirlenmenin varlığı Nb/La'a karşılık (Th/Nb)_N ve Nb/La'a karşılık Zr/Nb diyagramlarında da gözlenebilir (Şekil 7a, b). CaO ve CaO/Al₂O₃ arasındaki doğrusal trend (Şekil 8a) başlangıçta klinopiroksenin ana farklılaşma fazı olduğuna, Al₂O₃, Na₂O ve K₂O içeriklerinin MgO ile negatif trend sergilemeleri (Şekil 8b, c, ç) ve ilksel mantoya göre normalize edilmiş örümcek diyagramında önemli negatif Eu anomalisinin görülmemesi (Şekil 6a) alkali feldispatların başlangıçtaki kristal fraksiyonlanmasında etkili olmadığına işaret eder.

Kayaçlar Wood (1980)'e göre hazırlanan tektonik ayırtlanma diyagramlarının tamamında (Şekil 9a, b, c) kalkalkali yay bazaltı (CAB) alanında, Swinden vd. (1990)'a göre hazırlanan tektonik sınıflandırma diyagramında da yay (ARC) volkanikleri alanında yer almaktadırlar (Şekil 9ç).



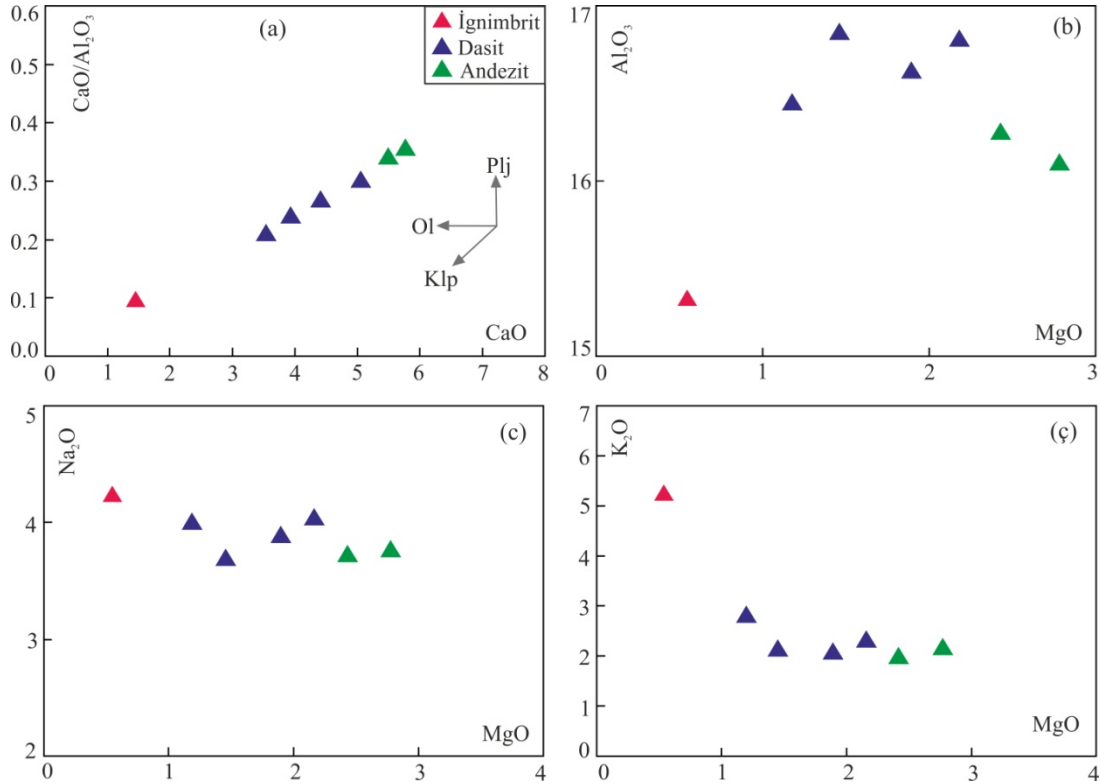
Şekil 6. Volkanik birimlerin a) Kayaç/İlksele Manto'ya göre normalize edilmiş eser element değişim diyagramı (Normalize değerleri Sun ve Mc Donough, 1989'dan alınmıştır) b) Kayaç/Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı'na göre normalize edilmiş eser element değişim diyagramı (Normalize değerleri Pearce, 1983' den alınmıştır).

Figure 6. a) Rock/PRIM normalized trace element spider diagram of the volcanic units (normalize values from Sun and Mc Donough, 1989) b) Rock/MORB normalized trace element spider diagram of the volcanic units (normalize values from Pearce, 1983).



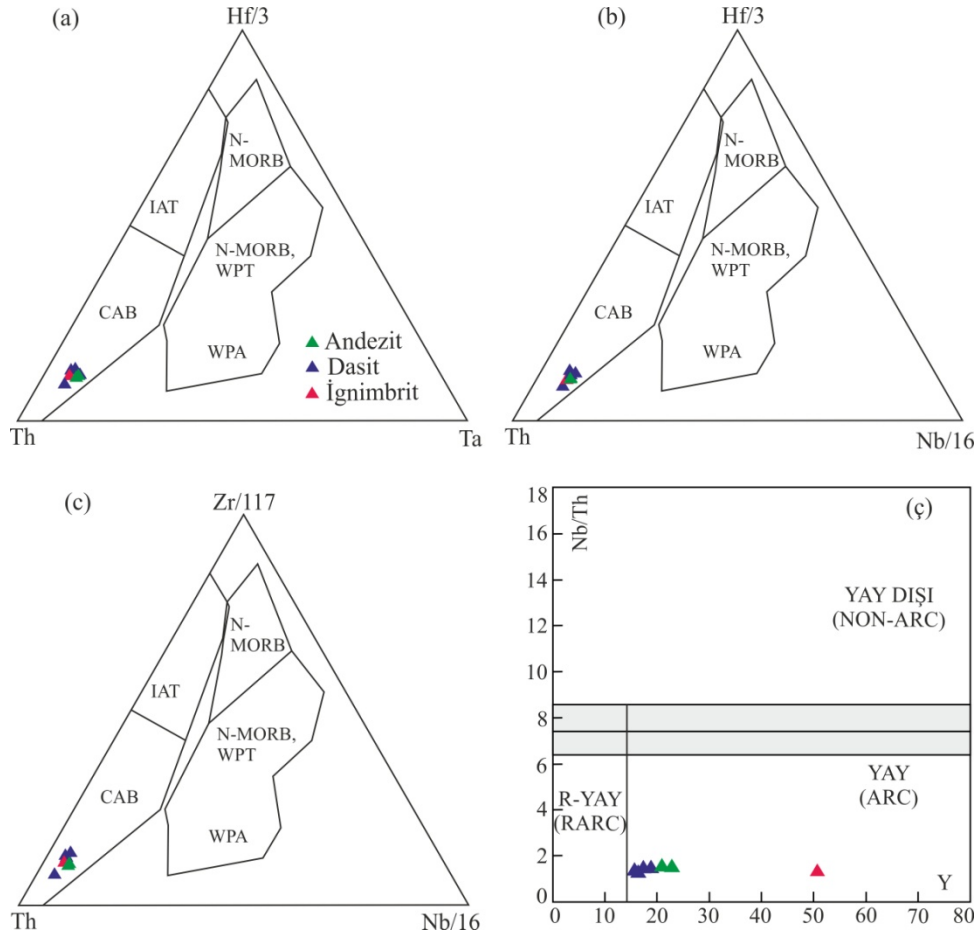
Şekil 7. Karlıca volkanitlerinin a) Nb/La'a karşı $(Th/Nb)_N$, b) Y/Nb'a karşı Zr/Nb diyagramlarındaki konumları.

Figure 7. a) Nb/La vs. $(Th/Nb)_N$, b) Y/Nb vs. Zr/Nb plots for Karlıca volcanites.



Şekil 8. Karlıca volkanitlerinin a) CaO'e karşı CaO/Al_2O_3 , b) MgO'e karşı Al_2O_3 , c) MgO'e karşı Na_2O , ç) MgO'e karşı K_2O değişim diyagramlarındaki konumları.

Figure 8. Locations of the Karlıca volcanites in a) CaO vs. CaO/Al_2O_3 , b) MgO vs. Al_2O_3 , c) MgO vs. Na_2O , ç) MgO vs. K_2O variation diagrams.



Şekil 9. a-b-c) Vokanik birimlere ait Wood (1980)'e göre yapılmış tektonik ayırtlama diyagramları (Th-Hf-Ta-Zr-Nb) (CAB: Kalk-alkali yay bazaltları, IAT: Ada yayı toleyitleri, N-MORB: Normal okyanus ortası sırt bazaltları, E-MORB: Zenginleşmiş okyanus ortası sırt bazaltları, WPT: Levha içi toleyitleri, WPA: Levha içi alkali), ç) Nb/Th'a karşı Y tektonik ayırtlama diagram (Swinden et al., 1990) (RARC: Refrakter yay volkanik alanı).

Figure 9. a-b-c) Tectonic discrimination diagrams of Wood (1980) for the volcanic units (Th-Hf-Ta-Zr-Nb) (CAB: Calc-alkaline arc basalts, IAT: Island arc tholeiites, N-MORB: Normal mid ocean ridge basalts, E-MORB: Enrichment mid ocean ridge basalts, WPT: Within plate tholeiites, WPA: Within plate alkaline), ç) Nb/Th vs. Y tectonic discrimination diagram (Swinden et al., 1990) (RARC: Refractory arc volcanic field).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

İnceleme alanındaki volkanik birimlerin andezit, dasit; piroklastik birimlerin ise başlıca ignimbrit ve tuf türü kayalardan meydana geldikleri tespit edilmiştir.

Volkanik kayalar subalkali, kalkalkali, yüksek K'lu seri ve şoşonitik özelliklere sahiptirler. İkili değişim diyagramlarında SiO₂ artışına bağlı olarak andezitten dasite doğru Fe₂O₃, MgO, TiO₂, CaO değerlerindeki azalma, toplam alkali (Na₂O+K₂O); Rb ve Ba oranının andezitten dasite doğru artışı bu kayaların oluşumu sırasında fraksiyonel kristallenme sürecinin etkili olduğunu; hafif nadir toprak elementleri (HNTE), büyük iyonlu litofil elementlerdeki (BİLE) zenginleşmeler kayaların oluşumu ve evrimi sırasında kıtasal kabuktan kirlenmenin de fraksiyonel kristallenme ile birlikte etkili bir süreç olduğuna işaret etmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2017-6368 No'lu yüksek lisans tez projesi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Açlan M, Turgut İK, 2017. Şekerbulak (Diyadin-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Volkanik Kayaların Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), ss. 163-174, Aralık 2017.
- Açlan M, Altun Y, 2018. Syn-collisional I-type Esenköy Pluton (Eastern Anatolia-Turkey): An indication for collision between Arabian and Eurasian plates. Journal of African Earth Science, 142: 1-11.
- Açlan M, Duruk, Hİ, 2018. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and tectonic setting of the Taşlıçay Granitoids, Eastern Anatolia, Turkey. Arabian Journal of Geosciences (2018) 11:336.
- Barazangi M, Sandvol E, Seber D, 2006. Structure and Tectonic Evolution of the Anatolian Plateau in Eastern Turkey. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), Geological Society of America Special Paper, 409, 463–473.

- Cox KG, Bell JD, Pankhurst RJ, 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. George Allen & Unwin.
- Çakır Y, 1994. Ağrı Diyadin ve Iğdır Dolayının Jeoloji Etüdü, MTA Raporu, (yayınlanmamış).
- Çolakoğlu AR, Günay K, Göncüoğlu MC, Oyan V, Erdogan K, 2014. Geochemical Evaluation of the Late Maastrichtian Subduction-related Volcanism in the Southern Neotethys in Van area, and a Correlation Across the Turkish-Iranian Border. *Ofioliti* 39 (2), 51e65.
- Davran N, 2018. Demirkapı (Hamur–Ağrı) dolaylarında yüzeyleyen kayaçların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. Yüksek lisans tezi. 83s. (yayınlanmamış).
- Innocenti F, Mazzuoli R, Pasquare G, Radicati di Brozolo F, Villari L, 1976. Evolution of Volcanism in the Area of Interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian Plates Lake Van, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 1, 103–112.
- Innocenti F, Mazzuoli R, Pasquare G, Serri G, Villari L, 1980. Geology of the volcanic area north of Lake Van, Turkey. *Geologischen Rundschau*, 69, 292–322.
- Irvine TN, Baragar WRA, 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Keskin M, Pearce JA, Mitchell JG, 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum Kars plateau, north eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 355-404.
- Keskin M, 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30, 8046–8050.
- Keskin M, 2006. Doğu Anadolu: Manto sorgucu olmadan çarpışma zonu içindeki sıcak nokta. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 122-132.
- Ketin İ, 1977. Türkiye'nin başlıca orojenik olayları ve paleocoğrafik evrimi. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 88:1-4. Ankara.
- Kıral K, Çağlayan A, 1980. Kağızman (Kars)-Ağrı-Taşlıçay (Ağrı) dolayının jeolojisi: MTA Rap. (yayınlanmamış), Ankara.

- Koçyiğit A, 2013. New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. 62:586-605. doi: 10.1016/j.jseaes.2012.11.008.
- Oyan V, Keskin M, Lebedev VA, Chugaev AV, Sharkov EV, 2016. Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey, *Lithos*. vol.256-257, pp.88-108.
- Öner A, 1985. Ağrı-Eleşkirt-Kilisedere ve Ağrı Eleşkirt-Kilisedere sahalarına ait jeoloji raporu. MTA Raporu, No: 21.
- Özdemir Y, Karaoğlu Ö, Tolluoğlu AÜ, Güleç N, 2006. Volcano stratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226 (3–4), 189–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.09.020>
- Pearce JA, and Parkinson IJ, 1993. Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc patrogenesis; in Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W., and Neary, C.R., eds., *Magmatic Processes and Plate Tectonics*. Geological Society Special Publications, no. 76, p.
- Pearce JA, Bender JF, DeLong SE, Kidd WSF, Low PJ, Güney Y, Şaroğlu F, Yılmaz Y, Moorbath S, Mitchell JG, 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, In: P.LeFort JA Pearce, A. Pecher (eds); *Collision Magmatism*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 184 – 229.
- Peccerillo A, Taylor SP, 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Perinçek D, 1980. Bitlis metamorfitlelerinde volkanitli Triyas. *TJK Bült.* 23, 201–211 (in Turkish).
- Rolland Y, 2017. Caucasus Collisional History: Review of Data from East Anatolia to West Iran. *Gondwana Research*. doi: 10.1016/j.gr.2017.05.005.
- Rudnick RL, Gao S, 2003. Composition of the continental crust. See Holland & Turekian 2003, pp. 1–64
- Sun SS, McDonough WF, 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes: In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.

- Swinden HS, Jenner GA, Fryer BJ, Hertogen J, Roddick JC, 1990. Petrogenesis and paleotectonic history of the Wild Bight Group, an Ordovician rifted island arc in central Newfoundland. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 105, 219–241.
- Şengör AMC, Yılmaz Y, 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75 (1981) 181–241.
- Şengör AMC, Özeren S, Zor E, Genç T, 2003. Doğu Anadolu litosfer mekaniğine yeni bir yaklaşım. IV. Kuvaterner Çalıştayı, İstanbul, 101-110.
- Şengör AMC, Özeren MS, Keskin M, Sakıncı M, Özbakır AD, Kayan I, 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth Science Review*, 90, 1-48.
- Türkecan A, Dönmez M, Özgür B, Mutlu G, Sevin D, Bulut V, 1992. Patnos-Tutak-Hamur (Ağrı) yöresinin jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi. MTA Raporu, No:9434 (yayınlanmamış).
- Wood DA, 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50, 11-30.
- Yılmaz Y, Şaroğlu F, Güner Y, 1987. Initiation of the Neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics* 134, 177–199.
- Yılmaz Y, Yiğitbaş E, Genç SC, 1993. Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. *Tectonics* 12, 1280–1297.



Yerbilimleri, 2019, 40 (1), 92-109, DOI:10.17824/yerbilimleri.532270

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Betonarme Yapılarda Gerilmenin Neden Olduğu Deformasyonların Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması

Investigation of the Deformations Caused by Stress in a Reinforced Concrete Structure with Geophysical Methods

HAYRİ DENİZ OKUR ^{1A}, KENAN GELİŞLİ ^{1B}, ALİ ERDEN BABACAN ^{1*C}, HASAN SESLİ ^{2D}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., 61080 Trabzon

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., 61080 Trabzon

Geliş (received): 28 Şubat (February) 2019 Kabul (accepted): 13 Nisan (April) 2019

ÖZ

Deprem kuşağında bulunan ülkelerde, can ve mal güvenliği için betonarme yapıların kalitesi önemlidir. Bu yapıların kalitesini, yapının temel elemanları olan betonun ve betona gömülü çelik donatıların durumu belirler. Betonarme yapıların durumu yapıya herhangi bir zarar vermeden belirlenmelidir. Jeofizik yöntemlerle, betonarme yapıda hiçbir delgi veya karot alma işlemi yapılmaksızın tamamen hasarsız olarak beton dayanımı, betona gömülü çelik donatıların yerlerinin tespiti ve korozyon durumu belirlenebilir. Belirlenen bu özellikler karot örneği gibi sadece yapının küçük bir kısmını değil bütün yapıyı temsil eder. Sismik ultrasonik yöntem ile betonarme yapılar üzerinde yapılan ölçümlerle, betonun kırık-çatlak yapısı, dayanımı, elastik parametreleri ve betonun içindeki boşluklar belirlenerek betonun kalitesi tespit edilebilir. Yer radarı (GPR) yöntemi kullanılarak, betonun içindeki donatıların yerleri, aralıkları, sayıları ve beton içerisindeki boşluklar belirlenebilir. Elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak ta betonun nemliliği ve donatıların korozyon durumu ortaya konulabilir. Bu çalışmada, yapılarda deprem dayanımını arttırmak için üretilmiş bir yapı elemanının durumu, çevrimsel yük uygulanmadan önce ve çevrimsel yük uygulandıktan sonra araştırılmıştır. Betonun kalitesi ve nemliliğini, yapının donatılarının yerlerini, donatıların korozyon durumunu ve yüzeyden görülmeyen çatlakları incelemek amacıyla oluşturulan betonarme yapı elemanı üzerinde jeofizik ölçümler alınmıştır. Bu amaçla, sismik ultrasonik, yer radarı ve elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada 18 profildeki 176 noktada sismik ultrasonik, 85 profilde iki ve üç boyutlu yer radarı, 25 profilde de özdirenç ölçümleri alınmış ve

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.532270>



Ali Erden BABACAN a.babacan@ktu.edu.tr

^A Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., 61080 Trabzon, ORCID 0000-0001-9398-7825, hdo48@hotmail.com

^B Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., 61080 Trabzon, ORCID 0000-0002-9512-2611, gelisli@ktu.edu.tr

^C Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Müh. Böl., 61080 Trabzon, ORCID 0000-0002-8216-5225, a.babacan@ktu.edu.tr

^D Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., 61080 Trabzon ORCID 0000-0003-3328-5922, :sesli@ktu.edu.tr

değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, kullanılan yöntemler ile yapının kalitesi, nemliliği, donatıların yerleri ve korozyon durumu belirlenmiştir.

Ayrıca, betonarme yapı elemanına uygulanan kuvvet sonrası, yapıda meydana gelen yapısal değişimler de bu yöntemler ile açıkça gözlemlenmiştir. Bu araştırmada yapıya herhangi bir zarar vermeden, hızlı bir şekilde alınan sismik ultrasonik, GPR ve mikro özdirenç ölçülerinin yapının görünmeyen kısımları hakkında önemli bilgiler sağladığı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sismik ultrasonik, yer radarı, elektrik özdirenç, yapı kalitesi.

ABSTRACT

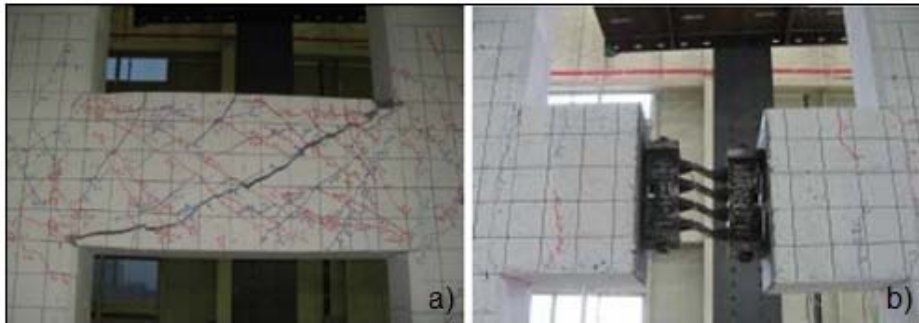
The quality of reinforced concrete structures is important for the safety of life and property in countries located in a earthquake zone. The quality of these structures is determined by the state of the structural elements embedded in concrete and concrete. The state of the reinforced concrete structures must be determined effectively without damaging the structure. With geophysical methods, concrete strength can be determined completely without any drilling or coring, and the location and corrosion status of steel reinforcements embedded in concrete can be determined. These properties, as the core sample, represent not only a small portion of the structure but the whole structure. With the measurements made on the concrete structure by seismic ultrasonic method, the fracture-crack structure, strength, elastic parameters and cavities in the concrete can be determined and the quality of the concrete can be determined. Ground Penetrating Radar (GPR) method can be used to determine the reinforcement locations, spaces, numbers and cavities within the concrete. The moisture content of the concrete and the corrosion condition of the reinforcement can be determined by using the electrical resistivity method. In this study, the condition of a structural element designed to increase the earthquake resistance in structures was investigated before and after a cyclic loading test. Geophysical measurements were taken to investigate the quality and humidity of the concrete, the location of the reinforcement of the structure, the corrosion condition of the reinforcement and the cracks not visible from the surface. For this purpose, seismic ultrasonic method, ground penetrating radar method and electrical resistivity methods were used. In the study, ultrasonic measurements were performed at 176 locations in 18 profiles, two and three dimensional ground radars in 85 profiles and resistivity

measurements in 25 profiles. As a result of the evaluations made, it is understood that the methods used have revealed the quality of the structure, humidity, location of the reinforcement and corrosion condition. In addition, the effects of applied loading on these properties were investigated. In this study, it has been shown that the ultrasonic, GPR and micro resistivity measures taken quickly without any damage to the structure provide important information about the invisible parts of the structure.

Keywords: *Ultrasonic, GPR, electrical resistivity, structure quality.*

GİRİŞ

Türkiye, toprakları içerisinde bulunan yıkıcı deprem potansiyeline sahip aktif faylar nedeniyle bir deprem ülkesidir. Ülkemizde geçmişte yıkıcı depremler meydana gelmiş ve gelecekte de meydana gelecektir. Ülkemizde, diğer yapı türlerine göre sağladığı pek çok avantaj nedeniyle barınmak için çoğunlukla betonarme yapılar tercih edilmektedir. İnşaat sektöründe betonarme yapıların depreme dayanıklılığını arttırmak için perde elemanlar gibi özel yapı elemanı tasarımları yapılmaktadır. Son yıllarda kullanılmaya başlanan bu sistemler, yapıyı deprem kuvvetlerine karşı güçlendirmekte, ayrıca kirişler üzerine monte edilen metal amortisörlü kirişler ile depremlerin oluşturduğu yanal yöndeki enerji sönmülenererek depremin binaya vereceği zarar azaltılmaktadır. Şekil 1’de sol tarafta klasik betonarme kirişli bir yapı elemanı, sağ tarafta ise metal amortisör ilave edilmiş sönmümlü kiriş sistemi görülmektedir. Uygulanan deprem benzeri bir kuvvet etkisi ile klasik kiriş sistemi kullanılamayacak şekilde hasar alırken amortisörlü kiriş sistemi uygulanan enerjiyi sönmümlererek daha az hasar görmüştür (Ahn vd., 2011).



Şekil 1. Test amacı için üretilmiş betonarme bir yapı elemanı a) betonarme kiriş b) metal kiriş bağlantı sistemlerinin görünümü (Ahn ve diğ., 2011).

Figure 1. A reinforced concrete structural element for the purpose of testing a) reinforced concrete beam b) an appearance of metal beam connection systems (Ahn et al., 2011).

Son yıllarda yapı araştırmalarında tahribatsız olarak uygulanan jeofizik yöntemlerin kullanımı giderek artmaktadır (Cecire, 2003; Barroso vd., 2006; Gosa’lbez vd., 2006; Nuzzo vd., 2010; Diana ve Fais, 2010; Akevren, 2010; Uyanık vd., 2011; Babacan ve

Gelişli, 2015; Solla vd., 2016; Mechbal ve Khamlichi, 2017; Özçelik ve Gelişli, 2018). Nuzzo vd. (2010)'da GPR, kızılötesi termografi (IRT) ve ultrasonik yöntemleri kullanarak Troia Katedrali'ni (Apulia, İtalya) incelemişler ve ultrasonik hız yöntemi sonuçlarına göre kolonlar için yarı nicel bir kalite sınıflaması yapmışlardır. Babacan ve Gelişli (2015) yılında Trabzon ilinde yer alan Ayasofya ve Gülbahar Hatun camilerinin mermer sütunlarını ultrasonik hız ölçüm yöntemi ile incelemişler ve sütunlarının sağlam olan ve bozuşmaya uğrayan kısımlarını ortaya çıkarmışlardır. Özçelik ve Gelişli (2018)'de bir köprü yapısının elemanı olarak üretilen düşey bir betonarme yapı elemanında GPR, ultrasonik ve elektrik özdirenç yöntemlerini uygulayarak, yapının kırık çatlak durumu, beton kalitesi, donatıların yeri ve korozyon durumunu belirlemişlerdir. Sabbağ ve Uyanık (2018) yılında kuru ve suya doygun koşullar altında farklı kuvvetlerde donatılı ve donatısız olarak tasarlanmış beton örnekleri üzerinde elektrik özdirenç değişimlerini incelemişlerdir.

Bu çalışmada, metalik sönümleyici tipi bağ kirişli boşluklu betonarme perde duvar sisteminin durumu ve uygulanan deprem benzeri bir kuvvet etkisi ile meydana gelen değişimler jeofizik yöntemlerle araştırılmıştır.

ARAŞTIRMADA KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

Sismik Ultrasonik Yöntem

Sismik ultrasonik yöntem yapay kaynaklarla üretilerek malzeme içerisine gönderilen ses (akustik) dalgalarının araştırma yapılan kütle içerisinde yayılarak alıcı aletlerle kaydedilmesi esasına dayanan bir jeofizik yöntemdir (Jones ve Gatfield, 1955). Kaydedilen parametre ses dalgasının kaynaktan çıkıp alıcıya gelmesi için geçen zamandır. Ayrıca, kaynak ve alıcı uzaklığı ölçülebildiğinden, bilinen bir parametre olarak hesaplarda kullanılmaktadır. Betonarme elemanların dayanımları tarihsel olarak daima silindirik veya kübik beton numunelerin laboratuvarında kırılması yolu ile tayin edile gelmiştir. Hâlbuki ultrasonik dalga yayılma hızı tahribat yapmaksızın ölçülerek, betonun basınç dayanımı güvenilir bir hassasiyetle belirlenebilir. Sismik ultrasonik yöntemde çoğunlukla boyuna dalgalar (P-dalgası) kullanılmaktadır. Katı materyaller içinde ultrasonik dalganın seyahat hızı daha çok materyalin elastik özelliklerine ve yoğunluğuna bağlıdır.

Ultrasonik hız ölçümlerinde kullanılan alet, ultrasonik hız ölçüm cihazı, verici-alıcı başlıklar ve yüksek voltaj darbe (puls) üretici olmak üzere üç kısımdan meydana gelir (Şekil 2a). Bu cihaz 0.1 ile 0.9999 mikro saniye arasında geçiş zamanını, yine 1 ile 9999 m/sn arasında da darbe (puls) hızını ölçebilecek biçimde düzenlenmiştir. Bu özelliği nedeniyle yumuşak ve zayıf veya sert, masif numunelerde duyarlı ölçümler yapma olanağı sağlamaktadır. Sinyal biriktirme özelliği, zayıf sinyallerden kaliteli bir dalga şeklinin üretilmesini sağlar. Piezoelektrik özelliğe sahip verici başlıkla, cihaz tarafından üretilen ultrasonik dalgalar mekanik titreşime çevrilerek numuneye aktarılır. Frekans aralığı 24 kHz ile 1 MHz arasında değişmektedir. Frekans arttıkça dalga boyu küçülmektedir. Genel olarak P-dalgası ölçümlerinde 54 KHz'lik alıcı ve vericiler kullanılmakla birlikte üreteç yardımı ile gözenekli ve çatlaklı numunelerde de ölçümler yapılabilmektedir (Popovics, 2003).



Şekil 2. a) Çalışmada kullanılan ultrasonik hız ölçüm cihazı ve alıcı-verici başlıklar b) yüksek frekanslı yer radarı cihazı c) elektrik özdirenç ölçer

Figure 2. a) Ultrasonic velocity measuring device and transmitter and receiver transducers used in the study b) high frequency ground penetrating radar device c) electrical resistivity meter.

Ultrasonik hız ölçüm teknikleri, alıcı ve vericinin numune üzerindeki konumlarına göre direk, yarı direk ve yüzey iletim (indirekt) tekniği olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir. Direkt iletim tekniğinde, alıcılar ve vericiler ölçüm yapılacak numunenin paralel yüzeyleri üzerine zıt doğrultularda yerleştirilerek yol geçiş zamanı veya hızlar ölçülebilmektedir. Yarı direkt iletim tekniğinde, verici numunenin yan tarafında yer alırken alıcı ise numunenin üst tarafına yerleştirilerek ölçüm alınır. Yüzey iletim tekniğinde ise, alıcı ve verici numunenin aynı yüzeylerine yerleştirilerek ölçüm alınmaktadır. Boyuna (P) dalganın numuneyi kat ediş süresi cihaz veya kayıt üzerinde okuduktan sonra, numune boyu (m), kat ediş zamanına oranlanarak V_p ; P- dalga hızı

(m/sn) hesaplanır. Betona ait sismik hızlar ultrasonik yöntem ile ölçüldükten sonra betonun özelliklerini veren parametreler ilgili bağıntılar kullanılarak hesaplanır. Çizelge 1'de P-dalgası hızlarına göre beton kalitesi değerleri verilmiştir (Leslie ve Cheeseman, 1949; Feldman, 1977). Buna göre beton malzemedeki kolay ve hızlı bir şekilde ölçülecek ultrasonik hızlar haritalanarak betonun kalite dağılımı ortaya konulabilir. Ultrasonik hızlar ve hızlardan hesaplanan elastik parametrelerle beton dayanımı ilişkileri konusunda pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir (Krautkramer, 1969; Green, 1973; Singh ve Sharma, 2008).

Beton Kalitesi	Vp [m/s]
Çok iyi	>4500
İyi	3600 - 4500
Orta	3000 – 3600
Zayıf	2100 – 2900
Çok zayıf	<2100

Çizelge 1. Ultrasonik hız ile beton kalitesi ilişkisi (Leslie ve Cheeseman, 1949; Feldman, 1977).

Table 1. The relationship between ultrasonic velocity and concrete quality (Leslie and Cheeseman, 1949; Feldman, 1977).

Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı, araştırılan ortamın sığ derinliklerini yüksek çözünürlükte görüntüleyebilen elektromanyetik bir yöntemdir. Yöntem ile malzeme içerisine gönderilen ve zaman içinde değişen yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar kullanılarak incelemeler yapılmaktadır. Kayaç içerisine gönderilen bu alan, kayacın yönbağımlı (anizotropik) yapısının etkisi ile değişmekte ve kayaç içindeki yapıların (kırık, çatlak ve boşlukların) elektriksel özelliklerinin değişiminin gözlenmesine izin vermektedir (Davis ve Annan, 1986; Daniels, 2004). Bir verici antenle gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların bir kısmı, malzeme içerisindeki farklı dielektrik özelliklere sahip yüzeylerden yansırken, diğer kısmı da malzeme içerisine ilerlemeye devam etmektedir. Alıcı bir anten ise geri gelen sinyalleri algılamaktadır. Alınan sinyaller kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift yol seyahat zamanı nanosaniye cinsinden kaydedilmektedir (Davis ve Annan, 1986; 1989). Yöntemin kullanımının kolay olması ve çok hızlı veri toplanabilmesi, veri toplama sırasında çalışma alanında herhangi bir tahribat oluşturmaması (non-invasive), santimetre hatta milimetre

düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki boyutlu ve üç boyutlu görüntülemenin yapılabilmesi yöntemin en önemli avantajlarıdır. Yöntemde genel olarak yer altındaki gömülü yapılar ve bunların özelliklerini haritalamak için 10 MHz ile 6000 MHz frekans aralığında radyo dalgaları kullanılmaktadır. Burada sözü geçen toplam seyahat zamanı, radar dalgasının yüzeydeki verici antenden çıkıp yeraltında süreksizlikle/süreksizliklerle karşılaştığı ve bu yüzeyden yansiyarak yeryüzündeki alıcı antende kaydedildiği ana kadar geçen süredir. Nüfuz (etki/ penetrasyon) derinliği ve radar sinyalinin çözünürlük (ayrımılık) gücü iletilen dalganın frekansına ve araştırılan ortamdaki malzemenin dielektrik özelliklerine bağlıdır. Kullanılan farklı frekanslar hem nüfuz derinliğini hem de çözünürlüğü etkiler. Düşük frekanslarda araştırma derinliği artarken, düşey çözünürlük azalmaktadır. Yüksek frekanslarda ise düşey çözünürlük artarken, nüfuz derinliği azalmaktadır (Annan, 2001).

Yöntem yüksek çözünürlükte görüntü vermesi nedeniyle yapı jeofiziğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı jeofiziğinde daha çok kolon, sütun gibi sığ ortamlar araştırıldığından genellikle yüksek frekanslı antenler kullanılır. Yüksek frekanslı yer radarı aleti genellikle elde taşınabilen boyutlarda, alıcı ve verici anteni içinde bulunduran, hızlı uygulanabilen, pratik ve ekonomik aletlerdir (Şekil 2b). Yer radarı cihazı ile ölçülen ham verilerinden araştırılan yapıyı değerlendirmek veya görüntülemek zor olduğundan bu verilerin işlenmesi gerekmektedir (Annan, 2001; Daniels, 2004). Verilerin işlenmesiyle elde edilen iki ve üç boyutlu kesitlerle araştırma yapılan yapı yüksek çözünürlükte görüntülenmiş olur. Betona gömülü borular, kablolar, donatılar, donatıların sayısı ve yeri, beton içerisindeki çatlaklar, boşluklar yapıya hiçbir zarar vermeden belirlenir.

Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi yerin elektrik iletkenliğindeki değişimi ölçen jeofizik bir yöntemdir. Bu amaç için yeryüzüne iki noktadan elektrik alan uygulanır ve diğer iki nokta arasında gerilim farkı ölçülür. Elektrik alanın uygulandığı elektrotlar “akım elektrotları” ve gerilim farkının ölçüldüğü elektrotlar “gerilim elektrotları” olarak adlandırılır. Elektrotların ölçüm sırasındaki çeşitli konumlarına göre geliştirilen ölçü alım teknikleri, elektrot açılımları olarak adlandırılır. Akım elektrotları arasındaki uzaklığın arttırılması akımın daha derinlere inmesini sağlar ve dolayısıyla daha derinlerin özdirenç özellikleri hakkında bilgi toplanır. Elektrik özdirenç yönteminin esası Ohm Kanunu’na dayanır. Yöntem,

ortamların sahip olduğu farklı fiziksel değişimlere bağlı olarak elektrik akımını iletme (veya direnç gösterme) özelliğinin ölçülmesine dayanmaktadır. Aynı malzemenin su içeriği değişimi öz direnç değişimlerini etkilemektedir. Yöntem hakkında ayrıntılı teorik bilgi Telford vd. (1990)'da verilmiştir.

Beton nemliliği ve içerisindeki donatının korozyon durumunu belirlemek için tahribatsız jeofizik yöntemlerden elektrik öz direnç yöntemi kullanılır. Yapı jeofiziğinde kullanılan cihazlar genellikle aynı derinlikten bilgi sağlayan Wenner dizilimine göre tasarlanmıştır (Telford vd., 1990) ve öz dirençler $k\Omega\text{cm}$ cinsinden ölçülür (Şekil 2c). Kullanılan elektrik öz direnç cihazında elektrot aralığı 5 cm'dir. Ölçülen elektrik gerilim 1-5 mVolt olacak şekilde, akım elektrotlarından 250 mikro Amper seviyelerinde 25-150 Hz frekanslı akım geçirilir. Sabit elektrot aralıklı Wenner dizilimi ile araştırılacak yüzey üzerinde her noktada ölçüm alınarak profil boyunca ilerlenir. Böylece araştırma yaptığımız bütün yüzeyin aynı derinliğinden bilgi alınmış olunur. Farklı profillerden elde edilen veriler haritalanarak yapının o derinliğine ait öz direnç dağılım haritası oluşturulur. Betonarme içindeki demirin korozyonu akım akışı meydana getiren ve metalleri çözebilen elektrokimyasal bir işlemdir. Genel olarak demir korozyonu arttıkça beton öz direnci azalır. Elektrik öz direnç-korozyon derecesi ilişkisi Çizelge 2'de görülmektedir.

Korozyon Derecesi	Beton öz direnci ($\Omega.m$)
Az korozyon	≥ 200
Orta derecede korozyon	100-200
Yüksek derecede korozyon	50-100
Çok yüksek korozyon	≤ 50

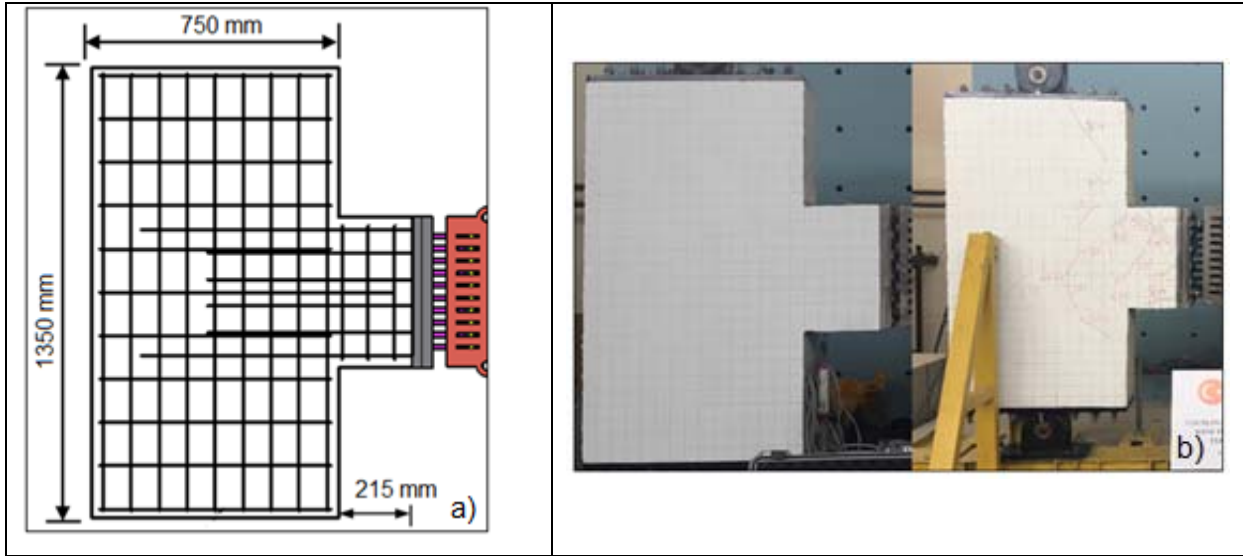
Çizelge 2. Yapıda ölçülen elektrik öz direnç ile korozyon derecesi ilişkisi (Andrade ve Alonso, 2004).

Table 2. The relationship between the degree of corrosion and electrical resistivity measured in the concrete (Andrade and Alonso, 2004).

YAPILAN ÇALIŞMALAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği yapı laboratuvarında depreme dayanıklı yapı geliştirme projesi çerçevesinde bir perde yapı elemanı hazırlanmıştır. Yapı

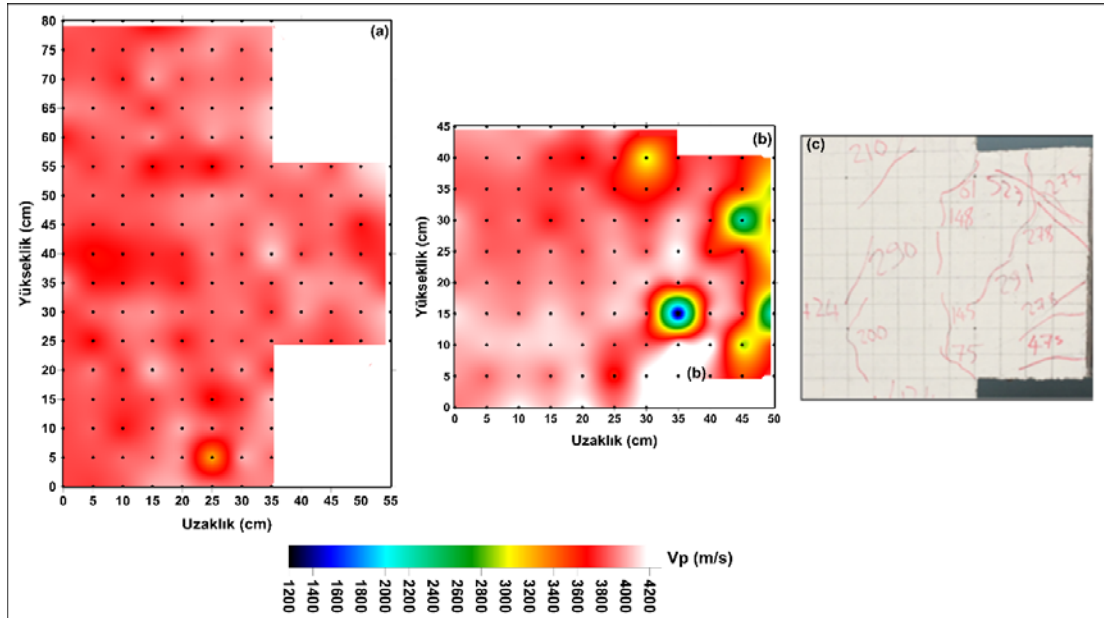
elemanında kiriş olarak metal sönümleyici sistem kullanılmıştır. Ölçümlerin alındığı perde duvarın ölçüleri 1350x750x200 mm'dir. Metalik sönümleyicinin bağlı olduğu betonarme bağ kirişi kollarının ölçüleri ise 450x215x200 mm'dir. Betonarme kısımların kalınlığı standart olarak 200 mm'dir. Yapı elemanında kullanılan betonun kalitesi 35 Mpa olarak ölçülmüştür. Pas payları 2 cm'dir. Yapı elemanı üzerinde gerilme öncesi ve gerilme sonrası jeofizik ölçülerle yapının durumunun ve durumundaki değişimlerin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, gerilme uygulanmadan önce ve gerilme sonrasında yapı üzerinde beton dayanımı, korozyon durumu, yüzeyden gözlenemeyen çatlakların yerlerinin tespiti amacıyla sismik ultrasonik, yer radarı ve elektrik özdirenç ölçümleri alınmıştır. Yapıya deprem etkisini yaratmak amacıyla 65 tona kadar artımlı çevrimsel yük uygulanmıştır. Şekil 3a'da tasarlanan depreme dayanıklı perde yapı ve bağlı olduğu kiriş sisteminin şematik çizimi görülmektedir. Yapı elemanının boyutları ve yapının donatı özellikleri şekil üzerinde verilmiştir. Şekil 3b' de ise sol tarafta jeofizik ölçülerin alındığı betonarme yapının yük uygulanmamış durumu ve sağ tarafta da yük uygulanmış hali görülmektedir. Sağ taraftaki yapının üzerindeki çizgiler yapıya yük uygulandıktan sonra yapının üzerinde oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 3. a) Jeofizik ölçüler alınan betonarme yapı elemanının şematik görünümü b) Ölçüm yapılan betonarme yapının deneyden önceki ve sonraki durumu. Ölçüm hatları ve uygulanan yük sonrası oluşan deformasyonlar yapılar üzerinde çizilmiştir.

Figure 3. A schematic view of the reinforced concrete structural element on which geophysical measurements are taken b) the state of the reinforced concrete structure before and after the test. The measurement profiles and deformations after applied load are drawn on the structures.

Kirişler üzerinde öncelikle beton dayanımı ve çatlak durumunu araştırmak amacıyla ultrasonik ölçüler alınmıştır. Betonarme yapıda ölçüler, yük uygulama öncesi ve sonrası ayrı ayrı olmak üzere toplamda 23 profilde 266 noktada alınmıştır. Yapı üzerinde ölçü hatları çizgilerle gösterilmiştir. Ölçüler 5 cm istasyon ve 5 cm profil aralıkları ile alınmıştır. Şekil 4'te kiriş boyunca toplanan ultrasonik verilerden oluşturulmuş sismik hız haritaları görülmektedir. Beton numunesine gerilme uygulanmadan önce elde edilen sismik hız haritasında (Şekil 4a) oldukça düzgün ve tekdüze (homojen) hız dağılımları gözlemlenmiştir. Beton numunesinin P-dalgası hız değerleri yaklaşık 3600-4200 m/sn aralığında olup bu değerlere göre kiriş çok iyi kalite yapı sınıfına girmektedir (Çizelge 1). Şekil 4b'de ise yapıya kuvvet uygulandıktan sonra betonun sadece hasar görmüş bölümünden alınmış ultrasonik verilerinden oluşturulmuş P-dalgası hız haritası ve Şekil 4c'de ise verilerin toplandığı kısım görülmektedir. Şekil 4b incelendiğinde, betonarme yapının hasar almış bölümünde hızlarda azda olsa düşüş olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle çatlakların sıklaştığı kısımda hasarsız yapıya göre hız dağılımı daha karmaşık bir hal almıştır. Haritada düşük hız noktalarının çatlaklar boyunca konumlandığı görülmektedir. Bu da çatlakların sadece yüzeyde değil numunenin içinde de devam ettiğini göstermektedir. Çatlakların yoğun olduğu bölgede betonarme yapının hızı 1200-2800 m/sn arasında, numunenin hasar almamış bölümlerinde ise 3600-4000 m/sn arasında değişmektedir.

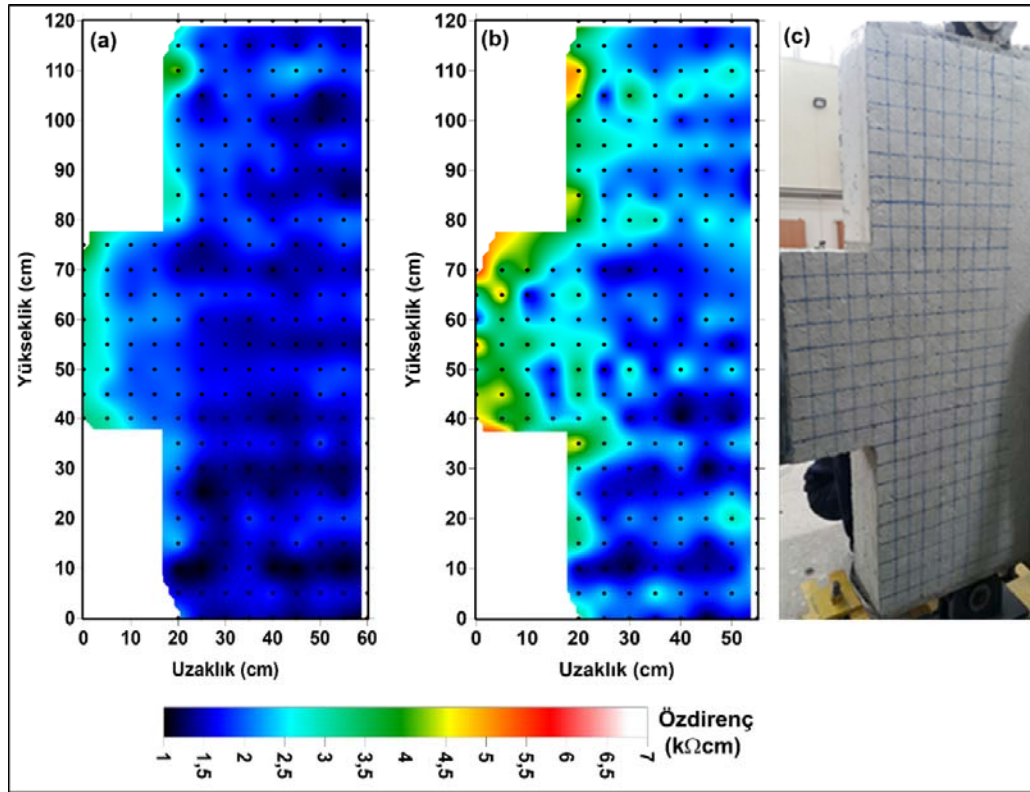


Şekil 4. Betonarme yapı üzerinde elde edilen ultrasonik boyuna dalga hız haritaları. (a) kuvvet uygulamadan önce, (b) kuvvet uygulandıktan sonra, (c) Betonarme yapıya gerilme uygulandıktan sonra deformasyonların gözlemlendiği kısım. Deformasyon sonrası ölçüler bu kısımda alınmıştır.

Figure 4. Ultrasonic longitudinal wave velocity maps obtained on the reinforced concrete structure (a) before applying force (b) after applying the force (c) The parts where

deformations are observed after the stress applied to the reinforced concrete structure. Post-deformation measurements were taken in this section.

Betonarme yapı üzerinde ultrasonik ölçülerin ardından elektrik özdirenç ölçüleri alınmıştır. Özdirenç ölçü hatları yapı üzerinde çizilmiştir (Şekil 5c). Bu uygulama için ölçüler 25 profilde, 5 cm aralıkla Wenner elektrot dizilimi kullanılarak alınmıştır. Özdirenç ölçüleri yapı üzerinde kuvvet uygulanmadan önce ve kuvvet uygulandıktan sonra kirişlerin aynı kısımlarında ayrı ayrı alınmıştır. Kuvvet uygulanmadan önce elde edilen özdirenç haritasında yaklaşık 1,5 ile 4 kΩ.cm arasında değişen, düşük ve tekdüze (homojen) dağılımlı özdirenç değerleri görülmüştür (Şekil 5a). Bu değerlere



Şekil 5. Betonarme yapıda kuvvet uygulamadan önce (a) ve kuvvet uygulandıktan sonra (b) oluşturulan elektrik özdirenç haritaları. Kuvvet uygulanmadan önce betonarme yapı ve yapı üzerinde ölçüm profillerinin görünümü (c).

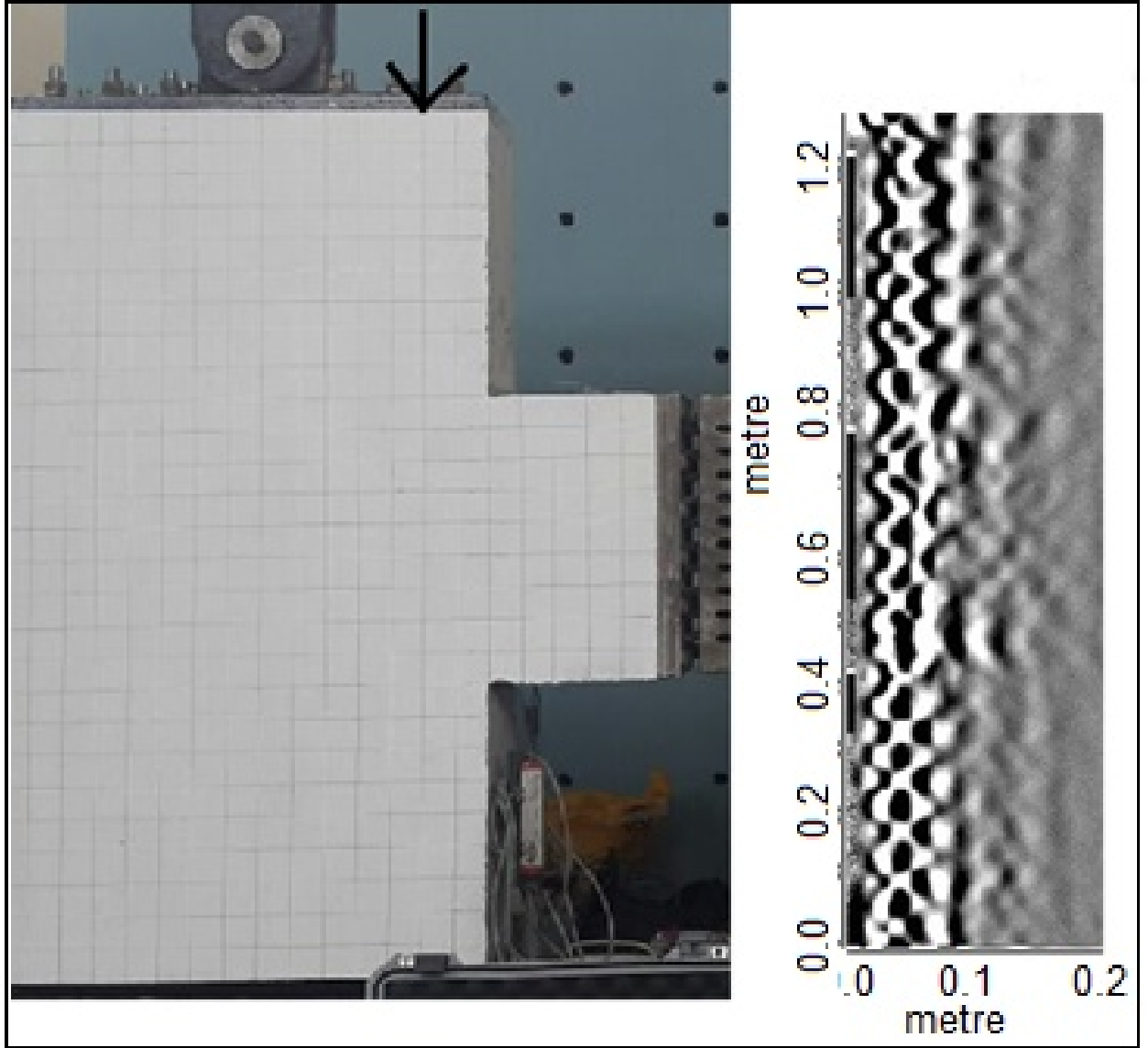
Figure 5. Electrical resistivity maps generated before (a) and after (b) the application of force in a reinforced concrete structure. The appearance of the measurement profiles on the reinforced concrete structure and structure before the application of force (c).

göre yapının çok yüksek korozyon durumuna sahip olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 2). Ancak, betonarme yapıda kullanılan donatılar yeni ve korozyona uğramamıştır. Bilinen bu

durum nedeniyle özdirenç değerlerinin çok düşük çıkmasının, betonun yeni dökülmüş ve suya doymuş olmasından ileri geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 5b’de ise kuvvet etkisi ile hasar almış beton numunenin üzerinde alınan özdirenç ölçülerinden hazırlanan harita görülmektedir. Betonun içeriği değişmediği halde çatlamlar nedeniyle özdirençlerde kısmi bir yükselim meydana geldiği görülmüştür. Haritada özdirenç değerleri 1,2 ile 7 k Ω .cm arasında değişmektedir. Ayrıca, betonarme yapı hasar aldığı için değerlerin dağılımı hasar almamış numunenin özdirenç haritasına göre daha düzensiz bir görünüm ortaya koymuştur.

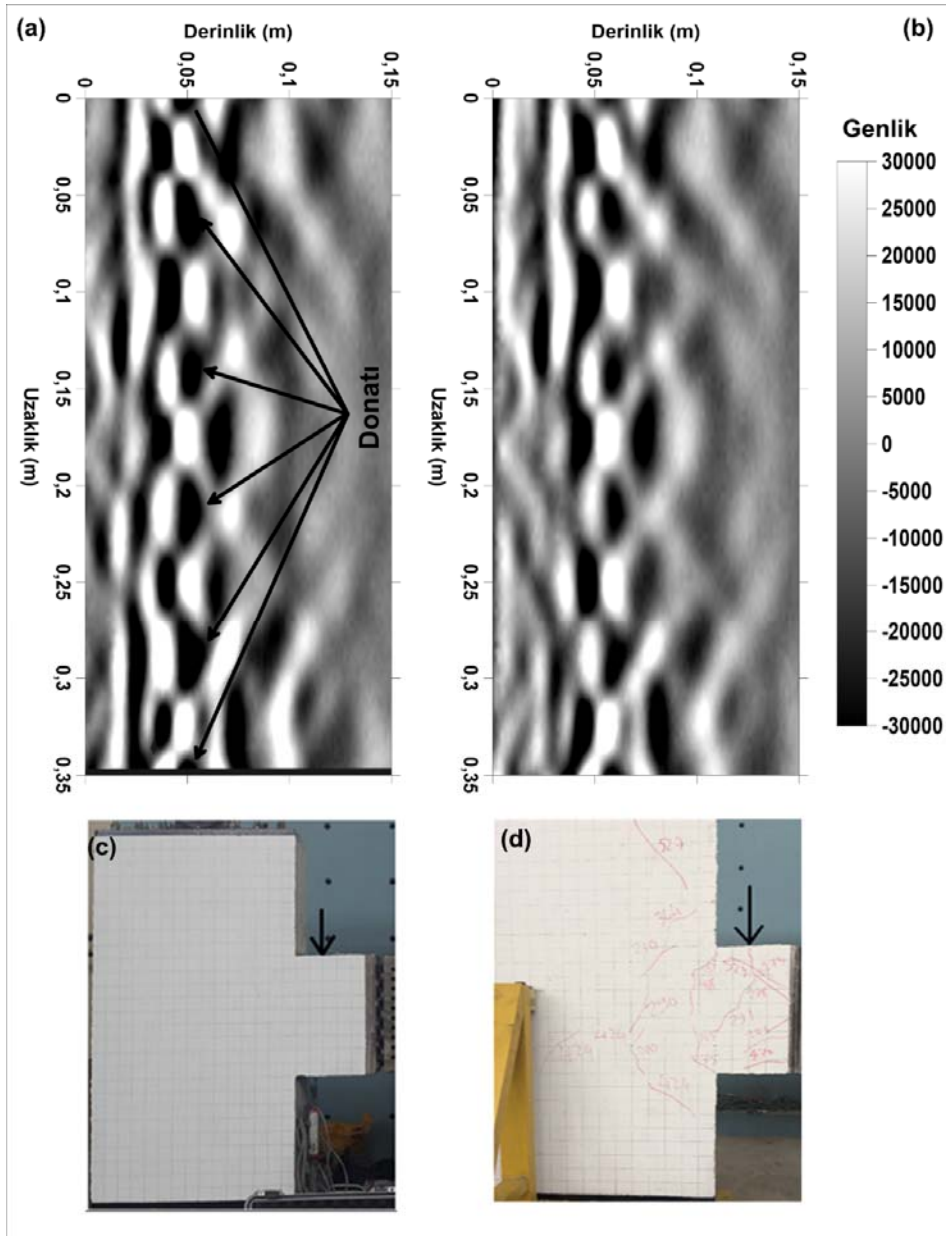
Son olarak betonarme yapı üzerinde 2.7 GHz merkez frekanslı yer radarı cihazıyla yine kuvvet uygulama öncesi ve sonrası olmak üzere 85 profilde ölçüm alınmıştır. Elde edilen veriler işlendikten sonra, verilerden yapının görüntüsünü veren iki ve üç boyutlu kesitler oluşturulmuştur. Betonarme yapıya ait iki boyutlu yer radarı kesitlerinden biri Şekil 6’ da görülmektedir. Ölçünün alındığı profilin yeri şeklin sol tarafında verilen yapı üzerinde ok ile işaretlenmiştir. Toplanan veriler yüksek frekanslı antenle toplandığı için verilere sadece temel gürültülerin kaldırılması amacıyla filtreleme işlemi uygulanmıştır. Kesitteki her bir hiperbol bir donatıya işaret etmektedir. Kesitte betonarme yapı içerisindeki çelik donatılar oldukça açık bir şekilde izlenmektedir. Kesitten birbirine yakın donatıların olduğu kısımlardaki hiperbollerin girişim yaptığı anlaşılmaktadır.

Yapıya yük uygulanmadan önce yapının başka bir kısmından alınan yer radarı ölçülerinden oluşturulan kesitlerden bir diğeri Şekil 7a’ da görülmektedir. Kesitin ait olduğu profil yapı üzerinde ok ile işaretlenmiştir (Şekil 7c, d). Bu kesitin elde edilmesinde aynı veri işlem uygulamasının yanında hiperbollerin odaklanması için migrasyon işlemi de uygulanmıştır. Radar kesitinde yaklaşık 5 cm derinlikte görülen yan yana düzgün şekilde sıralanmış 6 adet siyah benek (şekil üzerinde oklarla işaretlenmiş), beton numunesinin içerisindeki çelik donatıları temsil etmektedir (Şekil 7a). Kesitte yapının baş ve sonundaki donatılar, cihazın boyu nedeniyle ölçülerin sıfır noktasından başlatılamayıp son noktada bitirilememesinden dolayı yarım benek olarak oluşmuştur. Yapıya yük uygulandıktan sonra yüksek frekanslı yer radarı cihazıyla alınan ölçülerden oluşturulan aynı profile ait yer radarı kesiti Şekil 7b’ de görülmektedir. Bu kesitte de önceki kesitte görülen benekler benzer olarak gözlemlenmiştir. Ancak, oluşan küçük deformasyonlar nedeniyle beneklerin yerlerinde ve şeklinde küçük değişimler meydana gelmiştir.



Şekil 6. Betonarme yapı elemanı ve ok ile işaretlenen profilden alınan verilerin işlenmesiyle elde edilen yer radarı kesiti.

Figure 6. The GPR section obtained by processing the data taken from the profile marked by the reinforced concrete structural element.

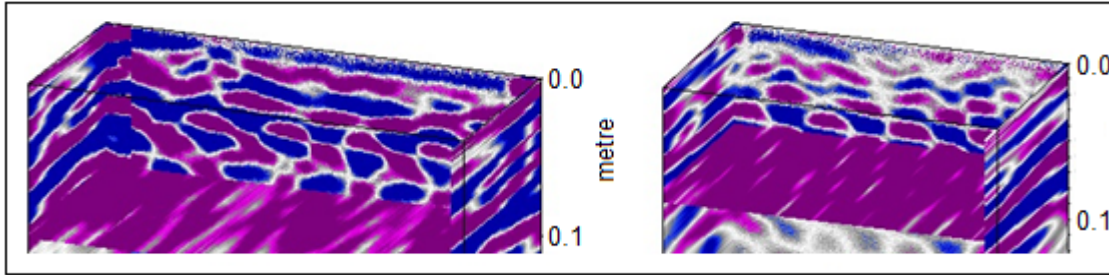


Şekil 7. Betonarme yapının gerilme öncesi (a) ve sonrası (b) için oluşturulan yer radarı kesitleri. Betonarme yapıda uygulanan gerilme öncesi (c) ve sonrası (d) için ölçüm şeması. Gerilme sonrası oluşan yüzey çatlakları şekil üzerinde gösterilmiştir (d). Yer radarı ölçüm profilinin yeri yapı üzerinde ok ile işaretlenmiştir.

Figure 7. GPR sections of the reinforced concrete structure before (a) and after (b) the stress. Measurement scheme for pre and post stress applied in reinforced concrete structure. The surface cracks formed after stretching are shown on the figure. The location of the GPR measurement profile is marked with an arrow on the structure.

Şekil 8' de ise betonarme yapı üzerinde yük uygulanması ile hasar oluşan bölümde hasar almadan önce ve sonra toplanan dikey doğrultusundaki verilerin üç boyutlu çizdirilmiş hali görülmektedir. Sol tarafta yük uygulanmadan önce, sağ tarafta ise yük uygulandıktan

sonra alınan ölçülerin çözünürlük sınırları içerisinde kalan bir kısmı görülmektedir. Kesitlerde ön cephede gözlenen mor renkli benekler malzeme içerisindeki çelik donatılara karşılık gelmektedir. İki adet etriye kesitin üst kısmında düz çizgi görünümündedir. Kuvvet etkisi ile hasar oluşan yapıdan alınan verilerden oluşturulan çizimdeki anomalilerde (sağ taraftaki şekil), hasar etkisi ile genliklerde zayıflama ve anomalilerin şeklinde bozulmaların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 8. Betonarme yapının kiriş kısmında deformasyon öncesi ve sonrası alınan yer radarı verilerinin üç boyutlu gösterimi.

Figure 8. Three-dimensional representation of GPR data taken before and after deformation in the beam section of the reinforced concrete structure.

Daha önce jeofizik ölçülerle hasar görmüş ve tarihi yapıların araştırıldığı pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise yeni tasarlanan bir perde betonarme yapı üzerinde jeofizik ölçüler ilk defa olarak alınmıştır. Sismik ultrasonik, GPR ve elektrik ölçüler kombine olarak uygulanarak perde betonarme yapısının tamamının içyapısı ve kalitesi başarılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Yöntemlerin uygulaması çok hızlı ve ucuzdur. Ayrıca bu ölçülerle yapıya herhangi bir zarar verilmemiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, test amacı ile hazırlanmış bir güçlendirilmiş betonarme yapı örneği üzerinde yapılan jeofizik uygulamaların sonuçları verilmiştir. Jeofizik ölçüler yapı üzerinde yapıya bir kuvvet uygulanmadan önce ve kuvvet uygulandıktan sonra ayrı ayrı alınmıştır. Bu betonarme yapı üzerinde sismik ultrasonik, elektrik özdirenç ve yer radarı yöntemleri uygulanmıştır. Gerilme öncesi yapılan sismik ultrasonik ölçümlerden beton kalitesinin çok iyi olduğu anlaşılmıştır. Gerilme uygulandıktan sonra elde edilen ultrasonik hız

haritasında çatlakların olduğu bölgelerde hızda azalış ve dalgalanma gözlenmiştir. Yapı üzerinde kuvvet uygulanmadan yapılan öz direnç ölçülerden nemlilik nedeniyle yapının düşük öz direnç değerlerine sahip olduğu, kuvvet uygulandıktan sonra ise elektrik öz direnç değerlerinde artış ve dalgalanma gözlenmiştir. Yer radarı yöntemi ile gerilme öncesi beton numunesi içerisinde bulunan donatı, etriyelerin sayısı ve yerleri net bir şekilde ortaya konulmuştur. Gerilme sonrasında betonda oluşan gözle görülemeyen çatlaklar işlenmiş yer radarı kesitlerinde gözlenmiştir. Yapı jeofiziği çalışmalarında yapıya herhangi bir zarar vermeden, hızlı bir şekilde uygulanan jeofizik yöntemlerin, yapının görünmeyen kısımları hakkında önemli bilgiler sağladığı ortaya konulmuştur.

KATKI BELİRTME

Boşluklu betonarme perde duvarlar arasındaki bağ kirişlerinde kullanılacak geleneksel ve yenilikçi sistemler üzerine yürütülen proje çerçevesinde hazırladıkları perde yapı elemanı üzerinde Jeofizik ölçü almamıza olanak sağladığı için Prof. Dr. Metin HÜSEM'e, makale hakkında yapıcı tavsiyelerde bulunan hakemlere ve editöre teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahn, T., Kim, Y., Kim, S., Hwang, I., 2011. Seismic Performance of Coupling Beam Damper System. Council on Tall Building and Urban Habitat World conference October 10-12, Seoul Korea.
- Akevren, S., 2010. Non-destructive examination of stone masonry historic structures quantitative IR thermography and ultrasonic testing. MSc Dissertation, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Andrade, C., and Alonso, C., 2004. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. *Materials and Structures*, 37, 623-643.
- Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.

- Babacan, A.E., and Gelisli, K., 2015. Ultrasonic Investigations of Marble Columns of Historical Structures Built in Two Different Periods. *Carbonates and Evaporites*, 30, 357.
- Barroso, E., Silva, L., Polivanov, H., 2006. Weathering and deterioration evaluation of a Brazilian cultural heritage building, IAEG .
- Cecire, A.S., 2003. Nondestructive evaluation of historic structures. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Daniels. D.J.. 2004. Ground Penetrating radar 2nd edition, The Institution of Electrical Engineers, London.
- Davis, J.L., and Annan, A.P., 1986. High-Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar. *Geoscience*, 13(3), 205-208.
- Davis, J.L., and Annan, A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551,
- Diana, G., Fais, S., 2010. IR thermography and ultrasonic investigations in the cultural heritage field. In: 15th international conference on “cultural heritage and new technologies”, Vienna.
- Feldman, R.F., 1977. Non-destructive testing of concrete. CD_BD-187, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, p.6.
- Gosa'lbez, J., Salazar, A., Bosch, I., Miralles, R. and Vergara, L. 2006. Application of ultrasonic nondestructive testing to the diagnosis of consolidation of a restored dome. *Mater Eval* 64(5), 492–497.
- Green, R.E., 1973. Ultrasonic Investigation of Mechanical Properties. Academic Press, New York.
- Jones, R., and Gatfield, E.N., 1955. Testing concrete by an ultrasonic pulse tech. Paper No.34, London.
- Krautkramer, K., 1969. Ultrasonic Testing of Materials. Springer-Verlag, New York.
- Leslie, J.R., and Cheeseman, W.J., 1949. An ultrasonic method for studying deterioration and cracking in concrete structures. *ACI Mater. J.* 46(2), 17-36.
- Mechbal, Z., Khamlichi, A., 2017. Determination of concrete rebars characteristics by enhanced post processing of GPR scan raw data. *NDT E Int.*, 89, 30–39.
- Nuzzo, L., Calia, A., Liberatore, D., Masini, N., Rizzo, E., 2010. Integration of ground-penetrating radar, ultrasonic tests and infrared thermography for the analysis of a precious medieval rose window. *Adv Geosci.* 24, 69–82.

- Özçelik, E., ve Gelişli, K., 2018. Betonarme Yapılarda Jeofizik Yöntemlerle Beton Kalitesi ve Yapı Donatı Durumunun Araştırılması. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 17 (1), 1-11.
- Popovics, J.S., 2003. NDE Techniques for concrete and masonry structures, Prog. Struct. Eng. Mater. 5, 49– 59.
- Sabbağ, N., and Uyanık, O., 2018. Determination of the reinforced concrete strength by apparent resistivity depending on the curing conditions, Journal of Applied Geophysics, 155, 13-25.
- Singh, T.N., and Sharma, P.K., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67 (1), 17-22.
- Solla, M., Asorey-Cacheda, R., Núñez-Nieto, X., Conde-Carnero, B., 2016. Evaluation of historical bridges through recreation of GPR models with the FDTD algorithm. NDT E Int. 77, 19–27.
- Uyanık, O., Kaptan, K., Gülay, F.G., ve Tezcan, S., 2011. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. Yapı Dünyası, 184, 55-58.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., ve Sherif, R.E., 1990. Applied Geophysics, Cambridge University Press. 770.



Yerbilimleri, 2019, 40 (1), 110-135, DOI:10.17824/yerbilimleri.500472

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

An Investigation on the Evaluation of Seismic Network and Catalogue of Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (RETMC-KOERI)

Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM-KRDAE) Sismik Ağı ve Kataloğunun Değerlendirilmesi Üzerine Bir İnceleme

MUSAVVER DİDEM CAMBAZ^{1,*A}, FATİH TURHAN^{1B}, MEHMET YILMAZER^{1C}, KIVANÇ KEKOVALI^{1D}, ÖCAL NECMİOĞLU^{1E}, DOĞAN KALAFAT^{1F}

¹ Regional Earthquake Tsunami Monitoring Center, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Boğaziçi University, Çengelköy, İstanbul, Turkey.

Geliş (received): 21 Aralık (December) 2018 Kabul (accepted): 13 Nisan (April) 2019

ABSTRACT

Seismicity catalogs are the most important product of seismic network operating centers, especially for the earthquake hazard studies. Understanding the nature of regional catalogues has primary importance in shedding light on statistical parameters of the seismicity behavior of that given region. It is a well-known fact that artificial effects exist in the regional catalogues. Precisely determined earthquake parameters are important not only for understanding the seismicity and seismotectonics of a region, but also for providing an accurate estimation of the seismic hazard and risk parameters. In this study, we present an evaluation of the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) - Regional Earthquake Tsunami Monitoring Center (RETMC) seismicity catalog for the time duration of 2013 – 2017. We mapped the magnitude of completeness, M_c , for Turkey for the RETMC catalog. We compared the results with the M_c values of different local earthquake sequences in the region, by also considering the variations of M_c with time. Results of the study will be a reference guide for researchers who benefit from RETMC-KOERI data.

Keywords: Earthquake, Seismicity, Seismic Network, Catalogue, Turkey.

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.500472>



M. Didem CAMBAZ didem.samut@boun.edu.tr

^A RETMC, Kandilli Obs. and Earthq. Res. Ins., Boğaziçi Uni., Çengelköy, İstanbul, Turkey, ORCID 0000-0001-5395-2388, didem.samut@boun.edu.tr,

^B RETMC, Kandilli Obs. and Earthq. Res. Ins., Boğaziçi Uni., Çengelköy, İstanbul, Turkey, ORCID 0000-0003-4612-7421, fatih.turhan@boun.edu.tr,

^C RETMC, Kandilli Obs. and Earthq. Res. Ins., Boğaziçi Uni., Çengelköy, İstanbul, Turkey, ORCID 0000-0002-1717-6059, mehmet.yilmazer@boun.edu.tr,

^D RETMC, Kandilli Obs. and Earthq. Res. Ins., Boğaziçi Uni., Çengelköy, İstanbul, Turkey, ORCID 0000-0001-9292-7150, kekovali@boun.edu.tr,

^E RETMC, Kandilli Obs. and Earthq. Res. Ins., Boğaziçi Uni., Çengelköy, İstanbul, Turkey, ORCID 0000-0002-7211-8564, ocal.necmioglu@boun.edu.tr,

^F RETMC, Kandilli Obs. and Earthq. Res. Ins., Boğaziçi Uni., Çengelköy, İstanbul, Turkey, ORCID 0000-0002-4888-3311, kalafato@boun.edu.tr.

ÖZ

Sismik kataloglar özellikle deprem zararı çalışmalarında, sismik ağ işleten merkezlerin en önemli ürünleridir. Bölgesel deprem kataloglarının doğasını anlamak o bölgenin sismik davranışının istatistiksel parametrelerinin üzerine ışık tutmada birincil önemdedir. Zamanla altyapının değişmesinden dolayı kataloglarda insan kaynaklı homojensizliğin ve yapay etkilerin bulunduğu iyi bilinen bir durumdur. Hassas olarak belirlenen deprem parametrelerinin sadece sismisite ve sismotektoniğin anlaşılmasında değil, sismik tehlike ve risk parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesini sağlamak için de önemlidir. Bu çalışmada, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem – Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) 2013-2017 yılları arasındaki katalogunun değerlendirilmesi sunulmuştur. BDTİM katalogunun tüm Türkiye için bu aralıktaki tamamlılık magnitüdü (Magnitude of Completeness, M_c) belirlenmiş, M_c değerinin zamana bağlı değişiklikleri de göz önünde bulundurularak diğer lokal deprem dizilerindeki M_c değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları KRDAE-BDTİM verilerinden faydalanan araştırmacılara başucu kaynağı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, sismisite, sismik ağ, katalog, Türkiye.

INTRODUCTION

Three major structures dominate the active tectonics of Turkey: the Hellenic-Cyprus arc, right-lateral North Anatolian Fault Zone and left-lateral East Anatolian Fault Zone. Anatolia is extruded along these intra-continental strike-slip fault zones between the converging Eurasian and Arabian plates. The western part of the Anatolian Plate is dominated by E-W trending horst and graben structures (Stampfli, 2000). The Central Anatolia forms a broad transitional tectonic zone between the extensional tectonic regime of the Western Anatolia and the collision in Eastern Anatolia (Koçyiğit et al., 2000). Turkey is surrounded by seismically active boundaries and interactions with a variety of crustal types and tectonic styles. As a result of continuous intense deformation the region comprised of diverse structures, such as suture zones, metamorphic core complexes and young orogeneses. High

topography in the Eastern Anatolia, with an elevation of 1.5 km in more than half of the region, resulting from the collision of Arabian plate with Eurasia, and relatively low topography in the Western Anatolia with extension due to the subduction indicates significant variations in the crustal structures (Yılmaz et al., 1987) (Figure 1).

Western Turkey and surrounding regions form one of the most seismically active regions in the world. Seismicity in Turkey and surrounding regions is monitored by a number of different universities and institutes. However, seismology department of KOERI, RETMC with its recent name, with the network code KO (FDSN Network Code: <https://doi.org/10.7914/SN/KO>), has a long history. It is the oldest seismological observation center in Turkey recording, locating and archiving the earthquakes, 24/7 (Louderback, 1948; Fettahoğlu, 2012; Kalafat et al., 2017). Since 2017, RETMC is also accredited as the Tsunami Service Provider of ICG/NEAMTWS, covering Eastern Mediterranean, Aegean, Marmara and Black Seas.

Eastern Mediterranean, Aegean and Black Sea regions have been impacted by tsunamis in the past, as covered by various detailed publications (Altınok and Ersoy, 2000; Altınok et al., 2011; Ambraseys, 2009; Soloviev, 2000). Various deterministic modeling studies (Lorito et al., 2007; Necmioglu and Ozel, 2015, Tinti et al., 2005; Yalçiner et al., 2009; Yolsal-Çevikbilen and Taymaz, 2012) confirm that these regions are prone to tsunami hazard and risk, despite having a lower recurrence rates in comparison to other parts of the world, such as Pacific and Indian oceans.

After the catastrophic Erzincan earthquake in 1939, extraordinary sea disturbances were seen in several parts of Black Sea, where the sea receded in Fatsa about 50 m and then advanced 20 m. In Ünye, the sea receded about 100 m, and in Ordu about 15 m. The initial rise of the sea level was recorded at 6 tidal stations on the northern coast of the Black Sea (Altınok et al., 2011).

The tsunami generated by the 20 July 2017 Mw of 6.6 earthquake near Bodrum, Turkey, was a real test for KOERI's operational tsunami warning system (Haidarzadeh et al., 2017). Based on the field surveys by Yalçiner et al. (2017), a moderate tsunami was generated following the 20 July 2017 Mw of 6.6 earthquake reaching a maximum run-up of 1.9 m along a dry stream at Gumbet Bay (West of Bodrum, Turkey) and producing an average run-up of ~ 0.6 m in the near-field around the city of Bodrum which flooded many nearshore restaurants and damaged boats mainly in the Gumbet Bay. A maximum run-up of 1.5 m was observed in Kos Island.

In addition to earthquakes as tsunami sources, massive land movements, such as the Santorini event around 1600 BC, or the Fatsa tsunami triggered by the Erzincan (Turkey) earthquake in 1939 give a clear indication that the entire Eastern Mediterranean and its connected marine regions are prone to tsunami events (Necmioğlu and Özel, 2015).

The 150th anniversary of KOERI is celebrated in 2018 and up to today numerous scientific papers have benefitted from the data and catalog of RETMC (Tan et al., 2008; Konstantinos et al, 2013; Cambaz and Mutlu, 2015; Kalafat et al., 2003, 2006, 2009, 2011; Kadirioğlu et al, 2016; Lu et al., 2018). However, there is a lack of studies documenting the homogeneity and completeness of the data set for the RETMC catalog. Seismic networks evolve, change staff, software and hardware in time. When dealing with a catalog, it is important to know the changes in the catalog, if the interesting patterns in the catalog reflect network changes rather than changes in the Earth (Wiemer, 2001). Artificial contaminations and heterogeneity reports are present in all earthquake catalogs and most of the time they introduce errors in statistical analyses of the seismicity (Gulia et al, 2012). Main motivation of this study is to address this deficiency and review the network and catalog status of RETMC while investigating the inhomogeneities, artifacts and biases that may deflect research based on this catalog.

DATA AND METHOD

Network Development of RETMC

The historical development of the permanent seismological station installation in RETMC has a long history. Earthquake observations of KOERI date back to the devastating 1894 Istanbul earthquake. Giovanni Agamennone went to İstanbul with the invitation of Ottoman Empire in 1895 to study the 1894 earthquake in the Marmara region, and remained two years to install two seismographs in a specially constructed housing, and to instruct some young men in seismometry (Louderback, 1948; Fettahoğlu, 2012). After that, the first mechanical station was a Mainka seismograph installed in Istanbul Kandilli in 1938 (Station Code: ISK), by the government of the Republic of Turkey (<http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/stations?stacode=ISK>). RETMC's stations started to be a network in the early 1970's. In 1980's MARNET radio-linked stations started being installed in the Marmara region. The first broadband seismic station (Station Code: ISP) was installed in 1996 together with the global seismological broad-band network operated by the German GeoForschungs Zentrum (GFZ) GEOFON (<http://geofon.gfz-potsdam.de/doi/network/GE>). Installations of broadband stations continued in 2000's in Edirne (EDRB), Van (VANB), Balıkesir (BALB) and all over Turkey. Advances in telecommunication infrastructure technology enabled the transition from leased telephone lines to real time satellite data transfer. The transition from short period stations to broadband stations happened during the same times. Operation procedures were also changed in the meantime. The number of stations increased drastically after the devastating İzmit earthquake (M7.4) in 1999. 2000's was a turning point in the operational system in RETMC in every sense. With the number of stations increasing year by year, it reached the present day amount consisting of 134 broadband, 93 strong motion and 14 short period sensors (Figure 1).

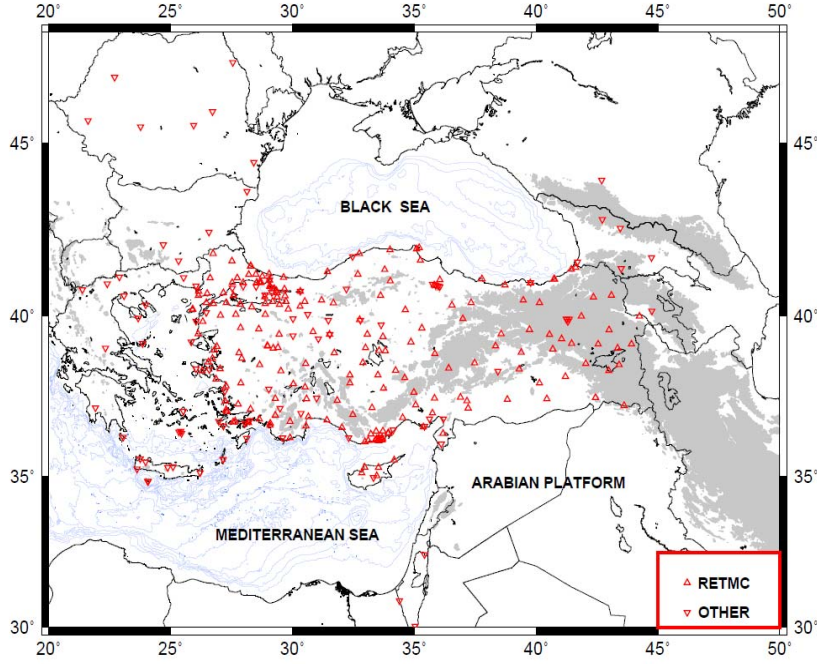


Figure 1. Station distribution used in earthquake location from RETMC network (triangles) and other stations from national and international agreements (reverse triangles) during 2013-2017. Gray shaded area shows the topography higher than 1.5 km.

Şekil 1. 2013-2017 yılları arasında deprem lokasyonunda kullanılan, BDTİM ağından (üçgenler) ve ulusal ve uluslararası anlaşmalı diğer ağlardan (ters üçgenler) olan istasyonların dağılımı. Gri gölgelendirilmiş alan yüksekliği 1.5 km üzerinde olan yerleri göstermektedir.

Today RETMC is a 24/7 observation center receiving real-time waveform data from 220 national sensors consisting of Broadband (BB), Accelerometer (SM), Short-period (SP) seismometers, along with the national and international seismic stations in the neighborhood area with the bilateral agreements. RETMC network is using mostly the same type of seismometers such as Güralp CMG 3T (300 s and 120 s), CMG 40T (30 s), CMG 6T (30 s), CMG 3ESPD (30 s) mainly recording at 100 sps. Relevant information on the equipment of the KOERI network can be found on the web page of RETMC (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>). The list of RETMC stations (App1), national and

international seismic stations (App2) and the list of networks (App3) in this context, are represented in the Appendix.

Seismicity Catalogue

RETMC monitors a large area in order to detect the earthquakes both on land and surrounding seas within the area delineated by 30.00° - 48.00° N, 22.00° – 44.00° E, for detecting the potential tsunamigenic earthquakes in the region. Over 110.000 earthquakes recorded in the last five years (01.01.2013-12.31.2017) in the region (Figure 2). Earthquake data, such as phase arrival observations, are fed through zSacWin (Yılmaz, 2012), which is a windows-based software providing easy usage of the routine earthquake location package HYPO71 (Lee and Lahr, 1972). The basic criteria for processing an earthquake is picking phases from minimum 3 stations, 5 phases with azimuthal gap smaller than 180° . The crustal model of Kalafat et al., (1987) is used in zSacWin for the location of earthquakes (Table 1). Early-est (Lomax and Michelini, 2012) and Seiscomp3 (Weber et al., 2007) are the automatic earthquake solution software packages used in earthquake location and tsunami studies.

Depth (km)	0.00	5.40	31.60	89.20
Vp (km/s)	4.50	5.91	7.80	8.30

Table 1. One dimensional velocity model (Kalafat et al., 1987).

Çizelge1. Bir boyutlu hız modeli (Kalafat vd., 1987).

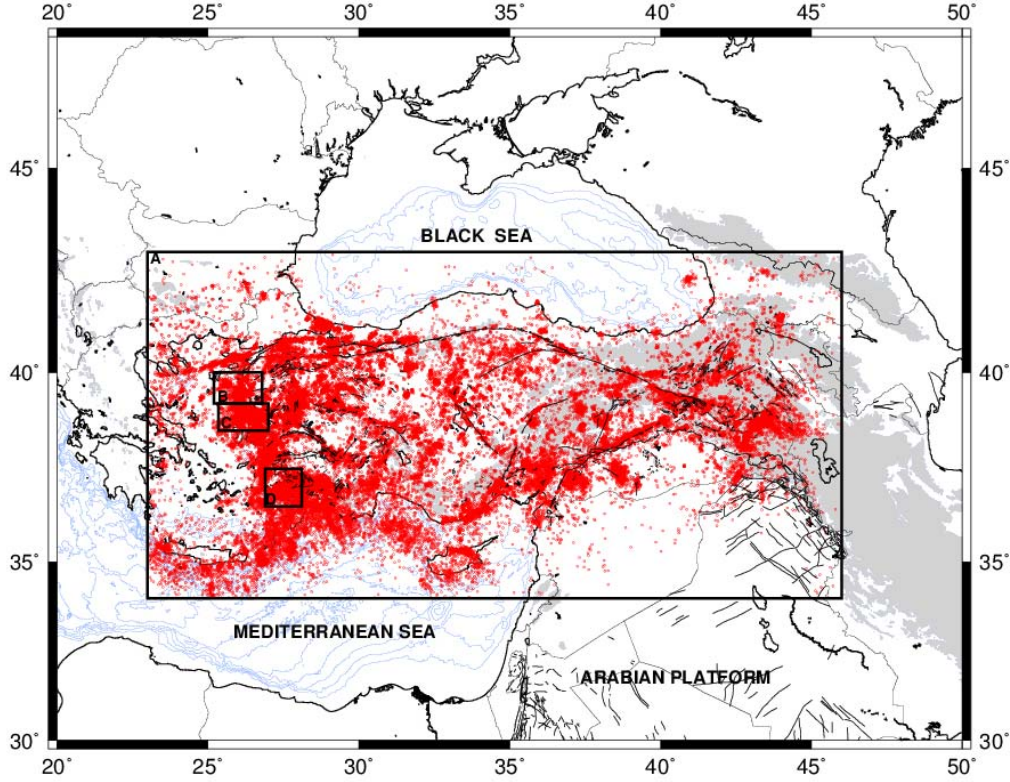


Figure 2. Seismicity map of the region with red dots representing the earthquakes recorded between 01.01.2013-12.31.2017. Black rectangles labeled A, B, C, D, enclose A) Turkey and surroundings B) Çanakkale - Ayvacık C) Lesvos-Karaburun D) Bodrum regions, described further in the text.

Şekil 2. Bölgenin sismisite haritası; kırmızı noktalar 01.01.2013-12.31.2017 arasında kayıt edilen depremleri gösterir. Siyah A, B, C, D ile işaretlenmiş dikdörtgenler A) Türkiye ve etrafı, B) Çanakkale-Ayvacık C) Lesvos-Karaburun D) Bodrum civarındaki sismisiteyi gösterir, detaylı bilgi metnin ilerleyen kısımlarında yer almaktadır.

The history of RETMC seismic catalog dates back to 1900's. However most of the earthquake data were recorded as paper seismograms prior to 1976. Mb, MI and Mw magnitudes are given as reference for the important and widely felt earthquakes (Kalafat et al., 2011). The operational procedures were changed following the improvements in computational techniques after 2000's. In this regard two milestones were: i) the transfer of

locations from analog to digital data in 2000 and ii) the change of magnitude from duration (Md) to local (MI) in 2012.

The reported earthquake magnitude in RETMC catalog was the duration magnitude (Md) up to the end of 2011 and local magnitudes (MI) were used together with Md in 2012. Mainly after 2013 just MI was used in the whole catalog. After the end of 2015, moment magnitude from spectrum (MwS) has been computed and added to the catalog for the earthquakes $M \geq 3.0$. In order to prevent any confusion and ensure the uniformity, in this study, we use the seismic catalog beginning from 2013 up to the end of 2017 with local magnitude (MI) (Figure 2). Data from 2013 to 2017 have been used to compile the RETMC network earthquake catalog in the region. Due to the high rates of seismicity along the North Anatolian Fault Zone, the East Anatolian Fault Zone and the Hellenic arc, these features are more visible in the map. High amount of quarry blasts occur in the area especially at midday time. These events are removed from the seismicity map as a result of detailed study based on satellite images, night and day time hours of the events, maximum peak amplitude ratio (S/P), power ratio, and spectral amplitude ratio of the vertical component of the seismograms (Kekovalı, 2009) (Figure 3).

In this study, in order to present the RETMC catalog performance we select 93303 earthquakes for the analysis in between the time period 01.01.2013-12.31.2017 and coordinates (34.000-43.000N, 23.000 – 46.000E) presented in the Figure 2 enclosed by region A. Figure 4-7 show the statistical analysis performed by using the ZMAP software (Weimer, 2001). Figure 4 shows the time histogram of the

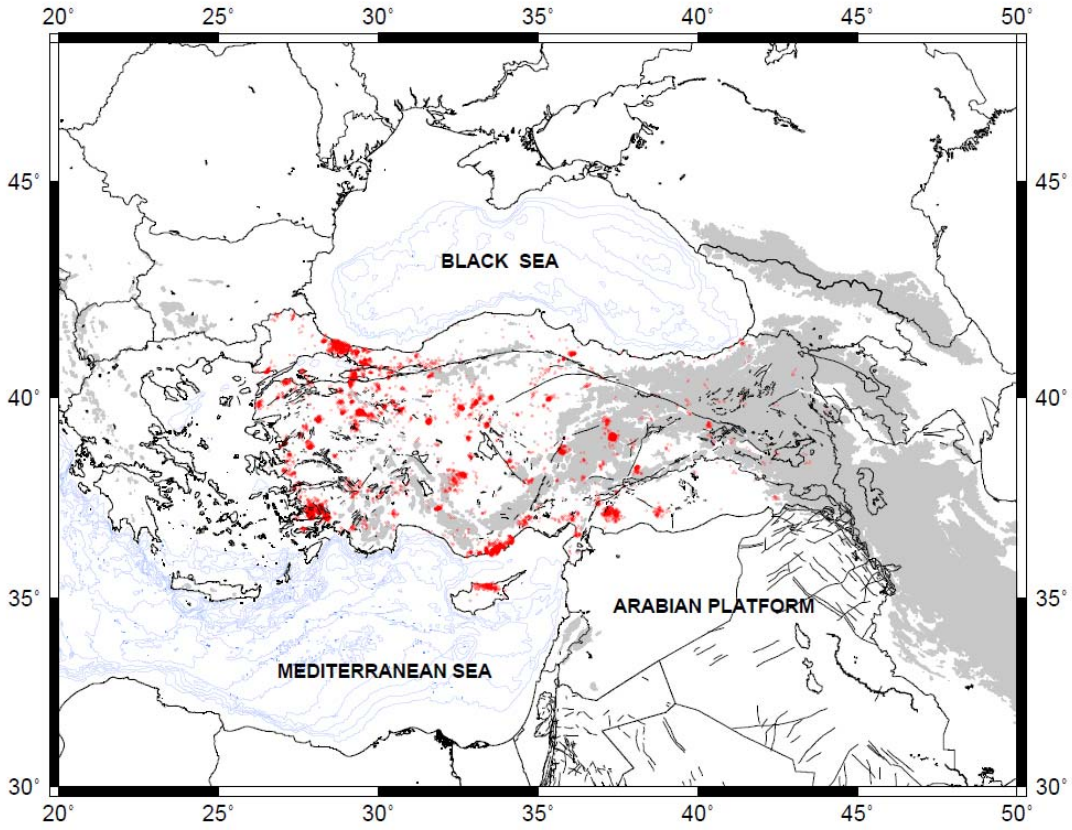


Figure 3. Distribution of quarry blasts in the region depicted using the methodology proposed by Kekovalı et al. (2009).

Şekil 3. Bölgede Kekovalı vd. (2009) tarafından önerilen metot ile belirlenen taşocaklarının dağılımı.

earthquakes. The seismicity rate is mostly constant around 1000 per month in a routine time. But the seismicity can also increase up to tenfold as seen after the large earthquakes that occurred in 2017. This increase strongly indicates that there is not any homogeneous distribution in the locations of earthquakes. Four moderate earthquakes of magnitudes $M_w=5.4$, $M_w=5.3$, $M_w=5.3$ and $M_w=5.2$ occurred within a week in Çanakkale in February 2017. These moderate earthquakes were followed by an intense aftershock activity in the following months reaching up to thousands of earthquakes. Following these consecutive events, $M_w=6.3$ Lesvos earthquake occurred in 12.06.2017. As a final event of these series

Gökova earthquake $M_w=6.6$ occurred with an almost ten thousand earthquake activity following the main shock.

Significant increases in the number of earthquakes can be traced in the magnitude histogram of the catalog. Figure 5 presents the hour histogram of the catalog. The enhanced ratio (day time - night time events) is generally the indicative of quarry blasts contamination that often remain in the data regardless of the network operation efforts (Wiemer and Baer, 2000; Wiemer, 2001). The decrease in daytime hours with respect to night time hours can be due to the increased noise at the recording stations (Chouliaras, 2009). Although an analysis is performed for the discrimination of events and quarry blasts, there is still an amount of increase in the number of events in the midday time which may be an indicator of that the quarry blasts are still leaking into the catalog. Figure 6 shows that most of the earthquakes have depth values less than 30 km. Large amount of the earthquakes occur at depth ranges of 5-20 km. Magnitude histogram in Figure 7 indicates that earthquakes close to magnitude $M=0$ are detectable in the catalog. Figure 7 also shows that the magnitude of completeness is generally $M=2$ for the catalog.

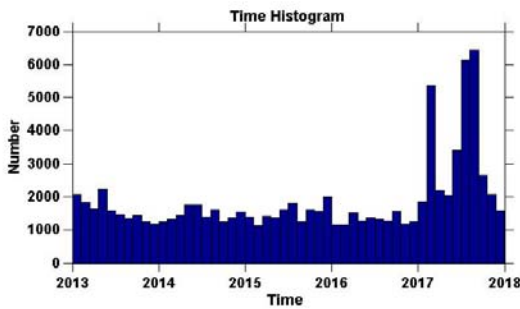


Figure 4. Earthquake-time histogram.
Şekil 4. Deprem-zaman histogramı.

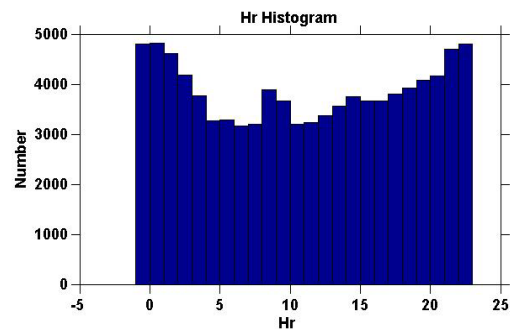


Figure 5. Earthquake-hour histogram.
Şekil 5. Deprem-saat histogramı.

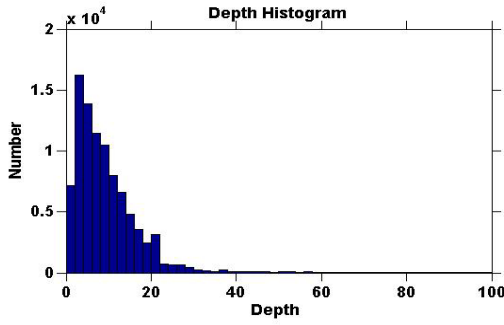


Figure 6. Earthquake-depth histogram.

Şekil 6. Deprem-derinlik histogramı.

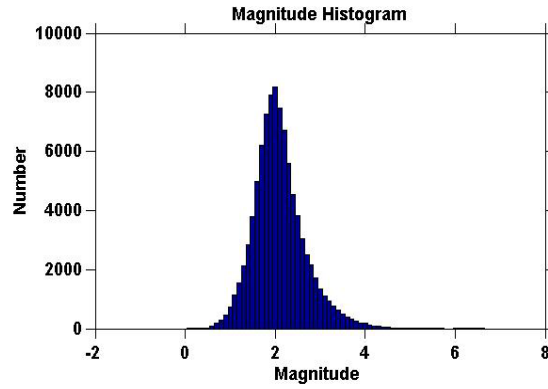


Figure 7. Earthquake-magnitude histogram.

Şekil 7. Deprem-büyüklik histogramı.

Magnitude of Completeness

Magnitude of completeness (M_c) is a critical parameter for seismicity, b value studies and hazard analysis. M_c is simply the lowest magnitude above which all events can be considered to be fully detected (Wiemer and Wyss, 2000). It varies as a function of space and time but also varies with artificial changes such as network configuration and magnitude estimation methods. Estimation of M_c for instrumental earthquake catalogs is an essential and compulsory step for any seismicity analysis (Mignan and Woessner, 2012).

Estimation of M_c is based on the assumption that, for a given volume, a simple power law can approximate the frequency magnitude distribution (Ishimoto and Iida, 1939; Gutenberg and Richter, 1944) which describes the relationship between the frequency of occurrence and magnitude of earthquakes:

$$\log_{10}N = a - bM$$

where, N is the cumulative number of earthquakes having magnitudes equal or larger than M, a and b are constants (Wiemer and Wyss, 2000). The coefficient of b value usually takes a value around 1.0 and characterizes the seismicity of the

region (Utsu, 1999).

In this present study, M_c computation was performed for the time period 2013-2017. The most important reason for selecting this time period was the change of the magnitude type in the routine earthquake location procedure of RETMC. Magnitude type was changed to local magnitude M_l from the duration magnitude M_d , in 2012. In the first few months of 2012, both of the magnitudes were used in the earthquake catalogue of RETMC. However, an accurate robust catalogue with full M_l was succeeded mainly after 2013. M_c computation by using a maximum likelihood solution which is based on the maximum curvature method of (Wiemer and Wyss, 2000; Woessner and Wiemer, 2005) can be found in detail at the ZMAP code (Utsu, 1999; Wiemer and Katsumata, 1999). Maximum curvature is a fast and reliable estimate of M_c , in order to define the point of the maximum curvature as a magnitude of completeness, by computing the first derivative of the frequency magnitude curve. This method matches the magnitude bin with the highest frequency of events in the non-cumulative frequency-magnitude distribution (Woessner and Wiemer, 2005). Figure 8 shows the frequency-magnitude distribution of the over-all catalog in the region. We obtained a magnitude completeness $M_c=2.0$ and b value of 1.01 ± 0.05 for the catalog between the years 2013-2017 for the RETMC catalog.

Kalafat (2016) also computed the M_c values of Turkey and surrounding regions by using the KOERI catalogue in the time period 1975-2015. Due to lesser number of

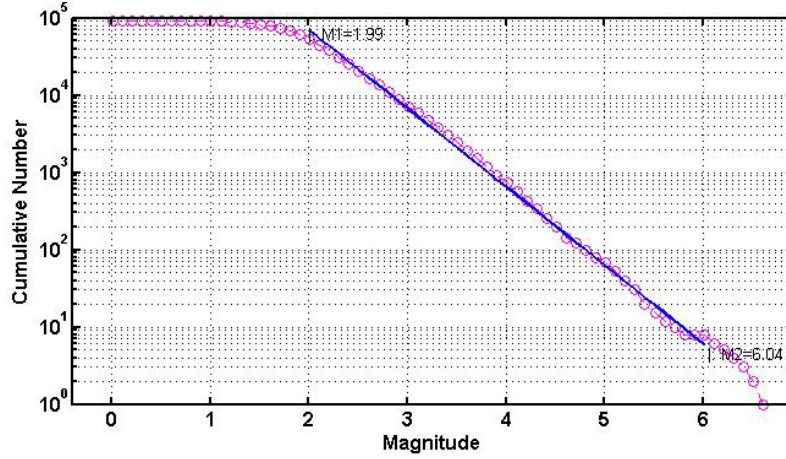


Figure 8. Frequency-magnitude distribution of the over-all catalog for the region A (in Figure 2). Maximum Likelihood Solution for the catalog presenting the $M_c=2$, b -value= 1.01 ± 0.05 .

Şekil 8. A Bölgesi için tüm kataloğa ait frekans-magnitüd dağılımı (Şekil 2). Katalog için Maximum Likelihood çözümü $M_c=2$, b -değeri= 1.01 ± 0.05 .

stations at that time period, they observed significantly higher M_c values in similar regions. M_c values were mainly changing between 2.6-2.9 for the selected regions. However, M_c has significantly decreased to $M_c=2.0$ with the installation of recent stations in the region.

Figure 9 presents the M_c variation with time. It is known that the M_c value decreases after big shocks with the dense aftershock activity. M_c is almost uniform from beginning of 2013 up to the end of 2016. But just after 2017, first M_c value increases up to 2.6, then decreases sharply to 1.3. This is a typical behavior of M_c , which is higher in the early part of an aftershock sequence due to the i) network is likely to be improved after the main shock ii) during the initial highest activity phase, due to the contamination of smaller earthquakes with the contamination of larger earthquake coda or because of the overwhelming

workload (Wiemer and Katsumata, 1999). The effect of the recent series of earthquakes in the Aegean: onshore Biga peninsula Ayvacık – Çanakkale (February 2017; M5.2), offshore Lesvos - Karaburun (June 2017, M6.3) and offshore Bodrum - Kos (July 2017; M6.6) is quite visible on the M_c -time plot in Figure 9. In order to see these variations of M_c in detail, we presented the M_c variations for these three regions.

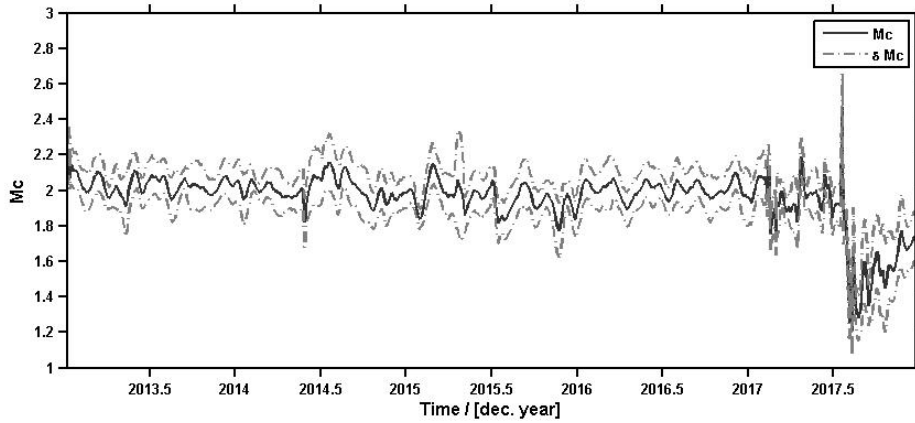


Figure 9. M_c versus time plot with anomalies after 2017 indicating the Aegean Sea earthquakes.

Şekil 9. Ege denizi depremleri sonrası değişikliği gösteren M_c – zaman değişim grafiği.

M_c in three different regions: Aegean Sea Earthquake Sequences in 2017

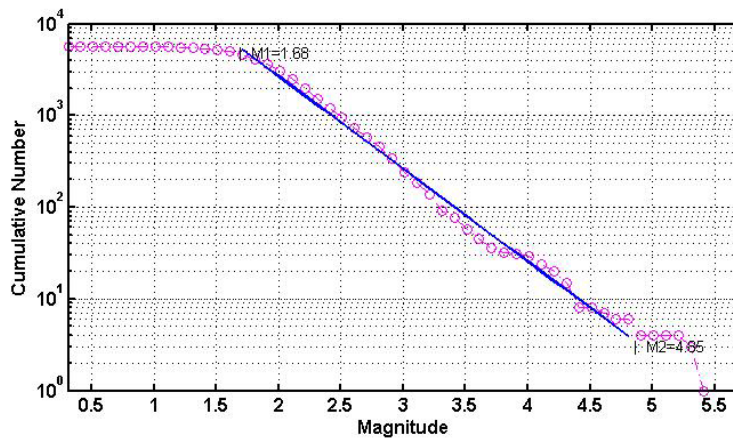
In order to understand the variation of M_c with time in Figure 9 we investigated the M_c variations in the region B, C and D in Figure 2. Ayvacık – Çanakkale in westernmost part of Turkey was struck by four moderate magnitude (M_w 5.2 – 5.4) earthquakes in the beginning of 2017. These were then followed by the M_w 6.3 Lesvos earthquake in the eastern Aegean in June 2017. This event caused severe

shaking and extensive damage around Southern Lesvos. As a final event of these series, Bodrum - Kos earthquake $M_w=6.6$ occurred in July 2017, near Kos island and the Bodrum peninsula. It was the largest instrumentally-recorded earthquake to occur within the Gulf of Gökova, one of the largest graben systems in the coast of southwest Turkey. This earthquake was widely felt across both Turkey and Greece, causing two fatalities and severe damage particularly on Kos island. In three months following the main shock, more than ten thousand earthquakes were reported by RETMC, 65 of which have magnitudes greater than 4.0.

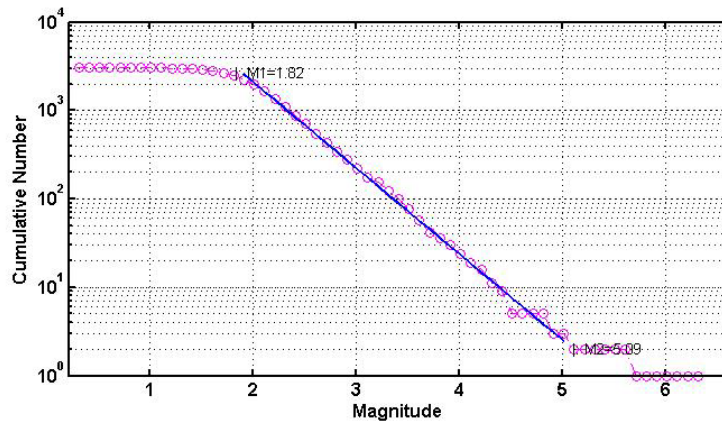
Figure 10 shows the M_c variations for these three earthquake sequences in the time period 2017.01.01 to 2017.12.31, which is computed by using 5633, 3044, 12733 earthquakes, occurred in these regions, respectively (Figure 2). Maximum Likelihood Solution for the catalog presents the Magnitude of Completeness, $M_c=2$, $b\text{-value}=1.00 \pm 0.08$ for Çanakkale-Ayvacık, $M_c=2.1$, $b\text{-value}=0.97 \pm 0.04$ for Karaburun-Lesvos, $M_c=1.3$, $b\text{-value}=1.01 \pm 0.09$ for Bodrum-Kos aftershock activities. The b values are not significantly different from one another. But the value of M_c was different in Bodrum. Dense station distribution and closer stations to the main shock provide the detection of smaller earthquakes up to 0.3 and cause a smaller M_c value such as 1.3 in Bodrum. On the other hand, M_c variations are quite consistent with the anomalous behavior of the M_c versus time plot of the whole catalog in Figure 9.

Finally, as a last step to present the M_c variation in the region, a kriging algorithm has been used to obtain the magnitude completeness map of Turkey. It is one of the most flexible methods, when gridding data. It compensates for clustered data by giving less weight to the cluster in the overall prediction. M_c was estimated from

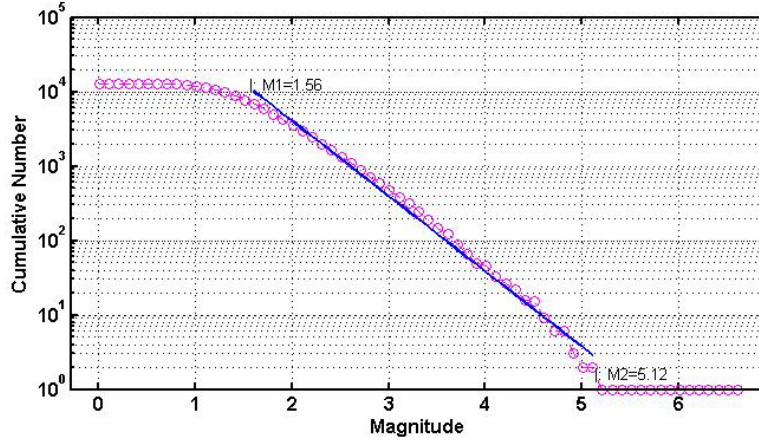
the linear frequency-magnitude relation of the 200 closest earthquakes to grid nodes, spaced 10 km apart. The quality of all regional and local earthquake catalogs decrease with distance from the center of the network and coastlines and international borders are present as the obvious boundaries of this dissolution (Wiemer, 2001). Figure 11 shows the magnitude threshold map of Turkey and surrounding area according to the obtained earthquake magnitudes between 2013 and 2017.



a)



b)



c)

Figure 10. Frequency-magnitude distribution for the a) Çanakkale-Ayvacık, b) Lesvos-Karaburun, and c) Bodrum earthquake activities (presented in the area B, C, D, respectively, enclosed in Figure 2).

Şekil 10. Frekans magnitüd dağılımı; a) Çanakkale – Ayvacık, b) Lesvos-Karaburun, c) Bodrum depremi aktiviteleri (Şekil 2’de B, C, D ile gösterilen alan).

Map (Figure 11) shows the variations of minimum detectable earthquake magnitude in the region. It can be seen that the minimum detectable earthquake magnitude is around $M=2.0$ for entire Turkey and M_c is slightly heterogeneous in the catalog especially in the border regions. Magnitude threshold diminishes to $M=1.0$ in the regions with dense station distribution such as Southern, Western coasts of Turkey, in some parts of Central Anatolia and Marmara region. But it increases up to $M=2.5$ due to the sparse distribution of seismic stations especially in the Eastern part of Turkey and border regions.

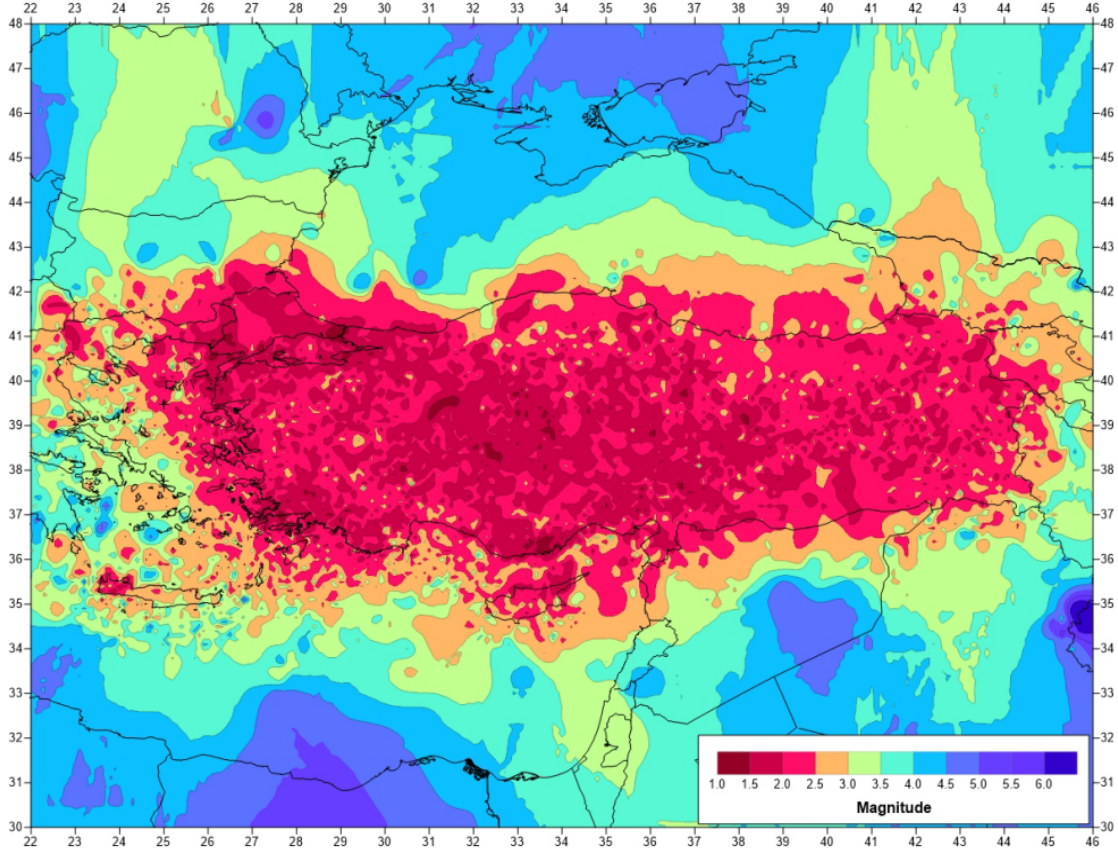


Figure11. Magnitude threshold map for Turkey and surrounding area computed by using the earthquakes in the time period 2013-2017.

Şekil 11. Türkiye ve etrafı için 2013-2017 yılları arasında meydana gelen depremleri kullanarak hesaplanan magnitüd eşik değer haritası.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Earthquake catalogs are one of the most important outputs of seismology. Quality, consistency and the homogeneity of the catalogs must be well defined for the sake of reliability, performed by using these data. In this study, we submitted an overview on the operational procedures of RETMC, KOERI, which will be fulfilling the needs of RETMC data users. We presented a statistical analysis on RETMC

earthquake catalog for the duration of 2013-2017 and showed the dynamic variations of M_c with respect to time and earthquakes sequences in the region. Magnitude of completeness was computed as $M_c=2.0$ for almost all parts of Turkey with a b-value of 1.01 ± 0.05 . M_c variation with time presented an almost constant value $M_c=2.0$ up to the end of 2016. However, it shows distinct variation after 2017 which indicates the effect of recent strong earthquake sequences in Aegean Sea in 2017. In order to see the variations in M_c we presented the differences in local earthquake sequences. We selected three significant aftershock sequences that have been occurred in the time period of this study. We observed compatible variations with the whole catalog. A general map of M_c variation for whole Turkey is also computed and presented in the study. Some areas in the eastern part of Turkey and the coast of Black Sea have higher M_c values up to ~ 2.5 . M_c value decreases to ~ 1.0 in some areas with denser station distribution such as Marmara Sea, southern and western coasts of Turkey. RETMC is continuously enhancing its seismic network by installing new stations in order to reduce the minimum detectable magnitude level of earthquakes and increase the location precision.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank to all members of RETMC for making the seismic catalog available for research. M.D.C. acknowledges to Boğaziçi University, Scientific Research Projects (BAP) 9401P for supporting this work. Part of this project was funded by Boğaziçi University, Scientific Research Projects (BAP) with number 09T202P.

Most of the figures were plotted using Generic Mapping Tools (Wessel et al, 2013). Seismicity analysis of this catalog was made by using the ZMAP software (Weimer, 2001) which uses a number of scripts written in Matlab (<http://www.mathworks.com>). We are thankful to editor in chief, Prof Dr. Mehmet Tekin Yürür, we also want to thank to Prof Dr. Hasan Sözbilir and an anonymous reviewer, for their constructive remarks to improve the manuscript.

REFERENCES

- Altınok, Y., Ersoy., S., 2000. Tsunamis Observed on and Near the Turkish Coasts. *Natural Hazards*, 21, 185–205.
- Altınok, Y., Alpar, B., Özer, N., Aykurt, H., 2011. Revision of the Tsunami Catalogue Affecting Turkish Coasts and Surrounding Regions. *Natural hazards Earth System Science*. 11, 273-293.
- Ambraseys, N., 2009. *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East*. (Ed.) Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-87292-8, Cambridge.
- Boğaziçi University Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute. International Federation of Digital Seismograph Networks, Other/Seismic Network, doi:10.7914/SN/KO (<https://doi.org/10.7914/SN/KO>)
- Cambaz, M.D., Mutlu, A.K., 2016. Regional moment tensor inversion for Earthquakes in Turkey and Its Surroundings: 2008-2015. *Seismological Research Letters*, 87, 5.
- Chouliaras, G., 2009. Investigating the earthquake catalog of National Observatory of Athens. *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.*, 9, 905-912.

- Fettahoğlu, K., 2012. Rasathane-I Amirenin Kuruluşu ve Faaliyetleri (1868-1922). Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- Gulia, L., Wiemer, S., Wyss, M., 2012. Catalog artifacts and quality controls, Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, doi:10.5078/corssa-93722864.
- Gutenberg, R., Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California, Bull. Seism. Soc. Am.34,185–188.
- Heidarzadeh, M., Necmioglu, Ö., Ishibe, T., Yalçiner, A., 2017. Bodrum–Kos (Turkey–Greece) Mw 6.6 earthquake and tsunami of 20 July 2017: a test for the Mediterranean tsunami warning system. Geoscience Letters, 4:31.
- Ishimoto, M., Iida, K., 1939. Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently. Bull. Earthquake Res. Inst.17,443–478.
- Kadirioğlu, F.T., Kartal, R.F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T.Y., Azak, T.E., Özalp, S., Emre, Ö., 2016. An improved earthquake catalogue ($M \geq 4.0$) for Turkey and its near vicinity (1900-2012). Bulletin of Earthquake Engineering Official Publication of the European Association for Earthquake Engineering, ISSN 1570-761X, DOI 10.1007/S10518-016-0064-8.
- Kalafat, D., Gürbüz, C., and Üçer, B., 1987. Batı Türkiye’de Kabuk ve Üst Manto Yapısının Araştırılması. Deprem Araştırma Bülteni 59, 43–64.
- Kalafat, D., Kara, M., Kekovalı, K., Püskülcü, S., Güneş, Y., 2003. Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu (1998-2002; $M \geq 4.0$): An Earthquake Catalogue for Turkey and Surrounding Area, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No=802, 135 s. (in Turkish).
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kara, M., Deniz, P., Garip, K., Kekovalı, K., Kuleli, S., Gülen, L., Yılmaz, M., Özel, N., 2006. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2005; $M \geq 4.0$): A revised and extended earthquake

catalogue for Turkey since 1900 ($M \geq 4.0$), Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No=977, 558p., Bebek, İstanbul.

Kalafat, D., Kekovalı, K., Güneş, Y., Yılmaz, M., Kara, M., Deniz, P., Berberoğlu, M., 2009. Türkiye ve Çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (MT) Kataloğu (1938-2008), Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No=1026, 43p., Bebek, İstanbul.

Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M., 2011. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu. Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul.

Kalafat D., 2016. Statistical Evaluation of Turkey Earthquake Data (1900-2015): A Case study. Eastern Anatolian Journal of Science. Vol2. 14-36.

Kalafat, D., 2017. Türkiye’de Sismik Gözlem Ağlarının Gelişimi, (Tema Konuşması), 4. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Eskişehir.

Kekovalı, K., 2009. Patlatma Kaynaklı Verilerin Deprem Verilerinden Ayırımına Yönelik Spektral Yöntemlerin Uygulanabilirliği ve Patlatma Veri tabanı Katalog Hazırlığı. Boğaziçi University, Scientific Research Projects (BAP) Number 09T202P.

Koçyiğit, A., Ünay, E., Saraç, G., 2000. Episodic Graben Formation and Extensional Neotectonic Regime in West Central Anatolia and the Isparta Angle: A Case Study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey. Geological Society of London 173, pp. 405-421.

Konstantinos, M.L., Karakostas, V., Eleftheria, G., Papadimitriou, E., Adamaki, A.K., Tan, O., İnan, S., 2013. A Homogeneous Earthquake Catalog for Western Turkey and Magnitude of Completeness Determination. Bull. Seismol. Soc. Am. 103 (5): 2739–2751.

- Lee, W.H.K., Lahr, J.C., 1972. HYPO71: A Computer Program for Determining Hypocenter, Magnitude and First Motion Pattern of Local Earthquakes Open File Report, U. S. Geological Survey, 100 pp.
- Lomax, A., Michelini, A., 2012. Tsunami Early Warning Within Five Minutes. *Pure Appl. Geophys.* 170 (2013), 1385–1395.
- Lorito, S., Tiberti, M.M., Basili, R., Piatanesi, A., Valensise, G., 2007. Earthquake-Generated Tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of Potential Threats to Southern Italy. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, B01301.
- Louderback, G. D., 1948. Giovanni Agamennone, *Bulletin of the Seismological Society of America* (1948) 38 (4): 289-290.
- Lu, Y., Stehly, L., Paul, A., and AlpArray Working Group., 2018. High-resolution surface wave tomography of the European crust and uppermost mantle from ambient seismic noise. *Geophys. J. Int.*, 214, 1136-1150.
- Mignan, A., Woessner, J., 2012. Estimating the magnitude of completeness for earthquake catalogs. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*, doi:10.5078/corssa-00180805.
- Necmioglu, Ö., Özel, N.M., 2015. Earthquake Scenario-Based Tsunami Wave Heights in the Eastern Mediterranean and Connected Seas. *Pure and Applied Geophysics*, Volume 172, Issue 12 (2015), Page 3617-3638.
- Soloviev, S. L., Solovieva, O.N., Go, C.N., Kim, K.S., Shchetnikov, N.A. (Eds.) 2000. *Tsunamis in the Mediterranean Sea – 2000 B.C.–2000 A.D.*, Kluwer Academic Publishers, 237 pp.
- Stampfli, GM, 2000. *Tethyan Oceans*, From: Bozkurt E., Winchester, J. A. and Piper, J. D.A., *Tectonic and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society, London, Special Publications 173, pp. 1-23.

- Tan, O, Tapırdamaz, MC, Yörük, A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, No.2, 405-418.
- Tinti, S., Armigliato, A., Pagnoni, G., and Zaniboni, F., 2005. Scenarios of Giant Tsunamis of Tectonic Origin in the Mediterranean. *ISSET Journal of Earthquake Technology*, 42, 171– 188.
- Weber, B., Becker, J., Hanka, W., Heinloo, A., Hoffmann, M., Kraft, T., Pahlke, D., Reinhardt, J., Thoms, H., 2007. SeisComp3 - automatic and interactive real time data processing. *EGU General Assembly*, Vol. 9, No. 09219.
- Wessel, P., Smith, W.H.F, Scharroo, R., Luis J. F, Wobbe, F., 2013. Generic mapping tools: improved version released. *EOS Trans AGU* 94(45):409–410.
- Wiemer, S., Katsumata, K., 1999. Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones. *J.Geophys. Res.* 104, p. 13135-13151.
- Wiemer, S., Baer M., 2000. Mapping and removing quarry blast events from seismicity catalogs. *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 525-530.
- Wiemer, S., 2001. A Software package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, Volume 72, Number 2, March/April 2001.
- Wiemer, S., Wyss, M., 2000. Minimum magnitude of complete reporting in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 90, 859-869.
- Woessner, J., Wiemer, S., 2005. Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bull. Seism. Soc. Am.* 95, 684-698.
- Utsu, T., 1999. Representation and Analysis of the Earthquake Size Distribution: A Historical Review and Some New Approaches. *Pure Appl. Geophys.* 155, p.509-535.

- Yalçiner, A.C., Pelinovsky, E., Talıпова, T., Kurkin, A., Kozelkov A., and Zaitsev, A., 2004. Tsunami in the Black Sea: Comparison of the Historical, Instrumental and Numerical Data. *Journal of Geophysical Research*, 109.
- Yalçiner, A.C., Annunziato, A., Papadopoulos, G., Dogan, G. G., Güler, H. G., Çakır, T. E., Sözdinler, C. O., Ulutas, E., Arikawa, T., Suzen, L., Kanoglu, U., Güler, I., Probst, P., Synolakis, C., 2017. The 20th July 2017 (22:31 UTC) Bodrum/Kos earthquake and tsunami; post tsunami field survey report. <http://users.metu.edu.tr/yalciner/july-21-2017-tsunami-report/Report-Field-Survey-of-July-20-2017-Bodrum-Kos-Tsunami.pdf>.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Yıldırım, M., 1987. Güneydoğu Anadolu'da Triyas Sonu Tektonizması ve Bunun Jeolojik Anlamı. Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, pp. 65-77, Ankara.
- Yılmazer, M., 2012. zSacWin: A Rapid Earthquake Processing and Archiving System, User Guide v1.0. December 2012. Supported by the Research Fund of the Boğaziçi University Project Number 5725P.
- Yolsal-Çevikbilen, S. and T. Taymaz, 2012. Earthquake Source Parameters Along the Hellenic Subduction Zone and Numerical Simulations of Historical Tsunamis in the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 536-537, 61-100.