



Konarlı Mahallesi'nde (İskenderun) Sıvılaşma Pilot Çalışması

Liquid Pilot Study in Konarlı Neighborhood (İskenderun)

ADEM TOKTANIŞ¹ VE SEMİR ÖVER¹

¹*İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay*

Geliş (received): 05.07.2021

Kabul (Accepted): 16.09.2021

ÖZ

Deprem-zemin ilişkisi kapsamında son derece önem taşıyan sıvılaşan zeminin deprem esnasındaki davranışı uzun zamandır incelenen bir konudur. Ancak sıvılaşma eşiğinin belirlenmesini içeren çalışmalar son derece sınırlıdır. İskenderun Konarlı'da bu amaca yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Zeminin gevşek ve su seviyesinin yüksek olduğu İskenderun körfezinde yer alan Konarlı mıntıkasında yapılan arazi gözlemlerinde, zeminin silt ve kumlu seviyeleri kapsayan Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluştuğu görülmüştür. Çalışma alanında 20 m derinliğinde 2 adet sondaj açılmıştır (SK1 ve SK2). SK1 kuyusunda ilk 1 metelik kısım nebati toprak, 4 metreye kadar kumlu silt ve bu derinlikten itibaren 20 metreye kadar ise siltli killi-killi siltli kum seviyeleri saptanmıştır. SK2 lokasyonunda 20 metre derinliğe kadar iki tabaka ile ulaşıldığı ve ilk 8 metre kalınlığındaki üstteki tabakanın çakıllı-siltli kumdan oluştuğu onu takip eden sonraki katmanın siltli kumdan oluştuğu saptanmıştır. Gerçekleştirilen numune analizleri detayda farklılıklar göstermesine rağmen her iki lokasyonda saptanan tabakalar için önerilen zemin sınıfı siltli-kumdur (SM). Her iki lokasyonda gerçekleştirilen SPT sonucunda zemin taşıma gücü için hesaplanan ortalama değer 7.9 kN/m^2 ' dir. Aynı zemin için $M=6$ ve daha büyük olası deprem için hesaplanan ortalama sıvılaşma güvenlik faktörü (F) 1 değerinden küçük olup riskli bölgede olduğu hesaplanmıştır. Bu da zeminin sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: İskenderun (Hatay), Zemin sıvılaşması, dinamik kayma gerilme oranı, sıvılaşma katsayısı, güvenlik faktörü

Semir ÖVER semir.over@gmail.com

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay

ABSTRACT

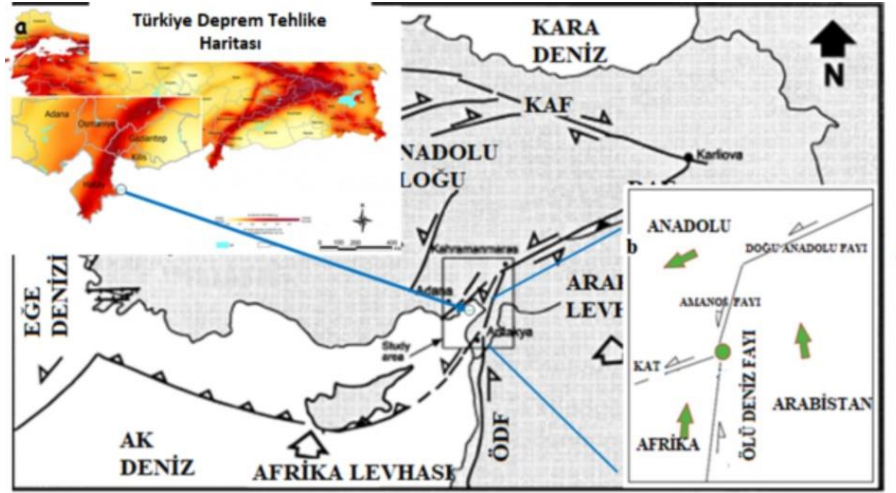
The behavior of liquefied soil during an earthquake, which is critical in the context of the earthquake-soil relationship, has been studied for a long time. However, research into determining the liquefaction-earthquake threshold is extremely limited. This study was conducted for this purpose. The ground is composed of Quaternary dated alluviums including silt and sandy layers, according to field observations obtained in the Konarlı area of the Iskenderun Bay, where the ground is loose and the water level is high. In the study area, a total of 2 ground drilling wells (SK1 and SK2) were drilled, one at a depth of 20 meters at each location. In the SK1 well, the first 1 meter portion of vegetable soil, up to 4 meters of sandy silt and from this depth up to 20 meters of silty, clayey-clay silty sand levels were determined. In the SK2 location it was reached with two layers up to a depth of 20 meters, with the first 8 meters thick upper layer consisting of gravelly-silty sand and the second layer consisting of silty sand. Despite discrepancies in detail in the sample analyses, the soil class advised for the strata observed in both locations is silty-sand (SM). The average value determined for the soil bearing capacity is 7.9 kN/m² as a result of the SPT tests conducted in both locations. The average liquefaction safety factor (F) determined for M=6 and larger probable earthquakes for the same soil is less than 1, indicating that it is in the dangerous region. This means the soil has a significant potential for liquefaction.

Keywords: *İskenderun (Hatay), Soil liquefaction, dynamic shear stress ratio, liquefaction coefficient, safety factor*

GİRİŞ

Hatay bölgesinde Palezoik'ten Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlere kadar tüm jeolojik seriler gözlenmektedir (Dubertret, 1953; Abdusselamoğlu, 1962). Çalışma alanının yer aldığı İskenderun çöküntü Havzasının güneybatısında kumtaşı, kiltası, çamurtaşı ve çakıllar geniş alanda yüzeylemektedir (Aslaner, 1973; Selçuk, 1981). Amanos dağlarının batı kesiminde Kuvaterner yaşlı düzensiz çakıl ve blok yığılması, taşkın yelpazesi ve birikinti konileri geniş alanda yayılım göstermektedir. Çalışma alanında değişken kalınlıklarda gözlenen alüvyonlar kıyı şeridi boyunca yerleşmiştir (Özer, 1996). Doğu Akdeniz bölgesinin en doğu ucunda yer alan Hatay bölgesi tektonik açıdan sol yönlü doğrultu atımlı Ölü Deniz, Amanos (Doğu Anadolu Fay Zonunun güney segmenti) ve Kıbrıs –Antakya Transform faylarının arasında yer almaktadır. Bu deformasyon zonları sırasıyla Afrika/Arabistan, Arabistan/Anadolu ve

Anadolu/Afrika levhaları arasındaki göreceli hareketlerine bağlı olarak gelişmişlerdir (McKenzie, 1972; Şengör, 1979; Över vd., 2004). Bu tektonik kuşaklar arasında yer alan Amik havzası yaklaşık 30 km genişliğe sahip olup Pliyo-Kuvaterner yaşlı (Lyberis vd., 1992) veya daha genç çökellerle temsil edilmektedir (Perinçek ve Eren, 1990). Bölgenin deprenselliği Hatay’da etkin olan tektonik kuşaklar tarafından kontrol edilmektedir (McKenzie, 1972; Över vd., 2004). Çalışma alanında en son 13 Ağustos 1822 ve 3 Nisan 1872’de Antakya’yı yerle bir eden ve büyüklüğü 7.0’den büyük iki tarihsel deprem meydana gelmiştir (Ambraseys and Barazangi, 1989). Hatay bölgesinde aletsel dönemde yıkıcı deprem meydana gelmemiş olmasına karşın onlarca 4.0’den büyük deprem meydana gelmiştir (Över vd., 2004). Tarihsel ve aletsel dönem sismik etkinliği bölgedeki levha sınır faylarının 7.0’den büyük deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 1 a) Türkiye Deprem Tehlike Haritası. b) Hatay’ın tektonik unsurları. KAT: Kıbrıs-Antakya Transform Fayı (Över vd. 2004’den değiştirilerek alınmıştır.)

Figure 1. a) Turkey Earthquake Hazard Map b) Tectonic elements of Hatay. CAT: Cyprus-Antakya Transform Fault. (modified from Över et al. 2004).

Çalışma alanının yer aldığı Hatay ili ve civarı Türkiye Deprem Tehlike Haritası’nda yüksek tehlikeli bölgede yer almaktadır (Şekil 1a). Tektonik açıdan bakıldığında Hatay Afrika, Arabistan ve Avrasya levhalarının kesiştiği alan olarak tanımlanmıştır (Över vd., 2004). Söz konusu levhaların sınır fayları olan Doğu Anadolu Fay Zonu, Ölü Deniz Fay Zonu ve Kıbrıs-Antakya Transform Fayı Antakya civarında Amik ovasında kesişim noktası oluşturmaktadır. (Över vd., 2004). Bölgede yer alan Amik Ovası ve civarındaki zemin ile İskenderun-Arsuz

sahili boyunca sıvılaşma özelliğine sahip zeminin deprem sırasındaki davranışı, üzerine konuşlanmış binalarda büyük hasarlara neden olabilecek durumdadır. Zeminlerdeki gevşeme veya sıvılaşma; zeminin gözenek boşluk oranı veya diğer parçacık miktarına ve drenaj durumuna bağlıdır. Kumlu ve Killi - siltli zeminlerde depreme bağlı gelişen ani zemin titreşimleri nedeniyle yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu alanlarda sıvılaşma potansiyeli yüksek olmaktadır. Depreme esnasında sıvılaşma boyunca ortaya çıkan deformasyonlar, yapıları ciddi hasarlara uğratabilecek kadar büyük olabilir. Sıvılaşan zeminlerin gevşeklik özelliği göz önüne alındığında zeminde ani titreşim (deprem) sıvılaşan bir hareketlilik durumu doğuracaktır. Sıvılaşmayı takiben zeminde oluşabilecek deformasyonun miktarı, materyalin gevşekliğine, kalınlığına, sıvılaşan tabakanın zeminde kapsadığı alana, zeminin eğimine, bina ve diğer yapılardan kaynaklanan yükün dağılımıyla birlikte depremin süresine bağlıdır (Atak ve ark., 2003). Deprem esnasında yayılan dalgalar boşlukları dolduran suyun uyguladığı kuvvet ile birlikte tanelerin dengesini bozarak birbirlerinden ayrılmasına neden olur. Böylece, zemin dayanıksız bir hale gelerek sıvılaşma olayı gerçekleşir (Youd, 1992).



Şekil 2. Konarlı (İskenderun) bölgesinde açılan kuyu yerleri

Figure 2. Locations of wells drilled in Konarlı region (Iskenderun)

Zemin sıvılaşması, depremlerde meydana gelen hasarların en önemlilerinden biridir. Niigata (Japonya), 1964 Alaska (ABD), 1999 Kocaeli, (Türkiye), 1999 Chi – Chi (Tayvan) depremleri ve dünyanın pek çok ülkesinde yıkıcı depremler sonucunda oluşan hasarlarda sıvılaşmanın etkisi büyük olmuştur: Zemin sıvılaşma olayının tedrici olarak görüldüğü 1964 Niigata depremi zemin deprem ilişkisi açısından sön derece önem kazanmıştır (Seed and Idriss, 1971). Söz konusu depremden sonra Japonya’da 1964 Alaska depreminden sonra ABD’de ve 1999

Kocaeli depreminden sonra da Türkiye’de deprem-zemin ilişkisi daha iyi anlaşılmıştır (Robertson., vd. (1998), Uyanık O. (2006), Tunusluoglu., vd. (2018), Yürekli ve Karaca (2020). Böylece depreme bağlı hasarları en aza indirgenmesi amacıyla zemin araştırmaları önemli bir ivme kazanmıştır.

Bu çalışmada, Hatay İli İskenderun İlçesi Konarlı alanındaki zeminlerin (Şekil 2) sıvılaşma potansiyeli irdelenmiştir. 2 ayrı lokasyonda 20 metrelik zemin sondajı açılmış ve zemin özellikleri belirlenmiştir. Aynı lokasyonlarda SPT deneyleri de gerçekleştirilerek zeminin taşıma gücü hesaplanmıştır. Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen bağıntılar kullanılarak deprem sırasında zemin tabakasında oluşacak dinamik kayma gerilme oranları hesabı ile sıvılaşma potansiyeli çalışılmıştır.

SONDAJ LOGU KESİTİ			SONDAJ LOGU KESİTİ		
Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	Yüzeyden derinlik m.	Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması	Yüzeyden derinlik m.
	NEBATI TOPRAK	0-1 m.		DOLGU	0-0,5 m.
	Kumlu silt	1-4 m.		Çakıllı Siltli Kum	0,5-8 m.
	Siltli Killi-Killi Siltli Kum	4-20 m.		Siltli Kum	8-20 m.
	KUYU SONU			KUYU SONU	

Şekil 3. Kuyu sondaj logu, sol taraf SK1, sağ taraf SK2

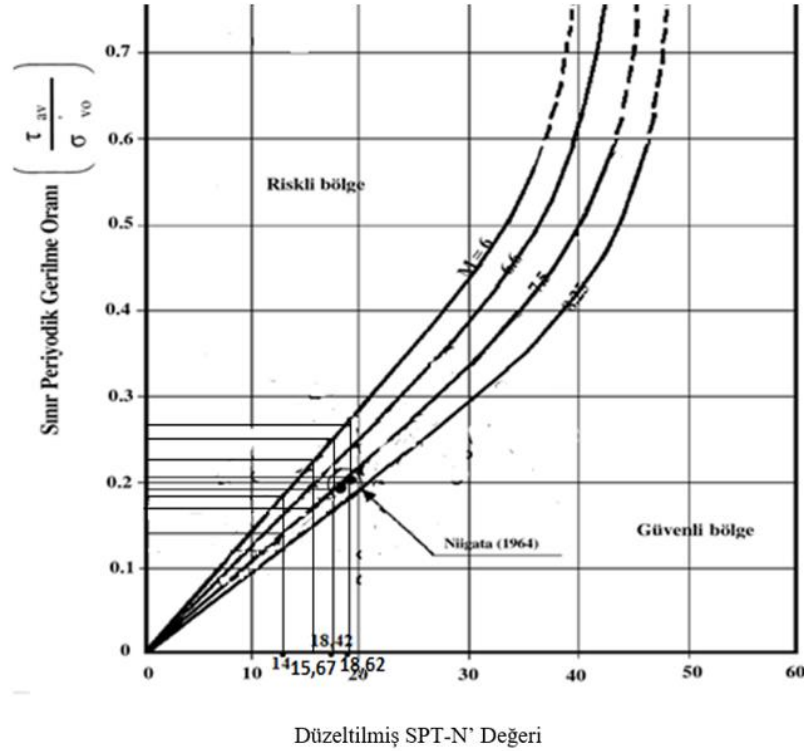
Figure 3. Well drilling log, left side SK1, right side SK2

METOD VE BULGULAR

Şekil 2’de gösterilen lokasyonlarda sondaj çalışması yapılmış olup elde edilen değerler ile sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca zemin taşıma gücü belirlenmiştir (Peck ve ark., 1974). Bu arazilerde SPT yöntemi ile numuneler alınmış ve vuruş sayıları belirlenmiştir (Şekil 3).

Zemin etüd sondajı Auguer ekipmanı ile yapılmış olup Standart penetrasyon testi SK1 kuyusunda 2 adet, SK2 kuyusunda 2 adet olmak üzere farklı derinliklerde uygulanmıştır. Sondajlar sırasında kullanılan tijler 54 mm BW tip, Samplerler yarıklı ikiye ayrılabilen tip, darbe filanşı, augerler 89 mm ve karotiyer NWG tip olup Amerikan standardıdır.

Numuneler TSE kalite belgeli Bayındırlık ve İskan Bakanlığı onaylı bayındırlık KALİTE KONTROL zemin ve yapı laboratuvarında analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde elek analizi, su içeriği, Atterberg limitleri deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda zemin tanımlaması ve düşey jeolojik kesit Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Sınır periyodik gerilme oranı, M=6.0 ve M=7.5 DKDO değerleri Seed ve Idriss (1981)'den değiştirilmiştir.

Figure 4. Boundary periodic stress ratio, DKNR values for M=6.0 and M=7.5 (modified from Seed and Idriss (1981)).

SK1 ve SK2 kuyularından elde edilen numunelerin laboratuvar analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Elek analizinde 10 no'lu eleğin gözenek açıklığı ilgili standartlarda 2 mm olup, 2

mm'nin altı kum olarak sınıflandırılmaktadır. 200 no'lu elek ise ilgili standartlarda 0,075 mm olup elek altı malzeme Atterberg limitleri deneyinde kullanılmaktadır. Zemin tipi yoğunluklu olarak S (kum) ve M (silt) birimlerden oluşmuştur. Plastik olmayan siltli kum zemini SM sınıfı olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Araziden alınan numunelerin deney sonuçları

Table 1. Test results of samples taken from the field

NUMUNE LABARATUAR SONUÇLARI							
Lokasyon (sondaj) no	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Su İçeriği (%)	10 No'lu elekte kalan (%)	200 No'lu elekten geçen (%)	Atterberg limitleri sırası ile LL-PL-PI	Zemin Tipi
SK-1	1-4	18	26.5	83.99	17.38	NP	SM
SK-1	4-20		24.4	84.07	21.42		SM
SK-2	0.5 - 8		26	85.03	20		SM
SK-2	8-20		26.4	84.65	21.96		SM

Farklı derinliklerde gerçekleştirilen SPT vuruş sayısının. efektif gerilmeye göre düzeltilmesi (N') gerekli görülmüş olup Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen bağıntılar kullanılmıştır.

$$N' = C_N * N \quad (1)$$

Burada N' jeolojik gerilme düzeltmesi, C_N efektif gerilmeye göre düzeltme faktörü, N ise SPT darbe sayısıdır. C_N katsayısı aşağıdaki bağıntı ile bulunur (atıf?).

$$C_N = 0.85 \log (145/\sigma_{vo}') \quad (2)$$

burada σ_{vo}' efektif düşey gerilmedir.

SPT'de zemine doğru çakma işlemi esnasında bir miktar su zeminden uzaklaşmayacaktır. Bundan dolayı zeminin direncine etki eden negatif bir basınç oluşacaktır. Bu etkiyi göz önüne alarak Terzaghi ve Peck (1948) aşağıda önerdiği bağıntıyla yeraltı suyu etki düzeltilmesini (N'') önermiştir.

$$N'' = 15 + 0.5*(N-15) \quad (3)$$

Sıvılaşmanın en iyi görüldüğü kumlu zeminler için net zemin taşıma gücü (q_{net})'nün hesabı için Peck ve ark. (1974) aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir. Burada C_w su düzeltmesi olup 0,5 alınmaktadır (Ulusay, 2001).

$$q_{net} = 0.11 \cdot N^{0.75} \cdot (C_w) \quad (4)$$

Seed ve İdriss (1971) yaptıkları çalışmada deprem sırasında zemin tabakasında oluşacak dinamik kayma gerilme oranlarının (DKGO) hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$DKGO = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} \right) = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (5)$$

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot h (h \leq 9.15 \text{ m}) \quad (6)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot h (9.15 \text{ m} < h \leq 23.00 \text{ m}) \quad (7)$$

$$\sigma_{v0} = \gamma \cdot h \quad (8)$$

$$U = \gamma \cdot h - (h - h_s) \cdot \gamma_w \quad (9)$$

$$\sigma_{v0}' = \sigma_{v0} - U = \gamma \cdot h - (h - h_s) \gamma_s \quad (10)$$

Burada; a_{max} depremin zemin yüzeyinde oluşturduğu en büyük yatay yer ivmesi depremin zemin yer ivmesidir. Türkiye deprem yönetmeliğinde belirtilen bu değer, 1. Derece deprem bölgelerinde 0.4 alınır τ_{av} , ortalama çevrimsel kayma gerilmesi (zeminde sıvılaşmanın başlayabilmesi için gerekli periyodik sınır kayma gerilmesi t/m^2); σ_{v0} , Çizelge 3'te göz önüne alınan derinlikteki toplam düşey gerilme (t/m^2), $-\sigma_{v0}'$ efektif düşey gerilme (t/m^2), r_d ise efektif gerilme azaltma katsayısıdır (Liao ve Whitman (1986).

Çizelge 2. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için hesaplanan parametreler

Table 2. Calculated parameters for determining the liquefaction potential

Lokasyon(Sondaj) No	SPT-N	Derinlik (h ,m)	Düşey gerilme (kN/m ²)	Efektif düşey gerilme (kN/m ²)	Düzeltilme katsayısı CN	SPT-N'	SPT-N''	Qemn (kN/m ²)
SK-1	13	3	46.25	31.25	1.42	18.42	14	7.7
SK-1	14	4.5	69.5	39.5	1.33	18.62	14.5	8
SK-2	12	6	106.5	61.5	1.17	14.00	13.5	7.4
SK-2	15	9	160.5	85.5	1.04	15.63	15	8.3

Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilen parametreler Çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca yeraltı su seviyesi her iki lokasyonda da 1.5 metre olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3. Çizelge 2’ye bağlı parametreler yardımıyla sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi.

Table 3. Determination of liquefaction potential with the help of parameters related to Table 2.

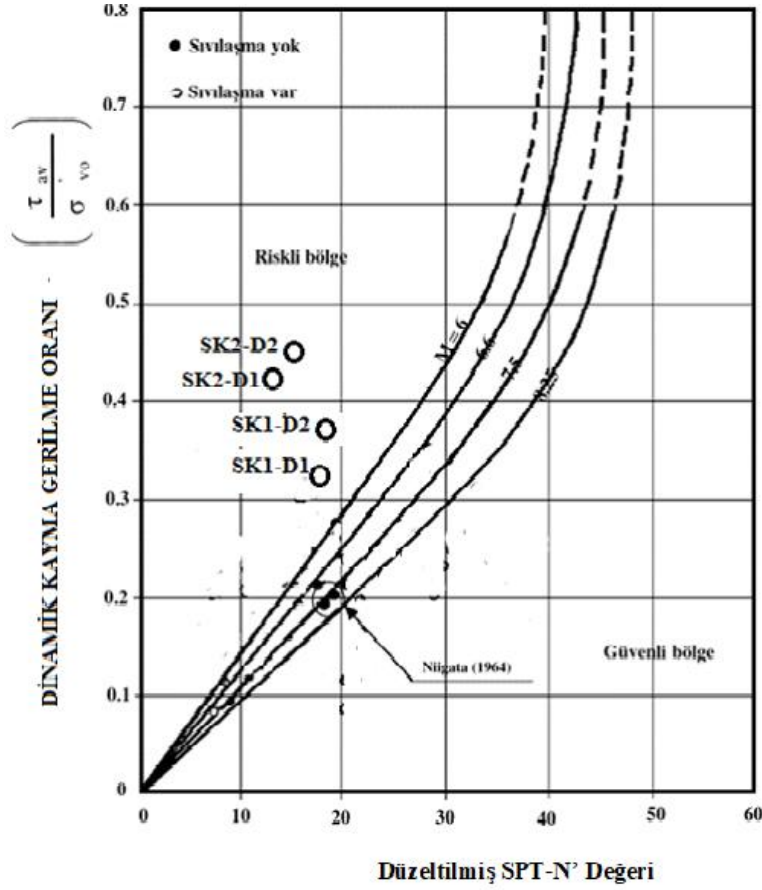
Lokasyon (Sondaj) No	SPT-N	Derinlik (h, m)	Efektif gerilme azaltma katsayısı rd	a _{max}	DKGO	DKDO, m=6 şekil 4’ ten	F değeri m=6 için	DKDO, m=7,5 şekil 4’ ten	F değeri m=7,5 için.
SK1-D1	13	3	0.83	0.4	0.32	0.27	0.75	0.127	0.4
SK1-D2	14	4,5	0.8	0.4	0.37	0.28	0.76	0.13	0.35
SK2-D1	12	6	0.95	0.4	0.43	0.2	0.46	0.125	0.29
SK2-D2	15	9	0.93	0.4	0.45	0.22	0.49	0.14	0.31

Düzeltilmiş SPT-N’ değerine bağlı olarak, Şekil 4’te dinamik kayma direnç oranı (DKDO) değerleri M=6 ve M=7.5 için belirlenmiştir. Hesaplanan değerler Çizelge 3’te verilmiştir. Şekil 4’te elde edilen DKDO değerleri F güvenlik faktörünün hesaplanması için kullanılmıştır. F güvenlik faktörü aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$F = \frac{DKDO}{DKGO} MSF = \frac{\text{dinamik kayma direnç oranı}}{\text{dinamik kayma gerilme oranı}} \text{ (sınır periyodik gerilme oranı)}$$

F ≤ 1 ise sıvılaşma var, değil ise sıvılaşma yok demektir. DKGO ise 5 no’lu bağıntı ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada 6 ve 7.5 büyüklüğündeki deprem esnasındaki sınır periyodik

gerilme oranı ile yukarıda verilen bağıntılar yardımı ile hesaplanan dinamik kayma gerilme oranı kıyaslanarak sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. SPT-N' değeri ve DKGÖ'ya göre F güvenlik katsayısı Seed ve Idriss (1981)'den değiştirilmiştir.

Figure 5. F safety coefficient according to SPT-N value and DKGÖ (modified from Seed and Idriss (1981)).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

SK1 ve SK2 lokasyonlarında yapılan SPT deneyleri ve alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar analizleri ile zeminin siltli-kum ağırlıklı olduğu belirlenmiştir. SK1 lokasyonunda ilk 4 metre siltli kum, 4-20 metre arasındaki derinlikte yer alan ikinci katmanın siltli-killi kum ile killi-siltli kumdan oluştuğu saptanmıştır. SK2 lokasyonunda ise aynı derinliklere iki tabaka ile ulaşıldığı ve 8 metre kalınlığındaki üstteki tabakanın çakıllı-

siltli kumdan oluştuğu onu takip eden alttaki katmanın siltli kumdan oluştuğu saptanmış ve SM olarak sınıflandırılmıştır. Araziden alınan numuneler ile elek analizi sonuçlarına göre, doğal birim hacim ağırlığının 1.80 g/cm^3 olduğu, doğal su içeriğinin ise ortalama % 25.5 (%24.4 ile 26.5 arasında değişmektedir), kıvam limitinin plastik olmayan zemin olduğu saptanmıştır (Çizelge 1).

Bu çalışmada hesaplanan, zeminin taşıma gücünün ortalama değeri her iki lokasyonda da 0.79 ton/m^2 dir. Sıvılaşma katsayısı (F) her iki lokasyonda da olası deprem büyüklüğü 6.0 ve 7.5 için hesaplanmıştır. Her iki lokasyonda da F değeri olası her iki deprem için de 1'den küçüktür. Bu da zeminin sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Tarihsel kayıtlara bakıldığında Hatay ve civarının 7.0'den daha büyük depremlere maruz kaldığı görülmektedir (Över vd., 2004; 2011). Bölgenin tektonik yapısı incelendiğinde levha sınır fayları olan Doğu Anadolu Fayı, Ölü deniz fayı ile Kıbrıs-Antakya Transform fayı Antakya civarında birbirleriyle kesişerek üçlü eklem noktasını oluşturur (Över vd., 2004). Hatay'da meydana gelen büyük depremler yukarıda sözü edilen önemli faylar boyunca meydana gelmiştir (Över vd., 2004). Bölgenin deprem potansiyeli yüksek olduğu pek çok çalışmada dile getirilmiştir (Över vd., 2004; 2011). Över vd. (2011) ve Büyüksaraç vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen mikrotremor ve ReMi çalışmalarında bölgedeki alüvyal zeminin farklı sıklıkta ve kalınlıkta olduğunu ayrıca yüksek büyütme değerine sahip alanların varlığını göstermişlerdir. Daha önceki sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen verilenlerle birlikte değerlendirildiğinde bölgenin deprem-zemin ilişkisi açısından son derece riskli geoteknik yapıya sahip olduğunu belirtmek gerekir. Hatay bölgesinde sıvılaşabilir zeminlerin oldukça geniş alanlara yayılmıştır. Bu alanların pek çoğu yerleşime açılmıştır. Hatay bölgesi her ne kadar yaklaşık son 150 yıldır yıkıcı depreme ($M \geq 7.0$) maruz kalmamış olsa da bölgenin tektonik yapısı göz önünde bulundurulduğunda bu büyüklükte bir depremi doğurabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmanın bölgede daha geniş alanlarda uygulanması ile sıvılaşabilir zeminin davranışını belirlemek olası deprem zararlarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abdüselamoğlu, M. S., 1962. Kayseri - Adana Arasındaki Doğu Toroslar Baseninin Jeolojisi Hakkında Rapor. M.T.A. Derleme No: 3262, 33 s., Ankara (Yayınlanmamış).
- Ambraseys, N. N., Barazani, M., 1989. The 1759 earthquake in the Bekaa Valley : Implications for earthquake hazard assessment in the eastern Mediter-ranean region. Journal Geophysics Research., 94, 4007-4013.
- Aslaner, M. 1973. İskenderun - Kırıkhan (Hatay) Bölgesindeki Ofiyolitlerin Jeolojisi ve Petrografisi. M.T.A. YAYINI NO: 150, 16 - 24, ANKARA
- Atak, V.O., Aksu, O., Önder, M., Aydan, Ö. Ve Toz, G., 2003. Zeminlerde Sıvılaşmaya ve Faylanmaya Bağlı Yer Değiştirmelerin Yön ve Büyüklüklerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Belirlenmesi, Küçükçekmece ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi 8-10 Kasım, 2003, 'Deprem ve Planlama', İstanbul, Türkiye.
- Büyüksaraç A., Över, S., Geneş, M.C., Bikçe, M., Kaçın, S. Ve Bektaş, Ö., 2014. Estimating shear wave velocity using acceleration data in Antakya (Turkey)., Earth Sciences Research Journal, 18 (2), 87-98.
- Dubertret, L., 1953. Geologie Des Roches Vertes Du NW de La Syrie At Du Hatay (Turquie): Notes Nem. Moyen Orient, 6, 277 s.
- Lyberis, N., Yurur, T., Chorowitz, J., Kasapoğlu, K. E., And Gündoğdu, N., 1992. The East Anatolian Fault : an oblique collisional belt. Tectonophysics, 204, 1-15
- Mckenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Me-diterranean Region. Geophysical Journal of Royal Astronomy Society 30, 109-185.
- Över, S., Büyüksaraç A., Bektaş Ö., Filazi A. 2011. Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya Hatay Province SE Turkey; Environmental Earth Sciences.62:313-326.
- Över, S., Kavak K. Şi, Bellier,O. And Özden S, 2004. Is the Amik Basin SE Turkey a triple junction area Analyses of SPOT XS imagery and seismicity; International Journal of Remote Sensing; vol. 25, 1-17

- Özer, M.A., 1996. Toprakkale-İskenderun otoyolu, Payas-İskenderun alanının Stratigrafisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 69 s.
- Peck, R.B., Hansen, W.E. And Thornburn, T.H., 1974. Foundation Engineering, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 514 p.
- Perinçek, D., Eren, A. G., 1990. Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fay Zonları etki alanında gelişen Amik havzasının kökeni. Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildiri Kitabı, 180-192
- Robertson, Pk, Wride, Ce. 1998; Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Can Geotech J, 35(3):442–459.
- Seed, H.B., And I.M. Idriss, 1981. Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes, ASCE National Convention, St. Louis, Missouri, October 26-31, pp. 81-544.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., 1971. Simplified procedure for evaluation soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(9):1249-1273
- Selçuk, H. Ç., 1981. Etude Geologique De la Partie Meridionale Du Hatay (Turquie). Doktora Tezi, University of Geneva, 116 s.
- Şengör, A. M. C., 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. Journal Geology Society of London, 136, 269-282.
- Terhagi, K. Ve Peck, R. B., 1948. “Soil Mechanics in Engineering Practice,” John Wiley & Sons, New York.
- Tunusoğlu, M. C., Karaca, O. 2018. Liquefaction severity mapping based on SPT data: a case study in Çanakkale city (NW Turkey). Environmental Earth Sciences, 77:422.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, p. 385
- Uyanık, O., 2006. An Approach for cyclic stress ratio of liquefied or unliquefied soils. DEU Faculty of Engineering, Journal of Science and Engineering, 8(2), 79-91.

Youd, T. L., 1992. Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake. Proceedings of the NSF/UCR US.Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991, April 2 – 4, 1992, Effects on Soils and Structures, Oakland, California, ERI Publication, No: 93-A, 73-75.

Yürekli, H., Karaca Ö., 2020. Liquefaction Potential Analysis and Mapping of Alluvium Soil: A Case Study in Nazilli-Aydın (West Turkey)



Akseki Formasyonu'nun (Kıraç Dağı, İbradi, KD Antalya) Stratigrafisi, Fasiyes Özellikleri ve Paleo-ortamsal Yorumu

*Stratigraphy, Facies Analysis and Paleoenvironmental Interpretation of
the Akseki Formation (Kıraç Mountain, İbradi, Northeast Antalya)*

ÖZGE SAĞALTICI¹, HAYATİ KOÇ^{1*}

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343,
Yenişehir-MERSİN

Geliş (Received): 14.09.2021

Kabul (accepted): 20.10.2021

ÖZ

Çalışma alanı, Kıraç Dağı (İbradi, Antalya, kuzeydoğusu) civarı ve güney kesimlerinde yer alır. Bu araştırma, bölgede yüzeyleyen Anamas-Akseki Otokton'u içerisinde tanımlanan Akseki Bloğu'ndaki Berriasiyen-Üst Senomaniyen yaşlı Akseki Formasyonu'nun stratigrafisini, fasiyes özelliklerini ve paleo-ortamsal gelişimini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, 1 ölçülü kesit alınmış ve toplam 43 örnek incelenmiştir. Akseki Formasyonu tamamen karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Birim, yaklaşık 50 metre kalınlığında krem renkli, belirsiz tabakalı dolomitler ile başlamaktadır. Dolomitler üzerine gelen yaklaşık 350 metre kalınlığındaki seviye, yer yer dolomitik kireçtaşı-breşik, lamine, bol makro fosilli, onkoidli kireçtaşı ara seviyeleri içeren açık gri-gri-krem-bej renkli, genellikle orta-kalın, yer yer belirsiz tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin, yaklaşık son 40 metresi breşik kireçtaşları ile başlayan ve dolomitik kireçtaşı ara seviyeleri içeren yer yer rudistli, genellikle bej renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Bu seviye ile alttaki seviyenin dokanağı uyumsuzdur. Akseki Formasyonu, boksitli bir seviye ile başlayan ve karbonatlı birimlerden oluşan geç Kretase yaşlı Seyrandağı Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Akseki Formasyonu içerisinde belirlenen uyumsuzluğun altındaki seviyelerden elde edilen *Crescentiella morronensis* (Tubiphytes), *Campanellula campuensis*, *Praechrysalidina infracretacea*, *Cuneolina* cf. *pavonia*, *Nezzazata isabella*, *Charentia* sp. ve diğer tür bentik

foraminifer topluluğu ile *Salpingoporella dinarica*, *Salpingoporella angulata*, *Salpingoporella* sp., *Thaumatoporella* sp. türü algere dayanarak Berriasiyen-Albiyen yaşı elde edilmiştir. Uyumsuzluğun üzerinde belirlenen *Pseudorhaydionina dubia*, *Pseudonummoloculina heimi*, *Cuneolina* gr. *pavonia* ve diğer bentik foraminifer topluluğuna göre de orta-üst Senomaniyen yaşı elde edilmiştir. Bu verilere göre de Akseki Formasyonu'nun yaşı Berriasiyen-Üst Senomaniyen olarak değerlendirilmiştir. Akseki Formasyonu'nda; dolomit (MFT-1), çamurtaşı (MFT-2), vaketaşı (MFT-3), oolitik istiftaşı/tanetaşı (MFT-4), peloidal istiftaşı/tanetaşı (MFT-5) ve intraklastik-biyoklastik istiftaşı/tanetaşı (MFT-6) mikrofasiyesleri tanımlanmıştır. Birimin; litolojik özellikleri, fosil içeriği ve bu fasiyes özelliklerine göre düşük enerjili ve sınırlı sirkülasyonlu gel-git çevresi ortamda çökeldiğini, yer yer gözlenen breş ve dolomit arakatıkları ortamın yer yer su üstü olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kretase, Akseki Formasyonu, bentik foraminifer, karbonat fasiyesi, Kıraç Dağı, Anamas-Akseki Otoktonu, Orta Toroslar.

Başvurulacak Yazar: hakoc@mersin.edu.tr

Hayati KOÇ hakoc@mersin.edu.tr

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüs, 33343, Yenişehir-MERSİN

ABSTRACT

The study area is located around Kıraç Mountain (İbradi, Antalya, northeast) and in the southern parts. This research was carried out to reveal the stratigraphy, facies characteristics and paleoenvironmental development of the Berriasian-Upper Cenomanian age Akseki Formation in the Akseki Block, which is defined within the Anamas-Akseki Autochthon outcropping in the region. The study materials include 43 thin section data from one measured section. Akseki Formation consists completely of carbonate rocks. The unit begins with cream colored, indefinite bedded dolomites and approximately 50 meters thick. The level over dolomit, which about 350 meters thick, consists of light gray-gray-cream-beige colored, generally medium-thick, indefinite bedded limestones with intercalations of dolomitic limestone-brecciated, laminated, abundant macrofossil, oncoid limestone. The unit is represented by rudist, generally beige, medium-thick bedded limestones, the last 40 meters of which begin with brecciated limestones and contain dolomitic limestone intercalations. This level and the lower level contact are unconformity. The Akseki formation is unconformably overlain by the late Cretaceous Seyrandağı formation, which starts with a bauxite level and consists of carbonate units. The age of the levels below the unconformity determined within the Akseki formation was

determined as Berriasian-Albian based on Crescentiella morronensis (Tubiphytes), Campanellula campuensis, Praechrysalidina infracretacea, Cuneolina cf. pavonia, Nezzazata isabella, Charentia sp. and other benthic foraminifer assemblages and Salpingoporella dinarica, Salpingoporella angulata, Salpingoporella sp. Thaumtoporella sp. type of algae. The middle-upper Cenomanian age was obtained according to the assemblage of Pseudorhaydionina dubia, Pseudonummoloculina heimi, Cuneolina gr. pavonia and other benthic foraminifera determined above the unconformity. According to these data, the age of the Akseki Formation was evaluated as Berriasian-Upper Cenomanian. In the Akseki Formation, dolomite (MFT-1), mudstone (MFT-2), wackestone (MFT-3), oolitic packstone/grainstone (MFT-4), peloidal packstone/grainstone (MFT-5) and intraclastic-bioclastic packstone/grainstone (MFT- 6) microfacies have been described. According to its lithological features, fossil content and these facies characteristics, the unit was deposited in a low-energy and limited circulation tidal environment and breccia and dolomite intercalations observed in places were interpreted as the environment being above water in places.

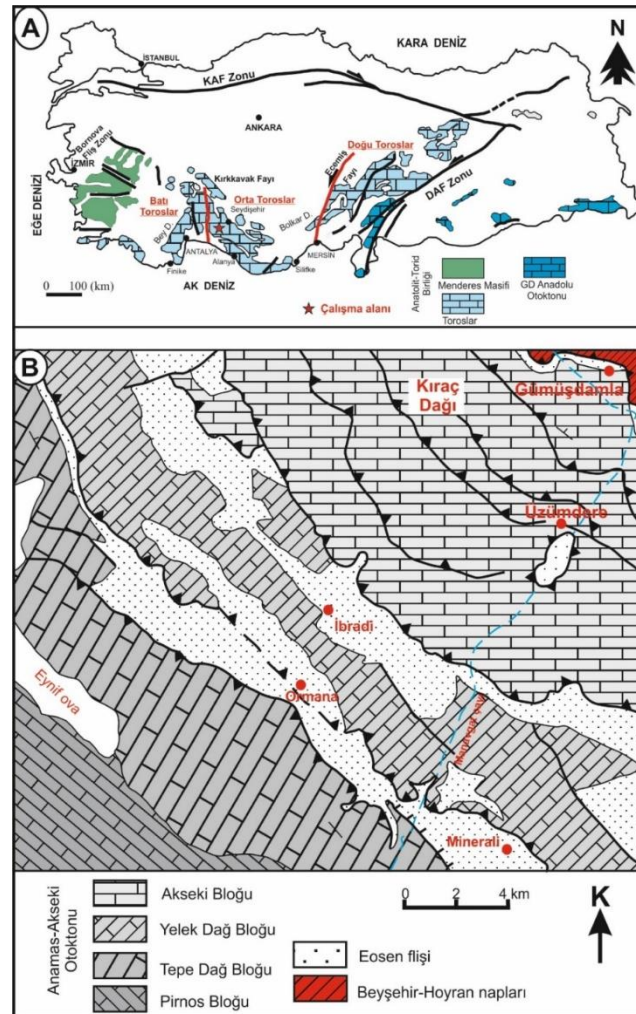
Keywords: *Cretaceous, Akseki Formation, benthic foraminifera, carbonate facies, Kıraç Mountain, Anamas-Akseki Autochthon, Central Taurides.*

GİRİŞ

Çalışma alanı, Anatolid-Torid Birliği (Göncüoğlu vd., 1997) içerisinde Orta Toroslar'ın batı kesiminde yer almaktadır (Şekil 1A). İnceleme alanı, Özgül (1976)'ya göre Geyik Dağı Birliğinde, Monod (1977), Şenel (1996) ve Şenel vd. (1998)'e göre Anamas-Akseki Otokton'u içindeki Akseki Bloğu'nda (Şekil 1B), Demirtaşlı (1987)'ye göre ise Batı Toros Otoktonu içindeki Akseki Bloğu'nda yer almaktadır.

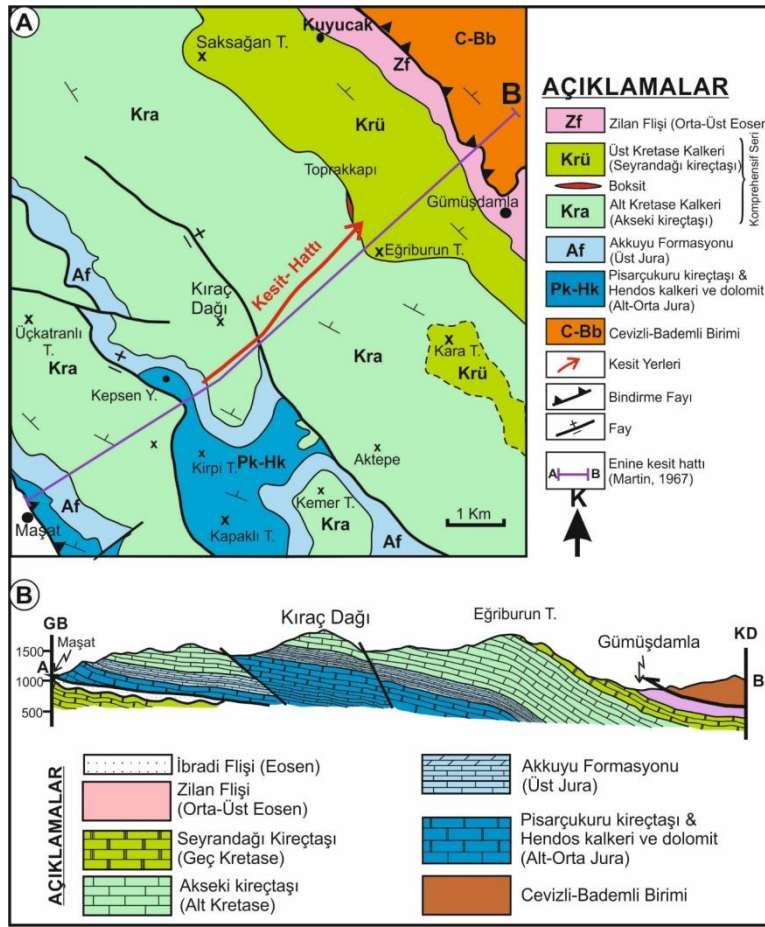
Anamas-Akseki Otokton'u (Monod, 1977; Demirtaşlı, 1987; Şenel, 1996) ve Geyikdağı Birliği (Özgül, 1976) Orta Toroslar'ın paraotokton kaya birimlerini oluşturmakta olup, bölgedeki yoğun tektonizma etkisi ile kendi içinde ve kuşak boyunca yüzeyleyen diğer birlikler ile tektonik sınırlar oluşturmaktadır (Özgül, 1976; Demirtaşlı, 1987; Şenel, 1996; Şenel vd., 1998; Solak vd., 2017; Sağaltıcı, 2019). Bölgede yapılan çalışmalar ile, bu tektonik yapıya bağlı olarak Anamas-Akseki Otoktonu da kendi içerisinde bloklara ayrılarak incelenmiştir (Monod, 1977; Şenel, 1996; Şenel vd., 1998). Bu çalışmanın konusu olan Akseki Formasyonu Kıraç Dağı civarında geniş bir alanda yüzlek verir ve Anamas-Akseki Otoktonu'nun da tanımlanmış Akseki Bloğu içerisinde yer alır (Monod, 1977, Şekil1B; Şener vd., 1998).

Göreceli otokton konumlu Geyik Dağı Birliği içinde yer alan Anamas-Akseki karbonat platformundaki Alt Kretase karbonat istiflerinin stratigrafisi ve fasiyes özelliklerine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Yılmaz, 1999; Elmacı, 2011; Solak vd., 2016; Sağaltıcı, 2019). Anamas-Akseki Otoktonu'nun stratigrafisi ve kökenine ilişkin çalışmalarda mevcuttur (Martin, 1969; Monod, 1977; Ricou, 1980; Demirtaşlı, 1987; Toker vd., 1993; Şenel, 1996; Şenel vd., 1998). Ancak, Kırış Dağı ve civarında geniş alanda yüzlek veren Akseki Formasyonu'nun detay stratigrafik ve mikrofasiyes özelliklerinin eksik olduğu görülmektedir. Bu eksikliğin giderilmesi kapsamında yapılan bu çalışmanın amacı, Kırış Dağı ve güney kesimlerinde yüzlek veren Kretase yaşlı Akseki Formasyonu'nun; (1) litolojik özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi, (2) fosil içeriğinin ortaya konulması, (3) fasiyes alanizlerini yapılarak ortamsal yorumlarının yapılması ve (4) Toros kuşuğı boyunca yüzeylen benze birimler ile korelasyonunun yapılmasını ortaya koymaktır.



Şekil 1. A) Çalışma alanının Anatolit-Torid Birliği içindeki yeri (Göncüoğlu vd., 1997), B) Çalışma alanı ve yakın civarında yüzeyleyen birlikler ve birlikler içindeki blokların dağılımı (Monod, 1977).

Figure 1. A) The location of the study area within the Anatolide-Tauride Unit (Göncüoğlu vd., 1997), B) Units cropping out in the study area and around and the distribution of the blocks within the units (simplified from Monod, 1977).



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın civarının jeolojisi haritası ve jeolojik enine kesiti (Martin 1969'dan sadeleştirilmiştir).

Figure 2. Geological map and cross section of the study area and around (simplified from Martin 1969).

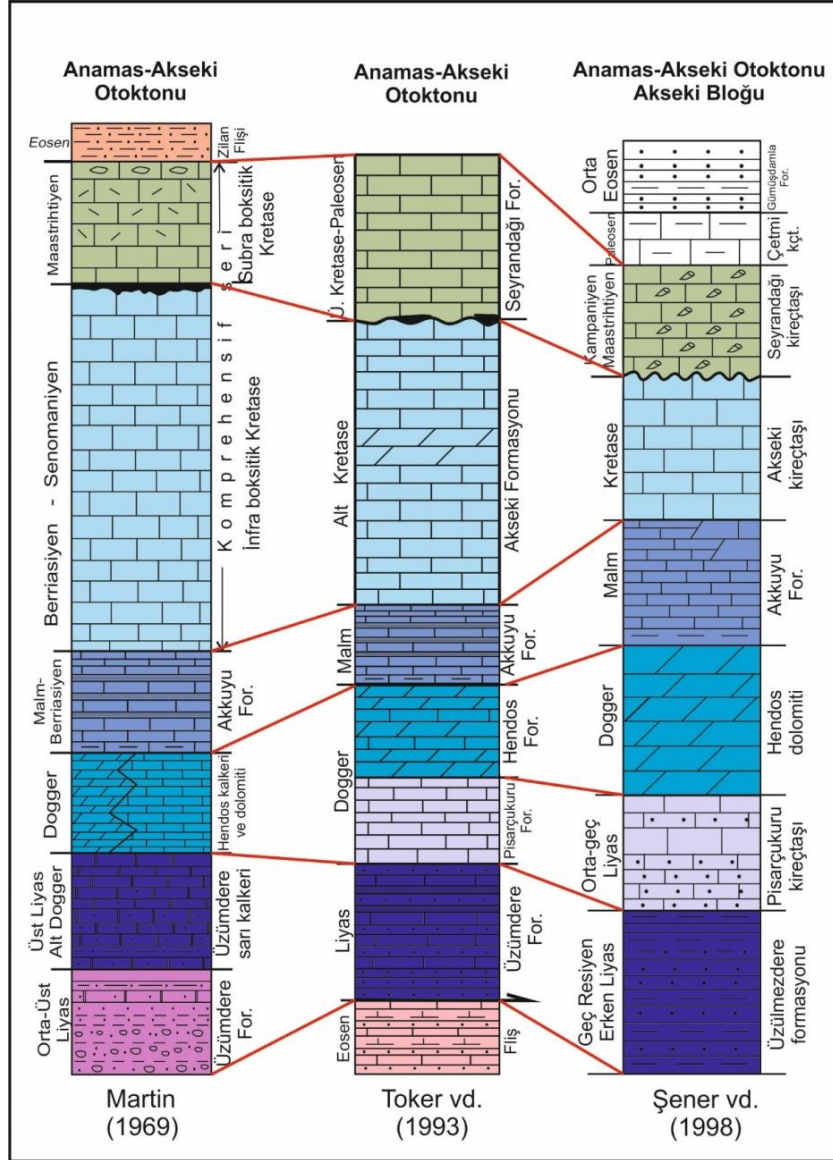
BÖLGESEL JEOLJİ

Orta Toroslar'ın batı kesiminde ölçülen istif Özgül (1976)'nın "Geyik Dağı Birliği" Monod (1977) ve Şenel (1976)'in "Anamas-Akseki Otoktonu" içerisinde "Akseki Bloğu" olarak adlandırılan platform kesimine aittir. Anamas-Akseki Otoktonu, doğu-kuzeydoğuda Beyşehir-Hoyran-Hadım napları (Monod, 1977) ile batıda ise Antalya napları (Poisson vd., 1984) ile sınırlıdır. Çalışma alanı ve yakın civarında yapılan ilk detay çalışmalardan biri Martin (1969)'dur. Yazar yaptığı çalışmada Anamas-Akseki otoktonunda 7 birim tanımlamış, bölgenin jeoloji haritasını ve enine kesitleri çıkarmıştır (Şekil 2). Yazar, Malm-Berriasiyen yaşlı, belirgin olarak plaket halinde ayrılan ve marn-kalker ile temsil edilen birim üzerine gelen Kretase yaşlı, tek düzenli görülen kalkerler için "Komprehensif seri" terimini kullanmıştır (Şekil 3). Demirtaşlı (1987), Batı Toros Otoktonu içerisinde ayırt ettiği Akseki Bloğu'nun Alt Kretase yaşlı birimlerini Akseki kireçtaşı olarak tanımlamıştır. Yazar, Akseki kireçtaşının Malm-Berriasiyen yaşlı Akkuyu Formasyonu üzerine uyumlu olarak geldiğini, Martin (1969)'un "Komprehensif seri" olarak adlandırdığı istifin en alttaki infra boksitik Kretase (Alt Kretase kalker) seviyesine denk geldiğini ve birimin, kalın tabakalı, alt seviyelerde yer yer oolitik seviyeler içeren kireçtaşlarından oluştuğunu ve Berriasiyen-Senomaniyen yaşta olduğunu belirtmiştir. Martin (1969)'un "Komprehensif seri" sinin üst kesimlerini oluşturan supra boksit Kretase (Üst Kretase kalker) seviyesini ise Seyrandağı kireçtaşı olarak adlandırmıştır.

Toker vd. (1993) Malm-Berriasiyen yaşlı Akkuyu Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen ve Üst Kretase-erken Eosen yaşlı birimler tarafından (Seyrandağı Formasyonu) uyumsuz olarak üzerlenen Alt Kretase yaşlı karbonatlı birimleri Akseki Formasyonu olarak tanımlamışlardır (Şekil 3). Birimin, yer yer dolomit ara katkılı, orta-kalın tabakalı, erime boşluklu ve bol çatlaklı kireçtaşlarından oluştuğunu belirtmektedirler. Yazarlar, birimin yaşını Alt Kretase olarak belirlemişlerdir.

Şenel vd. (1998) çalışma alanının içinde bulunduğu Anamas-Akseki otoktonu içinde tanımladıkları Akseki Bloğu içerisinde yer alan Alt Kretase yaşlı karbonatlı birimleri Akseki kireçtaşı olarak adlandırmışlardır (Şekil 3). Birimin, bej-açık kahve-açık gri renkli, orta-kalın tabakalı, yer yer mercanlı, gastropodlu, sık erime boşluklu neritik kireçtaşları ile temsil edildiğini belirtmektedirler. Akseki kireçtaşının, alttaki Oksfordiyen-Berriasiyen yaşlı Akkuyu

Formasyonu üzerine uyumlu olarak geldiğini, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Seyrandağı kireçtaşı tarafından uyumsuz olarak üzerlendiğini ve yaklaşık 1000 metreye ulaşan bir kalınlık sahip olduğunu, yaşının da Alt Kretase olası Senomaniyen olduğunu belirlemişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın civarında yapılan çalışmaların geliştirilmiş stratigrafik kesitleri.

Figure 3. Generalized stratigraphic sections of the works in the study area and around.

MATARYAL VE YÖNTEM

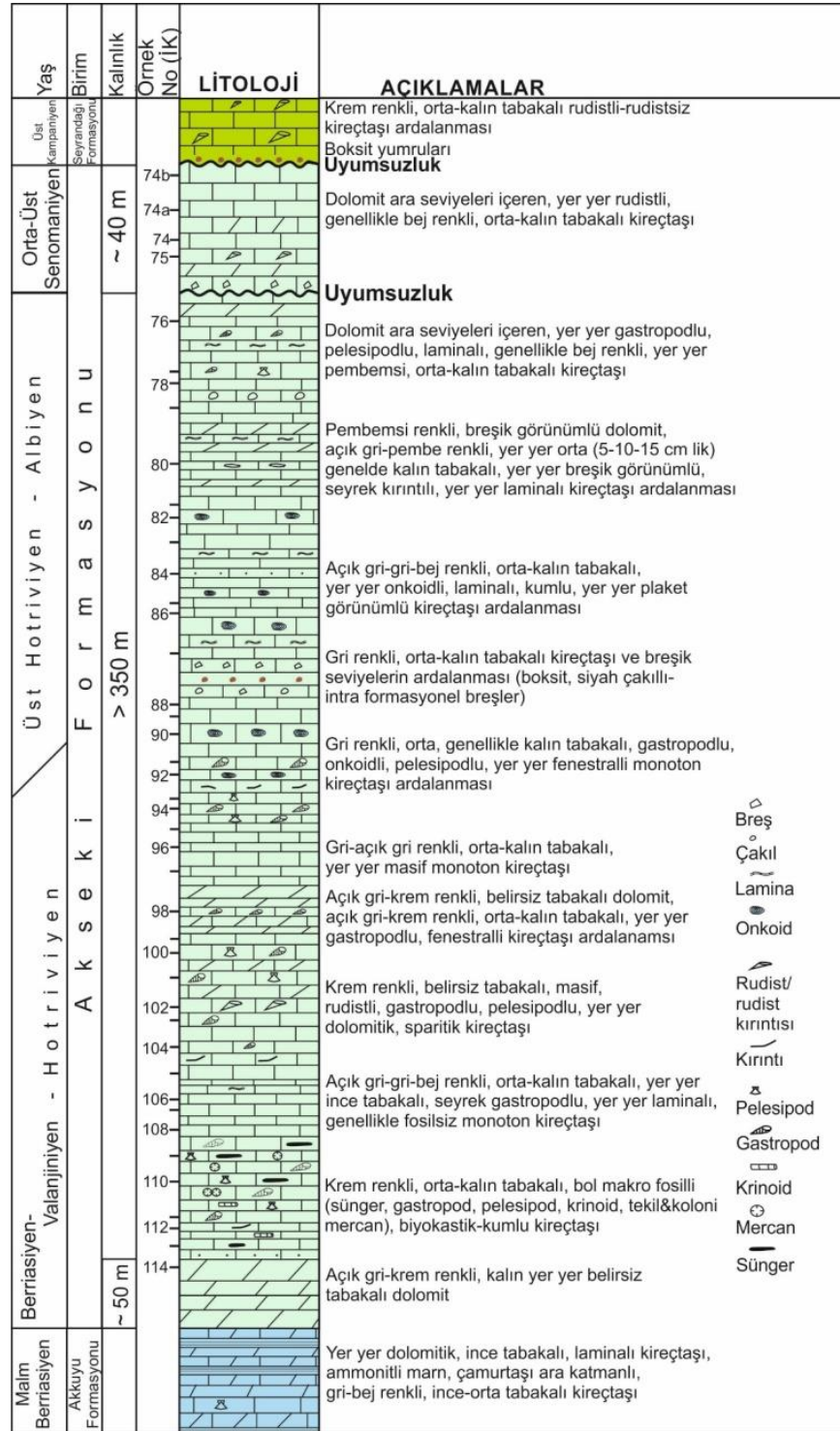
Çalışma, Antalya'nın İbradi ilçesinin kuzey doğusunda yer alan Kıraç Dağı ve civarında yüzlek veren Alt Kretase yaşlı Akseki Formasyonu'nu konu almaktadır. Kesit ölçümü İbradi-Gümüştamla yolu boyunca alınmıştır. Kesit ölçümü bölgede yüzeyleyen Akkuyu Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen dolomitler ile başlamakta ve Seyrandağı Formasyonu'nun tabanında gözlenen boksit seviyesine kadar devam etmektedir. Kesit hattının; başlangıç koordinatları; 379300D-4114909K, bitiş koordinatları; 380874D-4116166K'dir. Çalışma kapsamında karbonatlı seviyelerden toplam 43 örnek mikropaleontoloji ve mikrofasiyes analizleri için alınmıştır. İstifin kronostratigrafik yorumu, Akdeniz çevresi karbonat platformlarında yaygın olan ve stratigrafik olarak önemli bentik foraminiferlerin bilinen menzilleri dikkate alınarak yapılmıştır (Velić, 2007; Taslı vd., 2007). Mikrofasiyes tanımlamalarında Dunham (1962), Embry ve Klovan (1971) ve Folk (1962) karbonat sınıflamaları kullanılmıştır. Ayırt edilen mikrofasiyes toplulukları Flügel (2004)'ün standart mikrofasiyes tipleri (SMF) ve fasiyes zonları (FZ) ile denestirilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Stratigrafi

Akseki Formasyonu'nun Litolojik Özellikleri

Kıraç Dağı güneyinden ölçülen ve yaklaşık 500 metreden fazla kalınlık sunan Akseki Formasyonu, tabanında yer yer dolomit, ince tabakalı, laminalı kireçtaşı, ammonitli marn, çamurtaşı ara katmanlı gri-bej renkli, ince-orta tabakalı kireçtaşı birimleri (Akkuyu Formasyonu) üzerine uyumlu olarak gelen dolomitler ile başlamaktadır (Şekil 4). Toplam kalınlığı yaklaşık 50 metre olan dolomitler, genellikle krem renkli, belirsiz tabakalı, yer yer laminalı görünümlü, bezen iri, bazen ince kristallidir.



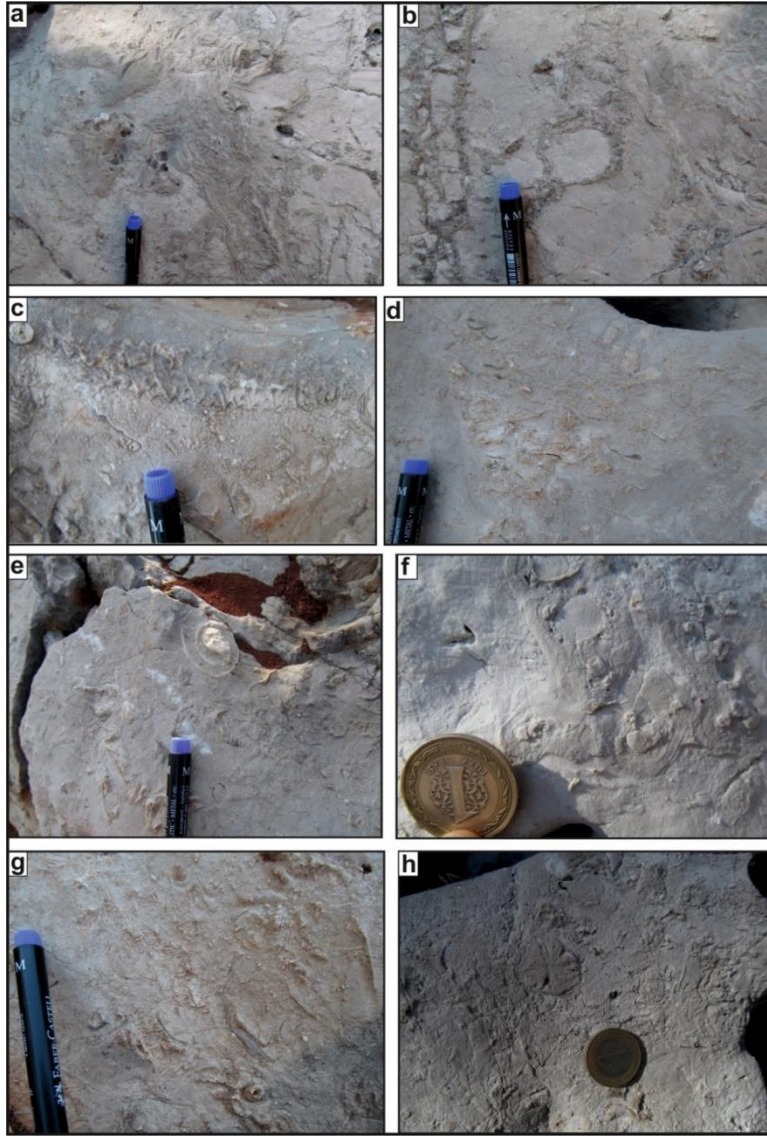
Şekil 4. Akseki Formasyonu'nun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

Figure 4. Generalized stratigraphic section of the Akseki Formation.

Dolomitlerden sonra gelen ilk 30 metrelik seviye, krem renkli, orta-kalın tabakalı yer yer bol makro fosilli (sünger, gastropod, pelesipod, krinoid, tekil&koloni mercan), yer yer kumlu, genellikle biyoklastlı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4; Şekil 5). Bol makro fosilli bu seviyeler formasyonun alt kesimleri için kılavuz niteliğindedir. Bu kılavuz seviye üzerine gelen yaklaşık 60 metrelik kesim, yer yer ince tabakalı-laminalı, seyrek gastropodlu, genellikle fosilsiz, açık gri-gri-bej renkli, orta-kalın tabakalı, monoton kireçtaşları ile temsil edilir (Şekil 4). Birim, üstte doğru, 40 metre kalınlığında yer yer dolomitik seviyeler içeren, krem renkli, belirsiz tabakalı, masif görünümlü, seyrek gastropodlu, pelesipodlu, sparitik kireçtaşları ile devam eder. Bu seviye üzerine de 25 metre kalınlığında, açık gri-krem renkli, belirsiz tabakalı dolomit ile yer yer gastropodlu, fenestralı, açık gri-krem renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı ardalanması gelir (Şekil 4).

Akseki Formasyonu'nun orta kesimleri, yaklaşık 45 metre kalınlığında, gri-açık gri renkli, orta-kalın tabakalı, yer yer masif monoton kireçtaşları ile yaklaşık 60 metre kalınlığında ki gri renkli, orta, genellikle kalın tabakalı, gastropodlu, pelesipodlu, onkoidli, yer yer fenestral monoton kireçtaşı ardalanması ile temsil edilmektedir (Şekil 4). Bu seviyeler üzerine 10 metre kalınlığında, gri renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı ve breşik kireçtaşı ardalanması gelmektedir (Şekil 4; 6a,b). Breşik seviyelerde boksit sıvamaları, siyah çakıllar ve intra formasyonel çakıllar gözlenmektedir. Bu kireçtaşı-breşik kireçtaşı seviyeleri üzerine yer yer onkoidli, laminalı (Şekil 6c), kumlu, yer yer plaket görünümlü, 45 metre kalınlığında ki açık gri-gri-bej renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşları gelir (Şekil 4).

Birimin orta seviyeleri üstte doğru, 20 metre kalınlığında, pembemsi renkli, breşik dolomit (Şekil 6d), açık gri-pembe renkli, yer yer orta (5-10-15 cm'lik) genelde kalın tabakalı, yer yer breşik görünümlü, seyrek kavkı kırıntılı (Şekil 6f), yer yer mikritik kireçtaşı (Şekil 6e) ardalanması ile temsil edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 5. Akseki Formasyonu'nun alt kesimlerini oluşturan bol makro fosilli, biyoklastik kireçtaşlarının arazi görünüşleri.

Figure 5. Field photography of bioclastic limestones with abundant macrofossils forming the lower parts of the Akseki Formation.

Bu seviye üzerine yaklaşık 20 metre kalınlığında, dolomit ara seviyeleri içeren, yer yer gastropodlu, pelesipodlu, laminalı, genellikle bej renkli, yer yer pembemsi, orta-kalın tabakalı kireçtaşları gelmektedir (Şekil 4).

Akseki Formasyonunun üst kesimleri yaklaşık 40 metre kalınlığında, tabanda breşik kireçtaşları, dolomittik kireçtaşı ve kavkılı kireçtaşı ara seviyeleri içeren (Şekil 6g), yer yer rudist kırıntılı

(Şekil 6h), seyrek bütün rudistli, genellikle bej renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu seviyenin tabanında gözlenen breşik seviye ile alttaki litolojilerin dokanağı arazide uyumlu gibi görünse de paleontolojik verilere göre uyumsuzluk olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Bu seviye üzerine ise boksit seviyesi ile başlayan, genellikle krem renkli, orta-kalın tabakalı, rudistli-rudistsiz kireçtaşı ardalanmasından karbonatlı birimler uyumsuz olarak gelmektedir. Bu birim, literatürde genel olarak Seyrandağı kireçtaşı (Demirtaşlı, 1987; Şenel vd., 1998) / Formasyonu (Toker vd., 1993; Solak vd., 2017) olarak bilinmektedir. Seyrandağı Formasyonu'nun yaşı literatürde Üst Kretase-Paleosen (Toker vd., 1993) / Kampaniyen-Maastrichtiyen (Şenel vd., 1998) olarak bilinmektedir.

Akseki Formasyonu'nun Fosil İçeriği ve Yaşı

Karbonatlı kayalardan oluşan birimin kireçtaşı seviyelerinden yapılan ince kesitlerde şu fosiller saptanmıştır. *Crescentiella morronensis* (Tubiphytes), *Diversocallis* sp., *Acolisacus* sp., *Nezzazata* sp., *Favreina* sp. (Levha 1 T), *Haplophragmoides* sp. (Levha 1 V,Y), *Textularia* sp., *Bacinella* sp., *Lenticulinid* sp., *Belorussiella* sp. (Levha 1 Z), *Lituonella* sp. ((Levha 1 X-Q), *Charentia* sp. (Levha 1 U), *Campanellula campuensis* (Levha 1 O-P), *Orbitolinopsis* sp., *Praechrysalidina infracretacea* (Levha 1 M), *Spiroluculina* sp. (Levha 1 S), *Glomospira* sp., *Vercorsella* sp. (Levha 1 N), *Cuneolina* cf. *pavonia* (Levha 1 A-E), *Pseudonummoloculina* sp. (Levha 1 K,L), *Arenobulimina* sp. (Levha 1 J), *Nezzazata isabella* (Levha 1 H,I), Miliolidae türü bentik foraminiferler ve *Salpingoporella dinarica* (Levha 2 C-E), *Salpingoporella angulata*, *Salpingoporella* sp. (Levha 2 H), *Clypeina* sp., *Thaumatoporella* sp., Dasiklad alg (Levha 2 A,B), Codiacea (Levha 2 F), Likanella (Levha 2 G) türü alglerdir.



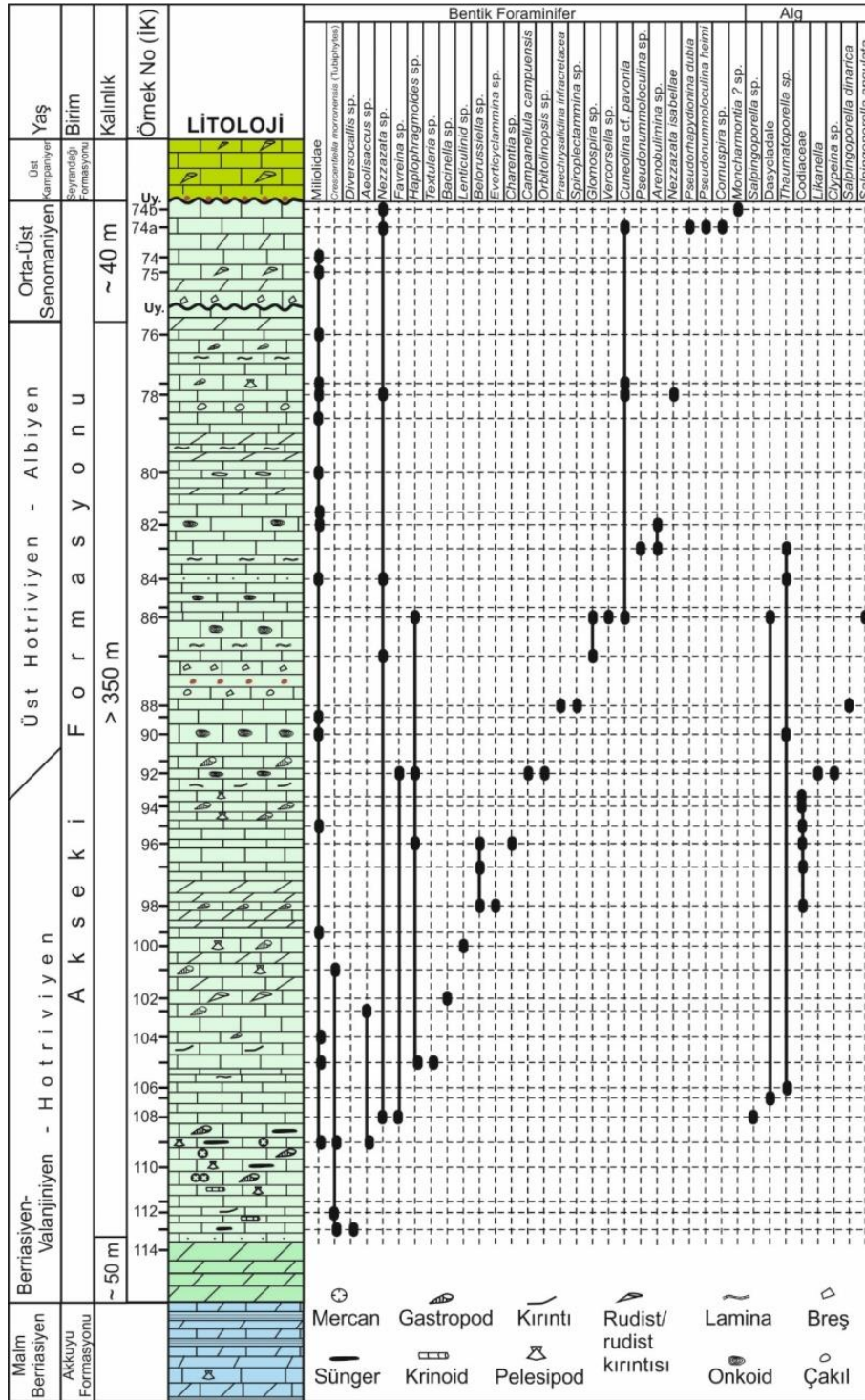
Şekil 6. Akseki Formasyonu'nun orta-üst kesimlerine ait litolojilerin arazi görünüşleri. a) Breşik kireçtaşı seviyeleri, b) Kireçtaşı-breşik kireçtaşı ardalanması, c) Laminallı kireçtaşı, d) Breşik dolomit, e) Mikritik kireçtaşı, f, g) Kavkılı kireçtaşı, h) Rudist kırıntılı kireçtaşı.

Figure 6. Field photography of the lithologies of the middle-upper part of the Akseki Formation. a) Limestone breccia, b) Alternation limestone - limestone breccia, c) Laminated limestone, d) Dolomite breccia, e) Micritic limestone, f,g) Limestone with shell, h) Limestone with rudist fragments.

Bu formlardan *Crescentiella morronensis* (Tubiphytes) türü genellikle geç Jura-erken Kretase katlarında yaygın olarak bulunur (Senowbari-Daryan vd., 2008; Pleş vd., 2016). *Charentia* sp. Berriasiyen'den itibaren görülen bir türdür. *Campanellula campuensis* üst Hatroviyen-alt Barremiyen'i karakterize eden bir türdür (Velić, 2007). *Praechrysalidina infracretacea*'nın ilk bulunuşu üst Hotriviyen'dir (Sartorio ve Venturini, 1988; Barner vd., 1991) ve Alt Kretase'yi karakterize eden, Barremiyen-Albiyen katlarında yaygın olarak bulunan bir türdür (Arnaud-Vanneau ve Sliter, 1995; Taslı vd., 2007; Velić, 2007; Cvetko Tešović vd., 2011; Solak vd., 2015). *Nezzazata isabellae* Apsiyen'den itibaren görülür bir formdur (Arnaud-Vanneau ve Sliter, 1995; Arnaud-Vanneau ve Premoli Silva, 1995; Mancinelli ve Chiocchini, 2006; Velić, 2007; Husinec vd., 2009; Cvetko Tešović vd., 2011; Chiocchini vd., 2012). *Cuneolina pavonia* Albiyen'den başlayarak tüm Üst Kretase boyunca uzun menzilli (Sartorio ve Venturini, 1988; Velić, 2007; Solak vd., 2021) ve kavkı oranları/boyutları bakımından çok değişken bir bentik foraminifer grubudur. Alglerden *Salpingoporella dinarica*, *Salpingoporella angulata* gibi türler ise Alt Kretase için karakteristik formlardır. Bu fosil topluluğuna göre Akseki Formasyonu'nun üst kesimlerinde belirlenen uyumsuzluk yüzeyine kadar olan kesimin yaşı Berriasiyen-Albiyen olarak değerlendirilmiştir.

İstifin en üst seviyelerinde ise *Nezzazata* sp., *Cuneolina* gr. *pavonia*, *Cornuspira* sp., *Pseudorhapydionina dubia*, *Pseudonummoloculina heimi*, *Moncharmontia?* sp. türü bentik foraminiferler belirlemiştir (Şekil 7). Bu formlardan *Pseudorhapydionina dubia* türünün bilinen menzili orta-üst Senomaniyen'dir (Schroeder ve Neumann, 1985; Velić ve Vlahović, 1994; Velić, 2007; Frijia vd., 2015; Schlagintweit vd., 2016). Buna göre Akseki Formasyonu'nun en üst seviyesinin yaşı orta-üst Senomaniyen olarak değerlendirilmiş ve alt seviyeler ile uyumsuz bir yüzey oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Bütün bu verilere göre Kırış Dağı civarında yüzeyleyen Akseki Formasyonu'nun yaşı Berriasiyen-Üst Senomaniyen olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

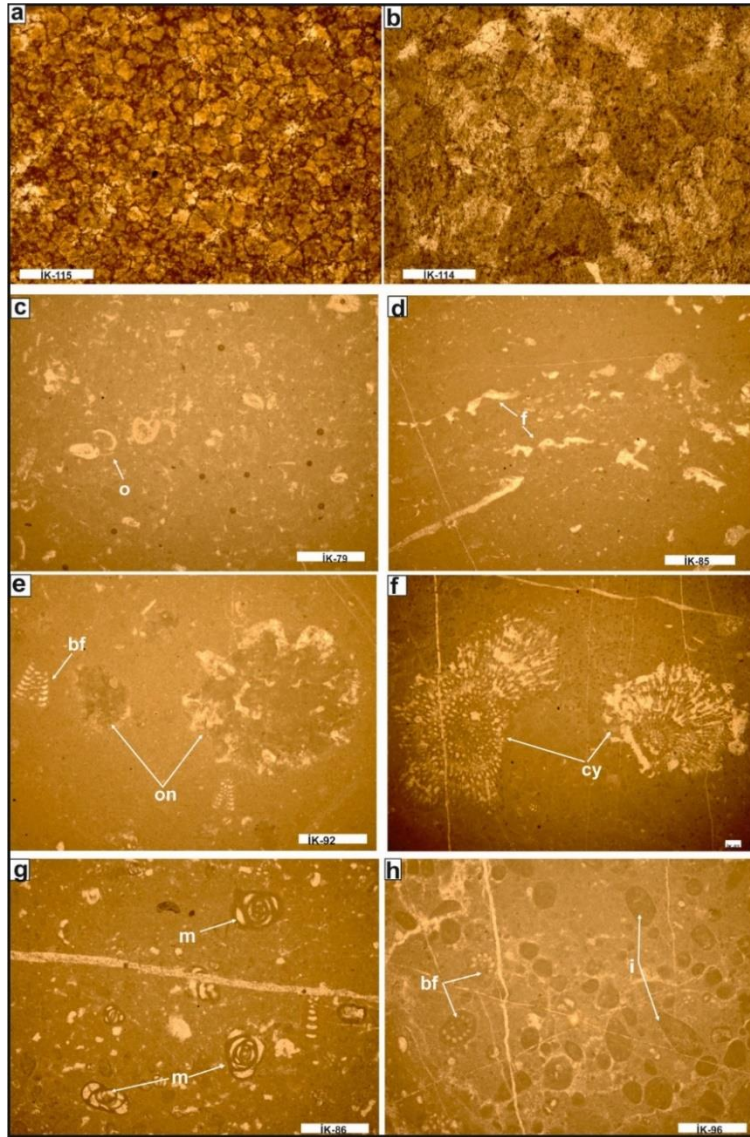


Şekil 7. Akseki Formasyonu'na ait seçilmiş bentik foraminifer ve alg dağılımı.

Figure 7. Stratigraphic distribution of selected benthic foraminifera and algae in the Akseki Formation.

Mikrofasiyes Analizi

Bu çalışmada, Akseki Formasyonu'na ait karbonat kayaçların mikroskobik ve sedimentolojik analizlerine göre altı mikrofasiyes birlikteliği ayırt edilmiştir. Bunlar; MFT-1 (dolomit mikrofasiyesi), MFT-2 (çamurtaşı), MFT-3 (vaketaşı), MFT-4 (oolitik istiftaşı/tanetaşı), MFT-5 (peloidal istiftaşı/tanetaşı) ve MFT-6 (intraklastik-biyoklastik istiftaşı/tanetaşı) mikrofasiyesleridir.



Şekil 8. Akseki Formasyonu'nun mikrofasiyes toplulukları. **a,b)** Dolomit mikro fasiyesi (MFT-1); c-f) Çamurtaşı (MFT-2), o:ostrakod, f:spar kalsit fenestral, on:onkoid, bf:bentik

foraminifer; cy:*Cayeuxia* (alg); g,h) Vaketaşı (MFT-3); bf:bentik foraminifer; i:intraklast, m: miliolid (Çizgisel ölçek:0.2 mm)

Figure 8. Microfacies associations of the Akseki Formation. a,b) Dolomite microfacies (MFT-1); c-f) Mudstone (MFT-2), o:ostracod, f:spar calcite fenestrae, on: oncoïd, bf: benthic foraminifera; cy:Cayeuxia (alga); g,h) Wackestone (MFT-3); bf: benthic foraminifera; i:intraclast, m: miliolids. (Scale bars: 0.2 mm)

MFT-1) Dolomit mikrofasiyesi (Şekil 8 a,b)

Akseki Formasyonu'nun tabanında yaygın, diğer kesimlerinde seyrek olarak gözlenen bu mikrofasiyes tamamen dolomitlerden oluşmaktadır. Kireçtaşının dolomitte tümünden yer değiştirmiş olduğu, bu nedenle özşekilsiz bir mozayik görünümü kazandığı düşünülmektedir (Şekil 8a). Bazı kesitlerde ise zonlanma kısmen belirgindir (Şekil 8b). Fosil içeriğine rastlanılmamıştır. Bu mikrofasiyes şelf ortamında çökelmiş, daha sonra sığlaşmış ve erken diyajenezde dolomitleşmiş karbonatlar olabileceği gibi; oluşum ortamından tamamen bağımsız olarak derin gömülme sürecinde formasyon içi Mg'ca zengin sular tarafından geç diyajenez koşullarının oluşumu da mümkündür (Varol ve Matsumoto; 2005).

MFT-2) Çamurtaşı (Mikrit/fosilli mikrit) (Şekil 8 c-f)

Bu mikrofasiyes esas olarak mikritten oluşmaktadır. Seyrek olarak ostrakod (Şekil 8c) ve spar kalsit dolgulu düzensiz fenestral boşluklar (Şekil 8d) bulunmaktadır. Bazı kesitlerde genel çamur içerisinde onkoidler ve küçük bentik foraminiferler (miliolid, *Campanellula*) (Şekil 8e), iri *Cayeuxia* (Codiacea) türü alglar (Şekil 8f) yaygın olarak görülürler. Bu nedenle genellikle çamurtaşı kısmen vaketaşı özelliği gösteren bir fasiyestir. Fenestral boşluklar, tercihi olarak gel-git üstü ve gel-git içinin üst bölümlerini yansıtır (Flügel, 2004). Canlı çeşitliliği ve enerjisinin düşük olması sınırlı bir karbonat ortamını, gel-git içi fasiyesini işaret etmektedir. Fasiyes, Flügel (2004)'ün platform içi, FZ 7'sine karşılık gelen SMF 23 fasiyesi ile deneştirilebilir.

MFT-3) Vaketaşı (Biyomikrit) (Şekil 7 g) / (Biyointra mikrit) (Şekil 7h)

Akseki Formasyonu'nda çok sık görülen mikrofasiyesdir. Bu mikrofasiyes iki farklı bileşenli gözlenir. Çoğunlukla bentik foraminiferli vaketaşı fasiyesinde (Şekil 7g), seyrek olarak

intraklastik vaketeşi fasiyesindedir (Şekil 7h). Bentik foraminiferli vaketaşı fasiyesinde yaygın olarak miliolid, seyrek olarak *Nezzezata*, *Cuneolina*, *Haplophragmoides* formlar ile temsil edilirler. Ostrakod, pelesipod, dasiglad alg, intraklast seyrek olarak gözlenen ikincil bileşenlerdir. Bileşenler yer yer fenestral boşluklar içeren bir çamur içerisinde. İntraklast vaketaşı fasiyesinde yaygın bileşen mikritik çamur tanelerinden oluşan intraklastlar olup, seyrek olarak bentik foraminiferler içerir. Bentik foraminiferler *Charentia*, *Belorussiella*, *Haplophragmoides* formlar ile temsil edilir. Pelesipod, ostrakod, *Thaumatoporella* seyrek olarak gözlenen ikincil bileşenlerdir. Bu mikrofasiyes birlikteliği sınırlı su sirkülasyonuna maruz kalmış, düşük enerjili sığ gel-git altı ortamları için tipiktir (Flügel, 2004). Fasiyes, Flügel (2004)'ün platform içi, FZ 7'sine karşılık gelen SMF 8 fasiyesi ile deneştirilebilir.

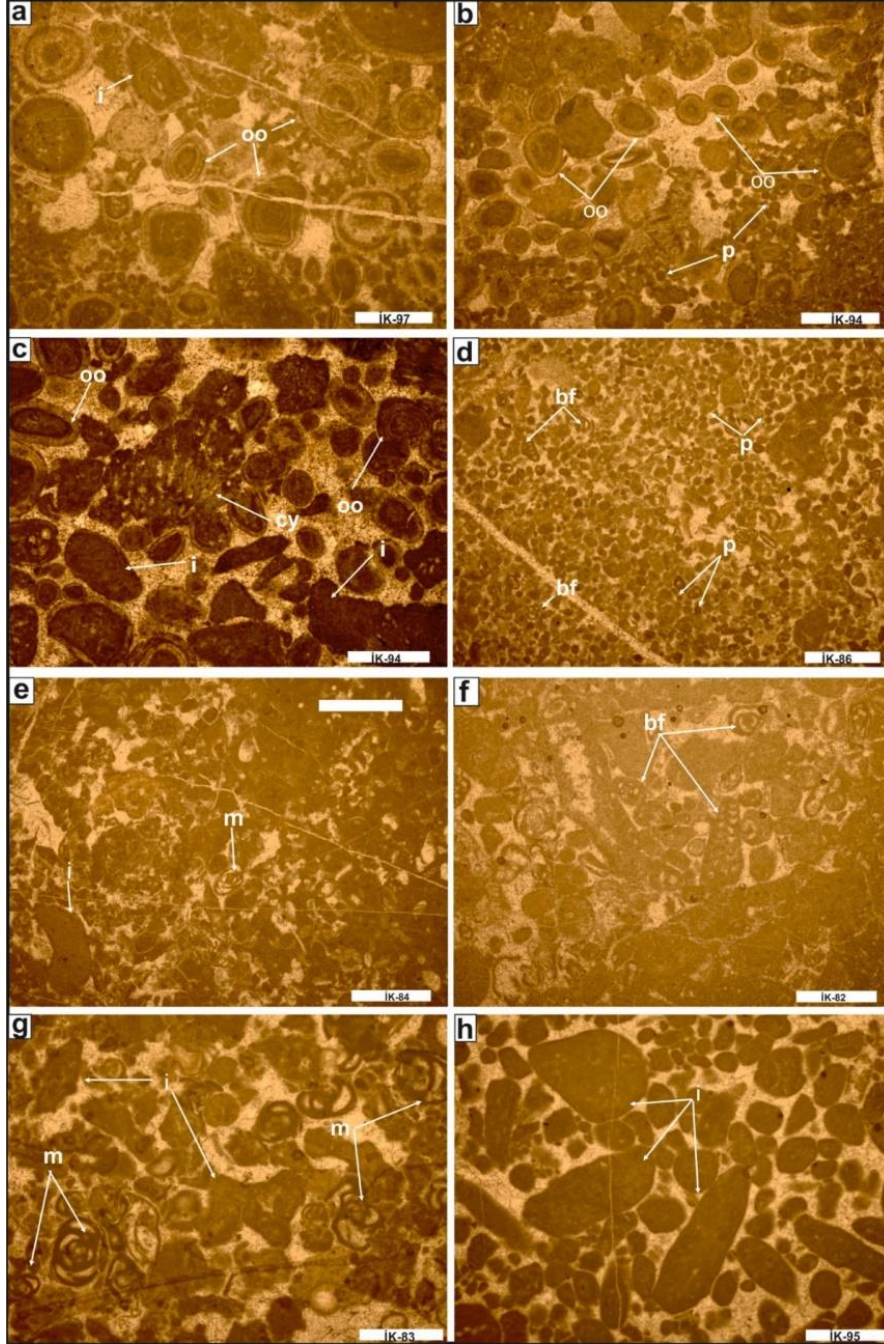
MFT-4) Oolitlik İstiftaşı (oomikrit) / Tanetaşı (oosparit) (Şekil 8a-c):

Akseki Formasyonu'nun orta kesimlerinde seyrek görülen bir fasiyestir. Oolitler egemen bileşendir. Peloid taneleri, intraklastlar ve biyoklastlar seyrek. Bağlayıcı ya mikrit ya da spar kalsittir. Oolitler; değişik boyutlarda olup, genellikle konsantirik sarımsı olup, çekirdeği çoğunlukla mikritik çamurdur. Seyrek olarak da mikritik oolitler görülür. Peloidler, genellikle simetrik dağılımlı, yer yer kümeler halinde görülürler. İntraklastlar, farklı şekil, büyüklük ve bileşime sahiptir ve çoğunlukla mikritik çamurtaşı tanelerden oluşur (Şekil 8a-c). Biyoklast olarak seyrek, küçük boyutlu bentik foraminiferler (*Belorussiella*, *Vercorsella*, *Haplophragmoides*, *Glomospira*), alglar (Dasiklad alg, *Cayeuxia*, *Salginoporella*) ve gastropodlar ile temsil edilir. Flügel (2004)'ün FZ 6'sına karşılık gelen bu mikro fasiyes yüksek enerjili, platform kenarı kum sığılğı ortamları için tipiktir.

MFT-5) Peloidal İstiftaşı (pelmikrit) / Tanetaşı (Pelsparit) (Şekil 8d):

Akseki Formasyonu'nun orta kesimlerinde seyrek görülen bir fasiyestir. Peloidler egemen bileşendir. İntraklastlar ve biyoklastlar seyrek. Bağlayıcı ya mikrit ya da spar kalsittir. Peloidler, genellikle simetrik dağılımlı, yer yer kümeler halinde görülürler. İntraklastlar, farklı şekil, büyüklük ve bileşime sahiptir ve çoğunlukla mikritik çamurtaşı tanelerden oluşur (Şekil 8d). Biyoklast olarak seyrek, küçük boyutlu bentik foraminiferler (*Vercorsella*, *Haplophragmoides*, *Glomospira*, *Cuneolina*), alglar (Dasiklad alg, *Salginoporella*) ve

gastropodlar ile temsil edilir. Peloidler sığ su ortamlarında yaygın olarak bulunurlar (Flügel, 2004). Bu faiyes Flügel (2004)'ün FZ 8'ine, Wilson (1975)'in SMF 16'sına karşılık gelen düşük enerjili, sığ, gel-git altı lagünel bir ortamda çökelmiş olmalı.



Şekil 9. Akseki Formasyonu'nun mikrofasiyes toplulukları. a-c) Oolitik istifası/taneyite (MFT-4), oo:oolit; i:intraklast, p:peloid, cy:Cayeuxia (alg); d) Peloidal istifası/taneyite

(MFT-5), bf:bentik foraminifer; p:peloid; e-h) intraklastik-biyoklastik istifası/tanetaşı (MFT-6), bf:bentik foraminifer; i:intraklast, m: miliolid (Çizgisel ölçek: 0.2 mm)

Figure 9. Microfacies associations of the Akseki Formation. a-c) Oolitic packstone/grainstone (MFT-4), oo:oolite; i:intraclast, p:peloid, cy:Cayeuxia (algae); d) Peloidal packstone/grainstone (MFT-5), bf: benthic foraminifera; p:peloid; e-h) intraclastic-bioclastic packstone/grainstone (MFT-6), bf: benthic foraminifera; i: intraclast, m: miliolid. (Scale bars: 0.2 mm)

MFT-6) İntraklastik-Biyoklastik İstifası (intrabiyomikrit) / Tanetaşı (intrabiyosparit) (Şekil 9e-h)

Akseki Formasyonu'nun üst kesimlerinde yaygın görülen bir mikrofasiyestir. Bileşenler genel olarak intraklast ve bentik foraminiferlerden oluşur. İntraklastlar, farklı şekil, büyüklük ve bileşime sahiptir. Çoğunlukla mikritik çamurtaşı tanelerden oluşur (Şekil 9e,g,h). Seyrek olarak da peloidler görülür. Özellikle miliolid ve diğer bentik foraminiferlerin (*Nezzazata*, *Cuneolina*, *Pseudonummoloculina*, *Arenobulimina*) hakim olduğu bir fasiyestir. Bunların yanında seyrek olarak *Thaumatoporella*, ostrakod, gastropod, dasiklad alg yer almaktadır. Bu fasiyeste taneler arasını hem mikrit hem de spar kalsit çimento doldurmaktadır. Ortamda hem mikrit hem de sparın bulunması, ortamın düşük enerjili fakat zaman zaman hareketlendiğini, bol miktarda küçük bentik foraminiferin olması sınırlı dolaşımli bir şelf lagünü ortamında çökelimin gerçekleştiğini göstermektedir. Fasiyes, Flügel (2004)'ün platform içi, FZ 7-8'zine karşılık gelen SMF 18 fasiyesi ile deneştirilebilir.

Paleo-Ortamsal Yorum

Akseki Formasyonu'nun sedimentolojik özellikleri, fasiyes/mikrofasiyes ve mikropaleontolojik analizleri, birimin platformun gel-gitten etkilenmiş, gel-git düzlüğü ve sınırlı lagün koşullarında çökeldiğini göstermektedir. Mikrofasiyeslerde gözlenen fenestral boşluklar, tercihen gel-git üstü ve gel-git içi ortamları işaret etikleri, peloidlerin sığ su ortamlarında yaygın olarak buldukları bilinmektedir (Flügel, 2004). Ortamda hem mikrit hem de sparın bulunması, ortamın düşük enerjili fakat zaman zaman hareketlendiğini, bol miktarda küçük bentik foraminiferin olması sınırlı dolaşımli bir şelf lagünü ortamında çökelimin gerçekleştiğini işaret etmektedir. İnce kavkılı ostrakodların yerel bolluğu ve çok seyrek küçük miliolidler ortama acı-

tatlı su akışını (Simone vd., 2012) ve sığ havuz oluşuklarını işaret etmektedir. Birim içerisinde yer yer gözlenen breşik seviyeler, boksit çakılları içeren breşler ve dolomitik arakatkıları sırasıyla su-üstü ve gel-git altı-gel-git içi ortamlarının muhtemel bir sonucudur. Albiyen - orta Senomaniyen tabanında gözlenen breşik seviye ve geç Albiyen-erken Senomaniyen yaş verisinin eksikliği bu dönemin su üstü fazı nedeniyle kesintiye uğradı ya da aşınma nedeniyle eksik olduğu şekilde yorumlanmıştır. Akseki Formasyonu üzerine gelen Seyrandağı Formasyonu'nun (Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen; Şenel vd., 1998; Solak vd., 2017) tabanında görülen boksit seviyesi geç Senomaniyen'den Kampaniyen sonuna uzanan uzun süreli su üstü fazı nedeniyle kesintiye uğramıştır (ya da aşınma nedeniyle eksiktir).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kıraç Dağı civarında yüzlek veren Akseki Formasyonu stratigrafik, mikropaleontolojik analizlerine göre yaşı erken Kretase- geç Senomaniyen olarak belirlenmiştir. Birim, tabanda yaklaşık 50 metre kalınlığındaki dolomitler ile başlar ve yer yer breşik kireçtaşı, dolomit-dolomitik kireçtaşı ara seviyeleri içeren, düzgün tabakalı, monoton görünümlü kireçtaşları ile temsil edilir. Mikropaleontolojik analizlere göre birim içerisinde orta Senomaniyen öncesi uyumsuzluk belirlenmiştir. Bu veriler ile birim içerisinde belirlenen mikrofasiyes analizleri birlikte değerlendirildiğinde Erken Kretase- Geç Senomaniyen süresince, sınırlı iç platform koşullarında çökelmiş karbonatlı ile temsil edilmiştir. Aşınma ve/veya platform kesiminin kısa süre su üstü olmasından kaynaklanan uyumsuzluk, orta Senomaniyen öncesi stratigrafik boşluğa (eksikliğe) neden olmuştur. Birim üzerine boksit seviyesi ile başlayan ve rudistli-rudistsiz kireçtaşları ile temsil edilen, Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Seyrandağı Formasyonu'nun varlığı aşınma ve/veya platform kesiminin uzun süre su üstü olmasından kaynaklanan uyumsuzluk geç Senomaniyen-geç Kampaniyen stratigrafik boşluğuna neden olmuştur.

Geç Albiyen-erken Senomaniyen platformun su üstü olma durumu Toros karbonat platformunda yaygın görülen (Farinacci ve Köylüoğlu, 1982; Haq el al., 1988; Taslı vd., 2007) karbonat çökelimindeki geç Apsiyen krizi Haq vd. (1988)'in östatik deniz seviyesi değişimleri eğrisine uymaktadır.

Birimin litolojik, mikrofasiyes özellikleri, çökelme ortamı bakımında çalışma alanı yakın civarında (Toker vd., 1993; Şenel vd., 1998; Altıner vd., 1999) ve Orta Toroslar'ın diğer kesimlerinde yüzeyleyen (Demirtaşlı, 1984; Taslı vd., 2007; Solak vd., 2016; Çağla, 2017) Alt Kretase yaşlı birimleri ile benzer özellikler göstermektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Mersin Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2017-2-TP2-2524 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, arazi çalışmalarına ve fosil tayinlerine destek veren Prof. Dr. Kemal Taslı'ya (Mersin Üniversitesi), arazi çalışmalarına eşlik eden Dr. Cemile SOLAK'a (Mersin Üniversitesi) teşekkür ederler. Değerli katkılarından dolayı iki hakeme (anonim) ve ayrıca, ince kesitleri hazırlayan teknisyen Samet SALAR'a (Mersin Üniversitesi) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Altıner, D., Yılmaz İ.Ö., Özgül N., Akçar N., Bayazıtöğlü M. ve Gaziulusoy Z.E., 1999. High-resolution sequence stratigraphic correlation in the Upper Jurassic (Kimmeridgian)-Upper Cretaceous (Cenomanian) peritidal carbonate deposits (Western Taurides, Turkey). *Geological Journal*, 34, 139-158.
- Arnaud-Vanneau, A. ve Premoli Silva, I., 1995. Biostratigraphy and systematic description of benthic foraminifers from mid-Cretaceous shallow-water carbonate platform sediments at sites 878 and 879 (Mit and Takuyo-Daisan Guyots). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results (199-219)*, 144 s.
- Arnaud-Vanneau, A. ve Sliter, W. V., 1995. Early Cretaceous shallow-water benthic foraminifers and fecal pellets from leg 143 compared with coeval faunas from the Pacific Basin, Central America, and the Tethys. Winterer, E. L., Sager, W. W., Firth, J. V., Simon, J. M. (Ed.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 143, 537-564.

- Banner, F.T., Simmons, M.D. ve Whittaker, J.E., 1991. The Mesozoic Chrysalidinidae (Foraminifera, Textulariaceae) of the Middle East: the Redmond (aramco) taxa and their relatives. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Geol.)*, 47, 101-152.
- Chiocchini, M., Pampaloni, M. L. ve Pichezzi, R. M., 2012. Microfacies e microfossili delle successioni carbonatiche mesozoiche del Lazio et dell' Abruzzo (Italia centrale) Cretacico. *Mem. per Serv. Descr. della Carta Geol. d'It, ISPRA, Serv. Geol. d'Ir. –Dip. Dif. Suolo–Roma*, 17, 269 s.
- Cvetko Tešović, B., Glumac, B. ve Bucković, D., 2011. Integrated biostratigraphy and carbon isotope stratigraphy of the Lower Cretaceous (Barremian to Albian) Adriatic–Dinaridic carbonate platform deposits in Istria, Croatia. *Cretaceous Research*, 32, 301-324.
- Çağla, A., 2017. Taşucu-Aydıncık (Mersin) Yöreleri Jura Alt Kretase Cehennemdere Formasyonu'nun Bentik Foraminifer Faunası ve Mikrofasiyes Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 66 sayfa, (Yayınlanmamış).
- Demirtaşlı, E., 1984. Stratigraphy and Tectonics of the area between Silifke and Anamur, Central Taurus Mountains. *Proceedings of International Symposium on Geology of the Taurus Belt*, 101-118.
- Demirtaşlı, E., 1987. Batı Toroslar'da Akseki, Manavgat ve Köprülü Arasında Kalan Bölgenin Jeoloji incelemesi. (Rapor No: 3292) Ankara: MTA.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rock According to Depositional Texture. Editör: Ham, W.E., *Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1, 108-121
- Elmacı, A., 2011. Orta Toroslar (Anamur-Akseki Seydişehir) Civarı Jura-Kretase istifinin ve Mikrofasiyes Özellikleri. Yüksek Lisans tezi, Ankara Üniversitesi, 96 sayfa, (Yayınlanmamış).
- Embry, A.F. ve Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island. Northwest Territories. *Canadian Society of Petroleum Geologists Bulletin* 33, 730-781.

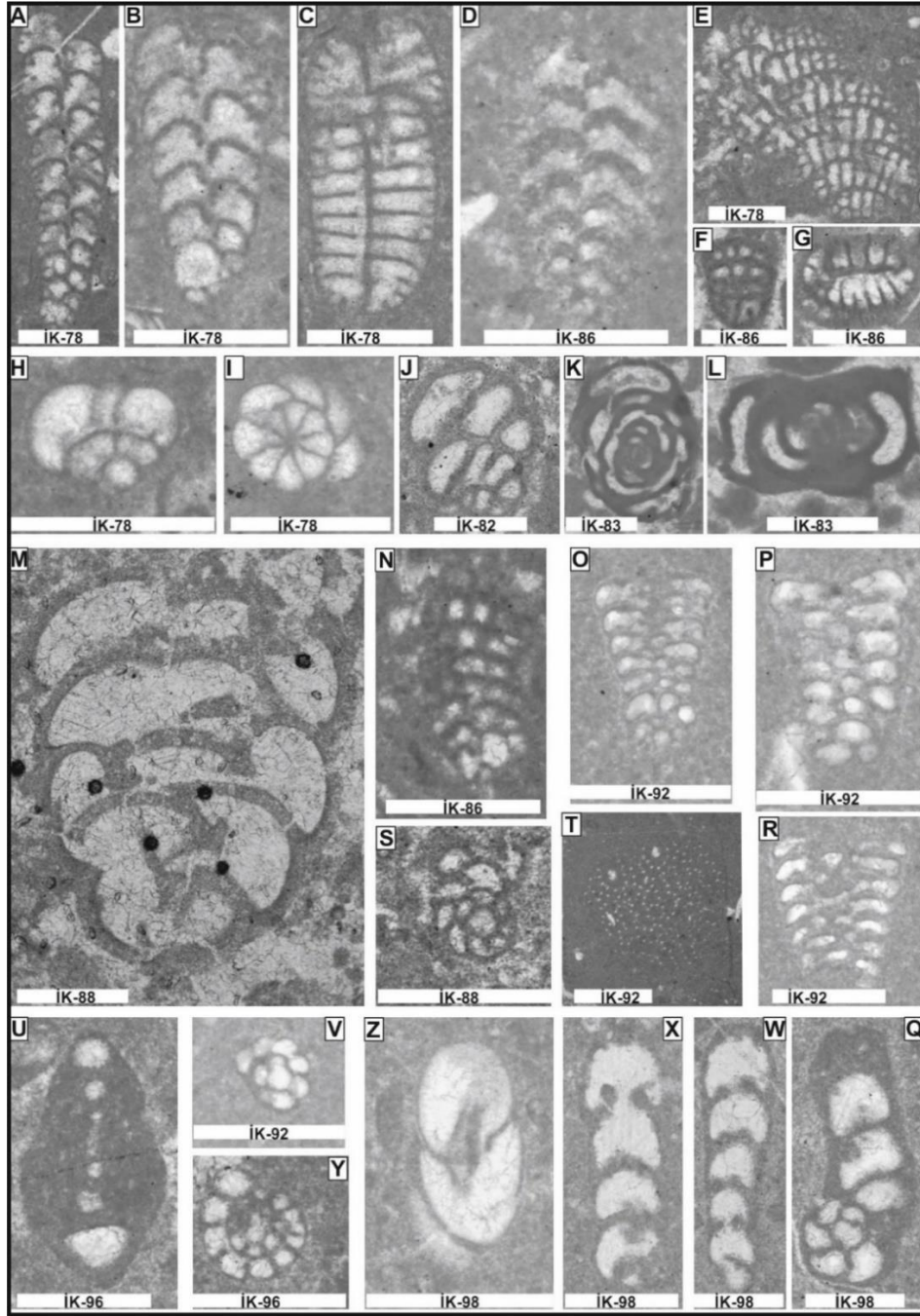
- Farinacci, A. ve Köylüoğlu, M., 1982. Evolution of the Jurassic-Cretaceous Taurus shelf (Southern Turkey). *Estratto dal Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 21, 267-276.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer, Berlin.
- Folk, R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone types. In: W.G. (ed), *Classification of carbonate rocks; American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1, 62-84.
- Frijia, G., Parente, M., Di Lucia, M. ve Mutti, M., 2015. Carbon and strontium isotope stratigraphy of the Upper Cretaceous (Cenomanian-Campanian) shallow-water carbonates of southern Italy: Chronostratigraphic calibration of larger foraminifera biostratigraphy. *Cretaceous Research*, 53, 110-139.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K. ve Kozlu, H., 1997. General Characteristics of pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory notes to the terrane map of Turkey. *Annales Geologique de Pays Hellenique*, 37, 515-536.
- Haq, B., Hardenbol, J. ve Vail, P.R., 1988. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Cycles of Sea Level Change. In: Wilgus C.K., vd., Eds., *Sea Level Changes: An Integrated Approach*, SEMP Special Publication, 42, 71-108.
- Husinec, A., Velić, I. ve Sokač, B., 2009. Diversity patterns in mid-Cretaceous benthic foraminifers and Dasycladalean algae of the southern part of the Mesozoic Adriatic platform, Croatia. *SEPM (Society for Sedimentary Geology)*, ISBN 978-1-56576-137-7, 153-170.
- Mancinelli, A. ve Chiochini, M., 2006. Cretaceous benthic foraminifers and calcareous algae from Monte Cairo (southern Latium, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 45/1, 91-113.
- Martin, C., 1969. Akseki Kuzeyindeki Bir Kısım Torosların Stratigrafik ve Tektonik İncelenmesi. *MTA Dergisi*, 72, 157-175.

- Monod, O., 1977. Recherches Géologiques Dans Le Taurus Occidental Au Sud De Beyşehir (Turquie). Laboratoire de Geologie Historique, Faculte des Sciences, Paris.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 19, 65-78.
- Özgül, N., 1984. Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides. Proceedings of International Symposium on Geology of the Taurus Belt, 77-90.
- Pleş, G., Bucur, I.I. ve Sasaran, E., 2016. Depositional Environments, Facies And Diagenesis Of The Upper Jurassic–Lower Cretaceous Carbonate Deposits Of The Buila-Vânturarița Massif, Southern Carpathians (Romania), Annales Societatis Geologorum Poloniae, vol. 86: 165–183.
- Poisson, A., Akay, E., Dumont, J.F. ve Uysal, Ş., 1984. The Isparta Angle: a Mesozoic paleorift in the Western Taurides. International Symposium on Geology of the Taurus Belt, 11-26.
- Ricou, L. E., 1980. Toroslar'ın Helenidler ve Zagridler arasındaki yapısal rolü. Türkiye Jeoloji Bülteni, 23, 101-118.
- Sağaltıcı, Ö., 2019. Orta Toroslar'ın Batı (İbradi-Antalya) Kesimlerinde Yüzeyleyen Jura-Kretase İstiflerinin Stratigrafisi ve Fasiyes Özellikleri. Yüksek Lisans tezi, Mersin Üniversitesi, 100 sayfa, (Yayınlanmamış).
- Sartorio, D. ve Venturini S., 1988. Southern Tethys Biofacies, Agip S.P.A., S. Donato Milanese, 235 pp.
- Schlagintweit, F., Kolodziej, B. ve Qorri, A., 2015. Foraminiferan–calcimicrobial benthic communities from Upper Cretaceous shallow–water carbonates of Albania (Kruja Zone). Cretaceous Research, 56, 432-446.
- Schroeder, R. ve Neumann, N., 1985. Les grands foraminifères du Crétace moyen de la région méditerranéenne. Geobios, Mémoire Special, 7, 161 s.
- Senowbari-Daryan, B., Bucur, I.I, Schlagintweit, F., Sasaran, E. ve Matyszkiewicz, J., 2008, Crescentiella, a new name for "Tubiphytes" morronensis CRESCENTI, 1969: an enigmatic Jurassic-Cretaceous microfossil. Geologia Croatica; Vol. 61, Iss. 2/3; 185-214.

- Simone, L., Bravi, S., Carannante, G., Masucci, I. ve Pomoni-Papaioannou, F., 2012. "Arid versus wet climatic evidence in the "middle Cretaceous" calcareous successions of the Southern Apennines (Italy) " *Cretaceous Research* 36, 6–23.
- Solak, C., Taslı K. ve Sarı, B., 2015. Stratigraphy and depositional history of the Cretaceous carbonate successions in the Spil Mountain (Manisa, W Turkey). *Cretaceous Research*, 53, 1-18.
- Solak C., Taslı K. ve Koç, H., 2016. Early Cretaceous Shallow-Water Platform Carbonates of the Bolkar Mountains, Central Taurides - South Turkey: Facies Analysis and Depositional Environments. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 44, 1-5.
- Solak C., Taslı K. ve Koç, H., 2017. Biostratigraphy and facies analysis of the Upper Cretaceous–Danian? platform carbonate succession in the Kuyucak area, western Central Taurides, S Turkey. *Cretaceous Research*, 79, 43–63.
- Solak C., Taslı K. ve Koç, H., 2021. Benthic foraminifera from the Albian shallow-marine limestones in the Geyik Dağı area (Central Taurides), southern Turkey. *Journal of Paleontology*, 1–21.
- Şenel, M., 1996. Anamas-Akseki Otoktonu Güney Kenarını Temsil Eden Pirnos Bloğu'nun Stratigrafik Özellikleri ve Paleocografik Yorumu; Orta Toroslar, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39 (2), 19-29.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Metin, S., Esentürk, K., Bölükbaşı, A.S. ve Özgül, N., 1998. Orta Toroslar'da Güzelsu Koridoru ve Kuzeyinin Jeolojisi. *MTA Dergisi*, 120, 171-197.
- Taşlı, K., Altınler, D., Eren, M., Özkan-Altınler, S. ve Koç, H., 2007. Bolkar Dağları (Orta Toroslar) Jura-Kretase Karbonat İstifinin Foraminifer Biyostratigrafisi, TUBİTAK Projesi, Proje no: ÇAYDAG-103Y192, 124 sayfa, Ankara.
- Toker, V., Sonel, N., Ayyıldız, T. ve Albayrak, M. (1993). Akseki Kuzeyi-Üzümdere (Antalya) Civarının Stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36, 57-71.

- Varol, B. ve Matsumoto, R., 2005. Early and late dolomites in the carbonate platform; An example from Middle Devonian carbonates of the Taurus Mountains, South-Central Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 181, 135–145.
- Velić, I., 2007. Stratigraphy and palaeobiogeography of Mesozoic benthic foraminifera of the Karst Dinarides (SE Europe). *Geologica Croatica*, 60 (1), 1-113.
- Velić, I. ve Vlahović, I., 1994. Foraminiferal assemblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija area (Northwestern Istria, Croatia). *Geologia Croatia* 47, 25-43.
- Wilson, J.L., 1975. Carbonate facies in geologic history. Springer–Verlag, Berlin.
- Yılmaz, İ.Ö., 1999. Taxonomic and paleogeographic approaches to the dasyclad algae in the Upper Jurassic (Kimmeridgian)-Upper Cretaceous (Cenomanian) peritidal carbonates of the Fele (Yassıbel) area (Western Taurides, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8, 81-101.

LEVHA 1

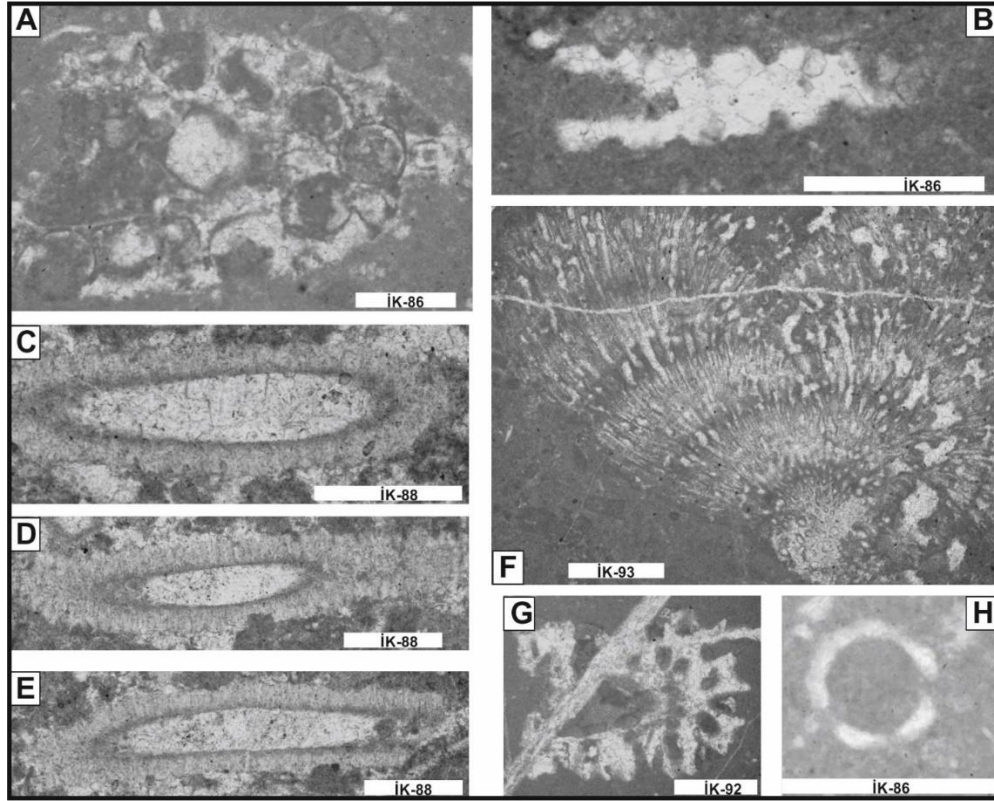


Levha 1. Akseki formasyonuna ait seçilmiş bentik foraminiferler. A-G) *Cuneolina* cf. *pavonia*, H,I) *Nezzazata isabella*, J) *Arenobulimina* sp., K,L) *Pseudonummoloculina* sp., M) *Praechrysalidina infracretacea*, N) *Vercorsella* sp., O-P) *Campanellulas* sp., S) *Spiroluculina*

sp., T) *Favreina* sp., U) *Charentia* sp., V,Y) *Haplophragmoides* sp., Z) *Belorussiella* sp., X-Q)
Lituonella sp. (Çizgisel Ölçek: 0.2 mm)

Plate 1. Selected benthic foraminifers of the Akseki formation. A-G) *Cuneolina* cf. *pavonia*,
H,I) *Nezzazata isabella*, J) *Arenobulimina* sp., K,L) *Pseudonummoloculina* sp., M)
Praechrysalidina infracretacea, N) *Vercorsella* sp., O-P) *Campanellula campuensis*, S)
Spiroluculina sp., T) *Favreina* sp., U) *Charentia* sp., V,Y) *Haplophragmoides* sp., Z)
Belorussiella sp., X-Q) *Lituonella* sp. (Scale bars: 0.2 mm)

LEVHA 2



Levha 2. Akseki formasyonuna ait seçilmiş algler. A,B) Dasiklad alg, C-E) *Salpingoporella*
dinarica, F) Codiacea, G) Likanella, H) *Salpingoporella* sp. (Çizgisel Ölçek: 0.2 mm)

Plate 2. Selected algae from the Akseki formation. A,B) *Dasycladalean* algae, C-E)
Salpingoporella dinarica, F) *Codiacea*, G) *Licanella*, H) *Salpingoporella* sp. (Scale bars: 0.2
mm)



The Effect of Water Flow Rate on Davis Tube Tests

Davis Tüp Testlerinde Su Akış Hızının Etkisi

MAHMUT E. TAÇOĞLU^{1*}, MUSTAFA ŞEN¹, EMRE TOPRAK¹ SARUHAN SAKLAR¹

¹General Directorate of Mineral Research and Exploration, Department of Technology Division of Mineral Processing, Ankara, TURKEY

Geliş (received): 27.07.2021

Kabul (Accepted): 20.11.2021

ABSTRACT

The effect of water flow rate on Davis tube tests was investigated in different solid ratios using low and high magnetite content samples. It was found that with increasing water flow rate Fe recovery decreased for each studied solid rate. It has been shown that the chosen solid ratio does not affect the grade regardless of the water flow rate, it has an impact on the Fe recovery.

Keywords: Davis tube, wet magnetic separation, water flow rate, magnetite, iron ore

Mahmut E. TAÇOĞLU meatcoglu61@gmail.com

¹General Directorate of Mineral Research and Exploration, Department of Technology Division of Mineral Processing, Ankara, TURKEY

INTRODUCTION

An indispensable device in iron ores research, the Davis tube has not undergone any notable modifications since it was patented in 1921 (Svoboda, 2004). With these devices, grinded iron minerals, which can exhibit magnetic properties up to 9000 Gauss, can be separated from their non-magnetic side minerals as much as their liberations allow (Davis, 1955). Although the device which consists of a glass tube and motion motor placed between the electromagnetic poles is called an analyzer, it can also be used as a wet magnetic separator, and the obtained results can be applied to industrial devices with correction factors (Murariu and Svoboda, 2003;

Arol and Aydogan, 2004; Sivrikaya and Arol, 2012). Regardless of the application area, one of the most effective methods of magnetic separation, especially on small amount of samples (<20 g), is again the Davis tube device (Safarik, et al. 2001).

The most comprehensive study on Davis tube working parameters was conducted by Schulz (1964). It was noted that the water flow rate had no significant effect on the magnetic separation characteristic at water flow rates up to 1000 l/min. In subsequent studies, it was again studied in a narrow range and similar results were obtained at low water flow rates (Ahmed, 2010; Hafez, 2012).

In this study, Davis tube studies were conducted with two different type of iron ore, and unlike other studies, the answer to the question of what changes will occur on Fe grade and recovery if there are dramatic changes in water flow rate and solid ratios were investigated.

MATERIAL and METHOD

In the experiments, samples with low and high magnetite content obtained from Gölveren (A) and Bala (B) iron deposits located around the capital Ankara were used. The reason for selecting these deposits is to examine the relation of the change in the magnetite content of the sample with the water flow rate.

Samples A and B contain both magnetite and hematite in their structure, which can show fine hematite-magnetite transition zones. As shown in Table 1, sample A contains 31.85% magnetite, while sample B contains 62.12% magnetite.

The total iron content of the samples ($Fe^{2+}+Fe^{3+}$) is 55.50% and 45.60% respectively. The satmagan results of the samples show that about half of the Fe content of sample A ($31.85 \times 0.72 \approx 23\%$ Fe), and almost all of the sample B ($62.12 \times 0.72 \approx 44.73\%$ Fe) may have been caused by magnetite.

Iron analysis of the products obtained in the experiments was performed by aqua regia solution and titration. The magnetite content of the samples was analyzed with the Rapiscan Model Satmagan device.

Mineral liberation analysis (MLA) was performed with FEI Quanta 400 MK2 model SEM; Representative samples of each deposit, were first ground down to -150 μ m, and then wet

screened to obtain size fractions for SEM-MLA analyses. The modal mineralogical results of SEM-MLA analyses are given in Table 1.

Table 1. SEM-MLA analyses results of the samples A and B

Çizelge 1. A ve B numunelerinin SEM-MLA analiz sonuçları

Modal mineralogy								
Mineral	Mineral Content (%)							
	-150+75 µm		-75+45 µm		-45+20 µm		Average (-150+20 µm)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Magnetite	75,53	9,29	86,19	6,26	87,50	7,51	83,07	7,69
Gothite	10,53	-	7,38	-	6,90	-	8,27	-
Hematite	1,22	-	1,10	-	1,08	-	1,13	-
Mn- magnetite	0,12	59,51	0,12	80,58	0,26	81,41	0,17	73,83
Quartz	5,88	2,30	1,97	0,77	1,26	0,47	3,03	1,18
Garnet	1,09	0,65	0,77	0,23	0,55	0,30	0,80	0,39
Calcite	1,54	5,93	0,58	2,02	0,43	1,64	0,85	3,20
Pyrite	0,10	4,12	0,06	2,60	0,23	2,58	0,13	3,10
Others	3,99	18,20	1,83	7,54	1,79	6,09	2,55	10,61
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Mineral Liberation						
Mineral	Liberation (%)					
	Sample A			Sample B		
	-150+75µm	-75+45µm	-45+20µm	-150+75µm	-75+45µm	-45+20µm
Magnetite	75,58	80,58	82,49	54,56	50,88	51,04
Mn-magnetite	24,91	56,56	69,95	89,06	89,05	87,49
Hematite	55,67	56,66	55,15	-	-	-
Gothite	31,69	32,32	35,86	-	-	-

Elemental Distribution of Minerals		
Element-Mineral	Sample A Avarage (-150+20 µm)	Sample B Avarage (-150+20 µm)
Fe		
Magnetite	89,99	9,79
Mn- magnetite	0,16	84,50
Others	9,85	5,71
Total	100,00	100,00
Si		
Quartz	66,65	55,55
Garnet	6,27	6,98
Others	27,08	37,47
Total	100,00	100,00
Ca		
Calcite	41,50	52,63
Others	58,50	47,37
Total	100,00	100,00

The most remarkable detail in Modal Mineralogy results is to obtain different results with satmagan. The main reason for this is the presence of hematite and goethite in sample A, especially when goethite is eliminated from the sample by 20 μm due to its fine size during wet screening, so that other mineral ratios are detected at a high rate during analysis. This situation shows itself better, especially in the results of elemental distribution. During the preparation phase of the A sample, goethite and hematite are eliminated at -20 μm and the mineral magnetite contributes the most to the Fe content.

This problem, which is frequently encountered in limonite or clay abundant samples in MLA analyses, can be overcome by performing modal analysis on magnetite ores with a satmagan device. In this study, satmagan and Fe analysis values were taken into account.

Sample A and Sample B liberation at -45+20 μm fraction were determined as 82,49% and 87,49%, respectively. For this reason, the samples were milled to be $d_{80}:45 \mu\text{m}$ for Davis tube tests.

The Davis tube device with an internal diameter of 2,2 inches was used in the experiments. Other parameters besides water flow rate were kept constant (agitation frequencies: 72 cycles/min, tube position: 30° from horizontal, stroke length: 50 mm, rotation degrees: 73°). The water flow rate was adjusted by peristaltic pump connected to the water tank. The selected water flow rates are 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 l/min and 4,5 l/min, which is the upper limit, respectively, and the amount of solids used at each water flow rate is changed from 20 g to 60 g. All experiments were conducted in two sets for a test time of 5 and 10 minutes.

In the experiments, the magnetic field intensity to be applied to the samples was determined by preliminary tests. Experiments were conducted at operating parameters (1000 l/min water flow rate, 10 minutes test time and 30 g solids) in accordance with the device's user manual, and 3000 and 2000 Gauss were selected for the A and B samples, respectively, where the grade and recovery given in Table 2 began to be fixed.

Table 2. Determination of magnetic field intensity to be applied for A and B samples

Çizelge 2. A ve B numuneleri için uygulanacak manyetik alan şiddetinin belirlenmesi

Magnetic Field Intensity (Gauss)	A		B	
	Fe %	Recovery%	Fe %	Recovery%
1000	70,00	5,33	62,65	84,18
2000	70,15	57,69	62,75	86,31
3000	69,70	70,47	63,80	86,44
4000	71,25	71,25	62,85	86,85
5000	69,45	69,51	63,00	86,95

RESULTS

The recovery-water flow rate change for sample A with low magnetite content is shown in Figure 1. As the water velocity increases for each solid quantity, the recovery decreases with an exponential function. The reason for the formation of exponential curves is that the recovery values decrease faster than 0,5 l/min to 3 l/min, and the decrease in recovery slows down after 3 l/min. Although a decrease in Fe recovery is expected at high water flow rates, it is noteworthy that increasing the flow rate from 0,5 l/min to 1,0 l/min reduces Fe recovery by up to 5%.

Higher recovery values were obtained in high solid amounts, and lower recovery values were obtained in low solid amounts. Since the recovery change for each flow rate is very close, the recovery-solid ratio curves were parallel to each other at varying water flow rates. As solid amounts increase, the recovery values show linear increases exceeding 7%, regardless of the water flow rate (at each studied flow rate).

The results obtained with the magnetite-dense B sample are given in Figure 2. As the water flow rate increases, the recovery decreases with an exponential function, but this is slower than the A sample with hematite. The increase in recovery values as the amount of solids increases and the formation of curves parallel to each other indicate that the same trend is achieved with the other sample.

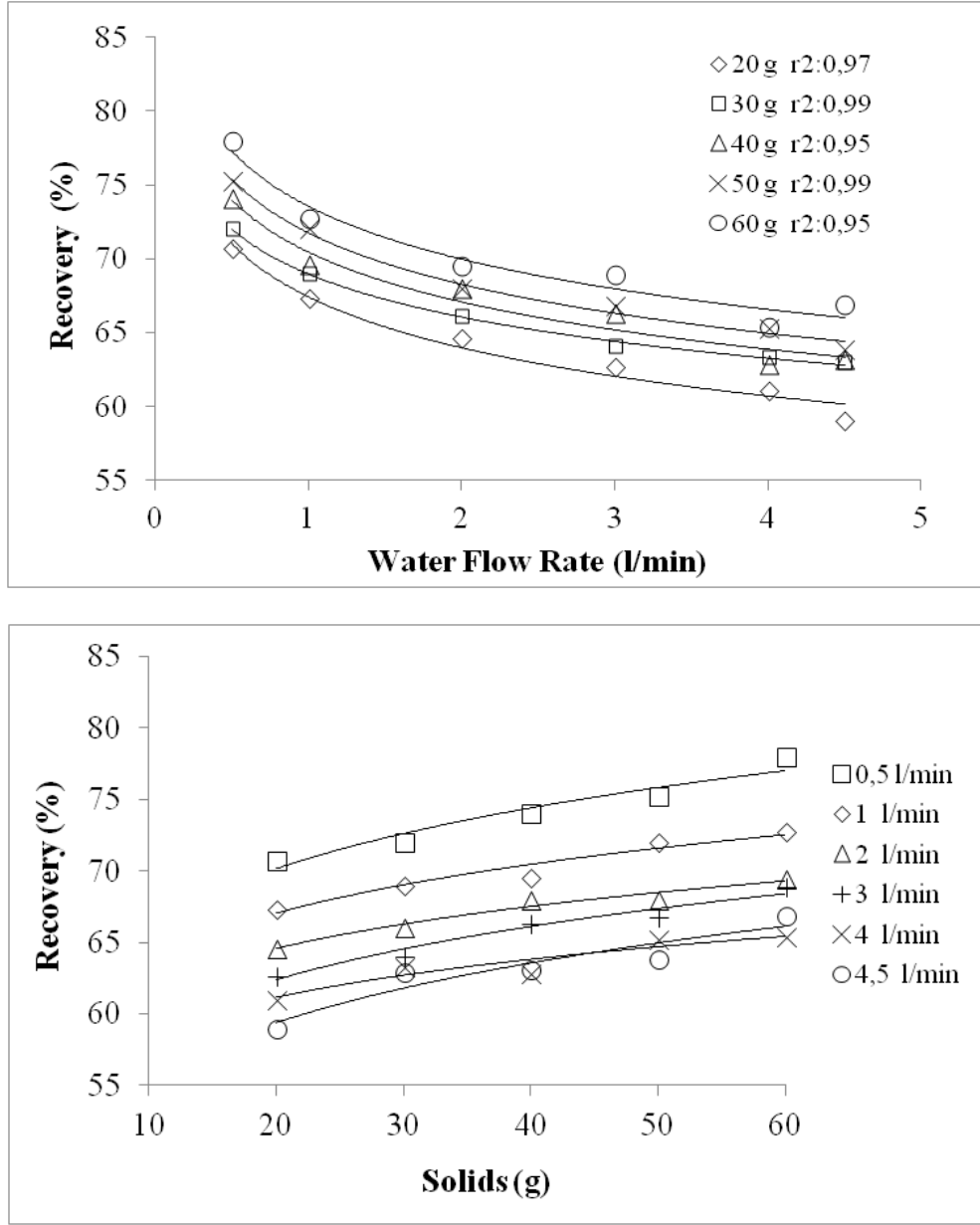


Figure 1- Recovery-water flow rate and recovery-solid changes in increasing solids for sample A

Şekil 1. A numunesi için artan katılarda geri kazanım suyu akış hızı ve geri kazanım katı değişiklikleri

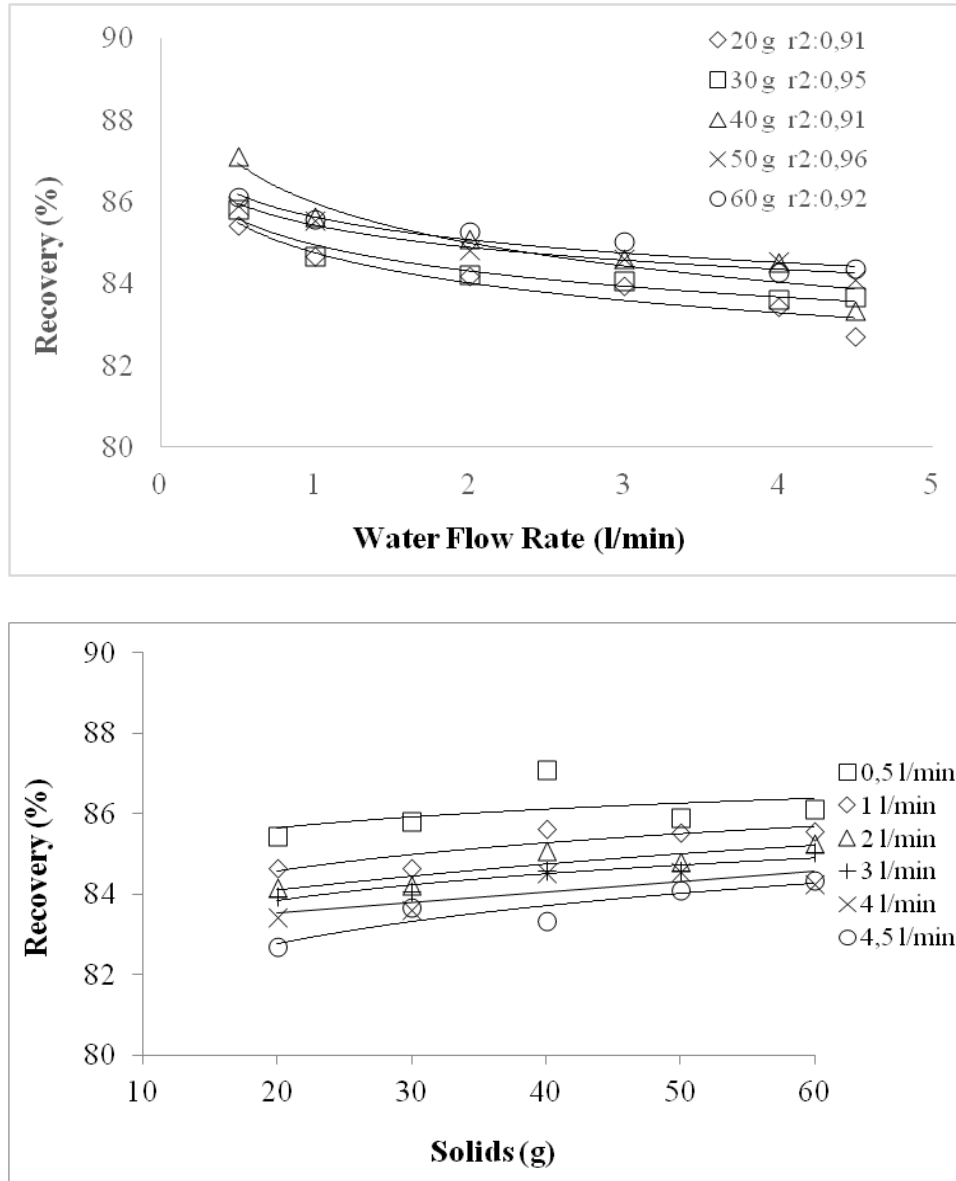


Figure 2- Recovery-water velocity and recovery-solid changes in increasing solids for sample B

Şekil 2. B numunesi için artan katılarda geri kazanım-su hızı ve geri kazanım-katı değişiklikleri

Although a decrease in recovery is expected at high water flow rates for both samples, when the flow rate increases from 0,5 l/min to 1,0 l/min, a decrease in recovery exceeding 5% is observed. Changes in grade values are shown in Figure 3 and Figure 4 for samples A and B. In either way, no significant trend was observed in the grade with the increased water flow rate or the amount of solids, the 70% Fe band for A and the 63% Fe band for B were retained in all cases.

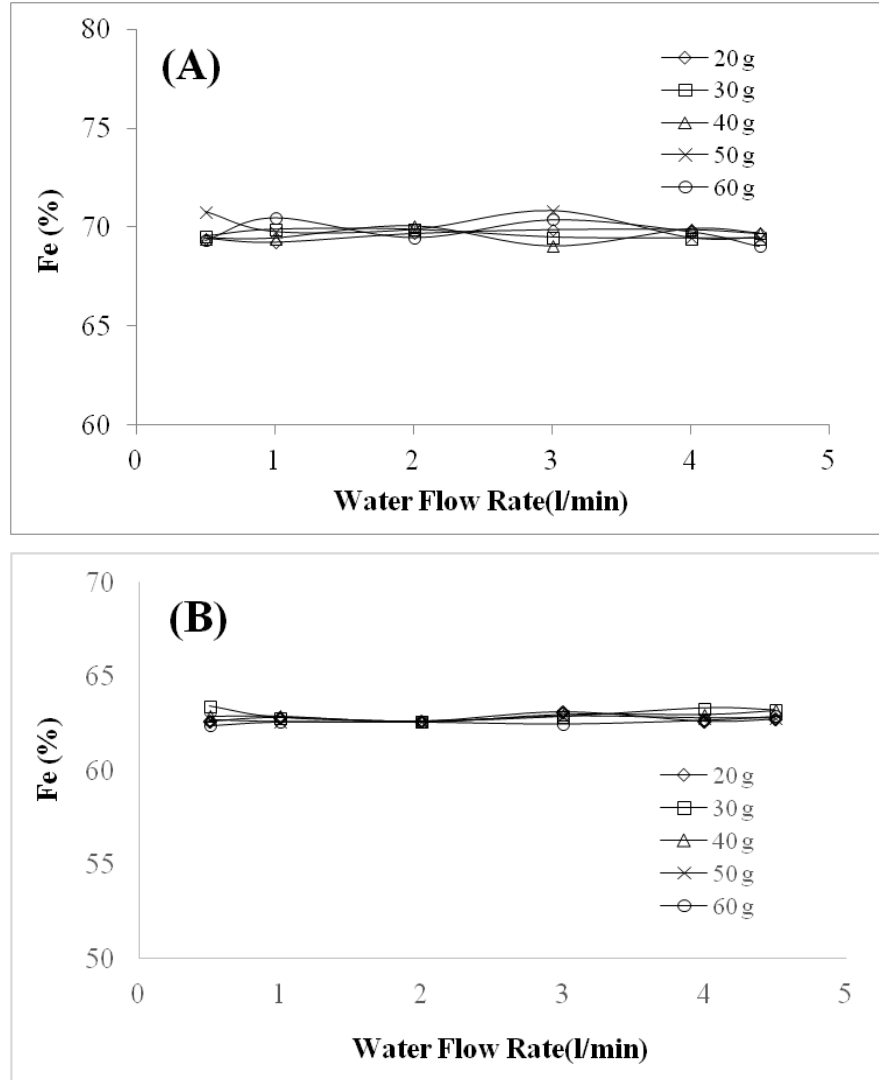


Figure 3- Grade changes for increased water velocity and solid ratios for A and B samples
 Şekil 3. A ve B numuneleri için artan su hızı ve katı oranları için derece değişiklikleri

DISCUSSION

The following results were obtained in Davis tube experiments regarding increased water flow rates and solid amounts.

Fe recovery decreases as water flow rate increases:

The decrease in recovery occurs faster between 0,5 l/min and 3 l/min, after this point it decreases more slowly at high water flow rates such as 4-4,5 l/min. Therefore, exponential changes in Figures 2 and 4 are obtained. The decrease in recovery as the water flow rate increases is actually an expected result. The particles normally held in the magnetic field cannot resist the high flow

rate and are separated from the magnetic field, thus the solid amount held in the magnetic part decreases, which naturally reduces the recovery of iron.

The same results were obtained in both low and high magnetite samples, but more pronounced in the low magnetite sample (A). Since hematite is also present in this sample, it can be said that the resistance of magnetite to high water flow rates is further reduced by the presence of hematite, or that the particles that first move away from the environment with high water flow rate may be magnetites with hematite. A similar effect is observed in sample B with high magnetite content, but less than in sample A.

The increase in the water flow rate from 0,5 l/min to 1,0 l/min, which is relatively low flow rates without reaching values such as 3 l/min, affects the Fe recovery values. Thus, Davis tube studies show that ensuring constant water flow rate has an effect on recovery rather than grade.

Higher Fe efficiency is achieved in Davis tube experiments as the amount of solids increases:

The relationship between solid amount and recovery is linear and valid for every applied water flow rate, regardless of the water flow rate. As the amount of solid increases iron recovery increases. It is due to the proportional increase in the weight of the magnetic part, and the grade values remains the same. This is related to device capacity, in other words, the region of magnetic concentration.

The grade of the magnetic part does not change:

Although increasing the water flow rate or the solid amount affects the recovery, it does not cause a significant change in the magnetic product grade.

RESULTS

The results indicated that magnetic particles, which can be kept at normal water flow rates in the Davis tube tests, can escape to the tailings when the water flow rate increases. As the water flow rate increases, the Fe recovery decreases, which is observed for every water flow rate increase from 0,5 l/min to 4,5 l/min. However, the increase in water flow rate does not affect the magnetic product grade.

The amount of solid to be used in the Davis tube test must be selected according to the device's magnetic concentration holding capacity. The usage of more or less samples than necessary affects Fe recovery just like the water flow rate, but not the grade.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out in the laboratory facilities of General Directorate of Mineral Exploration and Research (MTA) and Technology Department (MAT). As the authors, we would like to express our sincere gratitude and for his technical support to Dear Gurbet Guler GURKAN, Dear Emre Can DÜNDAR and for the sample providing to Dear Mustafa MERCAN.

REFERENCES

- Ahmed M. M. 2010. Statistical design application and analysis of separation efficiency in Davis tube tester, *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*, Vol. 38, No. 4, pp. 1047-1058
- Arol A.I., Aydogan A. 2004. Recovery enhancement of magnetite fines in magnetic separation, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 232, 151–154
- Davis, E.W. 1955. Pioneering with Taconite: The Birth of a Minnesota Industry, 269-283, *Minnesota Historical Society Press*, 2004.
- Hafez G.S.A. 2012. Optimization of the operating parameters affecting Davis tube magnetic tester using 2nd factorial design, *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*, Vol. 40, No. 4, pp.1217-1231
- Murariu, V., Svoboda, J. 2003. The applicability of davis tube tests to ore separation by drum magnetic separators, *Physical Separation in Science and Engineering*, 12, 1, pp. 1–11.
- Safarik, I., Mucha, P., Pechoc, J., Stoklasa, J., Safarikova, M., 2001. Separation of magnetic affinity biopolymer adsorbents in a Davis tube magnetic separator, *Biotechnology Letters* 23: 851–855, 2001.
- Sivrikaya, O., Arol, A. I. 2012. Evaluation of low grade iron ore deposit in Erzincan-Turkey for iron ore pellet concentrate production
- Schulz, N.F., 1964. Determination of the magnetic separation characteristics with the Davis Magnetic Tube, *Trans. SME-AIME*, 229, 211–216.
- Svoboda, J, 2004. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*, Kluwer Academic Publishers



Açık Maden İşletmelerinde Uygulanan Hava Kalitesi Modelleme Çalışmasının Önemi: Karaisalı Bölgesi Kuvarsit Ocakları (Adana)

Importance of Air Quality Modeling Study in Open Mines: Karaisalı (Adana) Region Quartzite Open Pit

Nil YAPICI^{1*}, Mustafa YILDIZELİ², Hakan GÜNEYLİ³

^{1*} Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

² M.O.S.K TİC.LTD.ŞTİ, Adana, Türkiye

³ Ç.Ü. Jeoloji Mühendisliği, Bölümü Türkiye

Geliş (received): 06.09..2021 Kabul (accepted): 13.10.2021

ÖZ

Bu makalede, Adana İli, Karaisalı İlçesi, Çevlik mahallesinde bulunan kuvarsit ocaklarına ait hava kirliliğinin (emiyon değerleri dikkate alınarak) kümülatif etkileri AERMOD hava kirliliği dağılımı programı kullanılarak modellenmiştir. N34-a1 paftasında, birbirine yakın konumlarda ruhsatlandırılmış 7 adet kuvarsit ocağı bulunmaktadır. Delme-patlatma işlemi ile malzeme alımı gerçekleştiren mevcut ocaklardan kaynaklanabilecek olası tüm etkiler, sosyal ve çevresel riskler açısından değerlendirilmeler yapılmış olup, çevresel parametreler göz önüne alınarak etki alanları belirlenmiştir. Modelleme çalışmasında 4kmx4km'lik (16 km²) bir alanda AERMOD hava kalitesi modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan kütleli emiyon debilerinin yönetmelikte verilen sınır değerleri (1 kg/saat) aştığı saptanmıştır. Buna göre yapılan hava kalitesi model çalışmaları sonucunda; Senaryo 2 (Kümülatif) faaliyetlerinden kaynaklı PM10 ve çöken toz emiyonu değerlerine göre; Çalışma alanı içerisinde toplam 9 kez 50 µg/m³ değer aşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Hava Kalitesi Dağılım Modeli, SKHKK

Nil YAPICI nyapici@cu.edu.tr

^{1*} Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

ABSTRACT

In this article, the cumulative effects of the air pollution (taking into account the emission values) of the quartzite quarries located in Adana Province, Karaisalı District, Çevlik neighborhood are modeled using the AERMOD air pollution distribution program. There are 7 licensed quartzite quarries in close proximity to each other on the N34-a1 sheet. All possible effects, social and environmental risks that may arise from the existing quarries that purchase materials by drilling-blasting process have been evaluated, and the impact areas have been determined by considering environmental parameters. In the modeling study, AERMOD air quality modeling study was carried out in an area of 4kmx4km (16 km²). It was determined that the calculated mass emission flow rates exceeded the limit values (1 kg/hour) given in the regulation. As a result of the air quality model studies; according to PM10 from Scenario 2 (Cumulative) activities and the precipitating dust emission values, a value of 50 µg/m³ was exceeded 9 times in Working Area.

Keywords: Air Pollution, Air Quality Dispersion (Distribution) Model, SKHKKY

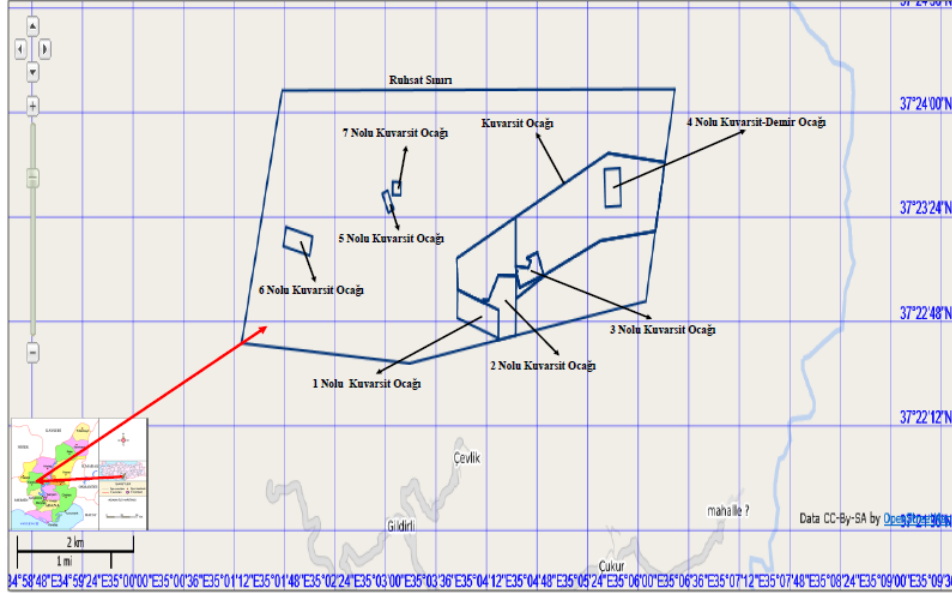
GİRİŞ

Endüstriyel veya diğer kaynaklardan meydana gelen kirleticilerin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini ölçebilmek ve tanımlayabilmek için hava kirliliği modelleme sistemleri kullanılabilir. Dağılım modelleri emisyonların kaynağından kilometrelerce uzaklığa kadar değişimlerini modelleyebilir. Atmosfer olaylarını, hava kirleticilerinin atmosferdeki fiziksel ve kimyasal hareketlerini, reaksiyonlarını, bozunmalarını ve yoğunluklarını matematiksel olarak hesaplayabilir (Demirarslan ve diğ., 2008).

Hava kirliliği dağılım modellemeleri uygulanırken, hava kirleticilerinin atmosfer içerisinde dağılımının nasıl olduğu, matematiksel olarak simüle edilebilir. Burada yapılan işlem, geliştirilen bilgisayar programları ile kirleticilerin matematiksel eşitliklerinin ve algoritmaların çözülmesidir. Tüm bunları yaparken kaynak bilgileri, tüm emisyon bilgileri, meteorolojik veriler, yeryüzü şekilleri gibi parametreler kullanılmaktadır (Demirarslan ve diğ., 2008).

Çalışma sahasında üretilen cevher, kuvars arenit bileşimli sedimanter kumtaşlarıdır. Adana İli, Karaisalı İlçesi, Çevlik Mahallesi mevkiinde, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG)'nden 'Kuvarsit ocağı' olarak ruhsatlandırılmıştır. Ruhsatlı bölgede 7 adet ocak bulunmaktadır (Şekil 1).

Çalışmada ruhsat alanlarının olası emisyon kaynaklarından çıkarılacak partikül madde miktarlarının sosyal ve çevresel riskler açısından değerlendirilmeleri yapılmıştır. Emisyon faktörlerine göre oluşacak toz emisyonunun hesaplanması yapılmış ve AERMOD View AERMOD hava kirliliği dağılımı modeli 2 ayrı seneryo dahilinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Yer bulduru ve ocakların konum haritası

Figure 1. Location map of the quarries

MATERYAL VE METOD

Hava kirliliğinin kümülatif etkileri, lisanslı olarak kullanılmakta olan “Lakes Environmental AERMOD View” dağılım modeli üzerinden yapılmıştır. AERMOD View AERMOD hava kirliliği dağılımı modeli aşağıda belirtilen dört değişik veri türünü kullanmaktadır:

- Rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, sıcaklık, Pasquill kararlılık sınıfı, karışma yüksekliği, (kullanıcının seçimine bağlı) rüzgâr profili eksponenti ile potansiyel dikey sıcaklık farkını içeren saatlik meteorolojik veri seti,
- Alıcı ortam olarak tanımlanan ağ sistemindeki her bir elemanın koordinatları ve yüksekliği,

- Kullanıcı tarafından saptanan bir başlangıç noktasına göre belirlenen kaynak koordinatları, kaynak yüksekliği, çapı, kirletici hızı, sıcaklığı ve debisini içeren kaynak verileri,
- Modelde ayrıca, kullanıcının tercihine bağlı birçok program kontrol parametresi bulunmaktadır.

Mevcut mevzuata göre sonuçların değerlendirilebilmesi için kullanılan kaynak 03.07.2009 tarih ve 27277 sayı ile Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren ve en son 20.12.2014 tarih ve 29211 sayı ile değişiklik yapılan “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü (SKHKK) Yönetmeliği’dir.

Açık işletme yöntemi ile alınan hammaddenin çevresel toz etkilerinin ortaya çıkarılması amacı ile emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Oluşacak toz emisyonunun hesaplamasında kullanılan emisyon faktörleri kaynaklara göre Çizelge 1’de verilmiştir. İşletmede üretim boyunca üretim, yükleme, stok sahasına taşıma, stok sahasına boşaltma, stok sahasında depolama, stok sahasından kamyonlara yükleme, kırma-eleme tesisine taşıma ve bunkere boşaltma işlemleri yapılacaktır. Ocaktan malzemenin yüklenmesi, nakliyesi ve boşaltılması sırasında oluşabilecek toz emisyonu için hesaplar yapılmıştır. Bu aşamalarda oluşabilecek toz emisyonları; üretim miktarı, çalışma alanının genişliği ve işin boyutu ile doğru orantılıdır. Sahada üretimi gerçekleştirilecek kuvarsitin %1’i pasadır. Geriye kalan %99’luk kısım kuvarsittir. Bölgedeki kuvarsit ocağı ruhsatlı alanlar, Karahamzauşağı fm, Demirkazık fm ve Yavça fm’lerinin kumtaşı, kuvarsit içerikli birimlerini kapsamaktadır (Şekil 2). Elde edilecek kuvarsit hammaddesi Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı fm. içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3). Başlıca killi kireçtaşı, kireçtaşı, kuvarsit, bütümlü şeyl, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan birim ilk olarak Ünlügenç (1986) tarafından isimlendirilmiştir. Schmidt, 1961, Ünlügenç, 1986 tarafından bölgesel koralasyona dayanılarak birimin yaşının Permo-Karbonifer olması gerektiği ifade edilmiştir. Karahamzâuşağı formasyonu paleotopografik yükseltilerde ince olarak çökelen Jura-Üst Kretase yaşlı Demirkazık kireçtaşınınm derin bir şekilde aşınmasıyla yüzeylemiştir (Ünlügenç, U.C. ve Demirkol, C., 1988). Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı formasyonuna ait kuvarsit, kuvars arenit bileşimli hammadde ruhsatlı alanlardan elde edilen emisyon değerleri sonuçlarına göre 2 adet senaryo üretilmiştir.

Senaryo 1: Patlatma, Ocak ve diğer tesis-birimlerde gerçekleştirilecek faaliyetlere bağlı oluşacak emisyonların tamamının aynı anda gerçekleştirileceği göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda gerçekleştirilen senaryo dahilinde en yakın yerleşim birimlerinde ve en yakın hassas alanlarda meydana gelecek PM10 ve çöken toz yoğunluklarının yönetmelikte verilen sınır değerleri sağlayıp sağlamadığı değerlendirilmiştir.

Senaryo 2 (Kümülatif): Kümülatif etkiler arazi hazırlık, açık ocak madencilik faaliyetleri, depolama, kırma-eleme tesisi faaliyeti, patlatma, nakliye, stabilize yollardan ve diğer tesislerden kaynaklı oluşacak emisyon tamamının aynı anda gerçekleştirileceği göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Tüm yayılım değerlendirmeleri 'kümülatif toz emisyonu kapsamında' Senaryo 2'ye göre yapılmıştır. Senaryo kapsamında kullanılan emisyon kaynakları Çizelge 2' de verilmiştir.

Arazi Modelinin Oluşturulması

Emisyonların çevre arazilerde dağılımı incelenirken, topoğrafyanın emisyon dağılımındaki rolü büyük bir öneme sahiptir. Çalışma alanının topoğrafya bilgileri, NASA'ya ait SRTM V2 (Shuttle Radar Topography Mission) verileri kullanılarak modelin ön işlemcisi olan AERMAP modülü ile içe aktarılmıştır.

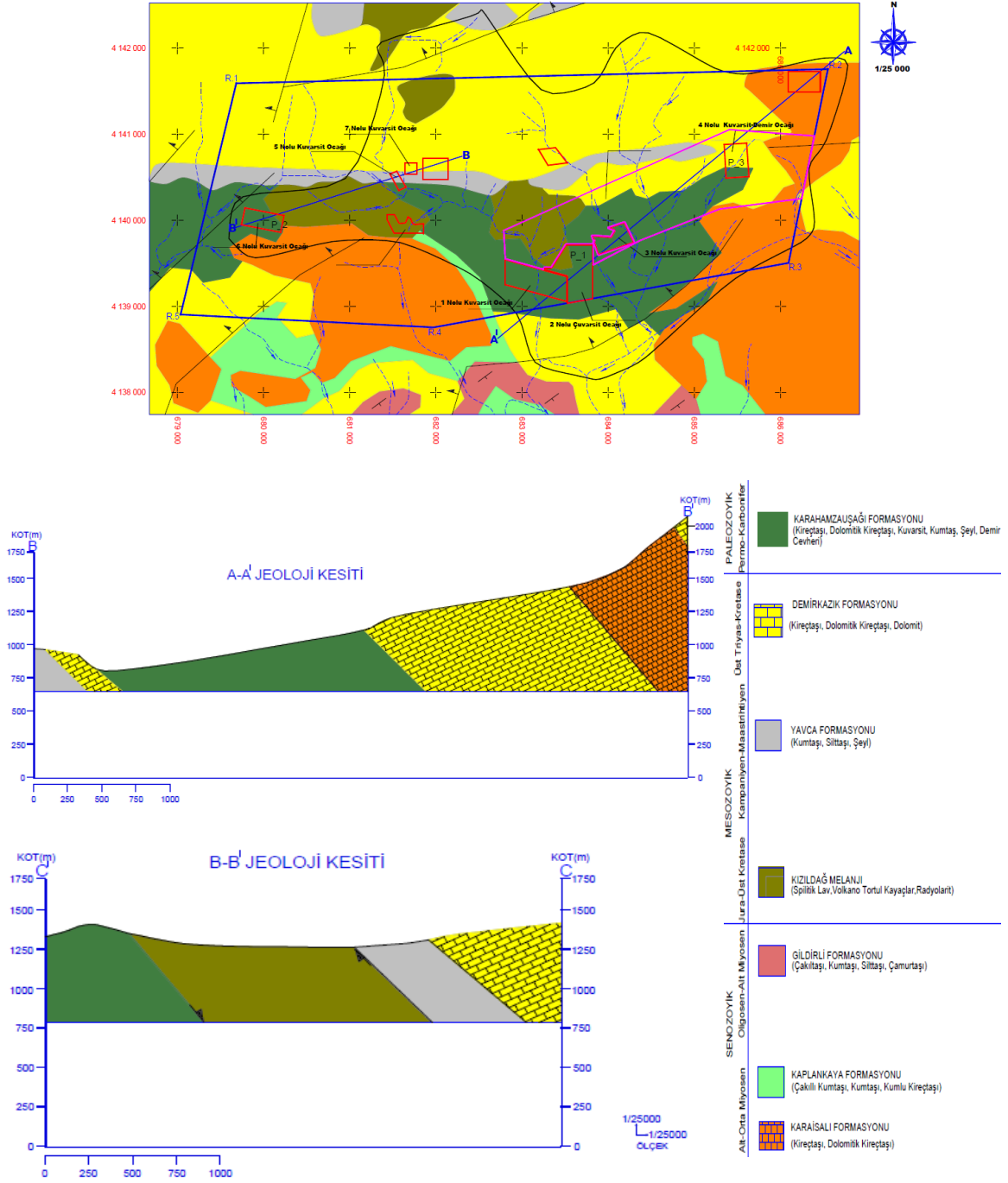
Meteorolojik Çalışma

Model dahilinde 365 günlük durum modellenmiştir. Bunun için her güne ait saatlik meteorolojik verilerin temin edilmesi gerekmektedir. Ancak yıllar bazında hâkim rüzgâr yönünde değişiklikler görülebilmektedir. Bu sebeple, modellemede kullanılacak temsili bir yılın belirlenmesi ve o yılın verilerinin kullanılması gerekmektedir.

Karaisalı Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan verilere göre 1965-2019 yılları arası ortalama nispi nem %59,6'dır. Yıllık ortalama kar yağışlı günler sayısı 0,42, yıllık ortalama kar örtülü günler sayısı 0,11, yıllık ortalama sisli günler sayısı 0,78, yıllık toplam dolulu günler sayısı 2,54, yıllık toplam kırağılı günler sayısı 0,42 gün olarak ölçülmüştür.

1965-2019 yılları arası yönlere göre yıllık rüzgârın esme sayıları toplamı 1. derece hâkim rüzgâr yönü SW (güneybatı), 2. derece hâkim rüzgâr yönü NE (kuzeydoğu), 3. derece hâkim

rüzgâr yönü N (kuzey), 4. hâkim rüzgâr yönü olarak da NW (kuzeybatı) olarak ölçülmüştür (Yıldızeli 2021).



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası ve kesitleri (Yetiş ve Demirkol, 1986'dan değiştirilerek).

Figure 2. Geological map and cross sections of the study area (modified from Yetiş and Demirkol, 1986).



Şekil 3. Kuvarsitlerin arazi görünümü
Figure 3. Field-photos of the quartzites

BULGULAR

Bu bölümde işletmede gerçekleştirilecek faaliyetlerin emisyon kaynakları, emisyon miktarlarının tespiti ve emisyonların çevre arazilerdeki yayılım dağılımının modelleme senaryoları incelenmiştir. Emisyon miktarları sonuçlarına göre modelleme senaryoları AERMOD programı tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı Doğu-Batı doğrultusunda 4 km ve Kuzey-Güney doğrultusunda 4 km mesafeyi kapsayacak bir bölgede belirlenmiştir. Buna göre toplam çalışma alanı 16 km²'dir.

Modellemede Kullanılan Emisyon Kaynakları ve Emisyon Miktarları

Karaisalı bölgesinde bulunan 7 adet kuvarsit ocağındaki tüm faaliyetlerden kaynaklı hesaplanmış olası toz emisyonları Çizelge 3'de detaylı gösterilmiş olup, hesaplanan saatlik kütleli debi (kg/saat) değerleri "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" Ek-2 Tablo 2.1'de verilen Normal işletme şartlarında ve haftalık iş günlerindeki işletme saatleri için verilen kütleli debi (Baca dışından) değerleri ile karşılaştırıldığında inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan saatlik kütleli debilerin yönetmelikte verilen sınır değerleri (1

kg/saat) aştığı görülmüştür. Emisyon miktarları, çalışmaların kontrollü ve kontrolsüz olarak yapılma esasına göre hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Oluşacak Toz Emisyonunun Hesaplanmasında Kullanılan Emisyon Faktörleri (SKHKKY, 2009).

Table 1. Emission Factors Used in Calculation of Emission to Be Occurred (SKHKKY, 2009).

Kaynaklar	Kontrolsüz	Kontrollü	Birim
Patlatma	0.080	-	
Sökme	0,0250	0,0125	
Yükleme	0,010	0,005	
Boşaltma	0,010	0,005	kg/ton
Birincil Kırıcı	0,2430	0,0243	
İkincil Kırıcı	0,5850	0,0585	
Üçüncül Kırıcı	0,5850	0,0585	
Nakliye (gidiş-dönüş toplam mesafesi)	0,70	0,35	kg/(km-araç)
Depolama	5,80	2,90	(kg-toz)/(ha-gün)

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde Ek-2 başlığı altında bulunan ‘Mevcut ve yeni kurulacak tesislerin bacalarından veya baca dışından atmosfere verilen emisyonların saatlik kütleli debileri, mevcut tesisler için bacalarda ölçülerek, baca dışından atmosfere verilen emisyonlar ile yeni kurulacak tesisler için emisyon faktörleri kullanılarak tespit edilir. Saatlik kütleli debi (kg/saat) değerleri verilen değerleri aşması halinde, tesis etki alanında emisyonların Hava Kirlenmesi Katkı Değeri (HKKD) mümkünse saatlik, aksi takdirde, günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplanır.’ ibaresine göre toz emisyonlarının HKKD değerinin hesaplanmaması için Hava Kalitesi Dağılım Model çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Modelleme Senaryoları

Modelleme çalışması sonucunda oluşabilecek hava kirliliğinin farklı durumlar altında 2 senaryo incelemesi yapılmıştır. Senaryo 2 tüm faaliyetleri kapsadığı için değerlendirilmeler Senaryo 2 sonucuna göre yorumlanmıştır.

Çizelge 2. Modelleme Çalışmaları Kapsamında Kullanılan Senaryolarda Yer Alan Emisyon Kaynakları (Yıldızeli 2021).

Table 2. Emission Sources Included in the Scenarios Used in the Scope of Modeling Studies (Yıldızeli 2021).

Senaryo	Arazi Hazırlık Aşaması	Açık Ocak İşletmeciliği	Depolama	Kırma-Eleme Tesisi	Patlatma	Stabilize Yollar	Diğer Tesisler
1	X	X	X	X			
2	X	X	X	X	X	X	X

Sonuç olarak açığa çıkacak toz emisyonlarının 1 yıllık sürede tamamının aynı anda gerçekleştirileceği göz önünde bulundurularak; en yakın yerleşimlerde ve hassas alanlarda günlük PM10 sınır değeri olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini aşma söz konusu olmamış ancak çalışma alanı içerisinde 2 noktada (çalışma yapılan toz kaynağı merkez noktasında) günlük PM10 sınır değeri olan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini aşma gerçekleşmiştir (Çizelge 4).

Senaryo 2 (Kümülatif)-Yıllık Partiküler Madde (PM10) Dağılımı (UVD) a göre; çalışma alanı içerisinde (çalışma yapılan toz kaynağı merkez noktasında), en yakın yerleşimlerde ve hassas alanlarda yıllık PM10 sınır değeri olan $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerini aşma söz konusu olmamaktadır.

Senaryo 2 (Kümülatif)-Aylık Çöken Toz Dağılımı (KVD)'na göre; çalışma alanı içerisinde (çalışma yapılan toz kaynağı merkez noktasında), en yakın yerleşimlerde ve hassas alanlarda aylık çöken sınır değeri olan $390 \text{mg}/(\text{m}^2\text{-gün})$ değerini aşma söz konusu olmamaktadır.

Senaryo 2 (Kümülatif)-Yıllık Çöken Toz Dağılımı (UVD)'na göre; çalışma alanı içerisinde (çalışma yapılan toz kaynağı merkez noktasında), en yakın yerleşimlerde ve hassas alanlarda yıllık çöken sınır değeri olan $210 \text{mg}/(\text{m}^2\text{-gün})$ değerini aşma söz konusu olmamaktadır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma ile, Adana ili Karaisalı ilçesinde bulunan 7 adet kuvarsit hammadde ruhsatlı alanda gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri sırasında oluşabilecek toz emisyonlarının hava kirliliğine etkisi incelenmiştir. İşletmede üretim boyunca üretim, yükleme, stok sahasına taşıma, stok sahasına boşaltma, stok sahasında depolama, stok sahasından kamyonlara yükleme, kırma-eleme tesisine taşıma ve bunkere boşaltma sırasında oluşacak emisyon kaynakları belirlenmiş ve miktarları hesaplanmıştır. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin

Kontrolü Yönetmeliği'nde bulunan normal işletme şartlarında ve haftalık iş günlerindeki işletme saatleri için verilen kütleli debi (Baca dışından) değerleri ile karşılaştırıldığında inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan saatlik kütleli debilerin yönetmelikte verilen sınır değerleri (1 kg/saat) aştığı görülmüştür (Çizelge 3). Bu durumda yapılan hava kalitesi model çalışmaları sonucuna göre; Senaryo 2 faaliyetlerinden kaynaklı PM10 ve çöken toz emisyonu değerlerine göre; Çalışma Alanı İçerisi 1' de 8 kez Çalışma Alanı İçerisi 2' de 1 kez 50 µg /m³ değer aşılmıştır. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği' ne göre 50 mikrogram/metreküp sınır değeri bir yılda en fazla 35 kez aşılabılır. Çalışmada bu değer 9 kez aşılmıştır. Yani yönetmelikteki değer (35 kez) aşılmamıştır.

Çizelge 3. Ocakların faaliyeti sırasında oluşan ait Emisyon Kaynakları, Emisyon Miktarları ve AERMOD model girdileri

Table 3. Emission Sources, Emission Quantities and AERMOD model inputs generated during the operation of the quarries

Toz Oluşum Kaynakları	No	İşlem	Kontrolsüz Üretimde Oluşan Toz Miktarı	Kontrollü Üretimde Oluşan Toz Miktarı	Birimi	
Kırma-Elementesi ve Kurutma Ünitesi	1	T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü'nden 04.12.2014 Karar Tarihi ve 318 Karar Nolu ÇED Olumlu Belgesi bulunan mevcut İR:58130 Ruhsat Nolu Kuvarsit, Krom, Demir, Bakır ve Kurşun Ocağı, Kırma-Elementesi Kapasite Artırımı ve Kurutma Ünitesi projesine istinaden hazırlanan Nihai ÇED Raporundan alınan bilgilere göre patlatma faaliyeti ile mevcut 2 nolu kuvarsit ocağı dışındaki Ocak ve diğer tesis-ünitelerde gerçekleştirilecek faaliyetler	-	789,505	kg/sa	
Patlatma	2	Patlatma	4,79253	-	kg/sa	
			0,61443	-	gr/sn	
Kapasite Artışı Planlanan Kuvarsit Ocağı	Bitkisel Toprak	3	Bitkisel Toprağın Sökülmesi	0,0284375	0,0142187	kg/sa
		4	Bitkisel Toprağın Lodere Yüklenmesi	0,011375	0,005687	
		5	Bitkisel Toprağın Stok Sahasına Nakliyesi	0,0875	0,0437	
		6	Bitkisel Toprağın Stok Sahasına Boşaltılması	0,01137	0,00568	
		7	Stok Sahasında Bitkisel Toprağın Depolanması	0,2320242	0,1160121	
		Toplam (Bitkisel Toprak)		0,3707117	0,1853558	
		Açık İşletme Maden Üretimi		1,0	0,5	
	8	Kuvarsitin Kullanım Yerlerine Nakliyesi İçin Kamyona Yüklenmesi	3,50	1,75	kg/sa	
	9	Kuvarsitin Kullanım Yerlerine Nakliyesi İçin Nakliyesi				
	Toplam (Maden Üretimi)		4,50	2,25		
	Pasa	10	Pasanın Stok Sahasına Nakliyesi İçin Kamyona Yüklenmesi	0,010	0,005	kg/sa
		11	Pasanın Stok Sahasına Nakliyesi İçin Nakliyesi	0,04375	0,02187	
		12	Pasanın Stok Sahasına Boşaltılması	0,010	0,005	
13		Pasa Stok Sahasında Pasanın Depolanması	0,464	0,232		
Toplam (Pasa)		0,52775	0,26387			
Stabilize Yol	14	Nakliye	8,4	4,2	kg/sa	

AERMOD Model Girdileri						
Kaynak Kısaltmaları	Kaynak Kısaltma Açıklamaları	İşlem No	Kütleli Debi (kg/saat)	Kütleli Debi (gr/sn)	Alan (m ²)	Modele Girilen Kütleli Debi (gr/(sn.m ²))
MKKDBKKETKUR*	Mevcut Kuvarsit, Krom, Demir, Bakır ve Kurşun Ocağı, Kırma-Elementesi Kapasite Artırımı ve Kurutma Ünitesi	1	789,505	219,310	48701	0,0045032
PAT*	Patlatma	2	4,79253	479,25300	780	0,61443
B TSAH*	Bitkisel Toprağın Sıyırılması ve Arazinin Hazırlanması	3+4+5+6	0,0694	0,0193	46800	0,000004124
BTDA*	Bitkisel Toprak Depolama Alanı	7	0,11601	0,03223	9601	0,0000034
OCK*	Açık Ocak Alanı	8+9+10+11+12	2,281875	0,633854	46800	0,0000135
PSDA*	Pasa Depolama Alanı	13	0,2320	0,0644	19200	0,0000033542
NAK	Nakliye	14	4,20	1,17	1 km (gidiş-dönüş) (yol genişliği 5 m toplam yol alanı 1000x5=5000 m ²)	0,0002334

*Yıllık çalışma alanı girilmiştir. Model verisi olarak girilen yıllık çalışma alanları; Vaziyet planında koordinatları ile birlikte detaylı olarak verilen alanların (ocak alanı, bitkisel toprak stok alanı, pasa stok alanı vs. gibi) proje ömrüne bölünmesi ile elde edilen alanlardır.

Çizelge 4. Senaryo 2 faaliyetlerinden kaynaklı PM10 ve Çöken toz emisyonu değerleri (KVD: Kısa vadeli değer, UVD: Uzun vadeli değer).

Table 4. PM10 and Settling dust emission values from Scenario 2 activities (KVD: Short-term value, UVD: Long-term value).

YER	KÜMÜLATİF (SENARYO 2)				
	PM10			ÇÖKEN TOZ	
	KVD GÜNLÜK	Bir Yıl İçinde Aşılacak Gün Sayısı	UVD YILLIK	KVD AYLIK	UVD YILLIK
Çalışma Alanı İçerisi 1 [Y:682932.980; X:4139092.730]	60,43881	8	20,67098	21,13577	0
Çalışma Alanı İçerisi 2 [Y:683054.670; X:4139035.990]	54,6272	1	3,4676	8,5768	0
Çukur Mahallesi, Karahamzaşağı Mevkiinde Bulunan En Yakın Konut [Y:684188.160; X:4139314.210]	1,36204	Aşma Söz Konusu Değildir	0,02737	0,07080	0
Çevlik Mahallesine Bağlı En Yakın Konut [Y:683111.040; X:4138256.430]	13,84160	Aşma Söz Konusu Değildir	0,50926	0,99607	0
Çukur Mahallesi, Ayvacık Mevkiinde Bulunan En Yakın Konut [Y:686421.490; X:4139937.690]	0,02823	Aşma Söz Konusu Değildir	0,00064	0,01288	0,00585
Çevlik Mahallesine Bağlı, Kızıldağ Yaylasında Bulunan En Yakın Konut [Y:681774.100; X:4142130.910]	0,11528	Aşma Söz Konusu Değildir	0,00047	0,01323	0,00344
Çevlik Yaylasında Bulunan En Yakın Konut [Y:681192.500; X:4140490.240]	0,10277	Aşma Söz Konusu Değildir	0,00221	0,03855	0,01122
SKHKK YÖNETMELİĞİ EK-2; Tablo 2.2 Tesis Etki Alanında Hava Kalitesi Sınır Değerleri	24 saatlik (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz) 50 µg/m ³		Yıllık 40 µg/m ³	KVS 390 mg/(m ₂ -gün)	UVS 210 mg/(m ₂ -gün)

Bu durumda,

- Çalışma yapılan toz kaynağı merkez noktasında meydana gelecek toz oluşumunu azaltmak amacıyla savurma yapılmadan doldurma, boşaltma, yükleme esnasında ocak içi yollar sulanmalı, yaz aylarında sulama sayısı artırılmalıdır.
- Kırma tesisinde bantlarla taşıma sırasında bantların üstü kapatılmalı veya pülverize sulama yapılmalıdır.
- Nakliye sırasında kullanılan yolun kenarında bulunan tarım arazilerine hasar verilmemelidir.
- Kamyonlar üzeri açık sevk edilmemeli, kamyonların üzeri branda ile örtülmeli ya da cevher nemlendirilmeli, tesis içi yollar toprak olmamalıdır.
- Çalışma alanı yakın çevresinde yerleşim yerleri bulunduğundan faaliyet esnasında oluşacak taş fırlaması, toz emisyonu vb. çevresel etkilerin insanların beden ve ruh sağlığı üzerinde

olumsuz etkilememesi, can ve mal kaybına neden olmaması için tatil günlerinde ve gündüz zaman dilimleri dışında patlatma yapılmamalıdır.

- 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” hükümlerine uyulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Demirarslan, O., Çetin, Ş., Savaş, A. 2008. Hava Kirliliği Belirlemelerinde Modelleme Yaklaşımı ve Modelleme Aşamasında Karşılaşılabilecek Sorunlar, Çevre Sorunları Sempozyumu,322-334, Kocaeli
- Yetiş, C., Demirkol, C., 1986. Adana Baseni Batı kesiminin detay etüdü. MTA Rapor No: 8037, 187s. (yayımlanmamış).
- Ünlügenç, U. C., 1986, Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının Jeolojik İncelemesi, Ç. Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 77s., Adana.
- Ünlügenç, U.C. ve Demirkol, C., 1988, Kızıldağ Yayla (Adana) dolayının stratigrafisi, Jeoloji Mühendisliği, Sayı 32-33, s. 17-25, Ankara.
- Schmidt, G., 1961, VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü, Petrol Der. Yay. 6. 47 – 63, Ankara
- Yıldızeli, M., 2021., Geçitaş Madencilik İnş.Nak.San.Tic. IV. Grup S:58130 nolu Tesis Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, Ankara, 877 sf.
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. 06.06.2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmi Gazete (Değişik: RG-05.05.2009-27219).
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009. 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete (Değişik: RG-30.03.2010-27537, RG-10.10.2011-28080, RG-13.04.2012-28263, RG-16.06.2012-28325, RG-10.11.2012-28463, RG-20.12.2014-29211)



Dissolution of Uranium and Rare Earth Elements from a Low-Grade Phosphate Ore Using Different Acids

Farkli Asitler Kullanılarak Düşük Tenörlü Fosfat Cevherinden Uranyum ve Nadir Toprak Elementlerinin Çözündürülmesi

MAHMUT ALTINER^{*1}, SONER TOP², BURÇİN KAYMAKOĞLU³, OKTAY BAYAT¹

¹Department of Mining Engineering, Çukurova University, Adana 01330, Turkey

²Department of Nanotechnology Engineering, Abdullah Gul University, Kayseri 38080, Turkey

³Department of Materials Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana 01250, Turkey

Geliş (received): 02.08.2021

Kabul (accepted): 11.11.2021

ABSTRACT

Herein, it was aimed at determining the best leaching agent for extracting uranium (U) and rare earth elements (REEs) from a low-grade phosphate ore. Before leaching tests, the beneficiation of U and REEs contents in the raw ore were investigated by using the Falcon concentrator. The U content in the preconcentrated ore increased to 1629.66 ppm from 392 ppm with a recovery of 92% and the amount of REEs was found to be 747.20 ppm. These values suggested that the preconcentrated ore can be used as REEs source due to its content. It was then dissolved in different acid mediums at a temperature of 40 °C for 2 hours to evaluate the effect of HClO₄, CH₃COOH, H₃PO₄, HCl, and HNO₃ on the extraction of U and REEs. Among all leaching agents, the use of H₃PO₄ as the leaching agent suggested more promising results compared to others at the fixed experimental conditions. The influences of leaching temperature and acid concentration were also studied and the optimal experimental conditions to dissolve all of U and REEs from the ore are as follows: H₃PO₄ concentration of 4 M, temperature of 50 °C, time of 4 hours.

Keywords: Uranium, Rare Earth Elements (REEs), Acid Leaching, Phosphoric Acid

Mahmut ALTINER maltiner@cu.edu.tr

¹Department of Mining Engineering, Çukurova University, Adana 01330, Turkey

INTRODUCTION

Phosphate rock is listed as one of the most strategic raw materials depending on its supply risk versus economic importance (Commission 2017). It contains a considerable amount of uranium (U, 0.005 – 0.02%) together with rare earth elements (REEs, 0.05%) (Paschalidou and Pashalidis 2019). It is known that U recovery from a sedimentary phosphate rock was conducted on an industrial scale until the late 1990s. Since then, it has not been preferred to be used as U sources due to the decrease in the price of U (Steiner et al. 2020). Nowadays, the demand for U causes an increase in its price and it is expected that this demand will tend to grow in the near future. Furthermore, the recovery of U from phosphate ores is not only for economic reasons but also for the protection of human health (Haneklaus et al. 2017).

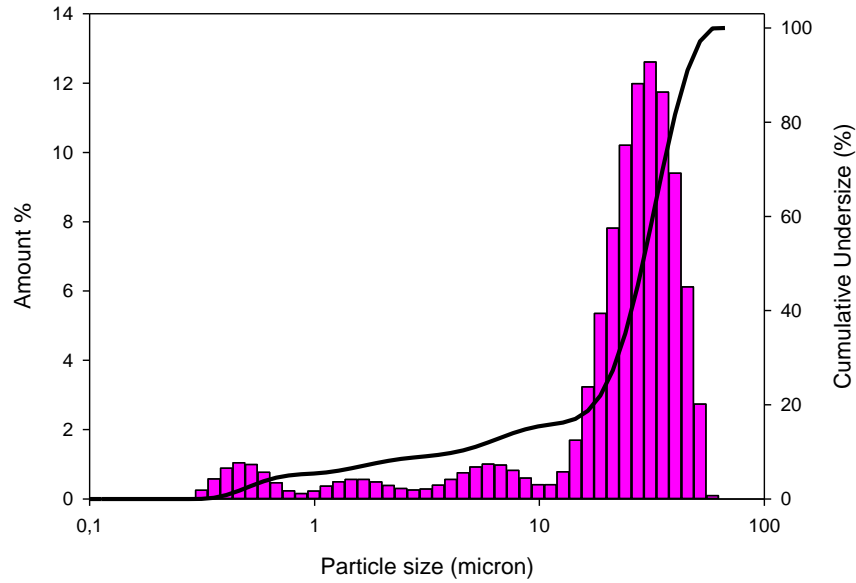


Figure 1. The particle size distribution of the sample prepared for use in the Falcon concentrator

Şekil 1. Falcon konsantratörü için hazırlanan numunenin tane boyut dağılımı

Many studies have been conducted to evaluate the potential of phosphate rocks in terms of their U content and import/export amounts (López et al. 2019, Tulsidas et al. 2019). The amount of U contained in phosphate rocks imported into the EU from different countries has been estimated and it can be concluded that a maximum of 334 t U can be recovered theoretically from those of resources if any beneficiation process is carried out since 2017. According to the study of Lopez et al. (López et al. 2019), domestic phosphate reserves in

Argentina have big potential due to their high U content (39 – 135 mg/kg) and their recovery may be economically feasible. Ulrich et al. (2014) suggested phosphate rock as an unconventional U source to provide a long-term U supply safely. These make it an important alternative and lead to an increase in the number of studies focusing on the evaluation of phosphate ores as an unconventional uranium source. For example; the extraction of U from a low-grade uranium ore prepared in different particle sizes was investigated by using bacteria-assisted leaching for 150 days. A decrease in the particle size led to an increase in the extraction recovery of U. This bioleaching process was explained by a diffusion-controlled kinetic model (Wang et al. 2019). Furthermore, Singh et al. (2016) reviewed numerous studies focusing on the recovery of U from phosphoric acid by using the solvent extraction process including different stages. A number of studies have been carried out on the recovery of REEs from phosphate rock and phosphogypsum (Shlewit 2010; Z.H. İsmail et al. 2015; Hammas-Nasri, et al. 2016; El-Mottaleb et al. 2016; Liang, et al. 2017; Lambert et al. 2018; Amine et al. 2019). Different leaching agents such as H_2SO_4 (Z.H. İsmail, et al. 2015; Hammas-Nasri et al. 2016; Liang et al. 2017; Battsengel et al. 2018), HCl (Shlewit 2010; İsmail et al. 2015; El-Mottaleb et al. 2016; Stone et al. 2016; Lambert; et al. 2018; Amine et al. 2019; Nie et al. 2019), HNO_3 (Bandara et al. 2016), H_3PO_4 (Soltani et al. 2019; Wu et al. 2019), NaCl treatment followed by Na_2CO_3 (Hammas-Nasri et al. 2019), and $HClO_4$ (Stone et al. 2016) were used for the recovery of U and REEs. When HNO_3 was used as a leaching agent for the extraction of REEs, better results were obtained compared with the use of H_2SO_4 or HCl as a leaching agent in the leaching test (İsmail et al. 2015). Similar results were observed in those of a previous study (Walawalkar et al. 2016).

Some pretreatment methods including mechanical grinding, ultrasonic impact, and resin-in-pulp were carried out to increase the extraction rate of REEs from the aforementioned sources and its rate increased to higher than 70% from 15% (Rychkov et al. 2018). Moreover, microwave pretreatment had a strong effect on the extraction rate and resulted in an increase in the leaching efficiency of REEs from phosphogypsum in HCl media by as much as 20% (Lambert et al. 2018). In another work, the REE content in the phosphate rock increased to 866.31 ppm from 161.82 ppm with a recovery of 55% via a gravitational separation method before the leaching test (Liang et al. 2018) and this makes the extraction of REEs from phosphate ores more profitable.

The purpose of this study was to investigate the extraction behavior of U together with REEs from a low-grade phosphate rock in the presence of different acids, individually. Before the leaching test, the U and REEs contents in the ore sample were upgraded by using the Falcon concentrator. The effects of acid concentration and temperature on the leaching test were also studied.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Materials

A 100 kg of the raw ore was collected from an east region of Turkey. The major content of the sample was determined by XRF (X-ray Fluorescence, MiniPal 4 Panalytical) and the detailed chemical analysis of the ore was carried out using ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer, Perkin Elmer NEXION 2000 P) after conducting HCl + HF + HNO₃ digestion followed by boric acid neutralization methods in a microwave digester (CEM, Mars 6) (Table 1). The X-ray diffraction (XRD) pattern of the sample obtained using a Rigaku Miniflex II diffractometer shows that the raw ore was mainly composed of calcite, quartz, and hydroxyapatite minerals. The loss on ignition (LOI) value of the raw ore determined using thermogravimetric analysis (TGA, Mettler Toledo TGA 3+) was found to be 20.23%, which is in good agreement with the high temperature-sensitive mineral contents found in the XRD analysis. All chemicals (HCl, H₃PO₄, CH₃COOH, HClO₄, and HNO₃) used in this study were of analytical grade and used without purification.

Table 1. The chemical composition of the sample used in this study
Çizelge. 1 Bu çalışmada kullanılan örneğin kimyasal içeriği

Chemical Composition (%)							
CaO	SO ₃	SiO ₂	CuO	MgO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	LOI
58.24	1.32	11.80	0.03	0.05	8.01	0.62	20.23
Uranium and Rare Earth Elements (REEs, ppm)							
Gd	Ce	La	Y	U	Dy	Er	Eu
9.65	35.01	51.20	120	392	4.01	4.1	0.62
Lu	Nd	Pr	Gd	Ho	Sc	Sm	Tb
0.15	11.33	2.68	9.65	0.25	12	2.15	0.54
Tm	Yb	Pm	Total REEs			Total (U+REEs)	
0.43	1.19	U.D	255.31			647.31	

Method

Pre-concentration of a phosphate ore

The ore samples were crushed using a jaw crusher and ground in a ball mill to obtain samples with a particle size (d_{100}) of 60 μm prior to enhanced-gravity separation tests. The representative sample from the ground ore was prepared by coning and quartering for each test and stored for use. The particle size distribution of the sample determined by Malvern Mastersizer 300U is seen in Figure 1. It is clear that the raw sample had a uniform particle size with Gaussian distribution ranging from 10 to 60 μm .

The pre-concentration of the raw sample was carried out using the Falcon L40 laboratory model concentrator (Sepro Mineral Systems, Canada), which is widely used for many purposes such as beneficiation of REEs (Filippov et al. 2016), nickel (Farrokhpay et al. 2019), copper (Kademli and Aydogan 2019), and tungsten ores (Foucaud et al. 2019). The working principle of the concentrator explained in detail by Farrokhpay et al (2019). The experimental conditions conducted in this study are listed in Table 2.

Table 2. Experimental conditions for the Falcon concentrator
Çizelge 2. Falcon konsantratörü için deney şartları

Experiment No	Rotary speed		Pressure (psi)
	Hz	G	
E1	35	60	2
E2	35	60	3
E3	40	78	2
E4	40	78	3
E5	50	123	2
E6	50	123	3

The slurry prepared with the mixing of 100 g ore and 2000 mL water was pumped into the Falcon concentrator via the pump at a flow rate of 0.5 L/min. After each test, light materials discarded from the bowl were identified as tailings, whereas heavy materials present in the equipment were pre-concentrate. Each product was dried, weighed, and dissolved in the Mars 6 microwave digester to determine the amount of U and REEs in the pre-concentrate by ICP-MS. The pre-concentration recoveries of these elements were calculated as follows:

$$PR = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100 \quad (1)$$

Where PR is the pre-concentration recovery (%), C is the weight of the pre-concentrate (%), c is the U or REEs contents in the pre-concentrate (ppm), F is the weight of the feed material (%), f is the U or REEs contents in the feed material (ppm).

Approximately 2000 g of the pre-concentrate sample was prepared at the optimal experimental conditions for use in a subsequent test.

Leaching of a pre-concentrate ore with different acids

The pre-concentrate ore obtained by the Falcon concentrator was leached using different acids at the fixed experimental conditions that were as follows: 300 rpm stirring speed, 2 M acid concentration, 40 °C temperature, 1:6 solid-to-liquid ratio, and 2 h reaction time. The leaching tests were performed in a 250 mL glass reactor equipped with not only temperature-controlled circulating water to stabilize the solution temperature but also a glass condenser to prevent evaporation. The slurry was stirred at 250 rpm by a magnetic stirrer. A required amount of sample was added into the reactor to provide the desired solid-to-liquid ratio of 1:6 when the solution temperature increased to 40 °C. The volume of the solution was kept as 150 mL.

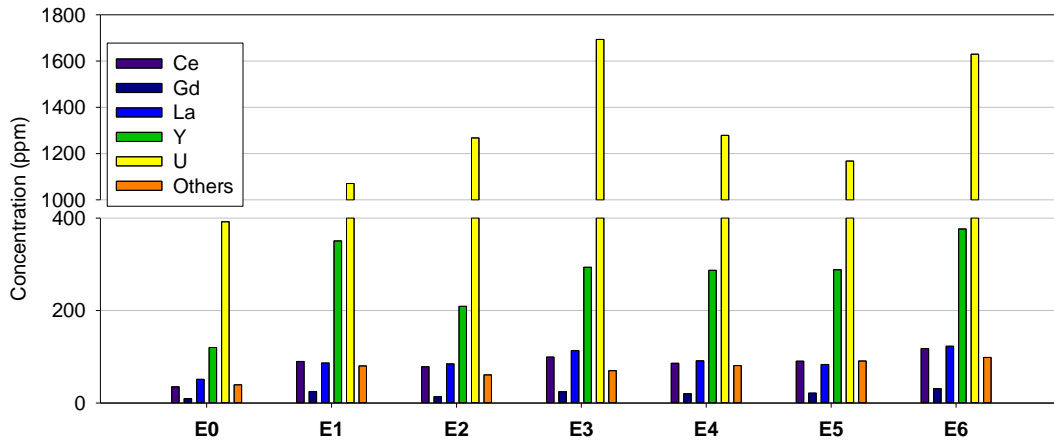


Figure 2. The distribution of U together with Ce, Gd, La, and Y in the pre-concentrated ore
 Şekil 2. Ön konsantre içinde U ile birlikte Ce, Gd, La ve Y dağılımları

Different acids (HCl, H₃PO₄, HNO₃, CH₃COOH, and HClO₄) were used to determine their effect on the extraction of U and REEs under the fixed leaching conditions. When the predetermined time was over, the reaction was completed. The leach residues were filtered through a Whatman 1 filter paper and washed four times with hot pure (distilled) water. The

solution obtained after each leaching test was diluted 100 times to analyze in ICP-MS. A blank solution was prepared to prevent possible experimental errors due to the possibility of U present in H_3PO_4 (Singh et al. 2016). The U and REEs extractions based on the analysis of leaching solutions were calculated by using the following equation.

$$ER (\%) = \frac{A}{B} \times 100 \quad (2)$$

Where ER is the extraction rate of U or REEs (%), A is the concentration of U or REEs in the leachate solution (ppm), B is the initial concentration of U or REEs in the pre-concentrate (ppm).

Considering all experimental results, the best leaching agent was selected and used in the following tests.

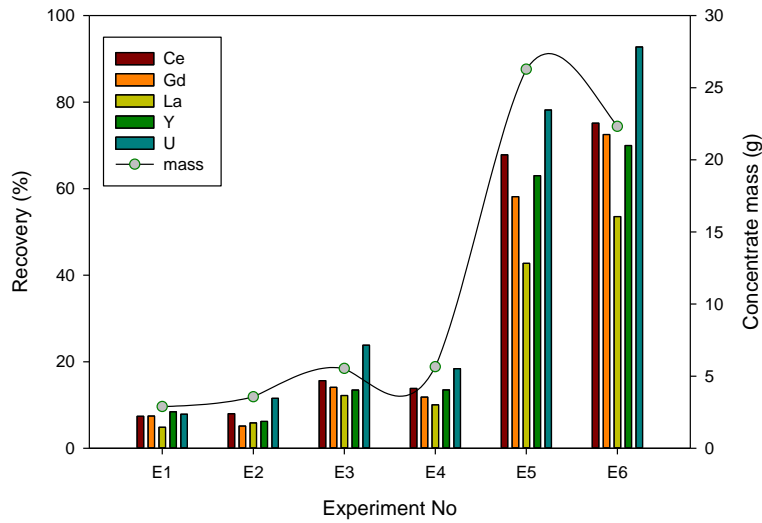


Figure 3. The recovery of U and REEs with mass changes in the pre-concentrated ore

Şekil 3. Ağırlık değişimi ile birlikte ön konsantredeki U ve REEs kazanımı

Leaching of a pre-concentrate ore with H_3PO_4

Among all leaching agents, H_3PO_4 was found to be the best leaching agent for this study. A series of leaching experiments were performed in the presence of different H_3PO_4 acid concentrations in a range of 1 – 4 M and the other parameters were kept constant as aforementioned. To demonstrate the effect of reaction temperature on the extraction behavior of U and REEs, three leaching tests were performed at a temperature of 20, 40, and 50 °C under the best experimental conditions, which were determined before. After each test, the

residue was filtered, dried, and dissolved using the same procedures and the extraction rates of U and REEs were calculated.

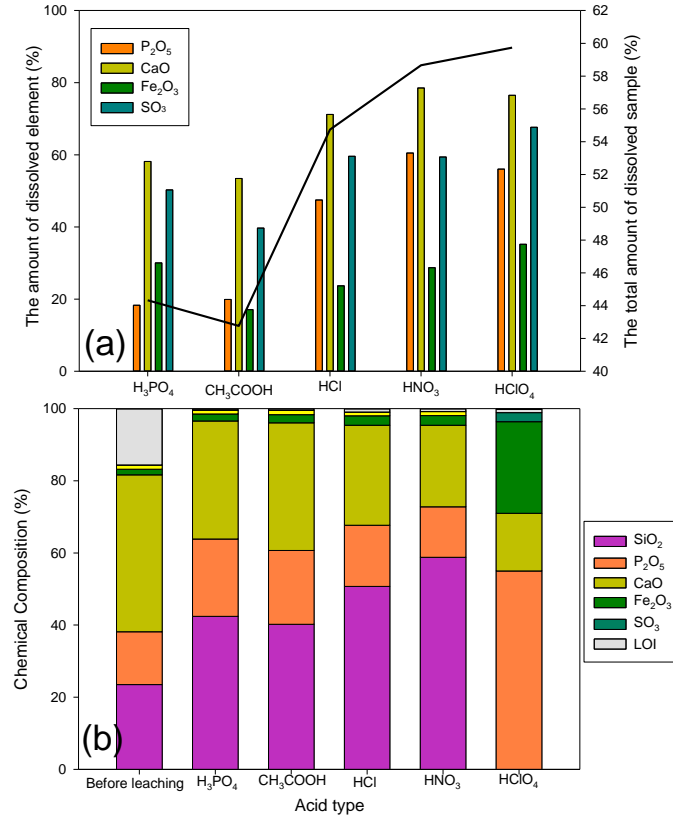


Figure 4. (a) The amount of dissolved major compounds from the preconcentrated ore and their weight losses (%) (b) The major chemical composition of the residues obtained after the leaching test (other parameters: 300 rpm stirring speed, 2 M acid concentration, 40 °C temperature, 1:6 solid-to-liquid ratio, and 2 h reaction time)

Şekil 4. (a) Ön konsantreden çözünen major element miktarı ve ağırlık kaybı değerleri (b) liç işlemi sonrasında geriye kalan kalıntınının major element içeriği (diğer parametreler: 300 dev/dk karıştırma hızı, 2 M asit konsantrasyonu, 40 °C sıcaklık, 1:6 katı-sıvı oranı ve 2 saat reaksiyon süresi)

RESULTS AND DISCUSSION

Pre-concentration test results using the Falcon concentrator

The effect of Falcon concentrator's working condition on the separation efficiency of U and REEs from a low-grade phosphate ore was investigated. Figure 2 shows U and REEs distributions of heavy materials obtained after applying the Falcon test.

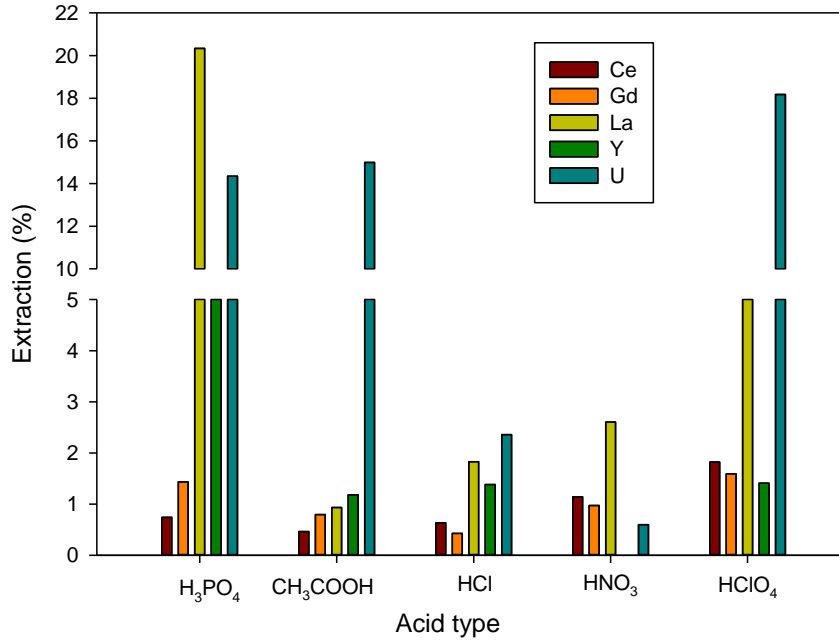


Figure 5. The dissolution recovery of U together with Ce, Gd, La, and Y from the preconcentrate using different acids (other parameters: 300 rpm stirring speed, 2 M acid concentration, 40 °C temperature, 1:6 solid-to-liquid ratio, and 2 h reaction time)

Şekil 5. Ön konsantreden farklı asitler kullanılarak U ile birlikte Ce, Gd, La ve Y elementlerinin çözünme verimleri (diğer parametreler: 300 dev/dk karıştırma hızı, 2 M asit konsantrasyonu, 40 °C sıcaklık, 1:6 katı-sıvı oranı ve 2 saat reaksiyon süresi)

The obtained results suggest that REEs grade in the pre-concentrate ore increase linearly with increasing rotary speed and water pressure. The U grade in the pre-concentrate increased to a value higher than 1000 ppm in each Falcon test but its recovery (<20%) by conducting experiment E1 was much lower compared to the obtained recoveries of U, which belong to experiments E5 (78.18%) and E6 (92.76%) (Figure 3). To obtain U in the preconcentrate with a recovery of higher than 50%, the rotary speed should be 50 Hz, which corresponds to 123 G. The concentrate mass increased with increasing rotary speed that creates centrifugal and hydrodynamic forces, which play a key role in separating heavy materials from light ones in the raw ore.

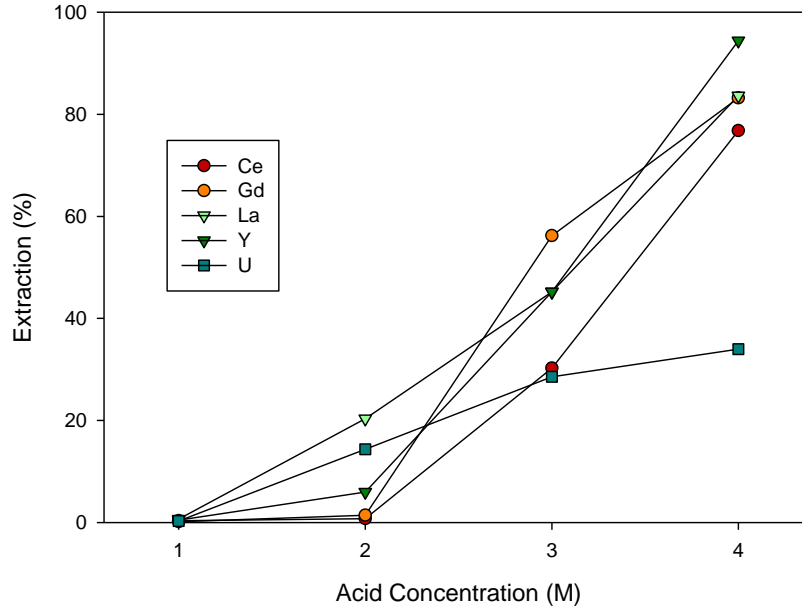


Figure 6. Effects of H_3PO_4 concentrations on the extraction recovery of U together with Ce, Gd, La, and Y from the preconcentrate (300 rpm stirring speed, 40 °C temperature, 1:6 solid-to-liquid ratio, and 2 h reaction time)

Şekil 6. Ön konsantreden U ile birlikte Ce, Gd, La ve Y'nin çözünmesine H_3PO_4 asit konsantrasyonunun etkisi (diğer parametreler: 300 dev/dk karıştırma hızı, 2 M asit konsantrasyonu, 40 °C sıcaklık, 1:6 katı-sıvı oranı ve 2 saat reaksiyon süresi)

The maximum concentrate mass was about 25 g when 100 g of the sample was fed into the concentrator under the condition of experiment E5. However, increasing water pressure from 2 psi to 3 psi at the same rotary speed led to a decrease in the concentrate mass, which was about 20 g (experiment E6). This could be explained by escaping light materials from the bowl due to the buoyancy of water. This is in line with those of a previous study (Aydoğan and Kademli 2019). As such, the U content in the pre-concentrate could be upgraded up to 1693.64 ppm with a recovery of 92.76% at the following conditions: water pressure of 3 psi and rotary speed of 50 Hz, which were determined as optimal parameters for this study. Additionally, the REEs showed similar behaviors in the beneficiation test, but their recoveries were lower compared to those of U recoveries. At the condition of experiment E6, the highest recoveries were found to be 75.14% for Ce, %72.53 for Gd, %53.56 for La, and %69.99 for Y.

When the raw ore was fed into the concentrator at the condition of experiment E6, the total amount of REEs in the preconcentrated ore increased from 255.30 ppm to 747.20 ppm, corresponding to 117.91 ppm Ce, 31.31 ppm Gd, 122.91 ppm La, 376.42 ppm Y and 90.92

ppm others. These values make the pre-concentrated ore being evaluated as REEs source. Researchers indicate that there are different REEs groups (critical [Nd, Eu, Tb, Dy, Y, and Er], uncritical [La, Pr, Sm, and Gd], and excessive [Ce, Ho, Tm, Yb, and Lu]) used to evaluate REEs quality.

Table 3. Evaluation of the pre-concentrate obtained in this study
Çizelge 3. Bu çalışmada elde edilen ön konsantrenin değerlendirilmesi

Experiment No	Critical (Nd, Eu, Tb, Dy, Y and Er)	Uncritical (La, Pr, Sm, and Gd)	Excessive (Ce, Ho, Tm, Yb, and Lu)	C/E (Critical/Excessive)	CEP (C / C+U+E)
E0	140.60	60.76	36.60	3.84	0.59
E1	391.32	123.71	93.02	4.21	0.64
E2	236.80	106.20	81.45	2.91	0.56
E3	324.07	151.76	103.33	3.14	0.56
E4	325.68	122.72	89.14	3.65	0.61
E5	330.85	116.29	93.46	3.54	0.61
E6	432.59	170.31	122.06	3.54	0.60

The ratio of critical elements and outlook coefficients (critical/excessive ratio, C/E) are important parameters and should be greater than 0.3 and 0.7, respectively (Seredin and Dai 2012). These values are important parameters for determining the potential of material as REEs source. Based on this approach, we evaluated the REEs distribution in the pre-concentrate ore and obtained results were summarized in Table 3. The C/E ratios calculated in this study were in a range of 2.91 – 4.21, indicating that the pre-concentrate ore has a potential to be used as REEs source.

Leaching Experiments

Effect of acid types on the extraction of U and REEs

The pre-concentrated ore was leached in different acid mediums at a temperature of 40 °C for 2 h to evaluate the effect of acid types on the extraction of U and REEs. The other parameters were kept constant as follows: 300 rpm stirring speed and 1:6 solid-to-liquid ratio. The major oxides of the leachate residue determined by XRF were listed in Figure 4.

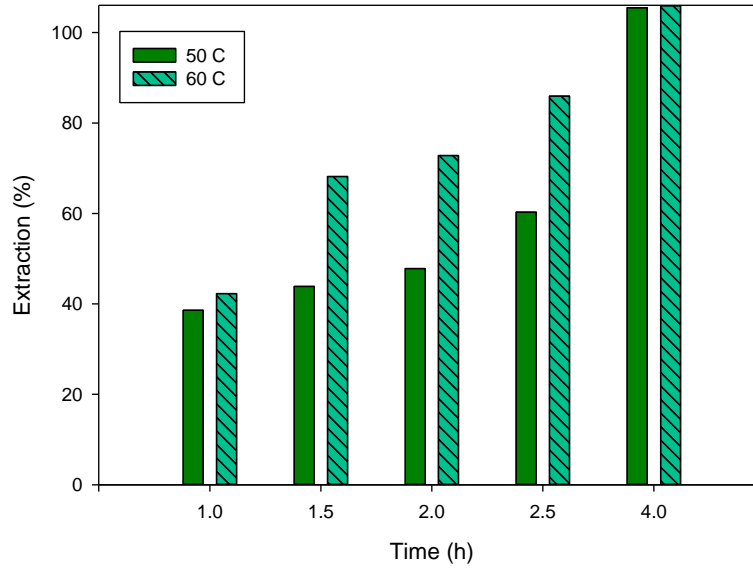


Figure 7. Dissolution of U from the preconcentrate in the presence of H_3PO_4 at different temperatures

Şekil 7. H_3PO_4 varlığında farklı sıcaklıklarda ön konsantreden U çözünmesi

The weight loss after leaching tests indicated that more than 50% of the ore was dissolved, except for the ore leached with H_3PO_4 and CH_3COOH acid. The carbonate content in the preconcentrated ore released during the leaching tests, as shown in Figure 4b. The effect of acid types on the amount of dissolved P_2O_5 was in descending order as $HNO_3 > HClO_4 > HCl > CH_3COOH > H_3PO_4$.

To evaluate the extraction behavior of REEs, the following elements Ce, Gd, La, and Y were selected due to their high content in the preconcentrated ore. Figure 5 shows the extraction recoveries of U together with Ce, Gd, La, and Y in the presence of different acids. It is clear that the recovery of these elements was lower than 25%. Except for La that dissolved with the highest recovery (20.5%), the extraction recoveries of Ce, Gd, and Y was below 5%. The recovery value for U was in a range of 0 – 18%. The maximum U extraction was achieved by using $HClO_4$ acid as the leaching medium. However, the experimental findings for the U were lower compared to a previous study (Cánovas et al. 2019), in which U with a recovery of 21% can be obtained from phosphogypsum in the presence of HNO_3 (3M). In addition, only %10 U was recovered by using H_2SO_4 (0.5 M) in the same study. These indicate the importance of acid types used in the leaching test. In this study, the effect of acid types on the

extraction of U was ordered as follows (from highest to lowest): $\text{HClO}_4 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{HCl} > \text{HNO}_3$.

Considering all experimental findings given in Figure 4 and Figure 5, H_3PO_4 was selected as the best leaching agent at the fixed experimental conditions.

Effects of H_3PO_4 concentration and temperature on the extraction of U and REEs

The leaching experiments were performed in a range of 1 – 4 M H_3PO_4 concentrations at the following fixed conditions: 300 rpm stirring speed, 40 °C temperature, 1:6 solid-to-liquid ratio, and 2 hours reaction time. Figure 6 shows the effect of acid concentration on the dissolution yields of U and REEs. It is obvious that the recoveries increased linearly with the increase of acid concentration. More than 60% of REEs dissolved, when 4 M H_3PO_4 was used but U was barely extracted from the preconcentrated ore (<25%). It was understood from experimental findings that elements were ordered as follows $\text{Y} > \text{Gd} \geq \text{La} > \text{Ce} > \text{U}$ based on their dissolution yield.

Additional leaching experiments were performed at a temperature of 50 °C and 60 °C for different durations. The extraction recovery of U increased in extended times (Fig 7). The temperature increased from 50°C to 60°C enhanced both the rate and degree of U recovery. The required time to dissolve all of U ions decreased within the increase of reaction temperature.

CONCLUSION

The aim of this study was to evaluate the potential of a low-grade phosphate ore in terms of its U and REEs content and to recover the U and REEs from the ore by conducting the Falcon concentrator followed by acid leaching method. The effect of Falcon concentrator's working conditions was investigated. It was determined that the U content in the preconcentrated ore increased to 1629.66 ppm from 392 ppm with a recovery of 92% and the amount of REEs was found to be 747.20 ppm. A series of leaching experiments were carried out at the fixed leaching conditions to determine the effect of acid types on the extraction recovery of U and REEs from the preconcentrated ore. Experimental findings indicated that acids were ordered as follows (from highest to lowest) : $\text{HClO}_4 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{HCl}$, and HNO_3 , according to the extraction recovery of U, while the order of acids considering the

extraction REEs+U was $\text{H}_3\text{PO}_4 > \text{HClO}_4 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCl} > \text{HNO}_3$. Among all acids, H_3PO_4 was selected as the best leaching agent. The effect of acid concentration and temperature in the presence of H_3PO_4 was investigated and REEs leached with high recoveries, but the extraction recovery of U was quite lower than that of those REEs. Thus, the temperature had to be increased to at least 50 °C for 4 hours in order to extract 100% of U. The residue obtained after leaching can be further used in fertilizer applications due to its high P content.

REFERENCES

- Amine, M., Asafar, F., Bilali, L., & Nadifiyine, M. (2019). Hydrochloric Acid Leaching Study of Rare Earth Elements from Moroccan Phosphate. *Journal of Chemistry*, 2019, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/4675276>
- Aydogan, N. A., & Kademli, M. (2019). Effect of operational conditions on Falcon concentrator performance with different particle size fractions. *Particulate Science and Technology*, 1-5. <https://doi.org/10.1080/02726351.2019.1573867>
- Battsengel, A., Batnasan, A., Narankhuu, A., Haga, K., Watanabe, Y., & Shibayama, A. (2018). Recovery of light and heavy rare earth elements from apatite ore using sulphuric acid leaching, solvent extraction and precipitation. *Hydrometallurgy*, 179, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.05.024>
- Cánovas, C. R., Chapron, S., Arrachart, G., & Pellet-Rostaing, S. (2019). Leaching of rare earth elements (REEs) and impurities from phosphogypsum: A preliminary insight for further recovery of critical raw materials. *Journal of Cleaner Production*, 219, 225-235. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.104>
- Commission, E. (2017). *Study on the review of the list of critical raw materials*. Publications Office of the European Union.
- Farrokhpay, S., Filippov, L., & Fornasiero, D. (2019). Pre-concentration of nickel in laterite ores using physical separation methods. *Minerals Engineering*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105892>
- Filippov, L. O., Dehaine, Q., & Filippova, I. V. (2016). Rare earths (La, Ce, Nd) and rare metals (Sn, Nb, W) as by-products of kaolin production – Part 3: Processing of fines

- using gravity and flotation. *Minerals Engineering*, 95, 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.06.004>
- Foucaud, Y., Dehaine, Q., Filippov, L., & Filippova, I. V. (2019). Application of falcon centrifuge as a cleaner alternative for complex tungsten ore processing. *Minerals*, 9(7), 448.
- Hammam-Nasri, I., Horchani-Naifer, K., Férid, M., & Barca, D. (2016). Rare earths concentration from phosphogypsum waste by two-step leaching method. *International Journal of Mineral Processing*, 149, 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.02.011>
- Hammam-Nasri, I., Horchani-Naifer, K., Férid, M., & Barca, D. (2019). Production of a rare earths concentrate after phosphogypsum treatment with dietary NaCl and Na₂CO₃ solutions. *Minerals Engineering*, 132, 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.12.013>
- Haneklaus, N., Sun, Y., Bol, R., Lottermoser, B., & Schnug, E. (2017). To Extract, or not to Extract Uranium from Phosphate Rock, that is the Question. *Environ Sci Technol*, 51(2), 753-754. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05506>
- Kademli, M., & Aydogan, N. A. (2019). An extraction of copper from recycling plant slag by using falcon concentrator. *gospodarka surowcami mineralnymi*, 35.
- Lambert, A., Anawati, J., Walawalkar, M., Tam, J., & Azimi, G. (2018). Innovative Application of Microwave Treatment for Recovering of Rare Earth Elements from Phosphogypsum. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(12), 16471-16481. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b03588>
- Liang, H., Zhang, P., Jin, Z., & DePaoli, D. (2017). Rare-earth leaching from Florida phosphate rock in wet-process phosphoric acid production. *Minerals & Metallurgical Processing*, 34(3), 146-153. <https://doi.org/10.19150/mmp.7615>
- Liang, H., Zhang, P., Jin, Z., & DePaoli, D. (2018). Rare Earth and Phosphorus Leaching from a Flotation Tailings of Florida Phosphate Rock. *Minerals*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/min8090416>
- López, L., Castro, L. N., Scasso, R. A., Grancea, L., Tulsidas, H., & Haneklaus, N. (2019). Uranium supply potential from phosphate rocks for Argentina's nuclear power fleet. *Resources Policy*, 62, 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.04.008>

- M. Abd El-Mottaleb, M. F. Cheira, Gamal A. H. Gouda, & Ahmed, A. S. A. (2016). Leaching of Rare Earth Elements from Egyptian Western Desert Phosphate Rocks using HCl. *Chemistry of Advanced Materials (CAM)*, 1(1), 33-40.
- Nie, D., Xue, A., Zhu, M., Zhang, Y., & Cao, J. (2019). Separation and recovery of associated rare earths from the Zhijin phosphorite using hydrochloric acid. *Journal of Rare Earths*, 37(4), 443-450. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2018.08.006>
- Paschalidou, P., & Pashalidis, I. (2019). Recovery of uranium from phosphate rock with EDTA-mediated dissolution and cation exchange. *Hydrometallurgy*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105118>
- Rychkov, V. N., Kirillov, E. V., Kirillov, S. V., Semenishchev, V. S., Bunkov, G. M., Botalov, M. S., Smyshlyaev, D. V., & Malyshev, A. S. (2018). Recovery of rare earth elements from phosphogypsum. *Journal of Cleaner Production*, 196, 674-681. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.114>
- Seredin, V. V., & Dai, S. (2012). Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. *International Journal of Coal Geology*, 94, 67-93. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.11.001>
- Shlewit, H. (2010). Treatment of phosphate rocks with hydrochloric acid. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 287(1), 49-54. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0687-1>
- Singh, D. K., Mondal, S., & Chakravartty, J. K. (2016). Recovery of Uranium from Phosphoric Acid: A Review. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 34(3), 201-225. <https://doi.org/10.1080/07366299.2016.1169142>
- Soltani, F., Abdollahy, M., Petersen, J., Ram, R., Javad Koleini, S. M., & Moradkhani, D. (2019). Leaching and recovery of phosphate and rare earth elements from an iron-rich fluorapatite concentrate: Part II: Selective leaching of calcium and phosphate and acid baking of the residue. *Hydrometallurgy*, 184, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.12.024>
- Steiner, G., Geissler, B., & Haneklaus, N. (2020). Making Uranium Recovery from Phosphates Great Again? *Environ Sci Technol*, 54(3), 1287-1289. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07859>

- Stone, K., Bandara, A. M. T. S., Senanayake, G., & Jayasekera, S. (2016). Processing of rare earth phosphate concentrates: A comparative study of pre-leaching with perchloric, hydrochloric, nitric and phosphoric acids and deportment of minor/major elements. *Hydrometallurgy*, *163*, 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.03.014>
- Tulsidas, H., Gabriel, S., Kiegiel, K., & Haneklaus, N. (2019). Uranium resources in EU phosphate rock imports. *Resources Policy*, *61*, 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.02.012>
- Ulrich, A. E., Schnug, E., Prasser, H. M., & Frossard, E. (2014). Uranium endowments in phosphate rock. *Sci Total Environ*, *478*, 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.069>
- Walawalkar, M., Nichol, C. K., & Azimi, G. (2016). Process investigation of the acid leaching of rare earth elements from phosphogypsum using HCl, HNO₃, and H₂SO₄. *Hydrometallurgy*, *166*, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.06.008>
- Wang, X., Sun, Z., Liu, Y., Min, X., Guo, Y., Li, P., & Zheng, Z. (2019). Effect of particle size on uranium bioleaching in column reactors from a low-grade uranium ore. *Bioresour Technol*, *281*, 66-71. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.065>
- Wu, S., Zhao, L., Wang, L., Huang, X., Zhang, Y., Feng, Z., & Cui, D. (2019). Simultaneous recovery of rare earth elements and phosphorus from phosphate rock by phosphoric acid leaching and selective precipitation: Towards green process. *Journal of Rare Earths*, *37*(6), 652-658. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2018.09.012>
- Z.H. İsmail, Abu Elgoud, F. Abdel Hai, Ibraheem O. Ali, M. S. Gasser, & Ally, H. F. (2015). Leaching of some lanthanides from phosphogypsum fertilizers by mineral acids. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, *48*(2), 37-50.