

Atık Baraj Yerindeki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği

Evaluation of Engineering Properties of Rock Masses in Waste Dam Site: The Example of Gumushane

Selçuk ALEMDAĞ^{1,a}, Mustafa KANIK^{2,b}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 15.02.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.04.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 21.04.2020

Öz

Bu çalışmada Gümüştaş Atık Depolama Barajı II eksen yeri kaya kütlelerinin kazılabilirlik, taşıma kapasitesi ve geçirimsizlik özellikleri değerlendirilmiştir. Atık depolama alanı hacminin artırılmasına yönelik yapılacak kazı için, kaya kütlelerinin kazılabilirlik sınıfları andezitik breş için kırma yöntemi, andezit için ise kırma ve patlatma yöntemi olarak belirlenmiştir. Baraj eksen yeri temel kayası olan andezitlerin taşıma kapasitesi ampirik eşitlikler yardımıyla belirlenmiş olup, nihai taşıma kapasitesi 31.07MPa, izin verilebilir taşıma kapasitesi ise 10.44MPa olarak belirlenmiştir. Andezit ve andezitik breş kaya kütlelerinde açılmış olan temel sondaj kuyularında yapılan basınçlı su deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan sızıntı analizi ile geçirimsizlik değerlendirmesi yapılmış olup, temel kaya kütlelerinin az geçirimsiz özellikte olduğu belirlenmiştir. Bu durum atık barajı rezervuar alanında biriktirilecek kimyasal atıkların yeraltı suyuna karışmasına sebep olacaktır. Bu sızmayı önlemek için baraj eksen yeri ve rezervuar alanına 35-40cm kalınlığında geçirimsiz doğal kil malzeme serilip sıkıştırılacaktır. Yapılan bu uygulama sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiş ve rezervuar alanı tamamen atık su ile dolduğu durum için yapılan sızma analizi sonucunda geçirimsizlik değeri $5 \times 10^{-11} \text{m/s}$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, temel kazısından 10m derinlikte belirlenen deşarj kesitinde meydana gelen su kaçakları $1.69 \times 10^{-17} \text{m}^3/\text{s}$ ile $3.44 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{s}$ arasında değişmektedir. Bu değerler oldukça küçük değerler olup, yine de olası bir sızmanın meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu muhtemel sızmayı ortadan kaldırmak için serilecek doğal kil tabakanın üzerine, jeotekstil malzemeler (jeosentetik kil membran, jeomembran ve drenaj jeokompozit) serilerek rezervuar alanı tamamen geçirimsiz duruma getirilmelidir. Böylece atık barajı rezervuar alanında flotasyon sonrası biriktirilecek olan kimyasal atık suyun yeraltı suyuna karışması önlenmiş olacaktır.

Anahtar kelimeler: Atık Barajı, Geçirimsizlik, Kazılabilirlik, Sızıntı Analizi, Taşıma Kapasitesi

Abstract

In this study, excavatability, bearing capacity and permeability characteristics of rock masses along the Gümüştaş Waste Storage Dam II site were evaluated. For the excavations to be carried out to increase the volume of the waste storage area, the excavation classes of the rock masses were determined as "Hammer" for andesitic breccia and "Hammer&Blasting" for andesite. The bearing capacity of andesite (bedrock) has been determined with the help of empirical equations and, allowable bearing capacity and ultimate bearing capacity were calculated as 10.44MPa and 31.07MPa, respectively. The permeability has been assessed by the Lugeon Tests conducted in the geotechnical drill holes located in the andesite and andesitic breccia rock masses and with the aid of the seepage analysis based on the finite element method the bedrock mass has been defined as low permeable. Low permeable rock masses would possibly cause the chemical wastes to be collected in the waste dam reservoir area to pollute the groundwater. To prevent the seepage, impermeable natural clay material of 35-40cm thickness should be laid and compressed along the dam axis and reservoir area. This suggestion was modeled with the aid of the finite element method, for the case that the reservoir area was completely filled with wastewater and, the permeability value was determined as $5 \times 10^{-11} \text{m/s}$ as a result of the seepage analysis. In addition, seepage values in the discharge section at a depth of 10m from the foundation vary between $1.69 \times 10^{-17} \text{m}^3/\text{s}$ and $3.44 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{s}$. These values are quite low but, are indicators of a possible seepage. To eliminate this possible seepage, the geotextile materials (geosynthetic clay membrane, Geomembrane, and drainage geocomposite) should be laid over the compressed natural clay layer, and thus mixing of the chemical wastewater, which collected after flotation, into the groundwater will be prevented.

Keywords: Waste Dam, Permeability, Excavatability, Seepage Analysis, Bearing Capacity

^aSelçuk ALEMDAĞ; selcukalemdag@gmail.com, Tel: 0(456)2331000, <https://orcid.org/0000-0003-2893-3681>

^borcid.org/0000-0002-1019-5249

1. Giriş

Barajlar tarih boyunca taşkın koruma, sulama, içme suyu sağlama ve enerji elde etmek gibi amaçlarla tasarlanmışlardır. Son 25 yıllık süreçte ise katı atık ve maden atıklarını biriktirme amacıyla da inşa edilmektedirler. Farklı kullanım amaçlarına göre tasarlanan baraj projelerinde inşa edilecek mühendislik yapılarına temel oluşturan kaya kütlelerinin dayanım ve geçirimsizlik özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle atık barajı inşası planlanan bölgelerde rezervuar alanları için geçirimsizlik analizi yapılması yeraltı suyu kirliliğinin önlenmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Bu kapsamda birçok araştırmacı da (Wang vd., 1999; Karagüzel ve Kılıç, 2000; Foyo vd., 2005; Alemdağ vd., 2008; Coli vd., 2008; Ersoy vd., 2008; Nandi, 2011; Gürocak ve Alemdağ, 2012; Noorzad ve Manavirad, 2012; Moosavi vd., 2012; Rad vd., 2013; Türkmen vd., 2013; Alemdağ, 2015; Kanık ve Ersoy, 2019; Ersoy vd., 2019) önemli çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmaların hassasiyetle yapılmasının önemi ise, 2019 yılının başında Brezilya'nın güneybatısında Minas Gerais eyaletinde yıkılan atık barajının birçok can ve mal kaybına, özellikle de çevre kirliliğine neden olmasıyla bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, Gümüşhane ili, Harmancık köyü sınırları içerisindeki organize sanayi bölgesinde

Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş. tarafından yapılması planlanan 2. atık depolama barajı (Şekil 1) gövde ve rezervuar alanında yayılım gösteren kaya kütlelerinin jeoteknik açıdan incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla baraj eksen yeri ve rezervuar alanında yayılım gösteren temel kayanın geçirimsizliği yerinde deneyler ve sayısal analiz yöntemleri ile, taşıma kapasitesi ampirik eşitlikler yardımıyla, rezervuar alanı ve temel kayasının kazılabilirliği ise Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) dikkate alınarak belirlenmiştir.

Taşıma kapasitesi hesaplamaları için; Hoek vd. (2002) tarafından önerilen m_b , s , a kaya kütle sabitleri belirlenmiş, bu değerler Kulhawy ve Carter (1992) ve Wyllie (1992) tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitliklerinde kullanılarak, baraj eksen yeri temel kayasının taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Baraj eksen ve rezervuar alanındaki kaya kütlelerinin geçirimsizliğinin belirlenmesi için, yerinde deneyler (basınçlı su testi) yapılmış ve bu değerler sayısal analizlerde girdi parametresi olarak kullanılıp, rezervuar alanı ve baraj eksen yerinin geçirimsizlik durumu sayısal olarak da ortaya konmuştur. Ayrıca temel kotunun 10m derinliği için çizilen deşarj kesitinde meydana gelecek sızma miktarı RS2 (Rocscience, 2019) programında yapılan sızma analizi yardımıyla belirlenmiştir.



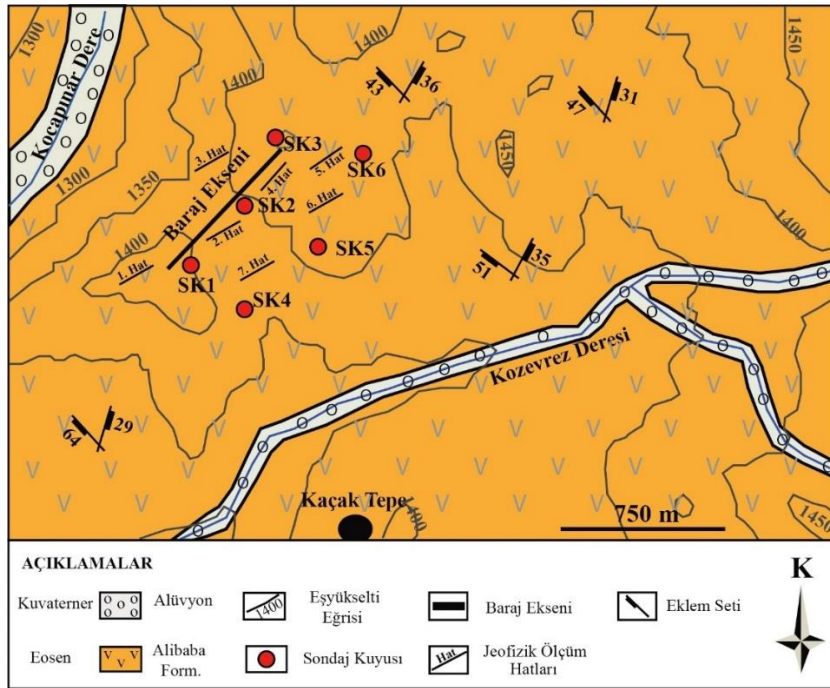
Şekil 1. İnceleme alanına ait uydu görüntüsü

2. Baraj Alanının Jeolojisi

Baraj inşasının gerçekleştirileceği alanda Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu yüzeyleme vermektedir (Şekil 2). Tekkeköy ve civarında yüzeylenen Alibaba Formasyonu üzerine açılmal bir uyumsuzlukla Kermutdere Formasyonu gelmektedir. Alibaba Formasyonu, yersel olarak izlenen ince bir taban konglomerası ve nummulitli kumlu kireçtaşlarıyla başlar ve volkano-tortul istif özelliği taşır. Bunların üzerinde tabakalı tüfler, andezitik breşlerle ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Genellikle arazide üst seviyelerde andezit, bazalt ve piroklastları şeklinde gözlenmektedir (Kaygusuz vd., 2011; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001). Baraj inşa alanı Alibaba

Formasyonu'nun üst seviyelerinde bulunan andezitik breş ve andezit birimleri içerisinde gerçekleştirilecektir. Topoğrafyada engebeli bir görüntü sunan andezitik breşler genellikle üst üste dizilmiş yastıklar şeklinde ve siyahımsı gri renklidir.

Ayrıca yamaç eteklerinde bulunan ve yamaçların bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşan yamaç molozları da çalışma alanında Alibaba Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak gözlenmektedir. Buna ek olarak Kozvez ve Kocapınar dereleri boyunca sığ derinliklerde 25-30cm kalınlığına sahip alüvyon birikintilerine rastlanılmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası

Gümüşhane civarındaki tektonik unsurlar genel olarak K-G yönlü bir sıkışmanın izlerini yansıtmakta olup, bu durum kaya kütlelerinden alınan eklem yönelim ölçülerinin analizleriyle de ortaya konulmuştur (Gurocak vd., 2017; Bostanci vd., 2018). Buna ek olarak inceleme alanında aktif veya pasif bir fay bulunmamaktadır. Bölgeyi etkileyecek en önemli tektonik yapı Kuzey Anadolu Fay hattı olup, çalışma alanına olan mesafesi yaklaşık 80 km civarındadır.

3. Saha ve Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanında yapılan temel sondajlarının üç adeti SK1 (40m), SK2 (50m) ve SK3 (50m) atık

barajı eksen yerinde, diğer üç adeti SK4 (50m), SK5 (58m) ve SK6 (58m) ise rezervuar alanında yapılmıştır. Atık barajı eksen yerindeki birimlerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla arazi çalışmaları kapsamında, andezitik breş ve andezit kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özellikleri ISRM (2007) tanımlama ölçütleri dikkate alınarak ve hat etüdü yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca laboratuvar da kaya malzemelerine ait jeomekanik özellikleri belirlemek için temel sondajlarından karot örnekleri derlenmiş (Şekil 3) ve ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre karotlar hazırlanarak, deneyler Gümüşhane Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarında

yapılmıştır. Kaya kütlelerine ait RQD (%) değerleri ise temel sondajlarından elde edilen karot örneklerinde (Şekil 3) yapılan ölçümler ile

her bir kaya kütlesi için ayrı ayrı hesaplanmış ve istatistiksel dağılımları Şekil 4’de verilmiştir.

Tablo 1. Andezit ve Andezitik Breş kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri

Süreksizlik özellikleri	Tanımlama	Puan	
		Andezit	Andezitik Breş
Pürüzlülük	Az pürüzlü	-	3
	Pürüzlü	5	-
Bozunma	Orta derecede bozunmuş	-	3
	Az bozunmuş	5	-
Dolgu	Kalsit dolgu kalınlığı 2 – 4 mm	4	4
Devamlılık	3 – 10 m	2	2
Açıklık	0.1 – 1 mm	4	4
JCond ₈₉		20	16

JCond₈₉: RMR 1989 versiyonuna göre süreksizlik durumu puanlaması (Bieniawski, 1989)

Laboratuvar deneyleri ile andezit ve andezitik breşlerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı andezitler için ortalama 54MPa,

andezitik breşler için ise 37MPa’dır. Birim hacim ağırlık değerleri andezitler için 26.87kN/m³, andezitik breşler için ise 26.18kN/m³ olarak belirlenmiştir. Andezit ve andezitik breşler için ortalama RQD değerleri sırasıyla %81 ve %35’tir.



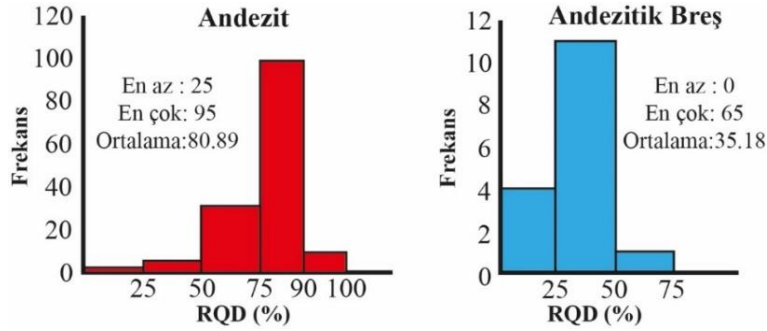
Şekil 3. Andezitik breş (ilk 2.5m) ve andezitlerin (SK-5) karot sandıklarında görünümü.

Baraj eksen yerindeki birimlerin kaya kütle kazılabilirliği ve dayanımını belirlemek amacıyla GSI sınıflama sisteminden faydalanılmıştır.

Andezit ve andezitik breş kaya kütlelerine ait Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerini belirlemek için Hoek vd. (2013) tarafından

önerilen sayısal sınıflama abağı kullanılmıştır. Bu sınıflamada kullanılan $1.5 \cdot JCond_{89}$ (Süreksizlik durumu) değerleri Tablo 1'de verilmiş olup,

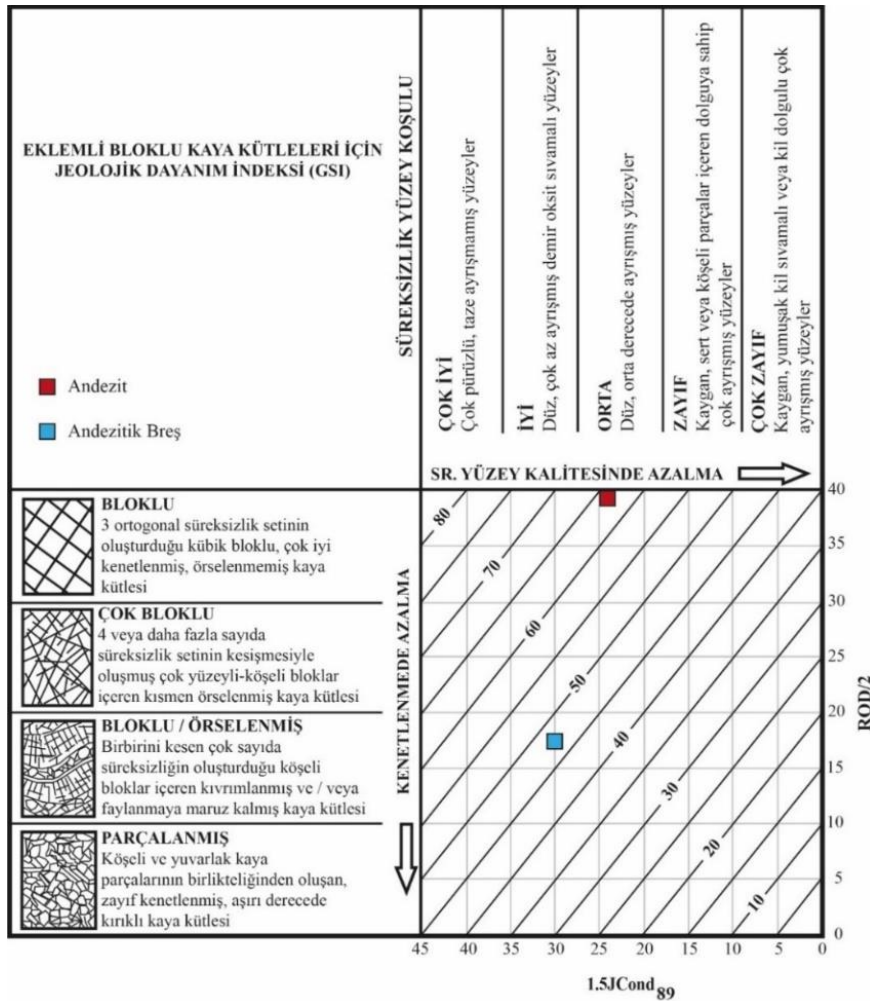
RQD/2 değeri Şekil 4'te verilen ortalama RQD değerleri kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Andezit ve andezitik breşler için RQD histogramları

Buna göre Andezit kaya kütesine ait GSI değeri 64, andezitik breş kaya kütesine ait GSI değeri ise 48 olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Her bir kaya kütesine ait sabitler (m_b , s , a) ise Hoek-Brown

(Hoek vd., 2002) yenilme kriteri dikkate alınarak, RocLab V1.03 (2007) programı ile hesaplanmıştır.



Şekil 5. Andezit ve andezitik breş kaya kütlelerinin Hoek vd. (2013) tarafından önerilen GSI abağına göre değerlendirilmesi

Atık barajı eksen yeri ve rezervuar alanı kazıları için kaya kütlelerinde kontrollü patlatma veya mekanik kazı uygulanacağı için örselenme faktörü (D) 0.7 olarak alınmıştır. Andezit ve andezitik breşin dinamik Poisson oranlarını belirlemek amacıyla yapılan sismik çalışmalarda ortalama Poisson oranları andezitler için 0.16, andezitik breşler için ise 0.33 olarak belirlenmiştir (Tablo

2). Dinamik Poisson oranları hesaplanırken, Bowles (1996) tarafından önerilen eşitlik (1) kullanılmıştır.

$$\nu = (V_p^2 - 2 \times V_s^2) / (2 \times V_p^2 - 2 \times V_s^2) \quad (1)$$

Burada; V_p : P dalga hızı, V_s : S dalga hızıdır.

Tablo 2. Kaya kütlelerine ait V_p , V_s hızları ve poisson oranı değerleri

Serim No	Birim	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Poisson oranı (ν)
1. Hat	Andezitik Breş	1320	630	0.32
	Andezit	2400	1500	0.18
2. Hat	Andezitik Breş	900	480	0.30
	Andezit	2350	1470	0.18
3. Hat	Andezitik Breş	1550	760	0.34
	Andezit	2000	1290	0.14
4. Hat	Andezitik Breş	1100	560	0.33
	Andezit	2600	1640	0.17
5. Hat	Andezitik Breş	1400	650	0.36
	Andezit	2500	1560	0.18
6. Hat	Andezitik Breş	1370	680	0.34
	Andezit	2040	1295	0.16
7. Hat	Andezitik Breş	950	460	0.35
	Andezit	2040	1360	0.10

4. Bulgular ve Tartışma

4. 1. Kaya Kütlelerinin Taşıma Kapasitesi

Baraj eksen yerindeki andezit ve andezitik breşlerin taşıma kapasitesi hesaplamalarında farklı araştırmacılar tarafından önerilen ampirik eşitlikler kullanılmıştır.

[Kulhawey ve Carter \(1992\)](#) tarafından önerilen Nihai taşıma kapasitesi (q_u) eşitlik (2) de verilmiş olup, eşitlikteki m_b , s , a parametreleri Hoek-Brown kaya kütle sabitleridir. σ_{ci} ise kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımıdır.

$$q_u = \sigma_{ci} [s^a + (m_b s^a + s)^a] \quad (2)$$

[Wyllie \(1992\)](#) tarafından önerilen izin verilebilir taşıma kapasitesi (q_a) eşitlik (3) te verilmiş olup, bu eşitlikte F: güvenlik katsayısı (bu çalışma için 3 alınmıştır), C_{f1} ise temel şekline bağlı düzeltme faktörüdür (şerit temel için 1 alınmıştır).

$$q_a = \frac{C_{f1} s^{-0,5} \sigma_{ci} [1 + (m_b s^{-0,5} + 1)^{0,5}]}{F} \quad (3)$$

Bu eşitliklerden elde edilen kaya kütlelerinin taşıma kapasitesi değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

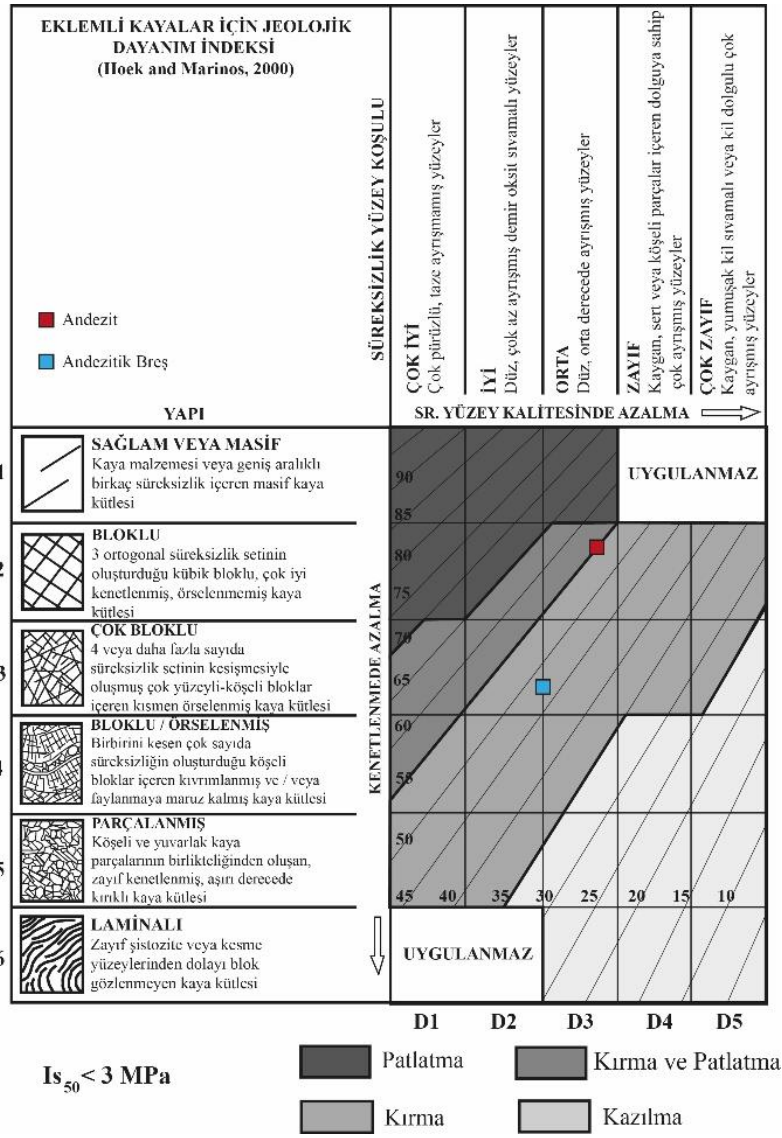
Tablo 3. Kaya kütlelerinin nihai ve izin verilebilir taşıma kapasitesi

Yazarlar	Eşitlik No	Kaya Kütleli Andezit
Kulhawey ve Carter (1992)	2	31.07 (MPa)
Wyllie (1992)	3	10.44 (MPa)

Yapılan hesaplamalara göre andezit kaya kütlelerinin nihai taşıma kapasitesi 31.07MPa, izin verilebilir taşıma kapasitesi ise 10.44MPa olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında andezitik breşler sıyrılıp, baraj gövdesinin oturacağı temel kaya andezit kaya kütleleri olacağı için hesaplamalarda andezitik breşler dikkate alınmamıştır.

4. 2. Kaya Kütlelerinin Kazılabilirliği

Baraj eksen yeri ve rezervuar alanının kazısı esnasında, yapı maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de kayaçların kazılabilirliğinde hangi yöntemin kullanılacağıdır ([Gurocak vd., 2008](#); [Kaya vd., 2011](#)). Bu sebeple, kazı yapılacak kayaçların kazılabilirlik durumlarının iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, andezit ve andezitik breş kayaçlarının kazılabilirliği [Tsiambos ve Saroglu \(2010\)](#) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama abağı yardımı ile belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Kazılabilirliğin belirlenebilmesi için önerilen abak (Tsiambos ve Saroglu, 2010)

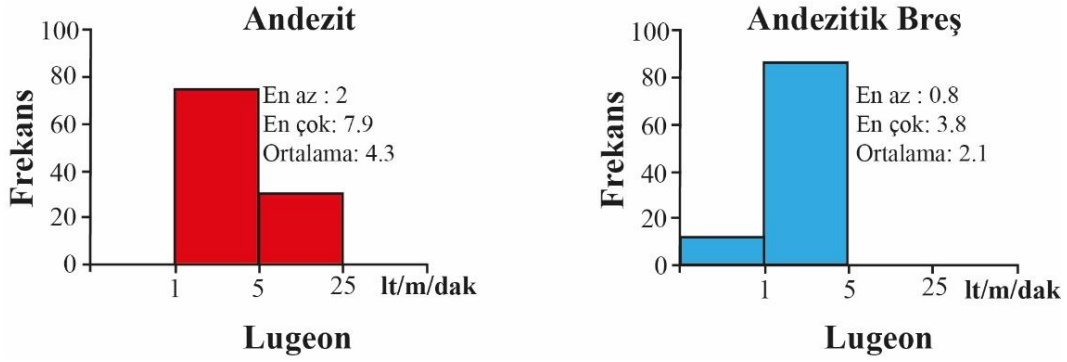
Hem baraj eksen yeri, hem de rezervuar alanında yapılacak kazılarda, özellikle baraj ekseninde, mühendislik özellikleri andezite göre zayıf olan andezitik breşin tamamen kazılması gerekmektedir. Şekil 6'daki abak incelendiğinde, andezitler için "kırma ve patlatma" yönteminin birlikte kullanılması önerilirken, andezitik breşler için "kırma yöntemi" kullanımının uygun olacağı öngörülmektedir.

4. 3. Kaya Kütlelerinin Geçirimsizliği

Geçirimsizlik eksen yerinde yapılan basınçlı su testleri ve sonlu elemanlar tabanlı sızma analizleri ile değerlendirilmiştir. Öncelikle, inceleme alanında açılmış olan sondaj kuyularında 2m'lik deney zonlarında yapılan basınçlı su deneylerine ait veriler değerlendirilerek kaya kütlelerinin Lugeon (Lugeon, 1933) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen Lugeon değerleri Şekil 7'de verilen

histogramlar ile değerlendirilmiş ve geçirimsizlik sınıflarına göre yüzde dağılımları ise Tablo 4' de verilmiştir. Elde edilen deney verilerine göre andezitler az geçirimsiz-geçirimsiz (ortalama 4.3 Lugeon) , andezitik breşler ise az geçirimsiz-geçirimsizdir (Ortalama 2.1 Lugeon). Andezitik breşler tamamen kazı ile kaldırıldığı için, analizlerde andezitlerin ortalama K değeri olan 2.99×10^{-5} değeri kullanılmıştır.

Sadece sondaj noktaları ile sınırlı olan bu veriler sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilerek baraj eksen yeri için sızma analizleri yapılmıştır. Bu analizde 2-3m kalınlığa sahip olan andezitik breşler kazılarak, baraj ekseninin andezitler üzerine oturduğu kabul edilmiştir. RS2 (Rocscience, 2019) programında kullanılan girdi parametreleri Tablo 5'de verilmiş olup, eksen yeri Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak ile modellenmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Kaya kütlelerine ait Lugeon değerlerinin dağılımı ve istatistiksel değişimi

Tablo 4. Lugeon (1933)'un geçirimsizlik sınıflamasına göre çalışma alanındaki andezit ve andezitik breşlerin % dağılımı ve sınıflandırılması.

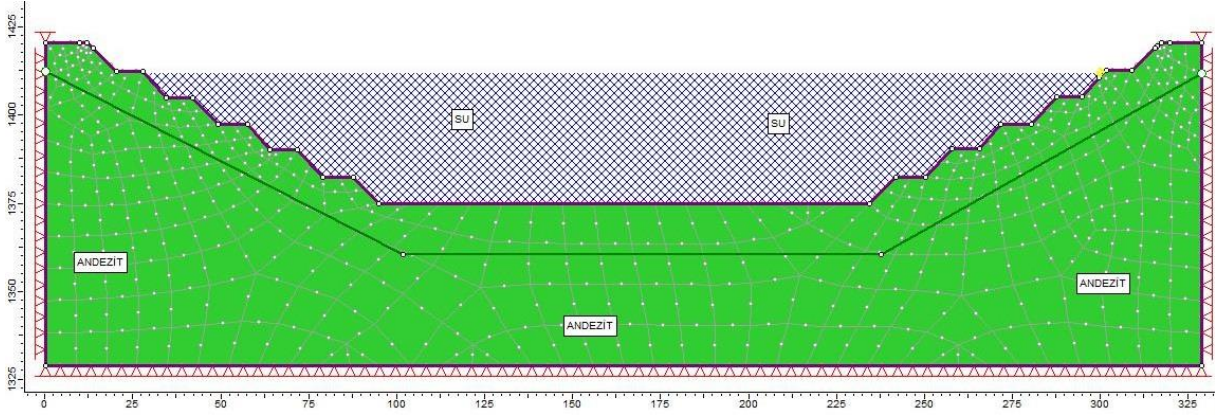
Lugeon sınır değerleri (1/m/dak)	Kaya Sınıfı	Andezit (%)	Andezitik Breş (%)
< 1	Geçirimsiz	0	13
1 - 5	Az Geçirimli	75	87
5 - 25	Geçirimli	25	0
> 25	Çok Geçirimli	0	0

Yapılması planlanan atık barajı temel kayası olan andezitlerin az-geçirimli özellikte olması nedeni ile atık barajından meydana gelecek kaçakların yeraltı sularına etkisi kaçınılmazdır. Andezit ve andezitik breşler akifer özelliği göstermemesine rağmen, kaya kütlelerinde bulunan çatlak sistemleri atık barajında toplanacak atık suların yeraltı suyuna karışmasında etkili olacaktır. RS2 ile yapılan analiz modelinde 8 düğüm noktalı, dörtgen dereceli ağ sistemi kullanılmış olup (Şekil 8), eksen yerinde, rezervuar alanının tamamen atık su ile dolu olduğu durum için yapılan sızma analizi (Şekil 9) sonucunda elde edilen düşey geçirimsizlik değerleri $1.5 \times 10^{-6} \text{m/s}$ ile $2.99 \times 10^{-5} \text{m/s}$

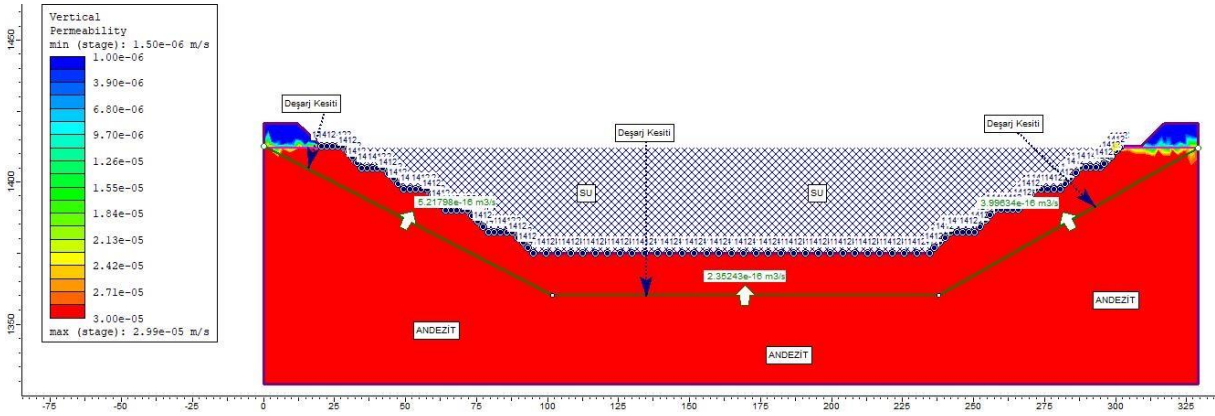
arasında değişim göstermektedir. Bu durum eksen yeri ve göl alanında yayılım gösteren kaya kütlelerinin geçirimsiz özellikte olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca yaklaşık 10m derinlikte çizilen deşarj kesitinde (Şekil 9) meydana gelen su kaçakları $2.35 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{s}$ ile $5.22 \times 10^{-17} \text{m}^3/\text{s}$ arasında değişmektedir. Bu su sızıntıları kaya kütleleri akifer özellikte olmadığı için oldukça küçük değerlerdedir. Ancak bu durum meydana gelecek olası bir sızma durumunda bile yeraltı suyunun kirlenmesine neden olacak değerdedir. Bu nedenle, atık baraj yerinde sızıntıların önlenmesi amacıyla ek önlemlerin alınması gerekmektedir.

Tablo 5. Sayısal analizde kullanılan parametreler

Andezit	GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i	γ (kN/m ³)	ν	D	K (m/sn)	E_m (GPa)	Hoek - Brown sabitleri		
									mb	s	a
Eksen Yeri	64	54	25	26.87	0.16	0.7	2.99×10^{-5}	5.39	3.45	0.005	0.502
Yenilme Kriteri	Genelleştirilmiş Hoek-Brown								Rezidüel Hoek-Brown sabitleri		
Malzeme Tipi	Plastik								mb	s	a
Hidrolik Model	Basit								1.72	0.002	0.502



Şekil 8. Atık barajı II eksen yerinin sonlu elemanlar ağı sistemi ile modellenmesi

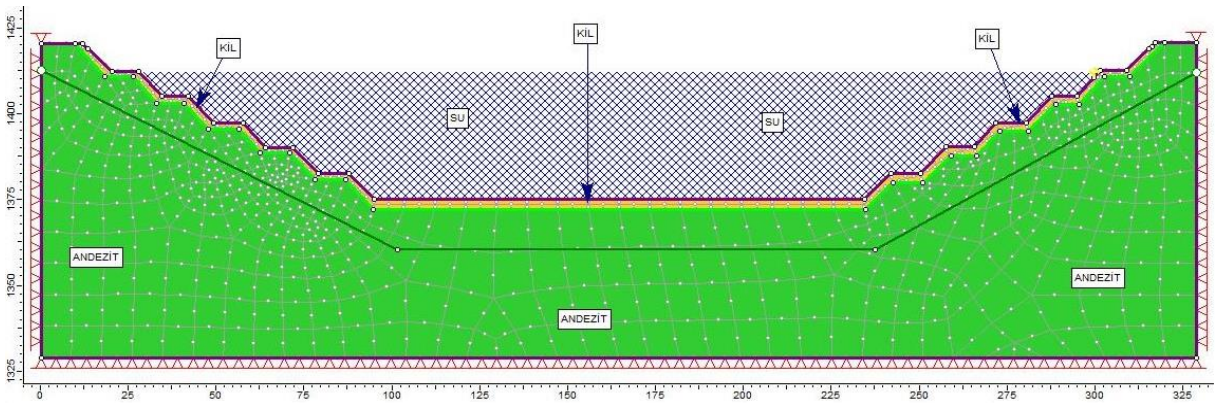


Şekil 9. Atık barajı II için yapılan sonlu elemanlar sızma analizi

4. 4. Atık Baraj Yeri ve Rezervuar Alanında Geçirimsizlik Uygulamaları

Atık baraj yeri rezervuar alanında yapılan sızma analizi değerlendirildiğinde, kaya kütlelerinin geçirimsiz olması yeraltı suyu kirlenmesinin kaçınılmaz olduğu göstermektedir. Bu durumu önlemek için baraj eksen yerinde ve rezervuar alanında önlem alınması gerekmektedir.

Geçirimsizliği sağlamak amacıyla ilk önce ince bir kil tabakası (35-40 cm) serilmesi ve sıkıştırılması (Şekil 10) sonucunda sızmanın kontrol altına alınıp, alınmadığını belirlemek için yeniden sayısal analizler yapılmıştır. Sayısal analizlerde anezit kaya kütleleri için Tablo 5'deki veriler kullanılmış olup, sıkıştırılmış kilin mühendislik özellikleri ise Tablo 6'de verilmiştir.



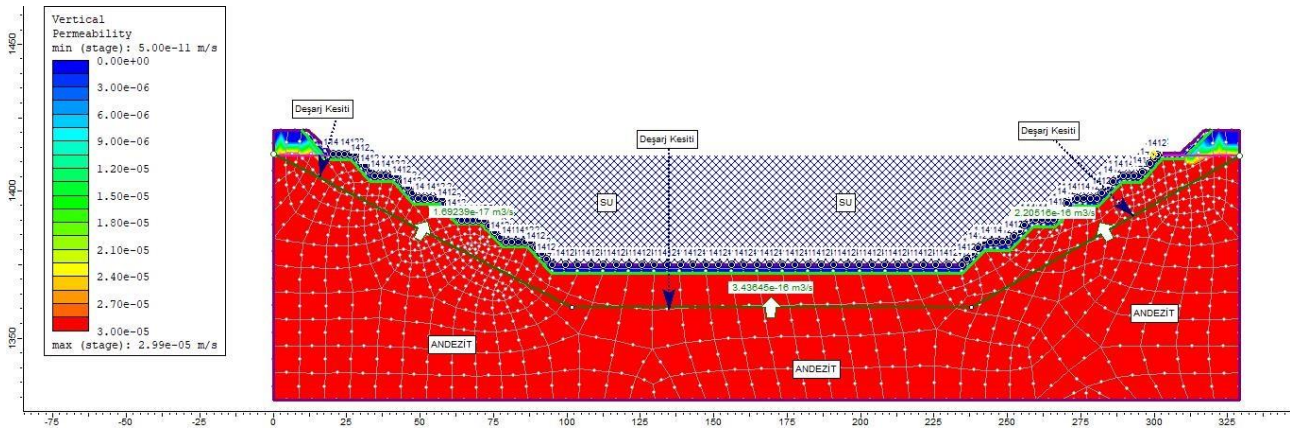
Şekil 10. Atık barajı eksen yerinin iyileştirme sonrası (kil sıkıştırma) sonlu elemanlar ağı sistemi ile modellenmesi

Tablo 6. Rezervuar alanına serilecek kilin malzeme özellikleri

	γ (kN/m ³)	E (MPa)	ν	Φ (Pik)	c (Pik) (MPa)	Φ (Artık)	c (Artık) (MPa)	K_s	K_2/K_1
Kil	15.4	3.8	0.4	26°	0.035	16°	0.012	1.24x10 ⁻⁹	1

Analiz sonucunda elde edilen düşey geçirimsizlik değerleri 5.00×10^{-11} m/s olmuştur. Bu durum, yüzeyde yapılan kil sıkıştırma sonucunda geçirimsiz bir taban oluşturduğunu (T.C. Resmi Gazete, 2015) ve barajdan olabilecek sızıntıların engellendiğini ifade etmesine (Şekil 10) ve

yaklaşık 10m derinlikte çizilen deşarj kesitinde (Şekil 11) meydana gelen atık su kaçaqları 1.69×10^{-17} m³/s ile 2.21×10^{-16} m³/s gibi sıfıra yakın değerlere düşmesine karşın, hala olası bir sızmanın meydana gelebileceğini göstermektedir.

**Şekil 11.** Atık barajında iyileştirme sonrası sonlu elemanlar sızma analizi

Bu sızıntıları önleyebilmek için sıkıştırılan doğal kil tabakanın üzerine daha güvenli bir geçirimsizlik ortamı sağlanması amacı ile sırasıyla jeosentetik kil membran, jeomembran ve drenaj jeokompozit serilmelidir. Bu uygulamalardan sonra rezervuar alanı ve eksen yeri tamamıyla geçirimsiz hale getirilmiş olacak olup, olası bir yeraltı suyu kirlenmesi engellenmiş olacaktır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, inşa edilmesi planlanan Gümüştaş Atık Depolama Barajı II'nin eksen yeri ve rezervuar alanı mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. İnceleme alanında Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu'nun üst kısımlarında bulunan andezit ve andezitik breşler yüzeyleme vermektedir. Andezitlerin üzerinde bulunan andezitik breşlerin kalınlıklarının 2-3m olması ve rezervuar alanının hacimsel olarak genişlemesinden dolayı tamamen kazılarak kaldırılması öngörülmektedir.

Andezit ve andezitik breşlerin kazılabilirlikleri Tsiampos ve Saroglu'na göre değerlendirilmiş

olup, andezitik breşlerin "kırma yöntemi" ile andezitlerin ise "kırma ve patlatma" yöntemi ile kazılacağı belirlenmiştir. Andezitlerin nihai taşıma kapasitesi değerleri 31.07MPa, izin verilebilir taşıma kapasitesi ise 10.44MPa olarak belirlenmiş ve taşıma kapasitesi açısından herhangi bir problem yaşanmayacağı sonucuna varılmıştır. Atık barajı eksen yeri ve rezervuar alanında yapılan sızma analizleri (rezervuar alanı tamamen atık ile dolu olması durumunda) andezit kaya kütlelerinin geçirimsizliğinin 1.5×10^{-6} m/s ile 2.99×10^{-5} m/s arasında değiştiğini göstermiştir. Bu değerler atık barajında biriktirecek olan atığın yeraltı suyunu kirletebileceğini ve geçirimsizliği sağlamak amacıyla ek önlemlerin alınması gerektiğini göstermiştir. Olumsuzluğun Baraj eksen yeri ve rezervuar alanına 35-40cm kalınlığında kil tabakası serilip sıkıştırılarak, bu sızma problemini ne ölçüde engellenebileceğini belirlemek amacıyla yapılan sayısal analizler sonucunda geçirimsizlik değeri 5×10^{-11} m/s olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 10m derinlikte çizilen deşarj kesitinde meydana gelen atık su kaçaqlarına ait deşarj değerleri 1.69×10^{-17} m³/s ile 3.44×10^{-16} m³/s arasında değişmektedir. Bu değerler çok

düşük değerler olmasına rağmen, hala olası bir sızmanın meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, uygulanan doğal kil sıkıştırmanın üstüne sırasıyla jeosentetik kil membran, jeomembran ve drenaj jeokompozit serilmesi ve böylece ortamın tamamen geçirimsiz duruma getirilmesi önerilmiştir. Baraj eksen yeri ve rezervuar alanında yapılacak bu uygulamalardan sonra herhangi sızmanın ve dolayısıyla herhangi bir yeraltı suyu kirlenmesinin oluşması engellenmiş olacaktır.

Katkı Belirtme

Yazarlar, bu çalışmayı destekleyen, çalışma süresince bütün olanaklarından yararlandığı Gümüştaş Madencilik A.Ş.'ye, yardımlarını esirgemeyen Genel Koordinatör Erdal Güldoğan'a, Uğur Ölgen ve Korhan Çubukçu'ya teşekkür eder.

Kaynaklar

- Alemdag, S., Gurocak, Z., Solanki, P. ve Zaman, M., 2008. Estimation of Bearing Capacity of Basalts at Atasu Dam Site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 79–85.
- Alemdag, S., 2015. Assessment of Bearing Capacity and Permeability of Foundation Rocks at the Gumustas Waste Dam Site, (NE Turkey) Using Empirical and Numerical Analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1099–1110.
- Arslan, M. ve Aliyazıcıoğlu, I., 2001. Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gumushane) Volcanic Rocks: Implications for the Eocene Evolution of Eastern Pontide Arc Volcanism, Northeast Turkey. *International Geology Review*, 43, 595–610.
- Bostanci, H.T., Alemdag, S., Gurocak, Z. ve Gokceoglu, C., 2018. Combination of Discontinuity Characteristics and GIS for Regional Assessment of Natural Rock Slopes in a Mountainous Area (NE Turkey). *CATENA*, 165, 487-502.
- Bowles, J.E., 1996. *Foundation Analysis and Design*, (Fifth Ed.): New York, McGraw-Hill Inc. 1230p.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*: New York, Wiley Interscience, 251p.
- Ersoy, H., Bulut, F., Ersoy, A.F. ve Berkün, M., 2008. Municipal Solid Waste Management and Practices in Coastal Cities of the Eastern Black Sea: A Case Study of Trabzon City, NE Turkey.

Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67(3), 321–333.

- Ersoy, H., Karahan, M., Gelişli, K., Akgün, A., Anılan, T., Sünnetçi, M.O. ve Yahşi B.K., 2019. Modelling of the Landslide-Induced Impulse Waves in the Artvin Dam Reservoir by Empirical Approach and 3D Numerical Simulation. *Engineering Geology*, 249, 112–128.
- Foyo, A., Sanchez, M. A. ve Tomillo, C., 2005. A Proposal for a Secondary Permeability Index Obtained from Water Pressure Tests in Dam Foundations. *Engineering Geology*, 77, 69–82.
- Gurocak, Z., Alemdag, S. ve Zaman, M., 2008. Rock Slope Stability and Excavatability Assessment of Rocks at the Kapıkaya Dam Site, Eastern Turkey. *Engineering Geology*, 96(1-2), 17-27.
- Gurocak, Z. ve Alemdag, S., 2012. Assessment of Permeability and Injection Depth at the Atasu Dam Site (Turkey) Based on Experimental and Numerical Analyses. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 71, 221–229.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., Bostanci, H.T. ve Gokceoglu, C., 2017. Discontinuity Controlled Slope Failure Zoning for a Granitoid Complex: A fuzzy Approach. *Rock Mechanics and Engineering*, Volume 5: Surface and Underground Projects, CRC Press Taylor & Francis Group, eBook ISBN: 978-1-317-48188-1, Pages 1-25.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. T. ve Corkum, B., 2002. Hoek–Brown Failure Criterion-2002 Edition. In: *Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium*. Toronto, Canada 1, 267–273.
- Hoek, E., Carter, T. G. ve Diederichs, M. S., 2013. *Quantification of the Geological Strength Index Chart*. 47th US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, San Francisco, USA.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. In: Ulusay R, Hudson JA (Eds.), *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*. Kazan Offset Pres, Ankara, 628 s.
- Kanık, M. ve Ersoy, H., 2019. Evaluation of the Engineering Geological Investigation of the Ayvalı Dam Site (NE Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 89.
- Karaguzel, R. ve Kilic, R., 2000. The Effect of the Alteration Degree of Ophiolitic Melange on Permeability and Grouting. *Engineering Geology*, 57, 1–12.

- Kaya, A., Bulut, F., Alemdag, S., 2011. Applicability of Excavatability Classification Systems in Underground Excavations: An Example of Konakönü Tunnel, Trabzon, Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6(25), 5331-5341.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Sciences*, 20, 137–159.
- Kulhawy, F.H. ve Carter, J.P., 1992. Settlement and Bearing Capacity of Foundations on Rock Masses and Socketed Foundations in Rock Masses. In: Bell F.G. (Ed.), *Engineering in Rock Masses*. Butterworth–Heinemann, Oxford, pp. 231–245.
- Lugeon, M., 1933. *Barrages et Geologic Methods de Recherche Terrasement et un Permeabilisation*. Litrairedes Universite, Paris.
- Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 29417, 15 Temmuz 2015.
- Moosavi, S.A., Goshtasbi, K., Kazemzadeh, E., Alokı Bakhtiari, H., Esfahani, M. R. ve Vali, J., 2012. Relationship Between Porosity and Permeability with Stress Using Pore Volume Compressibility Characteristic of Reservoir Rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 231-239.
- Noorzad, R. ve Manavirad E., 2012. Bearing Capacity of Two Close Strip Footings on Soft Clay Reinforced with Geotextile. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 623-639.
- Rad, H. S., Mohitazar M. ve Dizadji M., 2013. Distinct Element Simulation of Ultimate Bearing Capacity in Jointed Rock Foundations. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4427–4434.
- Rocscience, 2007. *Roclab v1.03 Rock Mass Strength Analysis Using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion*. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2019. *RS2 9.0 Finite Element Groundwater Seepage*. Geomech Software and Res. Rocsci, Toronto.
- Türkmen, S., Tağa, H. ve Özgüler, E., 2013. Effect of Construction Material on Dam Type Selection of the Büyük Karacay Dam (Hatay, Turkey). *Geotechnical and Geological Engineering*, 31, 1137–1149.
- Tsiambaos, G. ve Saroglou, H., 2010. Excavatability Assessment of Rock Masses Using the Geological Strength Index (GSI). *Bulletin of Engineering Geology and the Environmental*, 69(1), 13-27.
- Wang, J.S.Y., Trautz, R.C., Cook, P.J., Finsterle, S., James, A.L. ve Birkholzer, J., 1999. Field Tests and Model Analyses of Seepage into Drift. *Journal of Contaminant Hydrology*, 38(1–3), 323–347.
- Wyllie, D. C., 1992. *Foundations on Rock*: London, Chapman and Hall, 457p.