

## BİR MADEN SAHASINDA KAYA KÜTLESİ HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE KESTİRİMİ

İbrahim Ferid ÖGE<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-6243-8268)\*

<sup>1</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

Geliş / Received: 03.12.2017  
Kabul / Accepted: 16.02.2018

### ÖZ

Yeraltı suyunun madencilik faaliyetlerinden kazı faaliyetlerinden kazı ve tahkimat sistemlerine doğrudan etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle kaya kütle permeabilitesinin araştırılması ve incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Lugeon testi bir kaya kütle permeabilitesinin ölçülmesinde kullanılan yerinde deneylerden biridir. Süreksizliklerin konumu, sıklığı, açıklığı, yüzey kalitesi, dolgu varlığı ve tipi kaya kütle permeabilitesinde önemli rol oynar. Yaygın olarak kullanılan RQD (Kaya Kalite Göstergesi) ve Dc (RMR sisteminin süreksizlik durum puanı) kaya kütle permeabilitesinin kestiriminde kullanılmak üzere seçilmiştir. Buna ek olarak süreksizliklerin birbirine olan temasını doğrudan etkileyen arazi gerilmesi, derinlik dikkate alınarak kestirim çalışmalarına dâhil edilmiştir. Kaya kütle permeabilitesi karmaşık bir mekanizmaya sahip olduğu öngörülerek, çoklu regresyon yöntemi kaya kütle parametreleri ile Lugeon değerinin ilişkilendirilmesinde kullanılmıştır. Sunulan eşitlikler benzer saha koşullarında kullanılabilir de arazi testlerinin temel alınması gerektiği hatırlanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaya kütle permeabilitesi, kaya kütle, yeraltı suyu, Lugeon

## ESTIMATION OF ROCK MASS PERMEABILITY IN A MINE SITE BY USING MULTIPLE REGRESSION METHOD

### ABSTRACT

Groundwater has a direct impact on the excavation operations and support systems of underground mining activities. Therefore, it is necessary to investigate the rock mass permeability. Lugeon test is one of the in-situ tests being used for measurement of the rock mass permeability. Discontinuity orientation, spacing, aperture, surface quality, the presence and type of filling play important role in the permeability of the rock mass. Commonly used parameters, RQD (Rock Quality Designation) and Dc (Discontinuity Condition Rating of the RMR) were selected for prediction of the rock mass permeability. Additionally, the field stress directly influencing the interlocking of the discontinuities is taken into account in terms of depth and included in the predictions. Foreseeing that the rock mass permeability has a complex mechanism, multiple regression methods were employed in order to relate rock mass parameters with Lugeon value. Although the presented equations can be used in similar field conditions, it must be recalled that the in-situ testing remains to establish a basis for the investigations.

**Keywords:** Rock mass permeability, rock mass, groundwater, Lugeon

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 252 211 22 08; e-mail / e-posta: feridoge@mu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yeraltı suyu, kaya üzerine inşa edilmiş mühendislik yapıları üzerinde kazı işleri, kaya kütlesi deformasyonu ve duraylılık anlamında önemli bir etkiye sahiptir. Yeraltı suyunun etki şiddeti, suyun varlığına, çeşitli mühendislik parametrelerine ve ayrıca kaya malzemesinin neme karşı hassasiyetine bağlıdır. Yeraltı kaya mühendisliği yapıları için, yer altı suyunun su basıncına ve su geliş miktarına ilişkin araştırmalar çok önemlidir [1, 2] çünkü bunlar, operasyonel konuları ve yapının ve yeraltı destek sistemlerinin duraylılığını önemli şekilde etkiler. Operasyonel konular arasında, pompa seçimi ve su deşarjı için altyapı tasarımı, enjeksiyon gereksinimlerinin belirlenmesi, su yalıtımı sayılabilir. Barajlar ve temelleri gibi yüzey yapıları için zeminin geçirgenlik özelliği önemli bir rol oynamaktadır [3, 4]. Bir kaya kütlesi içindeki doğal süreksizlikler, kaya kütlesindeki su geçirimi için yol teşkil etmektedir [5]. Literatürde, kaya kütlesi hidrolik iletkenliği, kaya kütle permeabilitesi (geçirgenliği) ve ikincil permeabilite terimleri birbirinin yerine kullanılabilir [6] ve Lugeon testi sabit basınçlı yerinde arazi deneylerinden biridir. Alternatif olarak, slug testi, oldukça kırıklı kaya kütlelerinde de uygulanabilir [7, 8].

Kaya kütlelerinin permeabilitesi (hidrolik iletkenliği) karmaşık bir süreç olduğundan, araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Snow [9, 10], farklı süreksizlik paternlerini dikkate alarak kaya kütlelerinin hidrolik iletkenliğini incelemiştir. Oda vd. [11] homojen bir anizotropik gözenekli ortam olarak muamele ederek rasgele ve çok eklemlili kaya kütlesi permeabilitesini incelemiştir. Foyo vd. [3] Lugeon testlerini kullanarak İkincil Geçirgenlik Endeksi önermiştir. Endeks, kaya kütlelerinin sınıflandırılması ve enjeksiyonlama gibi müdahalelerin gerekliliği için kullanılabilir. Araştırmacılar, kaya kütlesindeki süreksizlik ve dolgu özelliklerinin hidrolik iletkenlikle ilgisi olduğunu belirtmişlerdir. Nappi vd. [12] bir bölgedeki mostradaki Lugeon değerlerini araştırmış ve süreksizlik özelliklerini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, derinliğin, hidrolik iletkenlik üzerinde bir etkisi olduğunu belirtti. Zhou vd. [13] ve Rong vd. [14], kaya bloklarının arazi gerilmesi altında kenetlenme etkisini ve süreksizlik açıklığının hidrolik iletkenliğe olan etkisini incelemiştir.

Eklemlili kaya kütlelerinin permeabilitesi inceleneceği zaman, süreksizlik özellikleri hakkında detaylı bilgi gerektiren detaylı yaklaşımların uygulanması gerekebilir. Kaya kütlesindeki süreksizlik sistemlerinin çeşitli özelliklerinin toplanması hâlâ pratik bir mücadeledir ve açıkça toplanması oldukça zordur [14]. Ayrıntılı teorik çalışmalara ek olarak, istatistiksel araçlar kullanıldığında, kaya kütle permeabilitesi değerinin kestirimine yönelik bilgi edinilebilmektedir. Kayabaşı vd. [15] Lugeon verilerini, süreksizlik aralığı ve süreksizlik durumunu dikkate almıştır [16]. Assari ve Mohammadi [17] Karstik formasyonda heterojen hidrolik özelliklerin bulunduğu bir baraj yerini araştırmıştır. Araştırmacılar, RQD ve Lugeon değerlerini göz önüne alarak stokastik bir simülasyon tekniği uyguladılar.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Lugeon Testi, Kaya Kütlesi Özellikleri ve Permeabilitesi

Kaya kütlesi permeabilitesi hem laboratuvar ölçeğinde hem de saha ölçeğinde ölçülebilir ve daha sonra belirli bir bölgedeki toplam yer altı suyu akışının hesaplanmasında kullanılabilir. Zemin malzemesi dikkate alındığında bütün gözenekler veya boşluklar birbirine bağlı olduğu söylenebilir ve genel olarak gradasyon, yoğunluk, gözeneklilik, boşluk oranı, doygunluk derecesi ve stratifikasyon geçirgenliği etkiler [18]. Genel olarak çatıksız bir kaya malzemesi, gözenekleri içeren mineral taneler ile sıkı veya çimentolaşmış bir ortam sunar. Gözenekler veya boşluklar birbirine bağlı değildir, ancak kaya kütlesi masif ise, çok düşük veya ihmal edilebilecek seviyede permeabilite gösterir. Sağlam kayaçların hidrolik iletkenliği ile süreksizlik içeren kaya kütlesi mukayese edildiğinde, süreksizliklerin varlığı ve sıklığı nedeniyle birbirinden açıkça farklılık gösterir. Süreksizlik yüzey durumu, yani süreksizliğin uzanımı, sıklığı, açıklığı, pürüzlülüğü, dolgu türü ve dolgu kalınlığı, bir kaya kütlesi boyunca su geçirimi ve kaya kütlesi mukavemetini etkiler. İlgi alanı bir kaya kütlesi olduğunda alan ölçeğinde kestirim ve yerinde hidrolik iletkenlik ölçümü daha da önem kazanmaktadır.

Lugeon testi, kaya kütlesi permeabilitesinin yerinde ölçümü için yaygın olarak kullanılmaktadır ve bazen pakeri testi olarak da adlandırılır. Bu test, adını, 1933 yılında metodu ilk kez uygulayıp formüle eden bir jeolog olan Maurice Lugeon'a borçludur [19]. Lugeon testi, bir sondaj deliğinin belirli ve izole edilmiş bir aralığında uygulanan sabit basınç geçirgenlik testidir. Test bölümü, sondaj deliğine oturan üst ve alt şişirilebilir pakeler tarafından sınırlandırılmıştır. Testten önce maksimum bir test basıncı tayin edilir. Kuyu deliği duvarlarında hidrolik çatlatma oluşmaması gerektiğine dikkat edilmelidir. Test genellikle beş kademede veya daha fazla adımda yürütülür. Her aşamada maksimum basıncın belirli bir yüzdesine erişilerek sabit tutulur ve 10 dakika boyunca uygulanır. Her kademede su kaybı kaydedilmelidir. İlk kademe basıncı maksimum basınçtan düşük

**BİR MADEN SAHASINDA KAYA KÜTLESİ HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE KESTİRİMİ**

olmalıdır. Maksimum basınç kademesine ulaşılmışından sonra, daha düşük basınç kademeleri uygulanmalıdır [12, 20]

Bu testte elde edilen geçirgenlik değeri, test bölümünde kuyu deliğinin duvarına temasta bulunan doğal süreksizlikler hakkında yaklaşık bir bilgi de verir (Tablo 1). Sonuçlar, Lugeon (Lu olarak kısaltılmıştır) birimlerinde ifade edilir. Bir Lugeon, 1 MPa'lık efektif basınçta, test bölümünün metre başına uzunluğu için 1 litre / dakika su kaybı olarak tanımlanır [6].

$$\text{Lugeon} = Lu = (q/L) \times (P_0/P) \tag{1}$$

Burada Lugeon değeri, su kaybı q (lt / dak), test uzunluğu L (m), referans basınç P<sub>0</sub> (1 MPa) ve kademede uygulanan basınç P (MPa) kullanılarak hesaplanır.

**Tablo 1.** Lugeon değerleri ve kaya kütle özellikleri [20]

Lugeon değeri aralığı	Permeabilite sınıflaması	Kaya kütle permealitesi (cm/sn)	Kaya kütle süreksizlik durumu	Raporlama hassasiyeti (Lugeons)
<1	Çok Az	<1x10 <sup>-5</sup>	Çok Sıkı	<1
1-5	Az	1x10 <sup>-5</sup> – 6x10 <sup>-5</sup>	Sıkı	±0
5-15	Orta-Az	6x10 <sup>-5</sup> – 2x10 <sup>-4</sup>	Kısmen aralıklı	±1
15-50	Orta	2x10 <sup>-4</sup> – 6x10 <sup>-4</sup>	Bir kısmı açık ve aralıklı	±5
50-100	Yüksek	6x10 <sup>-4</sup> – 1x10 <sup>-3</sup>	Çoğunlukla açık ve aralıklı	±10
>100	Çok Yüksek	> 1x10 <sup>-3</sup>	Boşluklu, sık çatlaklı ve açık	>100

1 Lugeon=1.3x10<sup>-5</sup> cm/sec =1.3x10<sup>-7</sup>m/sec olarak alındığında herhangi bir Lugeon değeri için kaya kütle permealitesi yaklaşık olarak hesaplanabilir, [6].

Bu çalışmada, kaya kütle permealitesini temsilen Lugeon değeri dikkate alınmıştır. RQD değeri hidrolik iletkenlikle ilişkisi olduğu için Lugeon'un tahmini için kullanılmıştır. Deere vd. tarafından geliştirilen [21] Kaya Kalite Belirleme İndeksi (RQD) değeri, bu çalışmada Lugeon testinin uygulandığı sondaj karot örnekleri elde edilerek hesaplanmıştır. RQD, 100 mm'den uzun karot parçaların toplam uzunluğunun yüzde olarak ifadesi olarak kısaca tanımlanır. Yaygın olarak kullanılan bir parametre olarak RQD, kırık yoğunluğu, hacimsel eklem sayısı veya kaya blok hacmiyle de ilişkilendirilebilir [22]. Arazi gerilmesi derinlik ile temsil edilmiştir. Kaya kütle permealitesi üzerindeki etkisi nedeniyle, RMR kaya kütle puanlama sistemine ait süreksizlik durum puanlaması (Dc) çalışmaya dahil edilmiştir [23]. Süreksizlik durumu derecelendirme tablosu Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** Süreksizlik durum puanlaması, Dc [23]

Süreksizlik uzunluğu (devamlılığı)	< 1 m	1 - 3 m	3 -10 m	10 - 20 m	> 20 m
Süreksizlik aralığı (açıklığı)	Kapalı 6	< 0.1 mm 5	0.1 – 1.0 mm 4	1 – 5 mm 1	> 5 mm 0
Pürüzlülük	Çok pürüzlü 6	Pürüzlü 5	Hafif pürüzlü 3	Pürüzsüz 1	Cıvalı, kayma izli 0
Dolgu	Yok 6	Sert dolgu < 5mm 4	Sert dolgu > 5mm 2	Yumuşak dolgu < 5mm 2	Yumuşak dolgu > 5mm 0
Bozunma	Bozunmamış 6	Hafif bozunmuş 5	Orta bozunmuş 3	Çok Bozunmuş 1	Tamamen bozunmuş 0

**2.2. Çalışma Alanı ve Jeolojisi**

Lugeon testleri ve jeoteknik amaçlı araştırma sondajları Soma kömür havzasında yürütülmüştür. Bölge, Manisa ve İzmir il sınırları içerisinde Soma kömür havzasında bulunmaktadır. Kömür damarının sığ derinlikte bulunduğu havzanın kuzey bölgesinde açık işletme yeraltı. Bölgede, yer altı kömür ocakları 150-400 m derinlik aralığında çalışmaktadır [24, 25]. Halen işletilmekte olan maden işletmelerinden yaklaşık 5 km mesafede ise 700 ve 1200 m arasında değişen derinliklere sahip, kamuya ait ve özel yeraltı kömür ocakları planlanmaktadır.

İ. F. ÖGE

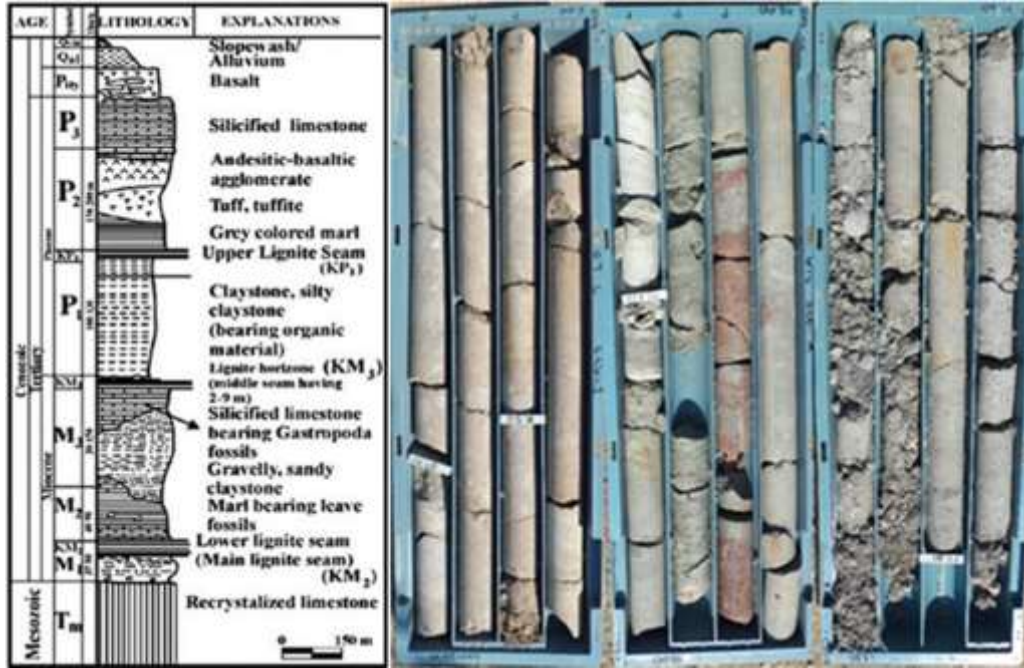
İnceleme alanını içine alan bölgede genel jeoloji ve madencilik faaliyetlerine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Son olarak kuyu açma işinin yürütüldüğü ruhsat sahasının kömür jeolojisini araştırmaya yönelik çalışma Tüysüz ve Genç [26] tarafından yapılmıştır. Saha jeolojisi ile ilgili bilgiler bu çalışmalardan derlenmiştir. Çalışma alanının tabanında Triyas yaşlı zayıf dereceli metamorfik çökel kayaları yer almaktadır (Kınık formasyonu). Temel birimleri üzerinde açılacak uyumsuzluk ile Neojen birimleri depolanmıştır. Bunlar başlıca Karasal (gösel) çökel ve volkanik birimlerden oluşmaktadır.

Kınık formasyonu çökel kökenli, metamorfizmaya uğramış fliş benzeri bir istiftir. Sleyt, fillat, metakumtaşı litolojilerinden oluşmakta ve değişik boyutlarda Permian yaşlı rekristalize kireçtaşı blokları içermektedir. Soma formasyonu çalışma alanı içerisinde mostra vermez.

Soma formasyonu ruhsat sahası içinde açılmış olan sondajlarda, metamorfik kayalar üzerinde diskordan olarak oturan bir taban çakıltaşı ile başlamaktadır. Çakıltaşları gri renkli, ince-orta tane boyulu ve kum, silt bağlayıcılıdır. Sondaj loglarında M1 simgesi ile gösterilmiş taban kırıntılıları üzerinde, kalınlığı 3,5 m ile 30 m arasında değişen bir linyit zonu gelir. Bölge Neojen literatüründe KM2 olarak bilinen bu linyit zonu genellikle sert, masif, siyah ve parlak bir görünüme sahiptir. KM2'nin alt bölümlerinde linyit kalitesi düşmekte ve kil oranı artmaktadır. KM2 zonunun üzerine mavimsi-gri renkli bir marn seviyesi gelmektedir. M2 olarak tanımlanmış olan bu litolojiyi Brinkmann vd. [27] istifte daha üstte yer alan kireçtaşları ile (M3) birleştirerek marn ve kireçtaşlarının her ikisini birden "marn-kalker serisi" olarak tanımlamıştır.

Deniz Formasyonu Soma formasyonu üzerine gelen kömür ara katkılı kırıntılı bir çökel istiftidir. Birim içinde Nebert [28] tarafından alttan üste doğru 6 alt seri tanımlanmıştır. Bunlar; Kumtaşı-Silttaşı-Alacalı Kil seviyesi (P1), Üst Linyit seviyesi (KP1), Kil-Tüf-Marn seviyesi (P2ab), Kil-Kumtaşı-Çakıltaşı seviyesi (P2c), İnce çakıllı (silisli) kalker seviyesi (P3) ve Tüf-aglomera (P4 veya Pltv) seviyelerini tanımlamıştır.

Bölgedeki stratigrafi ve Lugeon testlerinin uygulandığı sondaj kuyularından elde edilmiş bazı sondaj karot örnekleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Soma kömür havzası stratigrafisi (solda) [29], volkanik ve sedimanter kaya örnekleri (sağda)

### 2.3. Saha Çalışmaları

Çalışma sahasında dört adet sondaj deliği, Lugeon testine tabi tutulmuştur. Bu sondaj delikleri, maden erişim açıklıkları (desandre ve kuyular) için geoteknik ve hidrojeolojik araştırmalar yapmak üzere açılmıştır. Sondaj derinlikleri ilgili alanı oluşturan desandre ve maden kuyularına göre ayarlanmıştır. Sondajlar hakkında detaylı bilgi şöyle verilebilir:

BH1: Bu kuyu boyunca 27 ila 76 m arasındaki derinliklerde 3 Lugeon testi yapılmıştır. Deney yerlerinde kaya türleri aglomerik, bazaltik ve andezitik tüf olarak gözlemlenmiştir.

## BİR MADEN SAHASINDA KAYA KÜTLESİ HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE KESTİRİMİ

BH2: Sondaj kuyusunun 8 ila 80 m arasında 10 Lugeon testi gerçekleştirilmiştir. Silttaşı ve çakıltası tabakaları, kil ve kum ile birlikte bulunmaktadır.

BH3: 40 ila 90 m aralığındaki derinliklerde 6 Lugeon testi uygulanmıştır. 40-140 m derinlikte çatlaklı andezit, 140-236 m tüfit aglomera, 236-306 m andezit, 306-340 m bazalt, andezit ve çok kırıklı 10 m kalınlığındaki silisifiye kireçtaşı gözlenmiştir. Sondaj kuyusu BH3, maden kuyusu l'in merkez hattında bulunur.

BH4: 31 Lugeon testleri, 15 ila 386 m derinlik ile 684 ila 772 m derinlikler arasında uygulanmıştır. İlk 125 m boyunca kuyu, tüf, andezit, aglomera birimleri içerisinde geçmiştir. 125 ile 228 m arasında jeolojik birimler silttaşı, kiltası ve marndır. 228 ila 276 m arasında, dasit, andezit aglomera ve tüfler yeniden ortaya çıkmaktadır. Jeolojik birim kontaklarında, kırılmış ve kayma izli süreksizlik yüzeyleri gözlenmiştir. 276 ila 383 m arasında P2c olarak adlandırılan Pliyosen yaşlı kiltası, konglomera, silttaşı, kumtaşı ve marn katmanları mevcuttur. 684-772 m derinlikte P1 Pliyosen yaşlı kiltası, silttaşı tabakaları, Miyosen yaşlı kireçtaşı (M3) ve Miyosen yaşlı Marn (M2) birimleri mevcuttur. Bu sondaj kuyusu da diğer maden kuyusu merkez ekseninde açılmıştır.

BH1 ve BH2 sondajları arasında yaklaşık 170m mesafe bulunmaktadır ve tamamen farklı jeolojik koşullar görülmüştür. BH3 ve BH4 sondajları arasında 50m mesafe bulunmaktadır. Bu iki sondaj grubu arasında mesafe ise 2500m'yi geçmektedir.

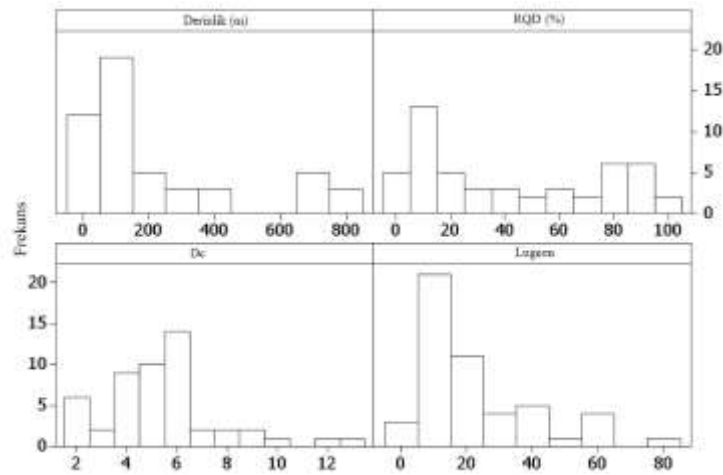
Sondajlarda Lugeon testi uygulanan kısma karşılık gelen RQD ve Dc parametreleri sondaj karotlarından elde edilerek hesaplanmıştır.

### 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1.Kaya Kütleli ve Lugeon Değerinin İlişkilendirilmesi

Çalışmada verildiği gibi mevcut literatürde, kaya kütleli permeabilitesini etkileyen birkaç parametrenin önemini belirtmiştir. Arazi gerilmesinin kaya kütleli permeabilitesi üzerindeki etkisi derinlik ile temsil edilmiştir. Süreksizlik sıklığı, yeraltı suyunun akacağı yolların miktarını tanımladığından, bir başka önemli parametredir. RQD, çalışmada süreksizlik sıklığını temsil etmek üzere seçilmiştir. Buna ek olarak, süreksizlik yüzeyi özellikleri sıvı akışı sırasında önemli bir rol oynamaktadır: süreksizliğin devamlılığı ve kenetlenmesi, açıklık, dolgu varlığı ve türü, süreksizlik yüzeylerinin geometrik karakteri. Süreksizlik özellikleri için hidrolik açıdan bir sınıflandırma sistemi literatürde bulunmadığından, RMR süreksizlik durumu puanlama tablosu kullanılmıştır ve Dc parametresi çalışmaya dâhil edilmiştir.

50 adet Lugeon testi ve kaya kütleli özelliklerinden oluşan veri için histogramlar (frekans dağılımı) Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma, RQD'nin tüm yelpazesini kapsamaktadır. RMR parametresi olan Dc, 0 ile 30 arasında değişmekte olup bu çalışmada en fazla 13 değerine ulaşılmıştır. Burada, zayıf süreksizlik yüzey koşullarının daha sık rastlandığı görülebilmektedir. Lugeon değeri için 0 ile 80 arasında bir aralık mevcuttur. Değerlerin büyük bir kısmı çok düşük-orta seviyedeki hidrolik iletkenliğe kadar sınıflandırılabilirken, yüksek iletkenlik için çok az veri mevcuttur.



Şekil 2. Mevcut saha verilerinin dağılımını gösteren histogramlar

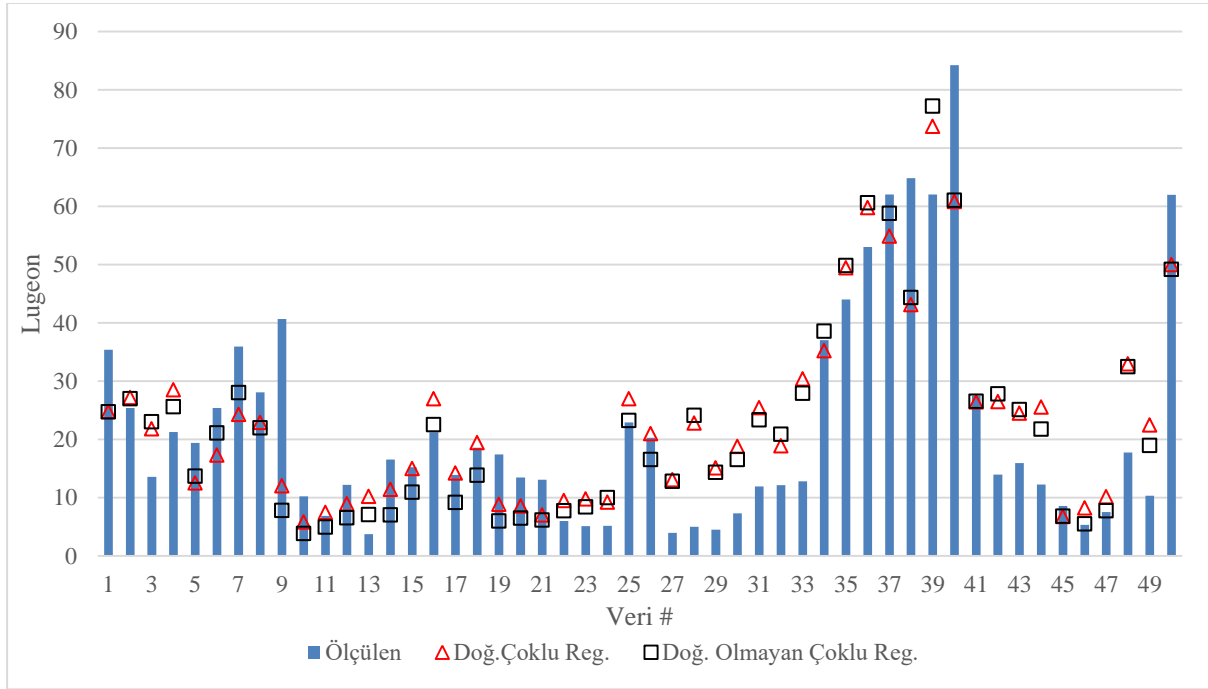
İ. F. ÖGE

Mevcut veri ile doğrusal ve doğrusal olmayan çoklu regresyon yöntemi uygulanarak Lugeon değeri ve kaya kütlesi arasında ilişkiler üretilmiştir. Çoklu regresyon çalışmaları için saha değerleri, Basarır vd. [30] gibi öğrenme ve doğrulama veri seti gruplarına ayrılmıştır. Veri satırlarının %80'i çoklu regresyon ile işlendiğinde aşağıda verilen iki eşitlik bulunmaktadır. Geriye kalan %20'si doğrulama veri setinde kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Regresyon modelleri

Tip	Çoklu Regresyon	Öğrenme veri seti				Doğrulama veri seti	
		MSE	DFE	SSE	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> adj. (%)	R <sup>2</sup> pred. (%)
Doğrusal	Lugeon = -6.42+0.0507 H+0.218 RQD +1.83 Dc	114.7	36	14749	72%	69.7	74%
Doğrusal olmayan	Lugeon = (H <sup>1.20768</sup> +RQD <sup>1.59227</sup> +Dc <sup>2.33228</sup> )×0.0154763	126.9	33	4184	-	-	74%

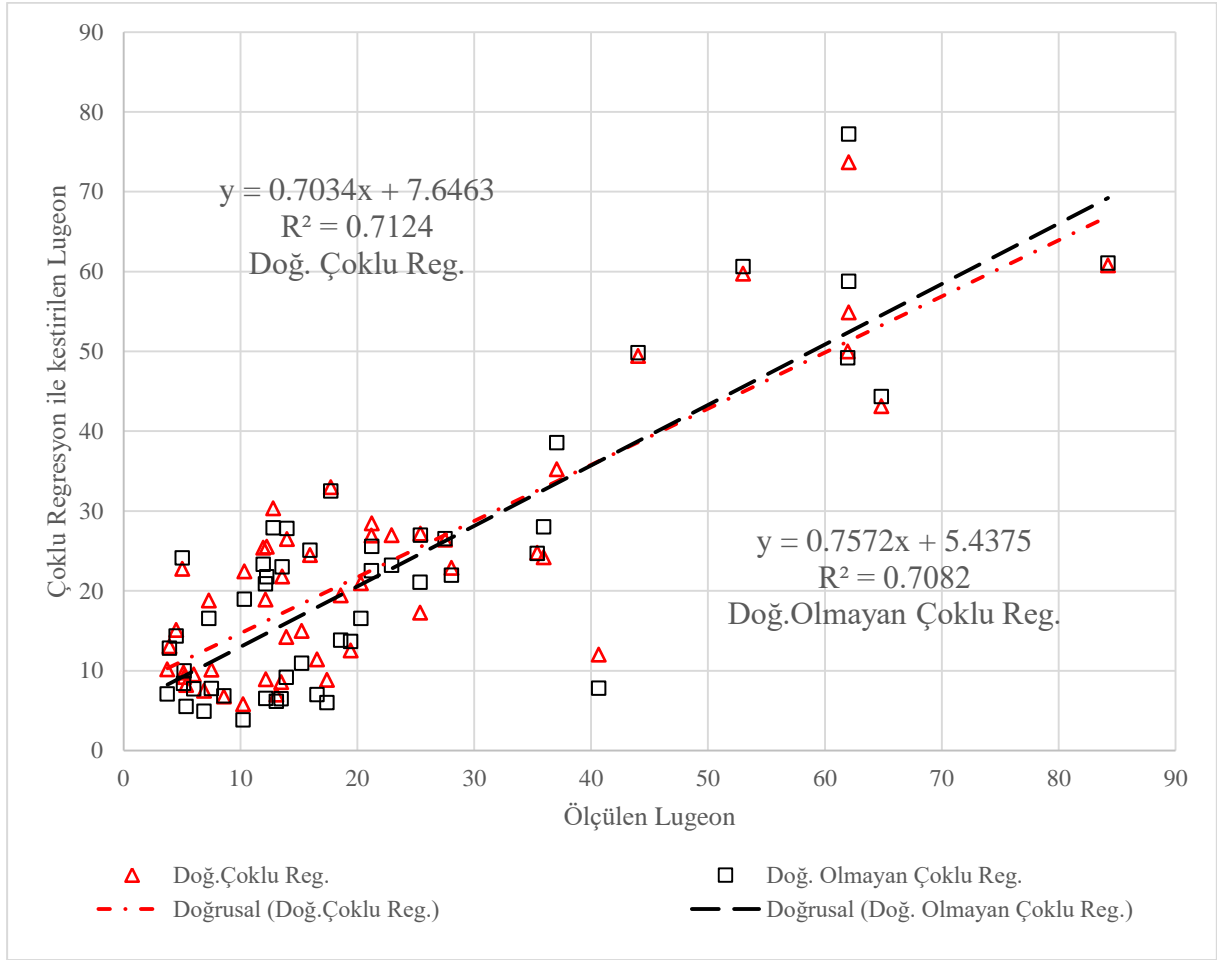
R<sup>2</sup> değerlerine ilaveten ortalama karesel hata (MSE), özgürlük derecesi hatası (DFE) ve kareler toplamı hata(SSE) kıyas açısından verilmiştir. Sahada ölçülen tüm veri ve regresyon kestirimlerinin performansını görsel açıdan incelemek için Şekil 3'ten yararlanılabilir.



**Şekil 3.** Ölçülen ve kestirilen Lugeon değerleri

Öğrenme ve doğrulama olmak üzere ikiye ayrılmış veri seti birleştirilerek, ölçülen ve çoklu regresyon yöntemi ile kestirilen Lugeon değerlerini mukayesesi Şekil 4'te verilmiştir. Tüm veri dikkate alındığında R<sup>2</sup> değeri 0.71 civarında bulunmaktadır.

## BİR MADEN SAHASINDA KAYA KÜTLESİ HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE KESTİRİMİ



Şekil 4. Ölçülen ve kestirilen Lugeon ile tüm veri için  $R^2$  değerleri

## 4. SONUÇLAR

Bu araştırmada, kaya kütlesi sınıflandırma parametreleri (Dc, RQD) ve derinlik, kaya kütlesi permeabilitesi (Lugeon) ile ilişkilendirilmiştir. Sondajlarda geçilen çeşitli kaya birimlerinde Lugeon testleri yapılmıştır ve sondajlardan elde edilen karotlar jeoteknik esas ile loglanmıştır. Sahada elde edilen veri ile gerçekleştirilen çoklu regresyon çalışmalarından elde edilen denklemler makalede verilmiştir. Daha hassas ilişkiler geliştirmek için RQD ve Dc değerlerini kullanmak yerine, kaya kütlesi sınıflandırma sistemlerine benzeyen, permeabilite için yeni bir kaya kütlesi sınıflandırma sistemi önerilebilir. Önceden mevcut olan (RQD ve Dc gibi) ve yaygın olarak kullanılan parametrelerin kaya kütle geçirgenliğini kestirmek için kullanılması daha yüksek kullanılabilirlik sağlayacaktır. Çalışmada kullanılan veri tabanının genişletilmesi ileride mümkün olursa, ilişkilerin kalitesinin geliştirilmesi sağlayacağı beklenmektedir. Kaya kütlelerinin hidrolik iletkenliği çok karmaşık olduğu ve yerinde test yapılmasının önemi ortadadır. Bununla birlikte, Lugeon test sonuçlarının yokluğunda, benzer jeolojik koşullarda önerilen denklemler fikir edinmek için kullanılabilir ve ileride yapılabilecek Lugeon tahmini çalışmasında derinlik parametresinin katılımı önerilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu bilimsel çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için destek veren Polyak Eynez Madencilik A.Ş.'ye ve yöneticilerine teşekkür eder. Çalışmada, uygulama ve saha verilerinin incelikte toplanmasında ve oluşturulmasında Jeoloji Baş Mühendisi Feridun Emre Yağımlı, Jeoloji Mühendisi Ali Türkoğlu değerli katkılar sağlamışlardır.

## KAYNAKLAR

- [1] AYDAN, Ö., ULUSAY, R., & TOKASHİKİ, N. “A new rock mass quality rating system: rock mass quality rating (RMQR) and its application to the estimation of geomechanical characteristics of rock masses” *Rock mechanics and rock engineering*, 47(4), 1255-1276, 2014.
- [2] SİNGH, T. D., & SİNGH, B. “Elsevier Geo-Engineering Book 5: Tunnelling In Weak Rocks (Vol. 5)”, Elsevier, 2006.
- [3] FOYO, A., SÁNCHEZ, M. A., & TOMİLLO, C., “A proposal for a secondary permeability index obtained from water pressure tests in dam foundations”, *Engineering geology*, 77(1), 69-82, 2005.
- [4] KARAGÜZEL, R., & KİLİC, R., “The effect of the alteration degree of ophiolitic melange on permeability and grouting”, *Engineering geology*, 57(1), 1-12, 2000.
- [5] REN, F., MA, G., FU, G., & ZHANG, K., “Investigation of the permeability anisotropy of 2D fractured rock masses”, *Engineering Geology*, 196, 171-182, 2015.
- [6] FELL, R., MACGREGOR, P., STAPLEDON, D., BELL, G. “Geotechnical engineering of dams”, CRC Press., 2005.
- [7] ERYİLMAZ, G. T., KORKMAZ, S., “Kuyu ve Akifer Testlerine Uygulanan Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Hidrolik İletkenliğin Belirlenmesi”, *Teknik Dergi*, 26(126), 2015.
- [8] ZLOTNLIK, V. A., & MCGUIRE, V. L., “Multi-level slug tests in highly permeable formations: 2. Hydraulic conductivity identification, method verification, and field applications”, *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 283-296, 1998.
- [9] SNOW, D.T., “Anisotropic permeability of fractured media”, *Water Resources Research*, 5(6), 1273-1289, 1969.
- [10] SNOW, D.T., “The frequency and apertures of fractures in rock”, In *International journal of Rock mechanics and Mining sciences & Geomechanics Abstracts (Vol. 7, No. 1, pp. 23IN131-30IN240)*. Pergamon, 1970.
- [11] ODA, M., HATSUYAMA, Y., & OHNISHI, Y. “Numerical experiments on permeability tensor and its application to jointed granite at Stripa mine, Sweden”, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 92(B8), 8037-8048, 1987.
- [12] NAPPÍ, M., ESPOSITO, L., PİSCOPO, V., & REGA, G. “Hydraulic characterisation of some arenaceous rocks of Molise (Southern Italy) through outcropping measurements and Lugeon tests”, *Engineering geology*, 81(1), 54-64, 2005.
- [13] ZHOU, C. B., SHARMA, R. S., CHEN, Y. F., & RONG, G., “Flow–stress coupled permeability tensor for fractured rock masses”, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 32(11), 1289-1309, 2008.
- [14] RONG, G., PENG, J., WANG, X., LİU, G., & HOU, D., “Permeability tensor and representative elementary volume of fractured rock masses”, *Hydrogeology journal*, 21(7), 1655-1671, 2013.
- [15] KAYABASI, A., YESİLOGLU-GULTEKİN, N., & GOKCEOGLU, C., “Use of non-linear prediction tools to assess rock mass permeability using various discontinuity parameters”, *Engineering Geology*, 185, 1-9, 2015.
- [16] SONMEZ, H., & ULUSAY, R., “Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36(6), 743-760, 1999.
- [17] ASSARİ, A., & MOHAMMADİ, Z., “Analysis of rock quality designation (RQD) and Lugeon values in a karstic formation using the sequential indicator simulation approach, Karun IV Dam site, Iran”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76(2), 771-782, 2017.
- [18] HUNT, R. E., “Geotechnical engineering investigation handbook” Crc Press, 2005.
- [19] LUGEON, M., “Barrage et Géologie”, Dunod, Paris, 1933.
- [20] QUIÑONES-ROZO, C., “Lugeon test interpretation, revisited”, *Collaborative Management of Integrated Watersheds*, US Society of Dams, 30th Annual Conference, pp. 405–414, 2010.
- [21] DEERE, D. U., HENDRON, A. J., PATTON, F. D., & CORDİNG, E. J., “Design of surface and near-surface construction in rock”, *The 8th US symposium on rock mechanics (USRMS)*. American Rock Mechanics Association, 1966.
- [22] PALMSTROM, A., “Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD)”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(4), 362-377, 2005.
- [23] BIENIAWSKI, Z. T., “Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering”, John Wiley & Sons, 1989.



*BİR MADEN SAHASINDA KAYA KÜTLESİ HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE KESTİRİMİ*

- [24] BASARİR, H., OGE, I. F., & AYDIN, O., “Prediction of the stresses around main and tail gates during top coal caving by 3D numerical analysis”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 76, 88-97, 2015.
- [25] AKSOY, C. O., KUCUK, K., & UYAR, G. G., “Long-term time-dependent consolidation analysis by numerical modelling to determine subsidence effect area induced by longwall top coal caving method”, *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 12(1), 18-37, 2016.
- [26] TÜYSÜZ, O., GENÇ, Ş.C., *Polyak Eynez (Elmadere) Linyit Sahası Jeolojisi*, 2013.
- [27] BRINKMANN, R., & FEIST, R., “Soma dağlarının jeolojisi”, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 74(74), 1970.
- [28] NEBERT, K., “Lignite bearing Soma Neogene area, western Turkey”, *Bulletin of Directorate of Mineral Research and Exploration*, 90, 20-70, 1978.
- [29] AKSOY, C. O., KOSE, H., ONARGAN, T., KOCA, Y., & HEASLEY, K., “Estimation of limit angle using laminated displacement discontinuity analysis in the Soma coal field, Western Turkey”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(4), 547-556, 2004.
- [30] BASARİR, H., TUTLUOGLU, L., & KARPUZ, C., “Penetration rate prediction for diamond bit drilling by adaptive neuro-fuzzy inference system and multiple regressions”. *Engineering Geology*, 173, 1-9, 2014.