



ZAYIF KAYA MALZEMELERİNİN YERİNDE DAYANIMININ BELİRLENMESİNDE İNDEKS DENEYLERİN KULLANIMI İLE İLGİLİ BİR YAKLAŞIM

¹İhsan ÖZKAN , ²Meriç KAYA 

*Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya,
TURKIYE*

¹iozkan@ktun.edu.tr, ²kayameric@hotmail.com

(Geliş/Received: 14.06.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 19.07.2019)

ÖZ: Bu çalışma, TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden ocağında hazırlık çalışmalarının yürütüldüğü A6 uzunayak panosunda gerçekleştirilmiştir. Kalın kömür damarı tabanında konumlanan zayıf ve tabakalı kiltası dayanımının belirlenmesi hedeflenmiştir. A6 panosuna ait nakliye galeri arını ve uzunayak kazı arını olacak kılavuz galeri arınında kiltası kaya birimi ile karşılaşılmıştır. Yerinde büyük ölçekli kazı arınlarında Schmidt sertlik (SH) ve nokta yükleme dayanımı (NYD) indeks deneylerinin yapılması planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 9 adet kazı arınında SH deneyleri, 3 adetinde ise NYD indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir. Toplam 66,75 m² olan deney bölgeleri, kendi içlerinde herbiri 0,25 m² olacak şekilde 267 birim ölçüm hücresine bölünmüştür. Birim hücrelerin orta noktasında en az üç kez tekrarlanmak kaydı ile SH deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, aynı birim hücrelerden alınan üç adet düzensiz örnek üzerinde NYD indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ölçekte deneylere yönelik öneriler veren ISRM (2007) ve ASTM (1993), saha uygulamalarının nasıl yapılacağı konusunda açık bir öneri vermemektedir. Karşılaşılan bu sorunun aşılmasına yönelik çalışmalar bu makalede sunulmuştur. Bu çalışmada, toplam 801 adet SH deney sonucu ve aynı zamanda gerçekleştirilen 336 adet NYD indeks deney sonucu birlikte değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yapılan analizler ışığında; (i) optimum deney sonucunu verecek deney alanı büyüklükleri ve birim ölçüm hücre adetleri belirlenmiştir, (ii) deney sonuçları arasındaki mekanik ilişkiler incelenmiştir, ve (iii) indeks deney sonuçlarına dayalı önerilen amprik yaklaşımlar kullanılarak, tek eksenli basma dayanımı (TEBD) değerleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. İndeks deneyleri için (SH ve NYD) optimum birim hücre sayısının (S), seçilen yüzey alanının 4 katı olduğu tespit edilmiştir. Tüm çalışma sahası için genel olarak SH, NYD ve TEBD deney sonuçları sırası ile $N = 21,35 \pm 1,86$, $I_s(50) = 0,704 \pm 0,133$ MPa, $\sigma_c = 7,84 \pm 3,69$ MPa olarak belirlenmiştir. Dolaylı indeks deneyleri (SH ve NYD) ile belirlenen amprik TEBD sonuçlarının, gerçek TEBD deney sonuçları ile örtüşmediği tespit edilerek kiltası için düzeltme katsayıları ($k_{SH} = 0,22$ ve $k_{NYD} = 0,51$) önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaya mekaniği, Yerinde indeks deneyler, Kiltası, Schmidt sertlik, Nokta yükleme dayanım

An approach to the use of index tests in determining of in-situ strength of weak rock materials

ABSTRACT: This study was carried out in the A6 longwall panel, where preparations are in progress in TKİ-GLİ-Ömerler underground mine. In this study, it is aimed to determine the strength of the weak and stratified claystone located in floor of thick coal seam. It was encountered with claystone in excavations carried out in the transportation roadway face and in the guide roadway face, which will be used for A6 panel. It was planned to carry out in situ Schmidt hardness (SH) and point load (NYD) index tests in large scale excavation faces. For this purpose, SH tests were performed in 9 excavation faces and also NYD index tests were carried out in 3 of them. The test areas, which has totaling 66,75 m², were divided into 267 units of measuring cells, of which has 0.25 m² each area. SH tests were performed at the midpoint of the unit cells with at least three repeats. In addition, NYD index tests were carried out on

three irregular samples taken from the same unit cells. ISRM (2007) and ASTM (1993), which provide recommendations for laboratory-scale experiments, do not provide a clear recommendation on how to perform field applications. Studies carried out to overcome this problem are presented in this article. In this study, a total of 801 SH test results and 336 NYD index test results were evaluated together. As a result of the analysis made; (i) the size of the test area and the number of units of measurement cells were determined to give the optimum test result, (ii) the mechanical relationships between the test results were examined, and (iii) uniaxial compressive strength (TEBD) values were determined and compared using suggested empirical approaches for index test results. It was determined for index tests that the optimum unit cell number (S) was determined to be 4 times the selected surface area. In general, SH, NYD and TEBD test results for all experimental areas were determined as $N = 21.35 \pm 1.86$, $I_s(50) = 0.704 \pm 0.133$ MPa, $\sigma_c = 7.84 \pm 3.69$ MPa, respectively. It was determined that the empirical TEBD results determined by indirect index tests (SH and NYD) did not match the actual TEBD test results. Therefore, in this study, correction coefficients ($k_{SH} = 0.22$ and $k_{NYD} = 0.51$) were proposed for the claystone rock unit.

Key Words: *Rock mechanics, In-situ index tests, Claystone, Schmidt hardness, Point load strength*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaya malzeme ve kütle özellikleri, yeraltı ve yerüstü kaya mühendislik yapılarının tasarımlarında kullanılan çok önemli girdi parametreleridir. Malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik deney yöntemleri ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından ortaya konmuştur. ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından önerilen deneysel yöntemler ile belirlenen tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, elastik modül, Poisson oranı, kohezyon, içsel sürtünme açısı, asal gerilme değerleri belirlenebilmektedir. Ancak bu parametrik mekanik değerlerin belirlenmesinde önerilen yöntemler için düzgün örneklerin hazırlanması gerektirmektedir (ISRM, 2007; ASTM, 1993). Kaya mühendislik yapılarının tasarım çalışmalarında çok sık kullanılan tek eksenli basma dayanımı (TEBD) deneyi, özellikle zayıf-tabakalı-kil içerikli-yoğun süreksizlik içeren kaya malzemelerinde örnek hazırlamada karşılaşılan zorluklar nedeni ile çoğu zaman olanaksız olmaktadır (Broch ve Franklin, 1972; Özkan, 1989; Unal, 1992; Ulusay ve diğ., 1995; Özkan ve Bilim, 2008). ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından bu sorunun aşılması için dolaylı deney yöntemleri önerilmektedir. SH ve NYD indeks deneyleri, bu deney yöntemleri arasında yer almaktadır. Her iki indeks deneyi için verilen önerilerin daha çok laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneyler için olduğu dikkat çekmektedir. Hafif ve taşınabilir özelliğe sahip laboratuvar ölçekli bu iki deney cihazı ile deneylerin yapılması pratik olduğu için saha çalışmalarında da kullanılmaktadır.

MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Büyük ölçekli nakliye ve kılavuz galeri arınında karşılaşılan zayıf ve tabakalı kıltaşı kaya malzemesinin yerinde malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak planlanan bu çalışmada, SH ve NYD deneylerinin yapılmasına karar verilmiştir. Ancak genel olarak laboratuvar ölçekte deneylerin yapılmasına ve değerlendirmesine yönelik öneriler veren ISRM (2007) ve ASTM (1993), büyük ölçekli yüzeylerde uygulamanın nasıl yapılacağı konusunda açık bir öneri vermemektedir. Karşılaşılan bu sorunun aşılması ve en doğruya yakın TEBD değerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar bu makalede sunulmuştur.

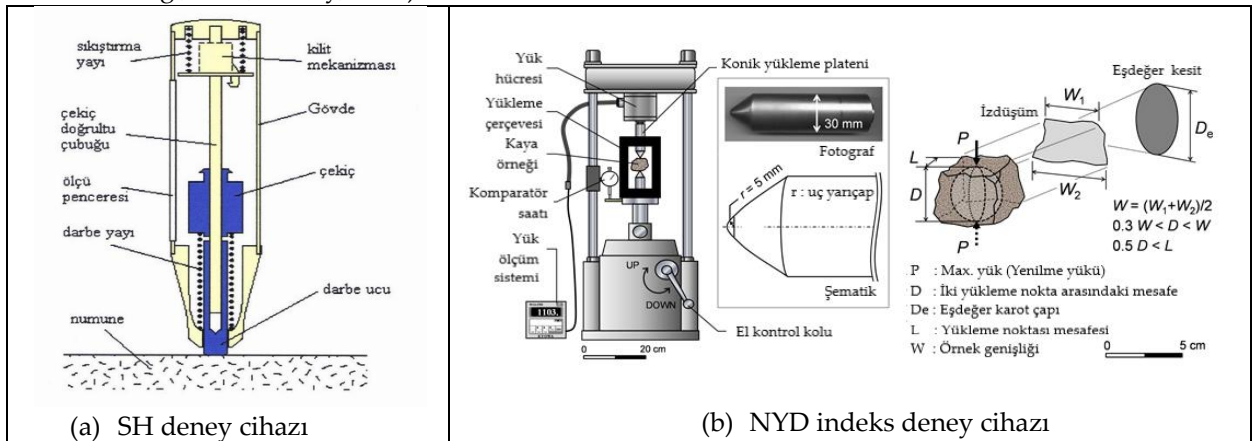
Schmidt Sertlik (SH) İndeks Deneyi (Schmidt Hardness Index Test)

Tüm kaya malzemelerinde kullanılmak ile birlikte özellikle zayıf-tabakalı-yoğun süreksizlik içeren kaya malzemelerinin ve süreksizlik yüzeylerinin dolaylı yoldan dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan SH, bugün kaya mekaniği çalışmalarında oldukça yaygın kullanılan bir deney cihazıdır. Hafif

ve taşınabilir olan deney cihazı sıkıştırılmış bir yay içermektedir. Deney esnasında bu yay, serbest kalarak ucundaki pim ile hızla kaya yüzeyine vurmakta ve pim geriye sıçramaktadır (Şekil 1a). Kaya yüzeyinin dayanımına bağlı olarak oluşan sıçrama mesafesi, kaya yüzeyinin sertliği olarak tanımlanmaktadır (ISRM, 2007). Sertlik değeri belirlenecek malzemede en az 20 ölçümün alınması ve bu ölçümlerin küçük olan en az %50' sinin atılması daha sonra geriye kalan verilerin aritmetik ortalamasının alınması ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından önerilmektedir. Geliştirilen bir abak (Deere ve Miller, 1966) yardımıyla malzemenin yoğunluk ve ölçülen SH değeri kullanılarak dolaylı yoldan TEBD değeri belirlenebilmektedir. Ayrıca SH deney sonuçları, kaya kütlelerinin makaslama dayanım davranışını açıklayan yaklaşımda girdi parametresi olarak kullanılmaktadır (Barton, 1973).

Nokta Yükleme Dayanımı (NYD) İndeks Deneyi (Point Load Strength Index Test)

İki konik uç tarafından noktasal olarak baskıya maruz bırakılan örnekler noktasal olarak kırılmaktadır (Şekil 1b). TEBD deneylerine yönelik örnek hazırlanamadığı koşullarda karot özelliği taşıyan küçük karot örnekleri üzerinde çapsal ve eksenel NYD deneyleri gerçekleştirilmektedir. Her iki deney sonucunun aritmetik ortalaması alınarak NYD deney sonucu, eksenel deney sonucunun çapsal deney sonucuna oranı ile de anisotropi (I_a) indeks değeri hesaplanabilmektedir. Bu prosüdür karot özelliği taşımayan düzensiz örnekler için de geçerlidir. NYD indeks deneyi ile tek eksenli basma ve çekme dayanımı değerleri arasında doğrusal bir yaklaşım olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Bieniawski, 1975; Özkan, 1989; Chau ve Wong 1996; Hawkins, 1998; Kahraman, 2001; Öztürk ve diğ., 2004, Akbay, 2018).



Yeraltı Deney Alanı Hakkında Genel Bilgi (The General Information about Underground Test Area)

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)'ne bağlı Kütahya-Tunçbilek-Ömerler yeraltı ocağında (GLİ) (Şekil 2a), mekanize kazı sistemi ile geri dönümlü göçertmeli uzun ayak üretim yöntemi kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan üretim yönteminde önce arındaki kömür tamburlu kesici-yükleyici ile bir have kesilmekte daha sonra ayak içindeki zincirli konveyör-tamburlu kesici yükleyici-yürüyen tahkimat üniteleri yeni arına yaklaştırmak için öne çekilmektedir. Uzunayak arkasında boşta kalan bölge üzerinde bulunan kömür ve onun üzerinde bulunan tavan taşı kırılarak düşmektedir. Ayak arkasında ilk önce kırılarak düşen kömür, ayak arkasından alındıktan sonra üst kısımda kırılmış vaziyette bekleyen kaya blokları aşağıya inmiş olmaktadır. Böylelikle üretimde bir üretim periyodu tamamlanmış olmakta yeni kazı aşamasına geçilmektedir. Uzunayak arkasında oluşan göçük bölgesi, gerileme dağılımlarının belirli bir dengeye ulaşmasına yardımcı olmaktadır (Peng ve Chiang, 1984).

Bölgede kömür kalınlığı 8-10 m aralığında olup kömür damarının alt kısmındaki yaklaşık 3,5 metrelik dilimi kazılarak alınırken bu dilimin üstünde kalan 5-6 metrelik kısım yürüyen tahkimat

birimlerinin arkasından göçertilerek alınmaktadır. Kömür ondülasyonu veya fay sistemleri nedeni ile kazı arını bazen taban taşı olabilmektedir.

Bu makalede verilen deneysel çalışmaların yerini gösteren bir plan görünüşü Şekil 2b' de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında yürütülen saha çalışmaları, hazırlık aşamasında olan A6 panosunun nakliye ve kılavuz galerisinde gerçekleştirilmiştir. A6 nakliye galerisi at nalı kesitine, kılavuz galerisi ise trapez kesitine sahiptir. Deney alanları iki farklı konumdan oluşmuştur. İlki galeri arınlarında diğeri ise galeri yan yüzeylerinde konumlanmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği galerilerin genişlikleri 5.5 m yükseklikleri 4.5 m olup galeri kesitleri yaklaşık 24 m²'dir. Galeri arınında taban taşı kilitasında seçilen yüzeyler 7-11 m²'lik büyüklüklere sahip iken galeri yan yüzeylerinde seçilen deney alanları 2-5 m² yüzey alanlarına sahip olmuştur. Tipik bir deney bölgesi Şekil 2c ve 2d' de sunulmuştur.

YERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR (IN-SITU TEST STUDIES)

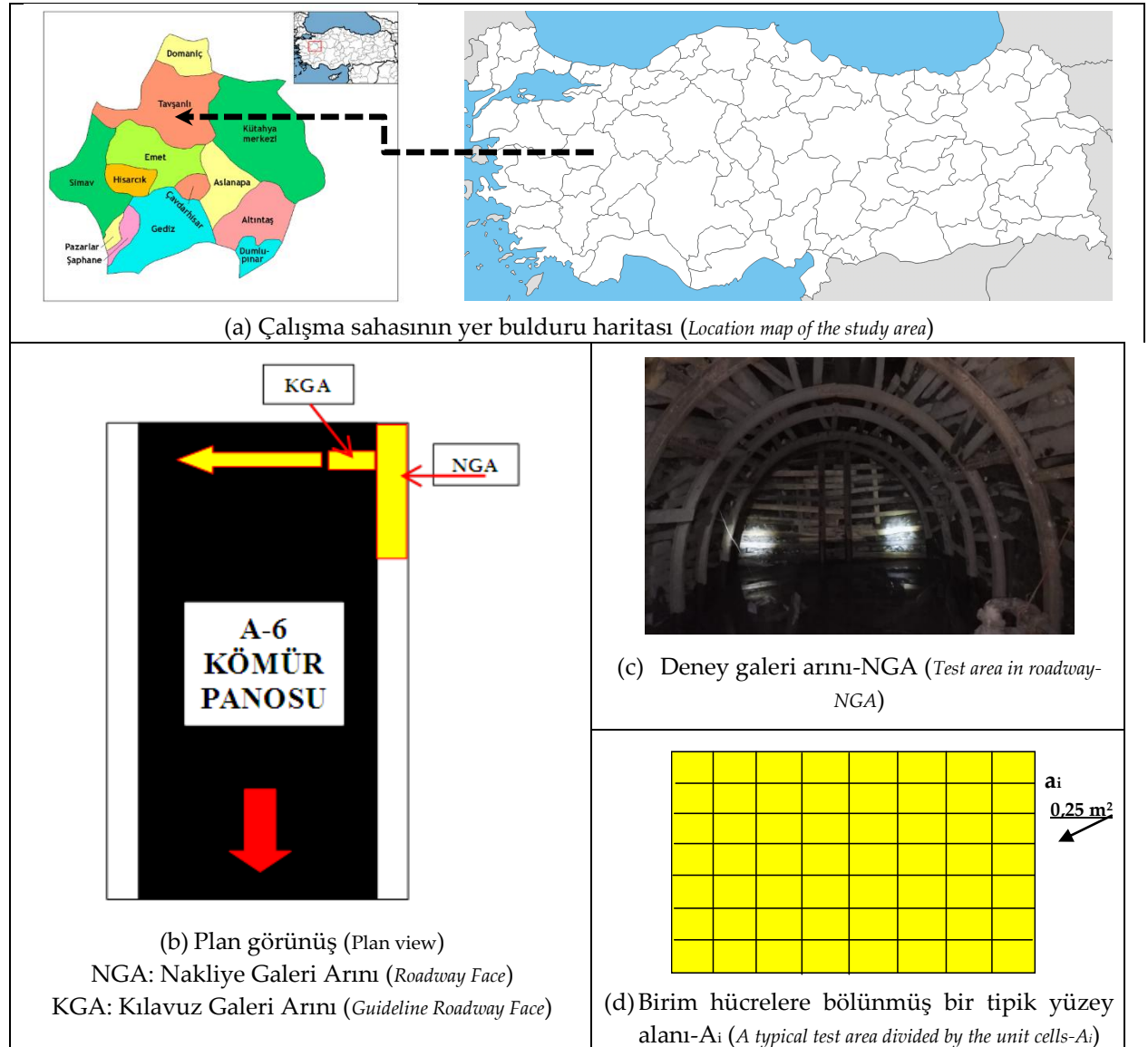
Galeri yüzeyinde karşılaşılan kilitaşı kaya malzemesine ait tek eksenli basma dayanımı (TEBD) değerini belirlemek bu çalışmanın ilk adımını oluşturmuştur. Kilitaşı malzemesinin zayıf ve tabakalı bir yapı içermesi nedeni ile galeri arınından kaya bloklarının alınmasında zorluklar ile karşılaşılmış ve sahadan temin edilen kaya bloklarından sınırlı sayıda TEBD örneği hazırlanabilmiştir. Hazırlanan veri tabanını güçlendirmek amacıyla, küçük ve düzensiz örnekler üzerinde deney yapılabilen NYD indeks deneylerinin ve kazı yüzeyinde SH deneylerinin yapılması planlanmıştır.

Şekil 2' de belirtilen A6 panosu nakliye galerisine ait hazırlık çalışması ile oluşturulan iki farklı galeri arınında (NGA-1, 2), iki farklı kılavuz galeri arınında (KGA-1, 2) ve bir kılavuz galerisi yan yüzeyinde (KGY-1, A6 panosunun uzunayak üretim arını olacak olan) ve nakliye galerisi yan yüzeylerinde 4 farklı bölgede (NGYY-1, 2, 3, 4) olmak üzere toplam 9 büyük yüzeyde deneylerin yapılması planlanmıştır. Dokuz yüzeyde sadece SH belirleme, bunların üçünde (NGA-1, KGA-1 ve KGY-1) ise hem SH hem de NYD deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yardımıyla bir veri tabanı hazırlanmıştır. Bu ölçüm alanları aşağıda sunulan Çizelge 1' de tanımlanmıştır. Her iki deneyin sahadaki büyük ölçekli yüzeylerde uygulanması için ISRM (2007) tarafından bir öneri bulunmaz iken ASTM (1993) tarafından sadece SH deneyleri için bir öneri verilmektedir. Saha uygulamaları için uygulama yapılan noktadan en az 15 cm uzaklıkta başka bir noktaya tekrar SH deneyinin uygulanması gerektiği vurgulanırken büyük ölçekli yüzeyin genel sonucunu belirleyebilmek için deneyin kaç kez tekrarlanması gerektiği konusunda herhangi bir bilgi verilmemiştir (Özkan, 2008; Mesutoğlu ve Özkan, 2019). Her iki deney için bu çalışmada Şekil 2d ve Çizelge 1'de belirtildiği üzere büyük ölçekli yüzeyler (A_i), kenar uzunlukları 0,5 m x 0,5 m olan 0,25 m²'lik birim ölçüm hücrelere (a_i) bölünmüştür. Büyük ölçekli ölçüm yüzeylerinde (A_i) hazırlanan birim ölçüm hücresinin (a_i) her birinde NYD ve SH indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. A6 panosunda gerçekleştirilen saha deneyleri için hazırlanan ölçüm alanları

Table 1. Test areas prepared for in situ tests carried out in A6 panel.

Ölçüm alanı	Ölçüm alanı tanımı	Ölçüm alan büyüklüğü (A _i) m ²	Ölçüm alanında oluşturulan birim ölçüm hücre (a _i) adedi (S)	
			SH Deneyleri	NYD Deneyleri
Nakliye Galeri Arını (NGA)	NGA-1	10,75	43	43
	NGA-2	7,25	29	-
Kılavuz Galeri Arını (KGA)	KGA-1	10	40	40
	KGA-2	8,25	33	-
Nakliye Galeri Yan Yüzü (NGYY)	NGYY-1	3,50	14	-
	NGYY-2	2,75	11	-
	NGYY-3	4,75	19	-
	NGYY-4	3	12	-
Kılavuz Galeri Yan Yüzü (KGY)	KGY-1	16,5 (7,25+9,25) (İki bitişik alan)	66 (29+37) (İki bitişik alan)	29
Toplam		65	260	112



Şekil 2. Deneysel çalışmaların yürütüldüğü bölge ve A6 panosuna ait plan görünüş

Figure 2. Location map of the study area and mMine plan showed the experimental locations in A6 panel

Schmidth Sertlik (SH) İndeks Deneyleeri (Schmidt Hardness Index Tests)

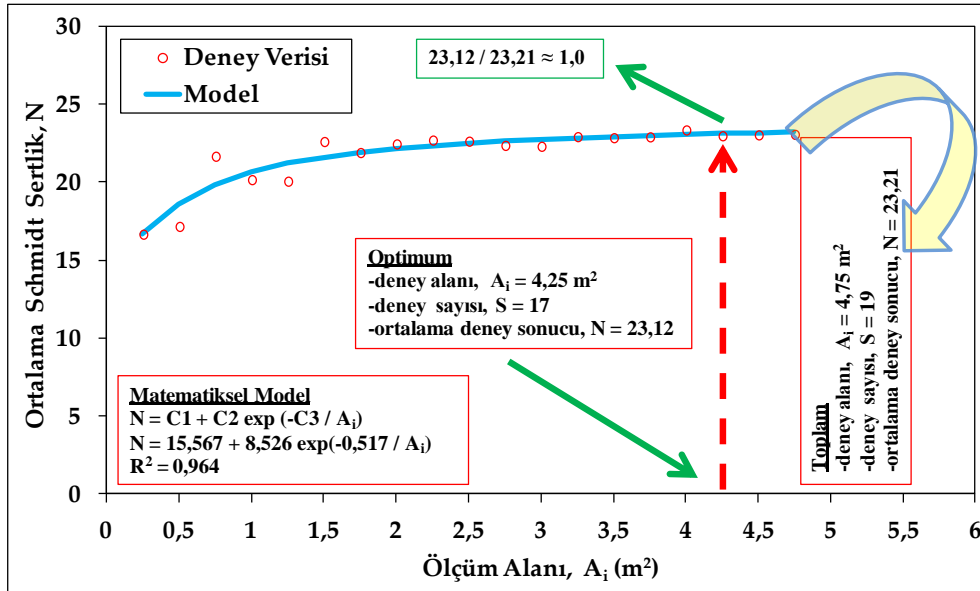
TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında A6 uzunayak panosunda gerçekleştirilen hazırlık çalışmaları kapsamında delme-patlatma ile açılan nakliye galerisi arınında iki farklı yüzeyde (NGA-1, 2), uzunayak panosunun arınınu oluşturmak amacıyla açılan klavuz galerisinin iki farklı yüzeyinde (KGA-1, 2), kılavuz galerisinin yan yüzeyinde (KGY-1) ve nakliye galerisinin dört farklı yan yüzeyinde (NGY-1, 2, 3, 4) olmak üzere seçilen toplam 66,75 m² yüzeyde 267 adet birim ölçüm hücresi (a_i) hazırlanmıştır. Her bir birim hücrede en az üç kez SH indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir. Herbir birim hücrede gerçekleştirilen 3 adet SH deney sonucunun öncelikle ortalaması alınarak ilgili birim hücrenin (a_i) SH değeri belirlenmiştir.

Deney alanlarının büyük bir bölümünü kömür damarı altında kalan taban taşınu kilitaşı oluşturmuştur. Deneyleerden elde edilen sonuçlar yardımıyla büyük ölçekli yüzeylerin ortalama SH deney sonucunu bulmak amacıyla Özkan ve Bilim (2008) tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Buna göre, her bir hücreden (a_i) alınan deney sonuçlarının genel ortalaması yerine ilaveli ortalama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde önce birinci birim ölçüm hücresi (a_1) deney sonucu ile ikinci birim hücre (a_2) ölçüm deney sonucunun ortalaması alınmaktadır. Daha sonra bu ortalama deney sonucu, ilk

üç birim hücre ölçüm bölgesinin $[(a_1+a_2+a_3)/3]$ ortalaması ile karşılaştırılmaktadır. Eğer her iki sonuç arasındaki fark büyük ise bu takdirde ilk dört birim hücre ölçüm bölgesinin $[(a_1+a_2+a_3+a_4)/4]$ ortalaması alınmakta ve ilk üç bölge ortalaması ile karşılaştırılmaktadır. Yine ortalamalar arasında fark büyük ise bu safer ilk beş birim hücreye $[(a_1+a_2+a_3+a_4+a_5)/5]$ ait ortalama ile ilk dört birim hücre ortalaması karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar sistematik olarak yapılırken öyle bir birim ölçüm bölge sayısı vardır ki bundan sonra ortalama sonuçları çok değişmemektedir. Bu kritik noktanın bulunması ile optimum deney sayısı ve deneysel birim hücre ölçüm bölge sayısı (S) belirlenebilmektedir.

Yukarıda tanımlanan bu işlemler tipik olarak NGYY-3 ölçüm yüzeyi için Şekil 3’de sunulmuştur. Bu grafik üzerinde belirtildiği gibi SPSS V17.0 istatistik programı yardımıyla matematiksel eşitlikler türetilmiştir. Tüm ölçüm bölgelerine ait geliştirilen matematiksel eşitlik katsayıları (C_1 , C_2 ve C_3) Çizelge 2’de sunulmuştur. İstatiksel R^2 değerleri NGA-1 ve KGY-1 için nispeten düşük, diğerleri için ise yüksek bulunmuştur. Şekil 3’de görüldüğü gibi deney sonucunu verecek optimum yüzey alanı (A_i) grafikten kolaylıkla belirlenebilmektedir. Toplam $4,75 \text{ m}^2$ yüzey alanına sahip NGYY-3 yüzey alanının aslında $4,25 \text{ m}^2$ ’lik kısmında deneyler gerçekleştirilseydi yüzeyin optimum SH değerine ulaşılabilirdi.

Bu çalışmada dikkate alınan 9 farklı yüzey alanında gerçekleştirilen deney sonuçlarına dayalı yapılan istatistiksel analizler neticesinde belirlenen optimum yüzey alanı (A_i) ve bu yüzey alanında hazırlanması gereken birim hücre ($a_i = 0,25 \text{ m}^2$) sayıları (S) Çizelge 3’de sunulmuştur. Bu değerler yardımıyla Şekil 4’de sunulan grafik hazırlanmıştır. Tunçbilek kömür ocağında karşılaşılan taban taşı kiltasında rastgele seçilen büyük ölçekli bir yüzeyde planlanacak SH deneyleri için hazırlanması gereken birim hücre sayısı (S) belirlenebilmektedir. Örneğin 5 m^2 ’lik bir alanda (A_i) deneylerin yapılması planlanırsa, bu yüzey üzerinde her biri $0,25 \text{ m}^2$ olan birim ölçüm hücrelerinden (S) 20 adet ($S = 4 \cdot A_i$) hazırlanması gerektiği grafikten (Şekil 4) belirlenebilecektir. Grafik üzerinde bu konuda yapılmış iki ayrı araştırma (Özkan, 2008; Mesutoğlu ve Özkan, 2019) tarafından önerilen eşitliklerde belirtilmiştir. Bu makale çalışmasına ait sonuçlar tavan taşı, taban taşı ve kömür ara kesmelerinde konumlanan çevre kayacı kiltası iken, referans yayınlara ait sonuçlar sadece kömür malzemesine aittir.



Şekil 3. NGYY-3 ölçüm bölgesine bağlı hesaplanan ilaveli ortalama SH deney sonuçları

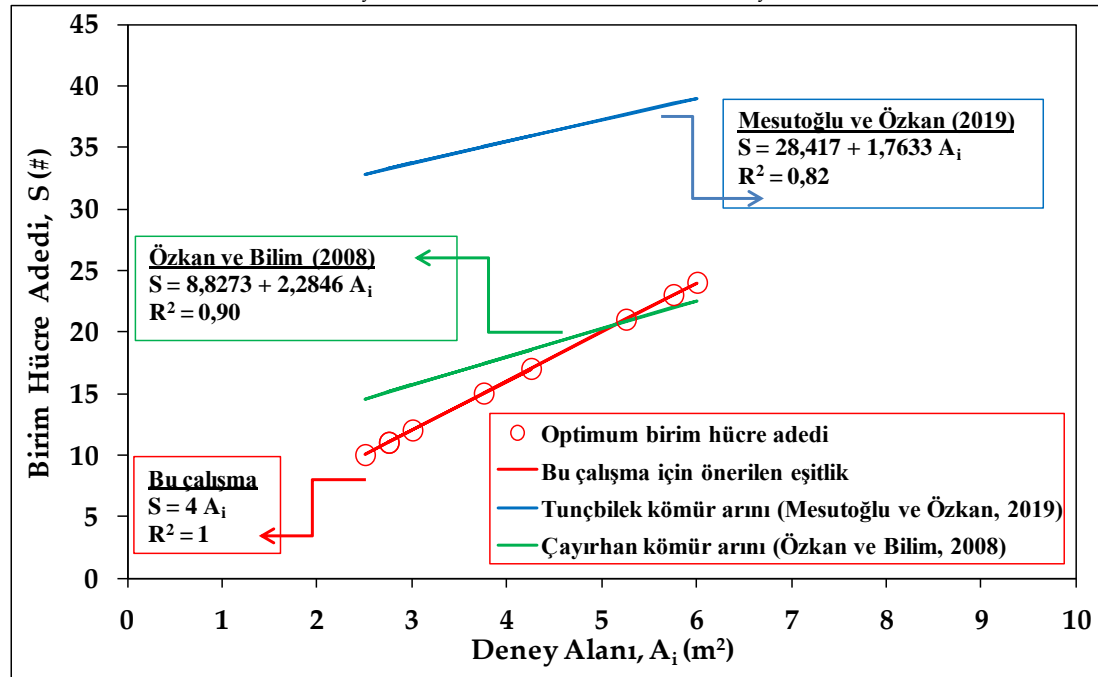
Figure 3. The calculated average Schmidt hammer (SH) test results based on NGYY-3 measurement area

Çizelge 2. SH deneyleri için SPSS V17.0 yardımıyla belirlenen istatistiksel model ve sabitleri*Table 2. The statistical model and statistical constants determined by SPSS V17.0 for SH tests*

Ölçüm Bölgesi	Model	C ₁	C ₂	C ₃	R ²
NGA-1		13,892	8,467	0,1	0,563
NGA-2		15,000	8,086	0,375	0,840
KGA-1		15,000	8,261	0,424	0,832
KGA-2		17,000	5,596	0,504	0,865
NGYY-1	N = C ₁ + C ₂ exp (-C ₃ / A _i) A _i : Deney alanı (m ²)	10,000	9,710	0,117	0,930
NGYY-2		30,000	-13,996	0,578	0,945
NGYY-3		15,567	8,526	0,517	0,964
NGYY-4		20,056	-2,508	1,924	0,822
KGY-1		29,608	-7,000	0,077	0,630

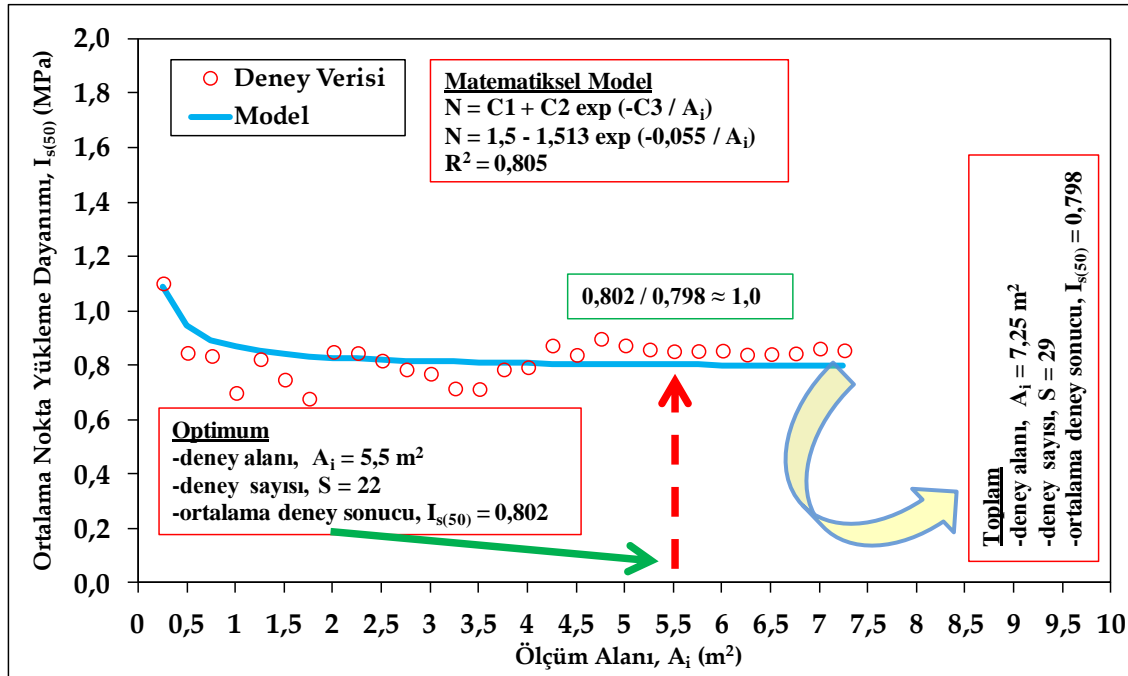
Çizelge 3. SH deney sonuçları (Birim ölçüm hücresi, a_i = 0,25 m²)*Table 3. The results of Schmidt hammer (SH) test (The unit measurement area, a_i = 0,25 m²)*

Ölçüm alanı	Ölçüm alanı tanımı	Deney alanı, A _i	Birim ölçüm hücre adedi, S	Toplam			Optimum		
				A _i	S	N	A _i	S	N
		(m ²)	(#)	(m ²)	(#)	(-)	(m ²)	(#)	(-)
Nakliye Galeri Arını (NGA)	NGA-1	10,75	43	10,75	43	22,28±0,5	3,75	15	22,14±0,7
	NGA-2	7,25	29	7,25	29	22,68±1,3	5,25	21	22,53±1,4
Kılavuz Galeri Arını (KGA)	KGA-1	10	40	10	40	22,85±1,4	6	24	22,70±1,5
	KGA-2	8,25	33	8,25	33	22,26±1,0	5,75	23	22,13±1,1
Nakliye Galeri Yan Yüzü (NGYY)	NGYY-1	3,50	14	3,5	14	19,39±0,9	2,5	10	19,27±1,0
	NGYY-2	2,75	11	2,75	11	18,66±3,1	2,75	11	18,66±3,1
	NGYY-3	4,75	19	4,75	19	23,21±1,8	4,25	17	23,12±1,8
	NGYY-4	3,00	12	3,0	12	18,74±0,5	2,75	11	18,81±0,4
Kılavuz Galeri Yan Yüzü (KGY)	KGY-1	16,5	66	16,5	66	22,64±0,3	3,0	12	22,79±0,5
Toplam		66,75	267	66,75	267	21,41±1,89 (ort)	36	144	21,35±1,86 (ort)

A_i : Deney alanı, S : Birim hücre adedi, N : SH deney sonucu.**Şekil 4.** SH deneyleri için rastgele seçilen bir yüzey alanına (A_i) ait birim hücre ölçüm alan sayısı (S)*Figure 4. The unit measurement number (S) determined for the randomly selected a measurement area (A_i) for SH tests*

Nokta Yükleme Dayanımı (NYD) İndeks Deneyleri (Point Load Strength Index Tests)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağı A6 uzunayak panosunda açılan nakliye galerisi arınında bir kez (NGA-1), uzunayak panosunun arınınu oluşturmak amacıyla açılan klavuz galerisi arınında bir kez (KGA-1), klavuz galerisinin yan yüzeyinde bir kez (KGY-1) olmak üzere NYD deneyleri planlanmıştır. Bu yüzeyler toplamda 112 adet birim ölçüm hücreesine bölünmüş ve her birinden alınan üç adet düzensiz örnek üzerinde tabakalara dik ve tabakalara paralel olmak üzere NYD indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle herbir hücreden alınan düzensiz örneğe ait ortalama NYD değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra SH deneylerinde olduğu gibi birim hücre ölçüm bölge sayısı (S) elde edilmiştir. Sahada gerçekleştirilen NYD deneylerine ait tipik bir örnek KGY-1 ölçüm sahası için Şekil 5’de sunulmuştur. Birim hücre alanlarına bağlı hesaplanarak bulunan NYD değerleri ile örtüşen eğrinin belirlenmesi için SPSS V17.0 paket programı ile bir seri istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4’de sunulmuştur. SH ve NYD deney sonuçlarını en iyi açıklayan matematiksel modelin aynı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2 ve 4). Şekil 5’de sunulan grafikten görüldüğü üzere, toplam 7,25 m²’lik yüzey alanında oluşturulan 29 adet birim hücrede yapılan NYD deneyleri yerine aynı yüzeyin 5,5 m²’lik kısmında oluşturulan 22 adet birim hücreden alınan sonuçların aslında bu yüzeyi tanımlama da yeterli olabileceği anlaşılmaktadır. NGA-1, KGA-1 ve KGY-1 yüzey alanları için yapılan analizlerden elde edilen optimum deney sayıları Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelge 5 verisi ile hazırlanan Şekil 6’dan, NYD deneyi için rastgele seçilecek bir yüzey alanında (A_i) hazırlanacak birim hücre adedi belirlenebilecektir. NYD deneyleri için belirlenen eşitlik (Şekil 6) ile SH deneyleri için belirlenen eşitliğin (Şekil 4) aynı karakterde olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin rastgele seçilecek 5 m²’lik bir yüzeyde (A_i), NYD deneylerinin yapılması planlansa, bu yüzey üzerinde her biri 0,25 m² olan birim ölçüm hücrelerinden (S) 20 adet (S = 4*A_i) hazırlanması gerektiği Şekil 6’da sunulan grafikten belirlenebilecektir.



Şekil 5. KGY-1 ölçüm bölgesine bağlı hesaplanan ortalama NYD indeks deney sonuçları

Figure 5. The calculated average point load strength (NYD) index test results based on KGY-1 measurement area

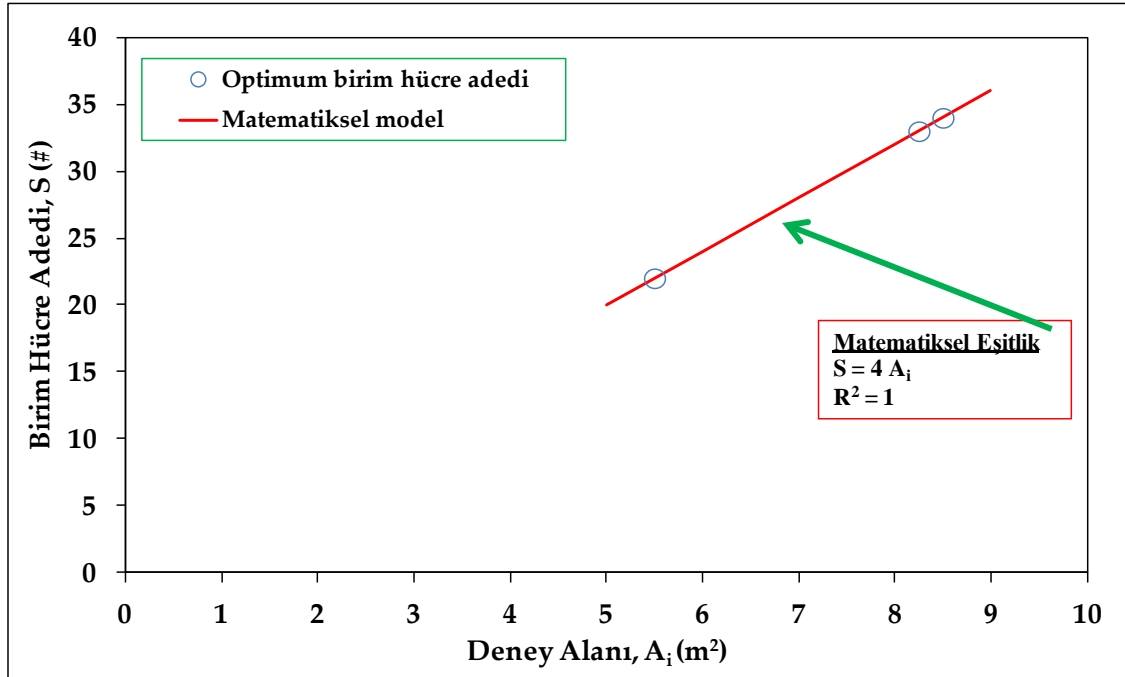
Çizelge 4. NYD indeks deneyleri için SPSS V17.0 yardımıyla belirlenen istatistiksel model ve sabitleri*Table 4. The statistical model and statistical constants determined by SPSS V17.0 for NYD index tests*

Ölçüm Bölgesi	Model	C ₁	C ₂	C ₃	R ²
NGA-1	N = C ₁ + C ₂ exp (-C ₃ / A _i) A _i : Deney alanı (m ²)	1,5	-0,961	0,122	0,758
KGA-1		0,134	0,650	0,343	0,862
KGY-1		2,3	-1,513	0,055	0,805

Çizelge 5. NYD deney sonuçları (Birim ölçüm hücresi, a_i = 0,25 m²)*Table 5. The results of point load strength (NYD) test (The unit measurement area, a_i = 0,25 m²)*

Ölçüm alanı	Ölçüm alanı tanımı	Deney alanı, A _i (m ²)	Birim ölçüm hücre adedi, S (#)	Toplam			Optimum		
				A _i (m ²)	S (#)	I _{s(50)} (MPa)	A _i (m ²)	S (#)	I _{s(50)} (MPa)
Nakliye Galeri Arını (NGA)	NGA-1	10,75	43	10,75	43	0,550±0,07	8,25	33	0,553±0,07
Kılavuz Galeri Arını (KGA)	KGA-1	10	40	10	40	0,762±0,09	8,5	34	0,758±0,10
Kılavuz Galeri Yan Yüzü (KGY)	KGY-1	7,25	29	7,25	29	0,798±0,06	5,5	22	0,802±0,07
Toplam		28	112	27,75	112	0,703 ±0,134 (ort)	22,25	89	0,704 ±0,133 (ort)

A_i : Deney alanı, S : Birim hücre adedi, I_{s(50)} : NYD deney sonucu.

**Şekil 6.** NYD deneyi için rastgele seçilen bir yüzey alanında (A_i) birim hücre ölçüm alan sayısı (S)*Figure 6. The unit measurement number (S) determined for the randomly selected a measurement area (A_i) for NYD test.*

Tek Eksenli Basma Dayanımı (TEBD) Deneyleri (Uniaxial Compressive Strength Test)

Bu çalışmada, sahadan sınırlı sayıda alınabilen kaya bloklarından alınan küp örnekler üzerinde direkt tek eksenli basma dayanımı (TEBD) deneyleri yapılabilmektedir. Zayıf ve tabakalı taban taşı kiltası üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 6'da sunulmuştur. Çizelge 6'da verilen deney sonuçlarından ortalama tek eksenli basma dayanımı (TEBD) değerinin $7,84 \pm 3,69$ MPa olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 6. Tek eksenli basma dayanımı sonuçları*Table 6. The uniaxial compressive strength test results*

Örnek No	Boy H mm	En W1 mm	Derinlik W2 mm	Yenilme Yüğü F kN	Tek Eksenli Basma Dayanımı (TEBD) σ_c MPa
TBN-1	51,99	51,80	49,65	24,90	9,68
TBN-2	51,22	53,00	51,70	12,80	4,67
TBN-3	50,08	52,35	51,81	22,00	8,11
TBN-4	51,58	49,35	51,47	16,10	6,34
TBN-5	51,63	51,62	51,99	15,60	5,81
TBN-6	52,39	51,77	51,15	25,10	9,48
TBN-7	51,35	50,37	51,62	13,40	5,15
TBN-8	53,43	52,35	50,06	9,30	3,55
TBN-9	52,47	51,98	50,50	14,70	5,60
TBN-10	52,64	50,58	52,78	13,60	5,09
TBN-11	50,02	53,22	52,44	23,30	8,35
TBN-12	51,42	52,19	41,04	24,20	11,30
TBN-13	50,50	51,65	51,90	23,90	8,92
TBN-14	50,64	52,20	52,34	40,00	14,64
TBN-15	50,16	52,46	51,95	28,80	10,57
TBN-16	50,11	51,98	51,46	33,70	12,60
TBN-17	52,72	52,03	52,10	9,30	3,43
TBN-18	52,67	52,29	50,14	20,80	7,93
TBN-19	51,87	51,92	49,92	37,60	14,51
TBN-20	52,17	52,54	48,14	2,90	1,15
Ortalama					7,84 ± 3,69

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında A6 uzunayak hazırlık panosu nakliye galerisi arını (NGA), kılavuz galerisi arını (KGA) ve bu galerilerin yan yüzelerinde (NGYY ve KGY) olmak kaydı ile SH belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu tür deneyler, toplam 66,75 m² yüzey alanına sahip büyük ölçekli arınlarda hazırlanan 267 adet birim ölçüm hücresinde ($a_i = 0,25 \text{ m}^2$) 801 adet deney ile gerçekleştirilmiştir. NYD deneyleri ise 3 ayrı bölgenin (NGA-1, KGA-1 ve KGY-1) tüm arınında sistematik olarak oluşturulan toplam 112 adet birim hücreden ($a_i = 0,25 \text{ m}^2$) alınan toplam 336 adet düzensiz örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Her iki deneyin gerçekleştirildiği üç bölgede (NGA-1, KGA-1 ve KGY-1)'den belirlenen ortalama SH belirleme ve NYD deney sonuçları arasında herhangi bir matematiksel ilişki belirlenmemiştir (Şekil 7). Bunun nedeni deneylerin aynı kaya biriminde gerçekleştirilmemesi olabilir. Bu durum ayrıca üç ölçüm bölgesinde gerçekleştirilen 112 birim ölçüm hücresinden (a_i) alınan tüm sonuçlar üzerinde de incelenmiştir (Şekil 8). Benzer durum bu koşul altında da ortaya çıkmıştır. Tüm değerlerin iki sınır hat arasında geniş bir koridor içinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Yerinde gerçekleştirilen SH ve NYD deneyleri dolaylı deneyler olup asıl hedef örnek hazırlanmasın da zorluk çekilen tek eksenli basma dayanımı (TEBD) değerlerine ulaşmaktır. Literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından SH deney sonuçları ile TEBD deney sonuçları arasında ve NYD deney sonuçları ile TEBD deney sonuçları arasında matematiksel ilişkilerin belirlendiğinden bahsedilmektedir. SH deneylerinden TEBD değerlerine ulaşmada Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen abak (Şekil 9), en yaygın kullanılan yaklaşımdır. Bu çalışmada, kiltası kaya birimi için belirlenen yoğunluk değerlerinin 24-27 kN/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama yoğunluk değeri 25 kN/m³ olduğu dikkate alınarak Şekil 9'dan kiltası kaya birimi için TEBD değerleri belirlenmiştir (Çizelge 7).

NYD deney sonuçları yardımıyla benzer şekilde dolaylı olarak TEBD değerlerine ulaşmaya olanak tanıyan birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımların genel olarak doğrusal davranışa sahip olduğu görülmektedir (Eş. 1). Bu yaklaşımları topluca veren Akbay (2018), NYD değerlerinden TEBD değerlerine geçişte kullanılan dönüşüm katsayılarının (K) tüm kaya birimleri için 3-71 aralığında

değiştirdiğini vurgulamaktadır. Zayıf kayadan sağlam kayaya doğru gidildikçe bu dönüşüm katsayısının büyüdüğü görülmektedir. Zayıf kaya malzemesi için NYD ve TEBD arasındaki ilişkinin doğrusal yaklaşımlar yanında üssel davranış (Eş. 2) ile de açıklandığı dikkat çekmektedir (Akbaş, 2018).

Ülkemizde önemli kömür rezervi olan Soma, Seyitömer ve Tunçbilek kömür bölgelerinde karşılaşılan marn kaya birimi için Yenice (2002) tarafından yapılan çalışmada, NYD ile TEBD arasında istatistiksel korelasyon katsayısı (R) 0,95 olan üssel bir davranış olduğu vurgulanmaktadır. Benzer şekilde marn kaya birimi için üssel bir davranışın bulunduğu Tsiambaos ve Sabatakakis (2004) tarafından da vurgulanmıştır. Eşitlik 2 ile ifade edilen yaklaşımda K ve β dönüşüm katsayılarının sırası ile 24,39 ve 1,3189 olduğu Yenice (2002) tarafından belirtilmiştir (Eş. 3). Bu makalede sunulan çalışmada, üzerinde çalışılan kaya malzemesinin Tunçbilek kömür çevre kayacı olmasından dolayı, Eşitlik 3'ün kullanılmasına karar verilmiştir. Bu eşitlik yardımıyla belirlenen sonuçlar Çizelge 7'de sunulmuştur.

$$\text{TEBD} = K I_{s(50)} \quad (1)$$

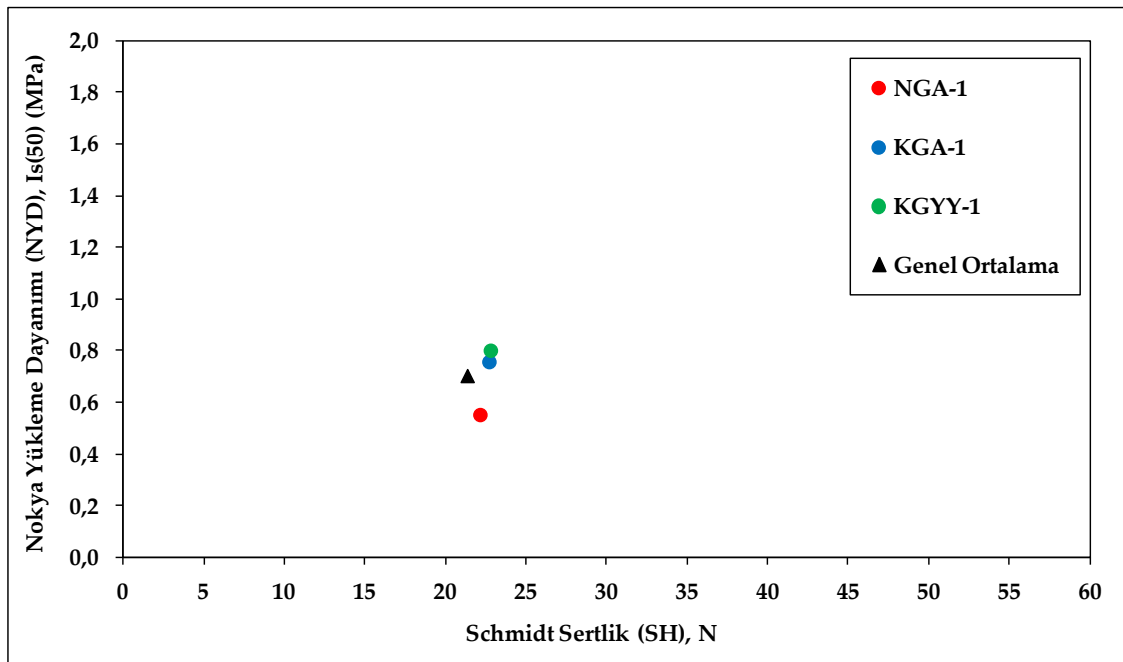
$$\text{TEBD} = K (I_{s(50)})^\beta \quad (2)$$

$$\text{TEBD} = 24,39 (I_{s(50)})^{1,3189} \quad (3)$$

Burada TEBD tek eksenli basma dayanımı (MPa), $I_{s(50)}$ nokta yükleme dayanımı (MPa) değeridir.

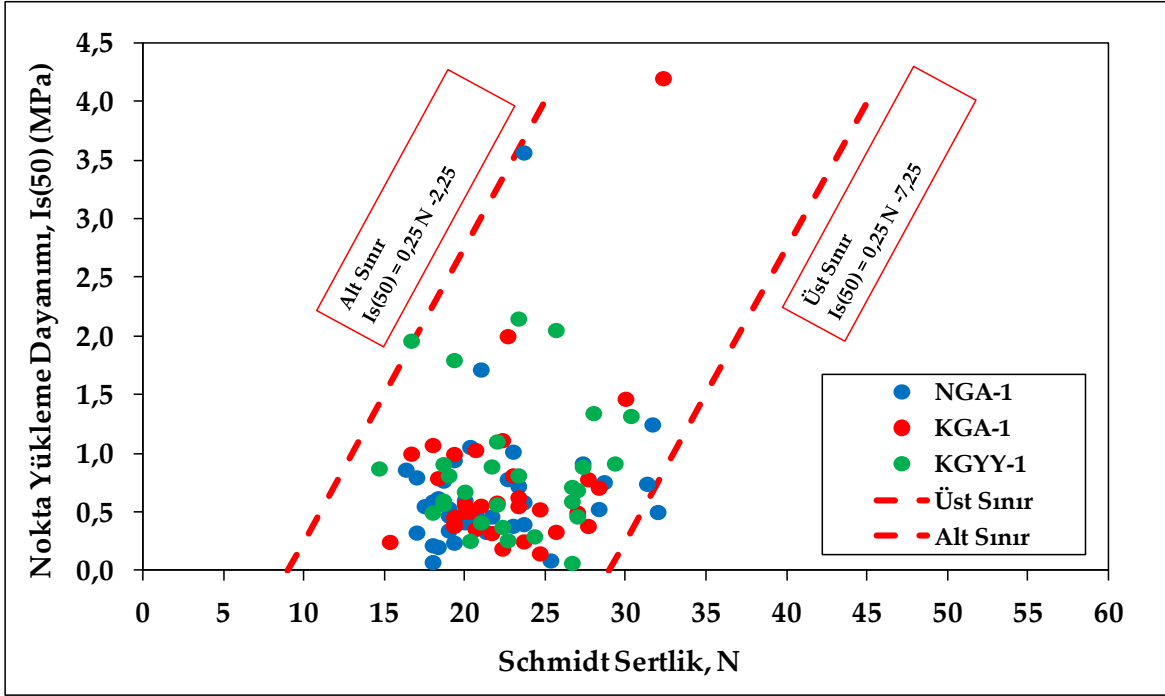
Çizelge 7'de sunulan sonuçlar incelendiğinde aynı ölçüm bölgelerinde SH deneyinden belirlenen TEBD değerleri ile NYD deney sonuçlarından belirlenen TEBD sonuçları arasında dikkat çekici bir fark olduğu görülmektedir. Bununla birlikte NYD yardımıyla belirlenerek Çizelge 7'de verilen TEBD değerlerinin, sınırlı sayıda yapılabilen gerçek TEBD deneylerinden belirlenen ortalama değerlere ($7,84 \pm 3,69$ MPa) daha yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 7'de sunulan sonuçlar bir grafik üzerinde sunulmuştur. Şekil 10'da sunulan grafikte Çizelge 7 değerleri mavi renkli içi boş sembol ile gösterilmiştir. Şekil üzerinde görüldüğü üzere mavi renkli sembol ile ifade edilen noktalar referans doğrusunun oldukça altında kalmıştır. Eğer iki deney sonucundan bulunan TEBD değerleri yakın olsaydı değerler bu referans noktası üzerinde veya etrafında kümelenmiş olacaktı. Bu durum ayrıca tüm birim hücreler bazında da değerlendirilmiş ve Şekil 11 hazırlanmıştır. Tüm birim hücre değerleri içi boş mavi renkli semboller ile belirtilmiştir. Benzer şekilde tüm TEBD değerlerinin genel olarak referans doğrusunun altında konumlanmış olduğu görülmektedir.

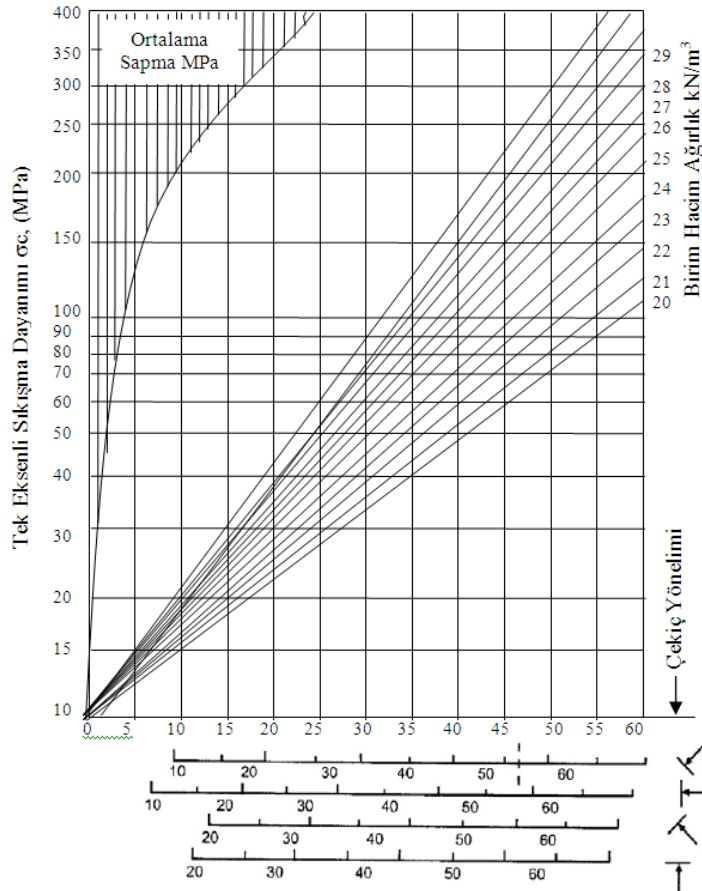


Şekil 7. Üç farklı bölgede gerçekleştirilen ortalama SH ve NYD deney sonuçları arasındaki ilişki

Figure 7. The relationship between average SH and NYD test results carried out in different three regions



Şekil 8. Üç farklı bölgenin 112 adet birim hücresinde gerçekleştirilen SH ve NYD deney sonuçları
 Figure 8. SH and NYD test results carried out in 112 unit measurement region prepared in different three regions

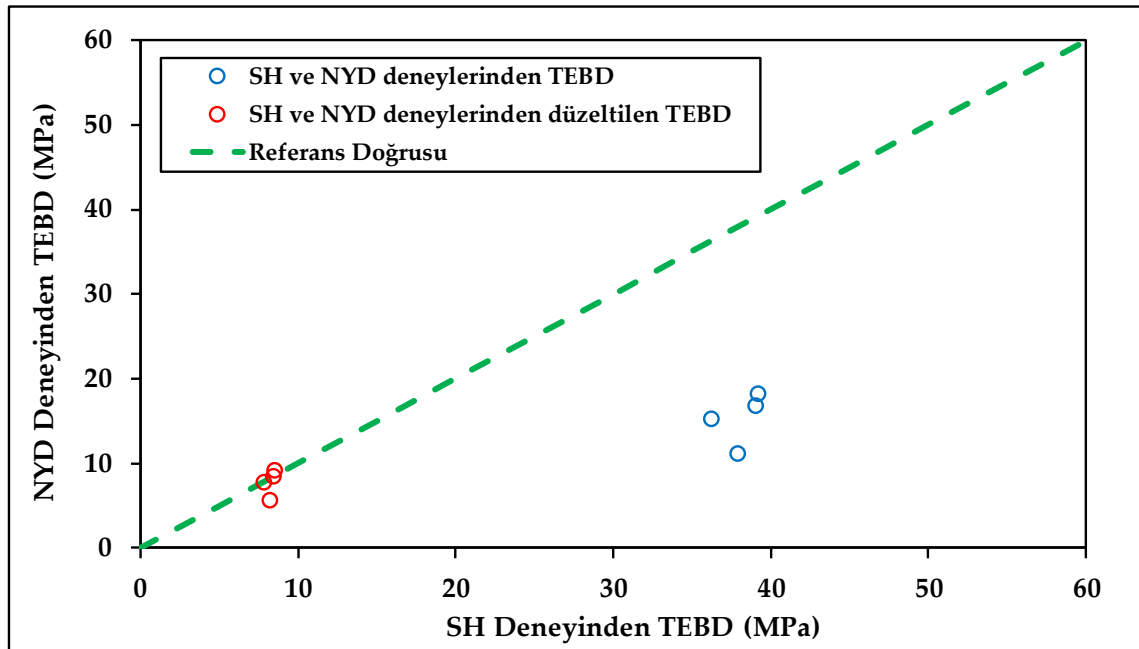


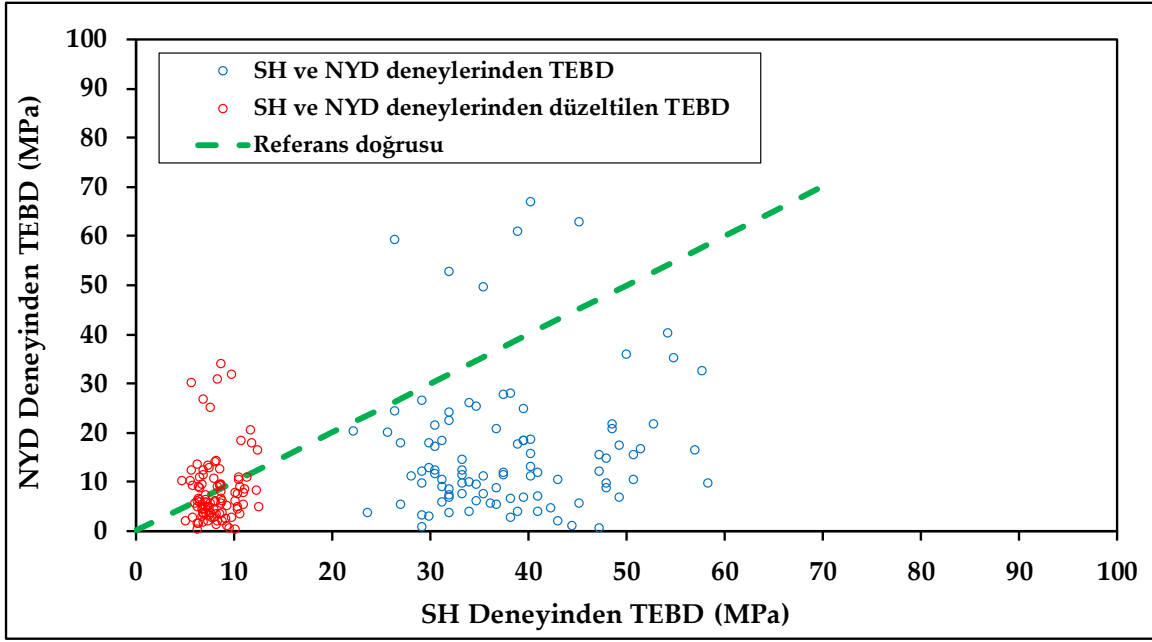
Şekil 9. SH deney sonuçları yardımıyla TEBD değerini veren abak (Deere ve Miller, 1966)
 Figure 9. The chart given TEBD value by SH test results (Deere and Miller, 1966).

Çizelge 7. SH ve NYD deney sonuçları yardımıyla belirlenen TEBD değerleri*Table 7. TEBD values determined by SH and NYD test results*

Ölçüm alanı	Ölçüm alanı tanımı	Deney alanı, A _i	Birim ölçüm hücre adedi, S	SH deneyleri için optimum değerler (Çizelge 3 ve Şekil 9)				NYD deneyleri için optimum değerler (Çizelge 5 ve Eş. 3)			
				A _i	S	N	TEBD (Şekil 9'dan)	A _i	S	I _{s(50)}	TEBD (Eş. 3'den)
		(m ²)	(#)	(m ²)	(#)	(-)	(MPa)	(m ²)	(#)	(MPa)	(MPa)
Nakliye Galeri Arını (NGA)	NGA-1	10,75	43	3,75	15	22,14	37,86	8,25	33	0,553	11,17
	NGA-2	7,25	29	5,25	21	22,53	38,68				
Kılavuz Galeri Arını (KGA)	KGA-1	10	40	6	24	22,70	39,03	8,5	34	0,758	16,92
	KGA-2	8,25	33	5,75	23	22,13	37,84				
Nakliye Galeri Yan Yüzü (NGYY)	NGYY-1	3,50	14	2,5	10	19,27	31,87				
	NGYY-2	2,75	11	2,75	11	18,66	30,59				
	NGYY-3	4,75	19	4,25	17	23,12	39,91				
	NGYY-4	3	12	2,75	11	18,81	30,91				
Kılavuz Galeri Yan Yüzü (KGY)	KGY-1	16,5 (7,25+9,25)	66 (29+37)	3,0	12	22,79	39,22	5,5	22	0,802	18,23
Toplam		66,75	267	36	144	±1,86 (ort)	±3,88 (ort)	22,25	89	±0,133 (ort)	±3,76 (ort)

A_i : Deney alanı, S : Birim hücre adedi, N : SH için deney sonucu, I_{s(50)} : NYD için deney sonucu, TEBD: Tek eksenli basma dayanımı.

**Şekil 10.** Ortalama SH ve NYD deney sonuçları ile belirlenen TEBD değerlerinin karşılaştırılması*Figure 10. The comparison of TEBD values determined by the average SH and NYD test results*



Şekil 11. Üç farklı bölgede gerçekleştirilen SH ve NYD deney sonuçları ile belirlenen TEBD değerleri
 Figure 11. The TEBD values determined by SH and NYD test results carried out in different three regions

Sonuç olarak, SH deney sonuçları yardımıyla dolaylı yoldan TEBD değerlerine ulaşmada sıklıkla kullanılan abakın (Şekil 9), zayıf kayalar için sistematik olarak oldukça yüksek TEBD değerleri önerdiği kanaati oluşmuştur (Çizelge 6 ve Çizelge 7). Benzer şekilde NYD deneylerinden dolaylı yoldan belirlenen TEBD değerleri (Çizelge 7) ile Çizelge 6'da sunulan gerçek TEBD değerleri karşılaştırılmış, her iki değer birbirine SH'den üretilenlere göre daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Her iki deney sonucunun verildiği Şekil 10 ve 11'deki mavi içi boş sembollerin referans doğrusundan uzak ve dağınık olması sonucu gündeme gelen düzeltme ihtiyacı bu çalışmadan elde edilen katsayılar ile yapılmaya çalışılmıştır. Çizelge 6'da verilen gerçek ortalama TEBD değeri (7,84 MPa), SH deneylerine bağlı olarak belirlenen ortalama TEBD değerine (36,21 MPa, Çizelge 7) oranlanmıştır. Belirlenen katsayının ($k_{SH} = 0,22$), SH deneylerinden dolaylı yoldan belirlenen TEBD değerlerinin düzeltilmesinde kullanılmasına karar verilmiştir. Benzer şekilde gerçek ortalama TEBD değerinin (7,84 MPa), NYD deneylerinden elde edilen ortalama TEBD değerine (15,44 MPa) oranlanarak ulaşılan katsayı ($k_{NYD} = 0,51$), NYD deney sonuçları ile dolaylı yoldan belirlenen TEBD değerlerinin düzeltilmesinde çarpan olarak kullanılmıştır. Burada ifade edilen düzeltmeler yapılarak elde edilen son değerler Şekil 10 ve 11'de içi boş kırmızı semboller ile gösterilmiştir. Şekil 10 ve 11'de içi boş kırmızı sembol değerleri örneğin NGA-1 bölgesi için SH deneylerinden elde edilen 37,86 MPa (Çizelge 7) değeri $k_{SH} = 0,22$ çarpanı ile çarpılarak düzeltilmiş TEBD (8,33 MPa), NYD deneyi için elde edilen 11,17 MPa (Çizelge 7) değeri $k_{NYD} = 0,51$ çarpanı ile çarpılarak düzeltilmiş TEBD (5,7 MPa) değerleri bulunmuştur. Şekil 10 ve 11'de düzeltilmiş TEBD değerlerinin referans doğrusunun etrafında kümeleştiği ve gerçek ortalama TEBD değerlerine (Çizelge 6) yaklaştığı görülmektedir. Bu düzeltme yönünde önerilen eşitlikler genelleştirilerek aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Düzeltilmiş } (TEBD)_{SH} = k_{SH} (TEBD)_{SH} \quad (4)$$

$$\text{Düzeltilmiş } (TEBD)_{NYD} = k_{NYD} (TEBD)_{NYD} \quad (5)$$

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

TKİ-GLİ-A6 panosunda, SH ölçüm çalışmaları için 9 farklı ölçüm alanında oluşturulan toplam 267 adet birim hücrede ve NYD ölçüm çalışmaları için üç farklı alanda hazırlanan toplam 112 adet birim hücrede gerçekleştirilen deneysel çalışmalara dayalı olarak elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Büyük ölçekli yüzeylerde gerçekleştirilen SH deneylerinin değerlendirmesinde;
 - i. ISRM (2007) herhangi bir öneride bulunamaz iken ASTM (1993) tarafından sadece deney uygulama noktaları arasında en az 15 cm olması gerektiği dışında herhangi bir öneri yapılmadığı belirlenmiştir. Özkan ve Bilim (2008) ve Mesutoğlu ve Özkan (2019) tarafından önerilen yaklaşım ile büyük yüzeyler 267 adet birim hücreye ($a_i = 0,25 \text{ m}^2$) bölünmüştür.
 - ii. Her bir birim hücreden alınan değerlerin ilaveli ortalaması alınarak her bir ölçüm alanı için ayrı ayrı optimum birim hücre sayısı (S) ve ortalama SH değerleri belirlenmiştir. Tüm çalışma sahası için genel SH deney sonucu $N = 21,35 \pm 1,86$ olarak belirlenmiştir.
 - iii. SH deney sonuçları, kullanılan kazıcı makine ve delici makine performanslarının tespitinde ayrıca uç tüketimlerinin önceden belirlenmesinde kullanılabilir. Tunçbilek yeraltı hazırlık çalışmalarında karşılaşılan kömür damarının tabantaşı olan kilitaşıda gerçekleştirilecek SH deneyleri için rastgele seçilen bir büyük ölçekli yüzey üzerinde (A_i) hazırlanacak birim hücre sayısını (SH) verecek bir eşitlik geliştirilmiştir ($S = 4A_i$).
2. Büyük ölçekli üç farklı yüzeyde gerçekleştirilen NYD deneylerinin değerlendirmesinde;
 - i. Saha çalışmalarında optimum sonuca ulaşmada en az kaç adet deneyin yapılacağı ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından belirtilmemiştir. Bu çalışmada yüzey alanlarının bölünmesine karar verilmiştir. SH deney sonuçları ile karşılaştırmalar da yapmak amacıyla hazırlanan 112 adet birim hücrede ($a_i = 0,25 \text{ m}^2$) NYD deneyleri gerçekleştirilmiştir.
 - ii. Her bir birim hücreden alınan değerlerin birikimli ortalaması alınarak ölçüm alanları için optimum birim hücre sayısı (S) ve ortalama NYD değerleri belirlenmiştir. Tüm çalışma sahası için genel NYD deney sonucu $I_{s(50)} = 0,704 \pm 0,133 \text{ MPa}$ olarak belirlenmiştir.
 - iii. Tabantaşında gerçekleştirilmesi planlanan bir NYD deneyi için rastgele seçilecek büyük bir ölçekli yüzey üzerinde (A_i) hazırlanacak birim hücre sayısını (S) verecek bir eşitlik geliştirilmiştir ($S=4A_i$). Bu deney sonuçları kazıcı makine performanslarının belirlenmesinde kullanılabilir.
3. Sınırlı sayıda hazırlanan küp örnekler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basma dayanımı deneylerinden ortalama TEBD değerlerinin $\sigma_c = 7,84 \pm 3,69 \text{ MPa}$ olduğu belirlenmiştir.
4. Üç farklı deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler;
 - i. Tek eksenli basma dayanımı (TEBD) deneyi için örnek hazırlamada karşılaşılan zorluklar nedeni ile ortaya atılan SH ve NYD deneylerinden dolayı olarak belirlenen TEBD değerlerinin birbirleri ile örtüşmediği anlaşılmıştır.
 - ii. Dokuz farklı ölçüm alanında gerçekleştirilen SH deney sonuçlarına bağlı olarak dolaylı yoldan hesaplanan TEBD değerlerinin gerçek TEBD değerlerden oldukça büyük olduğu tespit edilmiştir.
 - iii. Üç farklı ölçüm alanında gerçekleştirilen NYD deney sonuçlarına dayalı olarak dolaylı yoldan hesaplanan TEBD değerlerinin gerçek TEBD değerlerine SH'den elde edilenlere göre daha yakın olduğu görülmüştür.
 - iv. SH ve NYD deney sonuçları yardımıyla belirlenen TEBD değerlerinin düzeltilmesi için sırasıyla $k_{SH} = 0,22$ ve $k_{NYD} = 0,51$ çarpanlarının kullanımı önerilmiştir. Ancak bu katsayılar ilgili sahada mevcut kilitaşı kaya birimi için geçerli olup, diğer kaya birimleri içinde benzer çalışmaların yapılması gereklidir.
 - v. Bu çalışmada önerilen yaklaşım ile her iki deney sonuçlarından ulaşılan TEBD değerlerinin düzeltilmesi sonucunda belirlenen TEBD değerlerinin referans doğrusu etrafında kümeleştiği ve aynı zamanda gerçek ortalama TEBD değerine yakınlığı tespit edilmiştir.
5. Bu makale çalışması ile önerilen yaklaşım yardımıyla saha mühendisleri, yerinde NYD ve SH deneylerinin planlamasında rastgele seçtikleri büyük ölçekli yüzeylerde (A_i), optimum kaç tane birim hücre (S) oluşturacakları ve kaç tane deney yapacaklarını belirleyebileceklerdir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Saha çalışmalarının yürütüldüğü TKİ-GLİ İşletme Müdürlüğüne, saha mühendislerine, çalışmalara 116M698 nolu proje ile destek veren TUBİTAK'a ve makale değerlendirmesinde bulunan hakemlere yazarlar teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akbay, D., 2018, Nokta yükleme deneyinde yapılan hataların giderilmesi için yeni bir deney düzeneğinin tasarlanması, Süleyman Demirel Üniversitesi-FBE, Maden Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, 218s.
- ASTM, 1993, Rock Testing Handbook, Test Standards, ASTM Publication, 947 p.
- Barton, N., 1973, Review of a new shear strength criterion for rock joints, *Engineering Geology*, Elsevier, Amsterdam, Cilt 7, ss. 287-332. Also NGI Publ. 105, 1974.
- Bieniawski, Z. T., 1975, Point load in geotechnical practice, *Eng. Geol.* 9: 1-11.
- Broch, E., Franklin, J. A., 1972, The point load strength test", *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.* 9: 669-697.
- Chau, K.T., Wong, R. H. C., 1996, Uniaxial compressive strength and point load strength, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 33: 183-189.
- Deere, DU, Miller, RP, 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock, Tech. Report No. AFWL-TR 65-116, University of Illinois
- Hawkins, A. B., 1998, Aspects of rock strength, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *Bull Eng Geol Env.*, 57 : 17-30
- ISRM, 2007, The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006, International Soc. for Rock Mechanics, Commission on Testing Methods, Editor: R. Ulusay and John A. Hudson , ISBN: 978-975-93675-4-1, 628p.
- Kahraman, S., 2001, Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics*, 981-994.
- Mesutoğlu M., Özkan İ., 2019, In-situ application of Schmidt hammer test on a coal face with large-scale, ISRM 14th International Congress on Rock Mechanics, 13-18 Eylül 2019, Foz do Igau-Brasil, Code:14287, 8p.
- Özkan, I., Bilim, N., 2008, A new approach for applying the in-situ Schmidt hammer test on a coal face, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Cilt 45, No 6, ss. 888-898.
- Özkan, İ., 1989, Determination of classification parameters for weak and stratified rocks based on RMR and Q-systems, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 156s.
- Öztürk, C. A., Özbakır, A. D., Nasuf, E., 2004, Nokta yük ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi, 6. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu.
- Peng, S. S. and Chiang, H. S., 1984. Longwall Mining. John Wiley & Sons, New York.
- Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 2004. Considerations on strength of intact sedimentary rocks. *Engineering Geology* 72, 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2003.10.001>
- Ulusay, R., Özkan, İ. ve Ünal, E., 1995, Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses for engineering applications. Fractured and Jointed Rock Masses Conference, June 3-5, 1992, L.R. Mayer, N.W. Cook, R.E. Goodman and C.F. Tsang (eds.), Lake Tahoe, California, A.A. Balkema, ss. 233-240.
- Yenice, H., 2002. Bazı Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımları ile Diğer Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 4, 65-71.