

BÜYÜK ÖLÇEKLİ KÖMÜR ARININDA GERÇEKLEŞTİRİLEN SCHMIDT SERTLİK İNDEKSİ VE NOKTA YÜKLEME DAYANIMI DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

¹Mehmet MESUTOĞLU, ²İhsan ÖZKAN

^{1,2}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

¹mmesutoglu@ktun.edu.tr, ²iozkan@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 07.01.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 21.03.2019)

ÖZ: Kömür ve kömür damarı içerisinde konumlanan ara kesmelerin ($t=0,5m$) yerinde malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik bu çalışma, TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden ocağında gerçekleştirilmiştir. Kömür arın yüksekliği 3,5 m ve uzunluğu ise 110 m olan A1 hazırlık panosunda, yaklaşık 385 m²lik yüzey alanı üzerinde her biri yaklaşık 15 m² olan 4 deney alanı belirlenmiştir. Bu deney bölgeleri arının iki kenar uç tarafında ve arın ortasında konumlanmıştır. Deney bölgeleri kendi içlerinde toplam 238 birim hücreye bölünmüştür. Birim hücrelerin orta noktasında en az üç kez tekrarlanmak kaydı ile Schmidt sertlik belirleme deneyleri yapılmıştır. Nokta yükleme dayanımı indeksi deneyi için A1 panosunun kömür arını yaklaşık 5'er metre aralıklar ile toplam 21 birim bölgeye ayrılmıştır. Her birim bölge ise kendi içerisinde beş alt birim hücreye bölünerek her bir alt birim hücreden alınan düzensiz örnekler ile toplam 563 adet nokta yükleme dayanımı belirleme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak yapılması pratik olan Schmidt sertlik ölçümleri ile nokta yükleme dayanım deney sonuçları arasındaki mekanik ilişkiler ve bu deney sonuçlarına dayalı kazı kolaylığına ait bir sınıflama bu çalışmada önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Kaya mekaniği, Kazı sınıflaması, Kömür, Nokta yükleme dayanımı, Schmidt sertlik, Yerinde deneyler.*

An Evaluation on In-situ Schmidt Hardness Index and Point Load Strength Test Results Performed in Large Scale Coal Face

ABSTRACT: This study, which was performed to determine the material characteristics of coal and inner burdens ($t=0.5 m$) located in coal seam, was carried out in TKİ-GLİ-Ömerler underground mine. Four test areas, which were each having an approximate area of 15 m², were determined on the A1 panel which with a height of 3.5 m and a length of 110 m. The total area for coal face in A1 panel is 385 m². These test regions were located on mid part and two edges of the tested long wall face. The experimental regions were divided into 238 measuring areas, cells, within themselves. In-situ Schmidt Hardness tests were then performed, at least three times at the mid-point of each cell, to find final test values for these cells, which were end up totally 238 test values. For the point load strength index test, the coal face of A1 panel was divided into 21 unit regions with approximately 5 meter intervals. Each of these regions divided into five sub-units. Then a total of 563 point load tests were performed by irregular samples selected from each subunit. After that, relations between the results of Schmidt Hardness and Point Load Strength tests were determined to evaluate their mechanical interrelations. In this study, additionally, new classification method was offered to evaluate excavation properties of coal seams.

Key Words: *Rock mechanics, Excavation classification, Coal, In-situ tests, Schmidt hardness, Point load strength.*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaya mühendislik yapılarının tasarımlarında kaya malzeme ve kütle özelliklerinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Tasarım mühendisleri tarafından öncelikle dikkate alınan laboratuvar deneyleri için ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından düzgün geometriye sahip örneklerin hazırlanması istenmektedir. Ancak zayıf kaya malzemelerinde düzgün geometriye sahip örneklerin hazırlanmasında ciddi zorluklar ile karşılaşmaktadır (Broach ve Franklin, 1972; Unal ve diğ., 1992; Ulusay ve diğ., 1995; Ozkan ve Bilim, 2008). Bunun için dolaylı yoldan dayanım sonuçlarına götürecekt alternatif deney yöntemleri, ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından önerilmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Kaya mühendislik yapılarının tasarım çalışmalarında kaya malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Homojen bir yapıya sahip olmayan kaya malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde örneklerin hazırlanması ve deneylerin gerçekleştirilmesi konusunda ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından ortaya atılan öneriler mevcuttur. Yeraltı ve yerüstü kaya mühendislik yapılarının tasarımında ihtiyaç duyulan kaya mekaniği özellikleri arasında ilk sırada yer alan Tek Eksenli Basma Dayanımı, Çekme Dayanımı, Elastik Modülü, Poisson Oranı, Kohezyon, İçsel Sürtünme Açısı, Asal Gerilme değerlerinin belirlenmesi için önerilen deneylerde düzgün örneklerin hazırlanması gerekmektedir. Tasarım çalışmalarında çok sık kullanılan tek eksenli basma dayanımı değerinin özellikle, zayıf, kil içerikli, tabakalı, yoğun süreksizlik içeren kaya malzemeleri için belirlenmesi, örnek hazırlama da karşılaşılan zorluklar nedeni ile çoğu zaman olanaksız olmaktadır. Bu tür malzemeler için öncelikle yapılması önerilen tek eksenli basma dayanımı gibi deneylerin ihtiyaç duyduğu düzgün silindirik veya küp şekilli örneklerin hazırlanması her zaman mümkün olamamaktadır. Bu sorunun aşılması için ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından dolaylı deney yöntemleri önerilmektedir. Bu deney yöntemlerinden iki tanesi nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik indeks deneyleridir. Laboratuvar ölçekli bu iki deney cihazı hafif ve taşınabilir özelliğe sahiptir. Bu cihazlar için gerekli deney örneği hazırlaması ve bu cihazlarla deneylerin yapılması pratik olduğu için saha çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Büyük ölçekli bir kömür arınında kömür ve ara kesme malzemesinin malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak planlanan bu çalışmada, yukarıda sıralanan avantajları nedeniyle, ilgili iki deney yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Daha sonra, kömür ocağında yapılan bu deneylerin sonuçları kullanılarak, kömür arınında kazı kolaylığının belirlenmesine yönelik özel bir sınıflandırma ortaya konularak değerlendirmeler yapılmıştır.

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

Kömür malzemesine ait tek eksenli basma dayanımı değerini belirlemek bu çalışmanın ilk amacını oluşturmuştur. Kömür malzemesinin zayıf, kil içerikli, tabakalı, yoğun süreksizlik içeren bir yapı içermesi nedeni ile karot örneklerinin hazırlanması için gerçekleştirilen sondaj uygulaması başarısız olmuştur. Sahadan temin edilen kömür bloklarından sınırlı sayıda tek eksenli basma dayanımı örneği hazırlanabilmiştir. Yetersiz olan veri tabanını güçlendirmek amacıyla, küçük ve düzensiz örnekler üzerinde pratik olarak deney yapılabilen nokta yükleme dayanımı indeks deneylerinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu deneyde örnek, iki konik uç tarafından noktasal olarak baskıya maruz bırakılmaktadır. Dolaylı yoldan tek eksenli basma dayanımı değerini bulmak amacıyla nokta yükleme dayanım indeks deneyi ile tek eksenli basma ve çekme dayanımı değerleri arasında doğrusal bir yaklaşım olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Bienawski, 1975; Chau ve Wong, 1996; Hawkins, 1998; Kahraman, 2001; Öztürk ve diğ., 2004). Bunların genel tanımı aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\sigma_c = k I_{s(50)} \quad (1)$$

$$\sigma_t = I_{s(50)} / \beta \quad (2)$$

Eşitlik 1’de σ_c ; Tek Eksenli Basma Dayanımı, σ_t ; Çekme Dayanımı, $I_{s(50)}$; Nokta Yükleme Dayanımı ve k ; bir katsayı olup yapılan birçok araştırma sonucuna göre k katsayısı 8-24 arasında değişmektedir. Kaya malzemesinin dayanım değeri arttıkça k katsayısı büyümektedir. Eşitlik 2’de β bir katsayı olmakla birlikte bu değerin 0,8 olduğu ISRM (2007) tarafından önerilmektedir.

Schmidt Sertlik Belirleme Deneyi (Schmidt Hardness Test)

Özellikle zayıf-tabakalı-yoğun süreksizlik içeren kaya malzemeleri ve süreksizlik yüzeylerinin dolaylı yoldan dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan Schmidt sertlik çekici, pratik bir deney cihazıdır. Bugün oldukça yaygın kullanılan bu deney cihazıyla kaya malzemelerinin dayanımı dolaylı yoldan belirlenebilmektedir. Deney cihazında sıkıştırılmış yay serbest kalarak ucundaki pim ile hızla kaya yüzeyine vurmakta ve kaya yüzeyinin dayanımına bağlı olarak pim geriye sıçramaktadır. Sıçrama mesafesi ilgili yüzeyin sertliği olarak tanımlanmaktadır. ISRM (2007) ve ASTM (1993), sertlik değeri belirlenecek malzemede en az 20 ölçümün alınmasını ve bu ölçümlerin küçük olan en az %50’sinin atılarak geriye kalan verilerin ortalamasının alınmasını önermektedir. Geliştirilen bir abak yardımıyla malzemenin yoğunluk ve ölçülen Schmidt sertlik değeri ile dolaylı yoldan tek eksenli basma dayanımı değeri belirlenebilir. Bu deney sonucuna bağlı geliştirilen en önemli yaklaşımlar bir tanesi Barton (1973) tarafından geliştirilen kaya kütlelerinin makaslama dayanımı davranışıdır (Eşitlik 3). Buna göre, τ_d ; makaslama dayanımı, σ_n ; normal gerilme, JRC; süreksizlik bozunma derecesi, JCS; süreksizlik yüzeyinin Schmidt sertlik çekici ile belirlenen dayanım, φ_r ; kalıcı içsel sürtünme açısının fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

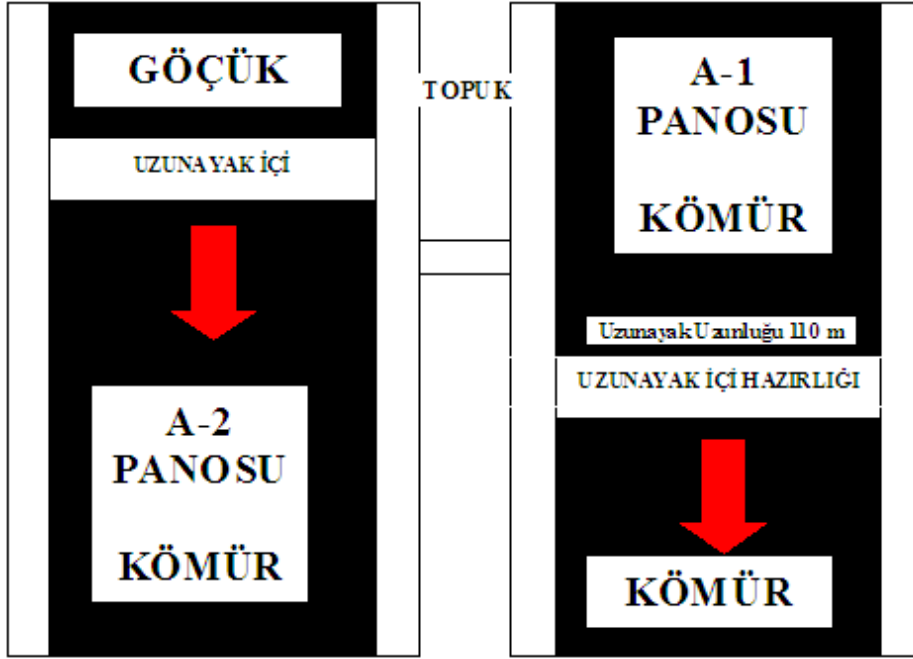
$$\tau_d = \sigma_n (JRC \log_{10} (JCS/\sigma_n) + \varphi_r) \quad (3)$$

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

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)’ne bağlı Kütahya Tunçbilek kömür ocağında kömür üretimi, açık ocak ve yeraltı madenciligi ile yapılmaktadır. Ömerler yeraltı maden ocağında, 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 (yaklaşık 1 m) 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 kaya katmanları yer çekimi etkisi ile kırılarak aşağıya kırılıp düşmektedir. İlk düşen kömür ayak arkasından alındıktan sonra üst kısımda kırılmış vaziyette bekleyen kaya blokları aşağıya inmiş olmaktadır (Şekil 1). Böylelikle üretimde bir üretim periyodu tamamlanmış olmakta yeni kazı aşamasına geçilmektedir. Uzunayak arkasındaki bölge göçmüş kaya blokları ile dolmakta ve böylelikle gerileme dağılımları belirli bir dengeye ulaşmış olmaktadır (Peng ve Chiang, 1984).

Bölgede kömür kalınlığı 8-10 m aralığında olup kömür damarının alt kısmındaki 3,5 metrelik dilimi kazılarak alınırken bu dilimin üstünde kalan 5-6 metrelik kısım yürüyen tahkimat birimlerinin arkasından göçertilerek alınmaktadır. Üretilen kömür bölgede kurulu olan termik santrale verilmektedir.

Bu makalede verilen deneysel çalışmaların yerini gösteren bir plan görünüş Şekil 1’de verilmiştir. Bu araştırma sırasında, Ömerler yeraltı ocağındaki A2 panosunda mekanize kazı çalışmaları sürdürülürken, A1 panosunda da hazırlık çalışmaları devam etmiştir. A2 ve A1 panosu arasında topuk bırakılmaktadır. Bu makalede ifade edilen deneysel çalışmalar 110 m uzunluğunda ve 3,5 m yüksekliğindeki A1 panosu için hazırlanmakta olan uzunayağın kılavuz galerisinde gerçekleştirilmiştir. Kömür damarı ve kömür malzemesine ait bir fotoğraf Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 1. Deneysel çalışmaların yürütüldüğü bölgeye ait plan görünüş
 Figure 1. Mine plan shows the locations of experimental studies



Şekil 2. Deneysel çalışmaların yürütüldüğü bölgedeki kömür damarı ve kömür malzeme örnekleri
 Figure 2. Photographs presenting the coal face and the coal material from the field test location

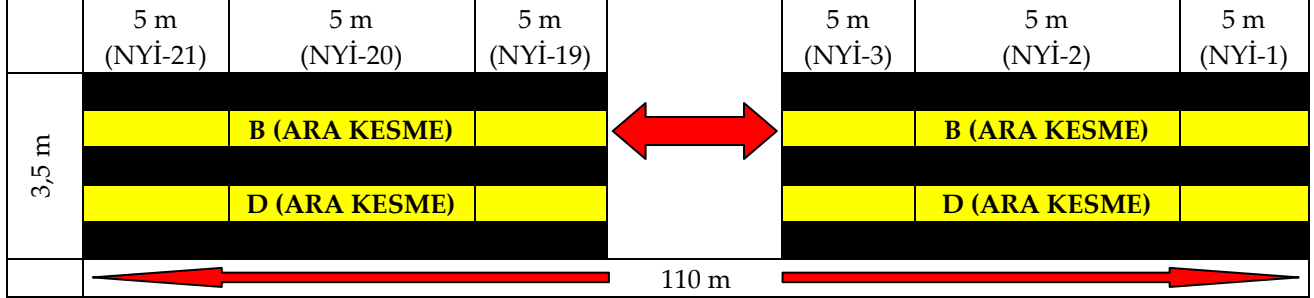
YERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR (IN-SITU TEST STUDIES)

Şekil 1' de belirtilen A1 panosuna ait hazırlık çalışması ile oluşturulan kazı arınında nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik belirleme deneyleri planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yardımıyla bir veri tabanı hazırlanmıştır (Özkan ve Mesutoğlu, 2018). Aynı kömür arınında gerçekleştirilen her iki deney için ISRM (2007) tarafından önerilen deney yöntemleri dikkate alınmıştır.

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

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında A1 uzunayak hazırlık panosu kılavuz galerisinde gerçekleştirilmesi planlanan nokta yükleme dayanımı deneyleri için öncelikle 110 m uzunluğundaki ve 3,5 m yüksekliğindeki kömür yüzeyi ara kesmelerle birlikte bölümlere ayrılmıştır. Bu bölümlerin genişlikleri yaklaşık 5 m yükseklikleri 3,5 m olmuştur. Sonuç olarak kömür yüzeyinde toplam 21 deney

bölgesi (NYİ) oluşturulmuştur. Her bir bölüm (NYİ) içerisinde Şekil 3’de görüldüğü üzere ayrıca kömür tabakaları (A, C, E) ve ara kesme tabakaları (B, D) mevcut olup her bir tabakadan en az 3 düzensiz nokta yükleme deney örneği arından koparılarak alınmıştır. Alınan örnekler için genel bilgi Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 3. A1 pano arınında gerçekleştirilen nokta yükleme deneyleri için planlanan deney bölgeleri

Figure 3. Planned point load test zones selected on the longwall face of A1 panel

Çizelge 1. A1 panosu arınında hazırlanan nokta yükleme dayanımı için deney bölgeleri ve sayıları

Table 1. Experimental test zones and number of tests performed for point load tests results on the coal face in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Toplam alan (m ²)	Kömür deney alanı kodu	Ara kesme deney alanı kodu	Kömür deney sayısı (#)	Ara kesme deney sayısı (#)	Toplam deney sayısı (#)
NYİ-1	2,2	3,1	6,82	A, C, E	B, D	23	17	40
NYİ-2	2,4	3,15	7,56	A, C, E	B, D	28	15	43
NYİ-3	2,52	3,2	8,064	A	B	11	7	18
NYİ-4	4,95	3,25	16,088	A, C	B	10	5	15
NYİ-5	4,6	3,25	14,95	A, C	B	10	7	17
NYİ-6	6	3,25	19,5	A, C	B	12	9	21
NYİ-7	5,5	3,25	17,875	A, C	B	15	9	24
NYİ-8	6,6	3,25	21,45	A, C	B	17	7	24
NYİ-9	6	3,25	19,5	A, C	B	19	7	26
NYİ-10	5,6	3,2	17,92	A, C, E	B, D	14	9	23
NYİ-11	6,5	3,15	20,475	A, C, E	B, D	17	11	28
NYİ-12	6,2	3,1	19,22	A, C, E	B, D	17	11	28
NYİ-13	6,45	3	19,35	A, C	B	15	5	20
NYİ-14	6,85	2,9	19,865	A, C, E	B, D	20	13	33
NYİ-15	5	2,8	14	A, C, E	B, D	15	11	26
NYİ-16	5	2,7	13,5	A, C, E	B, D	19	11	30
NYİ-17	5,4	2,5	13,5	A, C, E	B, D	20	11	31
NYİ-18	5,56	2,4	13,344	A, C, E	B, D	18	11	29
NYİ-19	5,82	2,3	13,386	A, C, E	B, D	20	12	32
NYİ-20	5,8	2,25	13,05	A, C, E	B, D	20	10	30
NYİ-21	6,3	2,2	13,86	A, C, E	B, D	13	12	25
TOPLAM			325,54			353	210	563

Toplam 563 adet örnek üzerinde nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiş olup örneklerin doğal özellikleri bozulmaması için deneyler sahada gerçekleştirilmiştir. Tabakalara paralel ve dik yönde yüklemelerin yapıldığı nokta yükleme deney sonuçları Çizelge 2 ve 3’de sunulmuştur. Buna göre, kömür malzemesi için nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$) değerleri 0,10–0,875 MPa aralığında değişirken,

ortalama değerinin 0,35 MPa olduğu belirlenmiştir. Anizotropi indeks (I_a) değerleri 1,1–3,49 aralığında değişirken, ortalama anizotropi indeks değerinin 1,38 olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Kömür arınında oluşturulan 21 birim ölçüm bölgelerinde (NYİ) mevcut olan kömür tabakalarında (A, C, E) gerçekleştirilen nokta yükleme dayanım değerlerindeki değişimler Şekil 4’de sunulmuştur. Kömür yüzeyinde malzeme galeri (taban yolu) girişinden itibaren NYİ-3, NYİ-11, NYİ-19 ve NYİ-21 nolu bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin yüksek olduğu ($0,5 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 0,9 \text{ MPa}$) buna karşın diğer tüm bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin düşük olduğu Şekil 4 ve Çizelge 2’den anlaşılmaktadır ($0,1 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 0,37 \text{ MPa}$). Benzer bir değerlendirme anizotropi indeksi için Şekil 5 ve Çizelge 2 dikkate alınarak yapılabilir. NYİ-2 ve NYİ-3 için anizotropi indeks değerlerinin büyük olduğu ($I_a=2,89$ ve $3,49$) diğer bölgelerde ise I_a değerlerinin 1,10-1,90 aralığında değiştiği görülmüştür.

Ara kesme malzemesinde ortalama $I_{s(50)} = 0,82 \text{ MPa}$, anizotropi indeksi değeri $I_a=1,17$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Kömür arınında oluşturulan birim ölçüm bölgelerinde mevcut olan ara kesme tabakalarında (B, D) gerçekleştirilen nokta yükleme dayanım değerlerindeki değişimler Şekil 4’de sunulmuştur. Malzeme galeri (taban yolu) girişinden itibaren NYİ-4, NYİ-10, NYİ-19 ve NYİ-20 nolu bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin yüksek olduğu ($1,19 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 1,78 \text{ MPa}$) anlaşılmaktadır. Buna karşın diğer tüm bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin düşük olduğu anlaşılmaktadır ($0,285 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 0,90 \text{ MPa}$). Benzer bir değerlendirme anizotropi indeksi için Şekil 5 dikkate alınarak yapılabilir. NYİ-7, NYİ-10, NYİ-17, NYİ-18, NYİ-20 ve NYİ-21 için anizotropi indeks değerlerinin büyük olduğu ($I_a=1,85$ ve $4,33$) diğer bölgelerde ise genel olarak I_a değerlerinin 1,04 – 1,50 aralığında değiştiği görülmüştür.

Kömür malzemesinin zayıflık yapısını-yönünü gösteren klivaj yapısı ve dayanımı kömürün mekanik kazısında belirleyici faktörlerdir. Farklı yönlerdeki dayanım farkını ortaya koyan anizotropi indeksi, malzemenin hangi yönde oluşacak darbeye karşı daha zayıf olduğunu göstermektedir. Bu zayıf yön, kazının planlanmasında önemlidir. Burada belirlenen anizotropi indeks sonuçlarına göre kazı kolaylığı açısından kazı yönünün en düşük nokta yükleme dayanımı gösteren kömür tabakalanmasına paralel yönde olduğu söylenebilir. Anizotropi indeks değerinin 1’e yaklaşması ile kazının zorlaşacağı uzaklaşması ile kazının kolaylaşacağı düşünülebilir. Bu yaklaşıma göre maden ocağında kullanılan tamburlu kesici yükleyici kazı makinesinin A1 panosunda çalıştırılması durumunda, NYİ- 2 ve 3 bölgelerinde oldukça kolay kazı yapabileceği söylenebilir (Çizelge 2, Şekil 5). Kömür damarında konumlanan ara kesme malzemesine ait anizotropi indeks değerlerine göre (Çizelge 3 ve Şekil 5) indeks değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu görülmektedir. Buna karşın, NYİ-7, NYİ-10, NYİ-17, NYİ-18, NYİ-20 ve NYİ-21 bölgelerinde bu değer kömür malzemesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ara kesme malzemesi için nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$) değerlerinin yüksek olduğu NYİ-4, NYİ-10, NYİ-19 ve NYİ-20 bölgelerinde, kazı kolaylığını ifade eden anizotropi değerlerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Buradan tamburlu kesici yükleyicinin I_a değerlerinin yüksek olduğu bu bölgelerde nispeten daha kolay kazı yapabileceği söylenebilir.

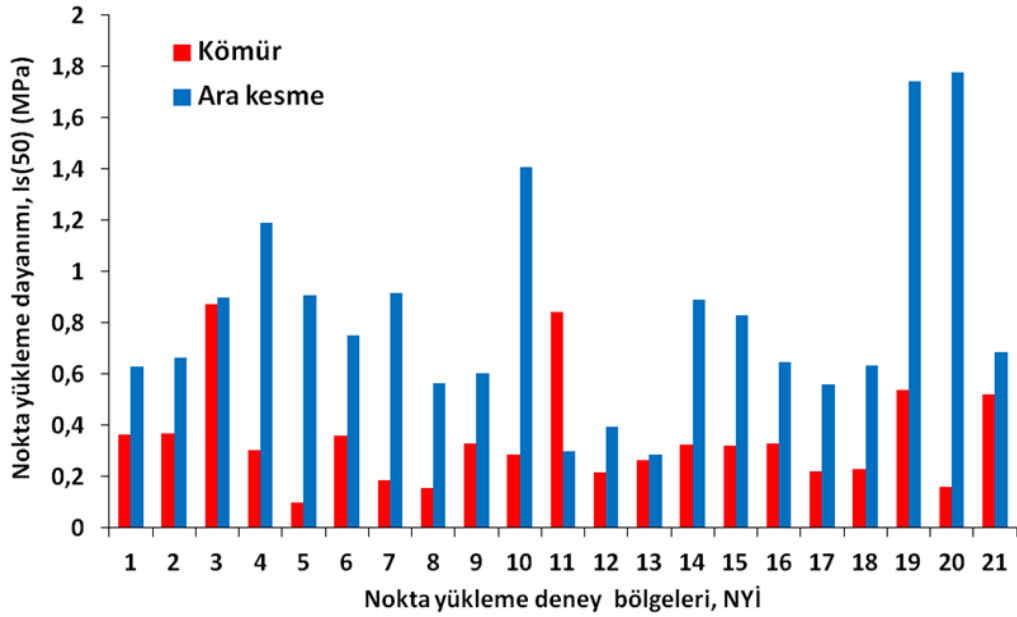
Schmidth Sertlik İndeks Deneyleri (Schmidt Hardness Index Tests)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında hazırlık çalışmaları yürütülen A1 panosu uzunayak arınında (110 m arın uzunluğu, 3,5 m arın yüksekliği) planlanan Schmidt sertlik belirleme deneyleri için öncelikle kömür yüzeyi üzerinde dört deney bölümü oluşturulmuştur. Bu bölümlerin arındaki görünüşleri Şekil 6’da sunulmuştur. Her bir deney bölümünde (SH-1, SH-2, SH-3 ve SH-4) kömür tabakaları (A, C, E) ve ara kesme tabakaları (B, D) mevcut olup her bir tabaka alt birim hücrelere bölünmüştür. Her bir birim hücreden üç kez Schmidt sertlik deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney alanları ve Schmidt sertlik deney sonuçları Çizelge 4 ve 5’te verilmiştir.

Çizelge 2. A1 pano arınında gerçekleştirilen kömür nokta yükleme dayanım deney sonuçları

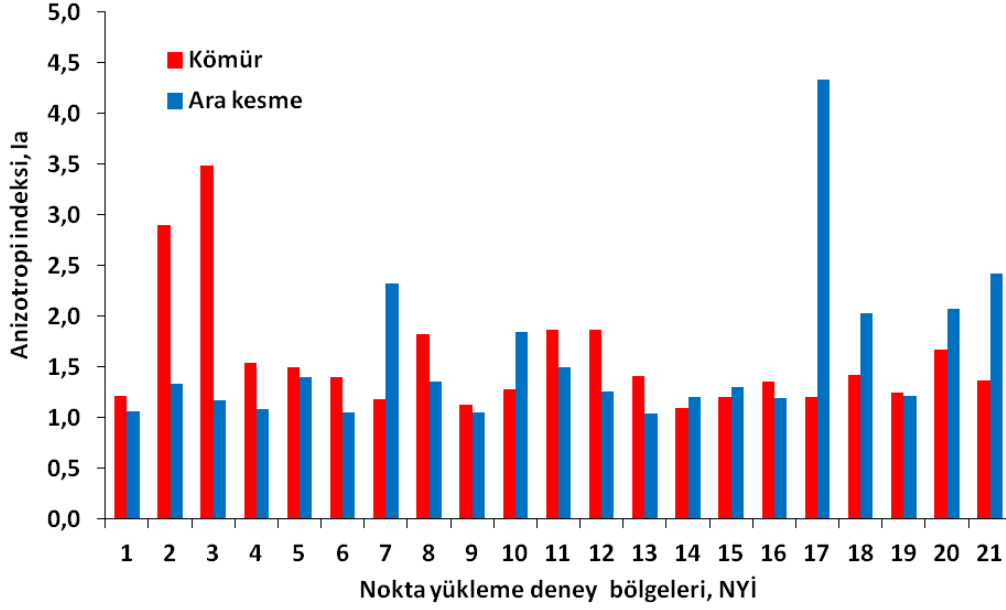
Table 2. Point load tests results carried out on the coal face in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Çapsal Nokta Yükleme Dayanımı				Eksenel Nokta Yükleme Dayanımı				Genel Sonuç	
	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Çapsal $I_{s(50)}$	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Eksenel $I_{s(50)}$	Ortalama $I_{s(50)}$	Anizotropi indeksi, Ia
	(m ²)		(#)	(MPa)	(m ²)		(#)	(MPa)	(MPa)	
NYİ-1	2,22	A, C, E	13	0,4	1,7	A, C, E	10	0,33	0,365	1,21
NYİ-2	2,64	A, C, E	15	0,55	2,29	A, C, E	13	0,19	0,37	2,89
NYİ-3	2,69	A	6	1,36	2,24	A	5	0,39	0,875	3,49
NYİ-4	6,44	A, C	6	0,37	4,29	A, C	5	0,24	0,305	1,54
NYİ-5	5,28	A, C	6	0,08	3,52	A, C	5	0,12	0,1	1,50
NYİ-6	6,5	A, C	7	0,3	4,64	A, C	6	0,42	0,36	1,40
NYİ-7	6,7	A, C	9	0,2	4,44	A, C	7	0,17	0,185	1,18
NYİ-8	9,83	A, C	11	0,2	5,36	A, C	7	0,11	0,155	1,82
NYİ-9	7,5	A, C	10	0,35	3	A, C	5	0,31	0,33	1,13
NYİ-10	5,45	A, C, E	7	0,32	5,45	A, C, E	8	0,25	0,285	1,28
NYİ-11	6,58	A, C, E	9	1,1	5,84	A, C, E	9	0,59	0,845	1,86
NYİ-12	6,86	A, C, E	10	0,28	4,12	A, C, E	7	0,15	0,215	1,87
NYİ-13	9,68	A, C	10	0,31	4,84	A, C	6	0,22	0,265	1,41
NYİ-14	6,02	A, C, E	10	0,34	6,02	A, C, E	10	0,31	0,325	1,10
NYİ-15	3,77	A, C, E	7	0,29	4,31	A, C, E	8	0,35	0,32	1,21
NYİ-16	4,5	A, C, E	10	0,38	4,05	A, C, E	9	0,28	0,33	1,36
NYİ-17	5,23	A, C, E	12	0,24	3,48	A, C, E	8	0,2	0,22	1,20
NYİ-18	4,14	A, C, E	9	0,27	4,14	A, C, E	9	0,19	0,23	1,42
NYİ-19	4,6	A, C, E	11	0,48	3,76	A, C, E	9	0,6	0,54	1,25
NYİ-20	4,79	A, C, E	11	0,2	3,92	A, C, E	9	0,12	0,16	1,67
NYİ-21	3,33	A, C, E	6	0,44	3,28	A, C, E	7	0,6	0,52	1,36
TOPLAM	114,75		195	0,40	84,69		163	0,29	0,35	1,38



Şekil 4. Deney bölgelerinde (NYİ) gerçekleştirilen nokta yükleme deney sonuçları

Figure 4. The results of point load tests carried out on experimental test areas (NYI)

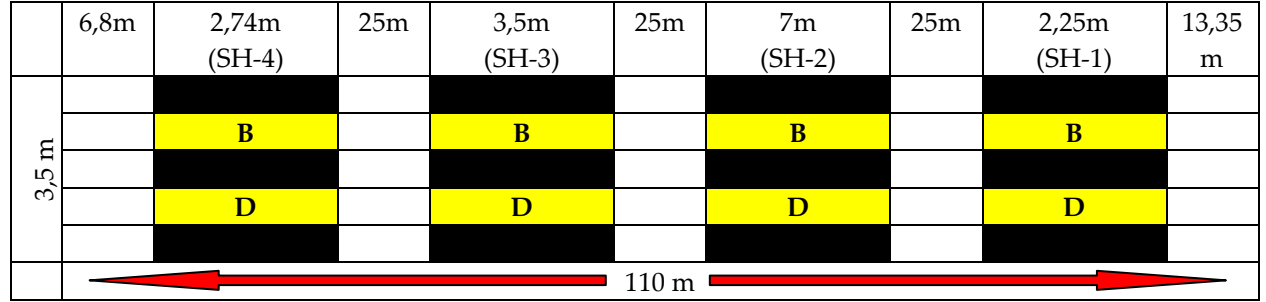


Şekil 5. Deney bölgelerinde (NYİ) belirlenen anizotropi indeksi değerleri
Figure 5. The anisotropy index values determined in the experimental regions (NYI)

Çizelge 3. A1 pano arınında ara kesme nokta yükleme dayanım sonuçları
Table 3. Point load tests results carried out for intermediate rock layers in the coal seam in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Çapsal Nokta Yükleme Dayanımı			Eksenel Nokta Yükleme Dayanımı				Genel Sonuç		
	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Çapsal $I_{s(50)}$	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Eksenel $I_{s(50)}$	Ortalama $I_{s(50)}$	Anizotropi indeksi, I_a
	(m ²)		(#)	(MPa)	(m ²)		(#)	(MPa)	(MPa)	
NYİ-1	2,22	B, D	9	0,65	1,36	B, D	8	0,61	0,63	1,07
NYİ-2	2,64	B, D	7	0,76	1,41	B, D	8	0,57	0,665	1,33
NYİ-3	2,69	B	5	0,97	1,34	B	4	0,83	0,9	1,17
NYİ-4	6,44	B	4	1,14	2,15	B	3	1,24	1,19	1,09
NYİ-5	5,28	B	4	1,06	3,52	B	5	0,76	0,91	1,39
NYİ-6	6,5	B	6	0,73	2,79	B	4	0,77	0,75	1,05
NYİ-7	6,7	B	6	1,28	2,23	B	4	0,55	0,915	2,33
NYİ-8	9,83	B	6	0,65	1,79	B	3	0,48	0,565	1,35
NYİ-9	7,5	B	5	0,62	2,25	B	4	0,59	0,605	1,05
NYİ-10	5,45	B, D	5	1,83	3,9	B, D	6	0,99	1,41	1,85
NYİ-11	6,58	B, D	6	0,36	4,39	B, D	7	0,24	0,3	1,50
NYİ-12	6,86	B, D	6	0,35	4,12	B, D	7	0,44	0,395	1,26
NYİ-13	9,68	B	4	0,29	1,94	B	3	0,28	0,285	1,04
NYİ-14	6,02	B, D	7	0,97	4,21	B, D	8	0,81	0,89	1,20
NYİ-15	3,77	B, D	8	0,94	2,15	B, D	5	0,72	0,83	1,31
NYİ-16	4,5	B, D	8	0,7	1,8	B, D	5	0,59	0,645	1,19
NYİ-17	5,23	B, D	6	0,91	2,61	B, D	7	0,21	0,56	4,33
NYİ-18	4,14	B, D	7	0,42	2,3	B, D	6	0,85	0,635	2,02
NYİ-19	4,6	B, D	7	1,91	2,51	B, D	7	1,58	1,745	1,21
NYİ-20	4,79	B, D	6	1,16	2,18	B, D	6	2,4	1,78	2,07
NYİ-21	3,33	B, D	7	0,97	3,33	B, D	7	0,4	0,685	2,43
TOPLAM	114,75		129	0,89	54,28		117	0,76	0,82	1,17

Schmidt sertlik deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 7'de sunulmuştur. Kömür malzemesinin Schmidt sertlik değerleri (N), ara kesme malzemesine göre oldukça düşük ve bölgeler arasında farkların (N=18,29 – 20,93) az olduğu anlaşılmaktadır. Malzeme galeri (taban yolu) girişinden itibaren ara kesme Schmidt sertlik değerlerinin (N), SH-2 ölçüm bölgesi hariç diğer üç bölgede yakın olduğu (N=29,60 – 30,80) ancak SH-2 bölgesinde Schmidt sertlik değerinin N=43 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, tamburlu kesici yükleyicinin arında kömür malzemesini keserken aynı seviyede zorlanacağı beklenirken, kömür içerisinde konumlanan ara kesmelerin kesilmesinde nispeten daha fazla zorlukla karşılaşabileceği söylenebilir.



Şekil 6. A1 pano arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik deneyleri için planlanan deney bölgeleri
Figure 6. The planned experiment zones for the Schmidt hardness tests carried out on coal face in A1 panel

Çizelge 4. A1 pano arınında gerçekleştirilen kömür Schmidt sertlik belirleme deneyleri

Table 4. Schmidt hardness tests results carried out on the coal face in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Deney alanı	Toplam alan	Deney sayısı	Ortalama birim deney hücre alanı	Ortalama Schmidt sertlik deney sonucu N
		m ²	#	m ²	
SH-1	A, C, E	7,5	45	0,167	18,29±3,05
SH-2	A, C, E	23,65	69	0,343	20,93±5,06
SH-3	A, C, E	11,88	54	0,220	19,26±3,42
SH-4	A, C, E	8,56	45	0,190	19,42±3,54

Çizelge 5. A1 pano arınında gerçekleştirilen ara kesme Schmidt sertlik belirleme deneyleri

Table 5. Schmidt hardness tests results carried out for intermediate rock layers in the coal face of A1 panel

Ölçüm bölgesi	Ara kesme deney alanı	Toplam alan	Ara kesme deney sayısı	Ortalama birim deney hücre alanı	Ortalama Schmidt sertlik deney sonucu N
		m ²	#	m ²	
SH-1	B, D	0,35	5	0,070	29,60±4,07
SH-2	B, D	1,16	8	0,145	43,00±4,90
SH-3	B, D	0,49	7	0,070	30,43±2,32
SH-4	B, D	1,02	5	0,204	30,80±2,04

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında A1 uzunayak hazırlık panosu arınında nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik belirleme deneyleri, 110 m uzunluğa ve 3.5 m yüksekliğine sahip toplam 385 m² yüzey alanına sahip arında gerçekleştirilmiştir. Nokta yükleme deneyleri tüm arında sistematik olarak oluşturulan 21 adet birim bölgede (yaklaşık; genişlik 5 m, yükseklik 3.5 m) gerçekleştirilirken Schmidt sertlik belirleme deneyleri, arın yüzeyinde sistematik olarak belirlenen sadece dört bölgede gerçekleştirilmiştir. Her iki deneyin gerçekleştirildiği ortak deney bölgeleri ve bu ortak deney bölgelerinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalama sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Kömür ve ara kesme malzemesi için gerçekleştirilen Schmidt sertlik belirleme ve nokta yükleme

dayanımı deney sonuçları arasındaki matematiksel ilişkiler, SPSS v17.0 paket program ile araştırılmıştır (Çizelge 7). Bu analizlerde Çizelge 6' da sunulan ortalama değerler dikkate alınmıştır.

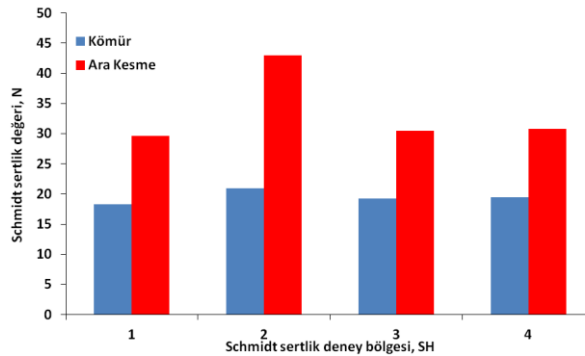
Kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik (N) değerleri ile nokta yükleme dayanımı indeks ($I_{s(50)}$) değerleri arasında güçlü bir istatistiksel ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7). Üstel karakter ile ifade edilen bu eşitlikte, bilinen N değerleri ile $I_{s(50)}$ değerleri 0,93 başarı (R^2) ile tahmin edilebilmektedir.

Malzemenin farklı yönlerde mekanik açıdan gösterdiği farklı dayanım davranışı anizotropi (Ia) olarak tanımlanmakta ve bunun için sıklıkla nokta yükleme dayanım deney sonuçları kullanılmaktadır. Anizotropi (Ia) değeri, eksenel nokta yükleme değerlerinin çapsal yükleme değerlerine oranları ile belirlenmektedir. Bu çalışmada $I_{s(50)}$ değerleri ile Ia arasındaki istatistiksel ilişki değerleri belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 7). Belirlenen matematiksel eşitlikte bilinen bir $I_{s(50)}$ değeri ile Ia değeri 0,78 (R^2) doğrulukta tahmin edilebilmektedir.

Özkan (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, nokta yükleme dayanımı değerleri fazla çıkan örneklerde, tek eksenli basma dayanım değerlerinin de arttığı gözlenirken, aynı deney örneklerinde elastik modül değerlerinin de arttığı ve buna bağlı olarak sistematik bir şekilde Poisson oranlarının da değiştiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada Özkan (1989), nokta yükleme dayanım değerlerinin azalması ile anizotropi indeks değerlerinin büyüdüğünü belirleyerek anizotropi indeksi (Ia) ile elastik modül (E) değerinin Poisson (ν) değerine bölünmesiyle (E/ν) ortaya çıkan sayı, oran, arasında güçlü bir ilişki ($R^2=0,75$) olduğunu vurgulanmıştır.

$$E/\nu = 869 I_a^{(-3,186)} \quad (4)$$

Yatay eksenin x, düşey eksenin y kabul edildiği tek eksenli bir deformabilite deneyinden belirlenen elastik modül ($E=\Delta\sigma/\Delta\varepsilon_y$) ve Poisson oranı ($\nu=\Delta\varepsilon_x/\Delta\varepsilon_y$) değerlerinin oranı (E/ν) için bir sadeleştirme yapılırsa, bu oranının aslında $\Delta\sigma/\Delta\varepsilon_x$ olduğu görülecektir. Eşitlik 4' te verilen oran (E/ν) özünde gerilmeye maruz kalan malzemenin yatay ekseninde (x-ekseni) oluşan deformasyon miktarını ifade etmektedir. E/ν oran değerlerinin küçük olması bir birim gerilme (σ) altında yatay yönde oluşan birim deformasyon değerlerinin (ε) oldukça büyük olduğunu, bu oran değerlerinin büyük olduğu durumdase aynı bir birim gerilme (σ) altında yatay yönde çok küçük birim deformasyonların (ε) olduğunu ifade edecektir. İlk durum için malzeme çok fazla yanal yönde genişlerken ikinci durumda çok az yanal yönde genişleyecektir. Burada verilen örnek tanımlama temel alınarak E/ν oranının arında kazının kolaylığı ve zorluğuna işaret eden bir parametre olduğu kabul edilmiştir. Kazıcı makinenin uç darbelerine maruz kalan kömür malzemesi, düşük E/ν oranına sahipse yatay yönde çok deforme olarak kazıyı kolaylaştıracaktır. Buna karşın E/ν oranının büyük olması durumunda kazıcı makinenin uç darbelerine maruz kalan kömür malzemesi daha az yanal deformasyona uğrayarak kazıyı zorlaştıracaktır. Bu çalışmada Özkan (1989) tarafından önerilen Eşitlik 4 kullanılmıştır (Çizelge 7). Saha çalışmaları ile belirlenen Ia değerleri önerilen, matematiksel eşitlikte kullanılmış ve kömür ve ara kesme malzemesinin E/ν oranları 0,75 (R^2) doğruluk oranı ile belirlenmiştir.



Şekil 7. Deney bölgelerinde (SH) gerçekleştirilen Schmidt sertlik deney sonuçları

Figure 7. The results of Schmidt hardness tests carried out on experimental test areas (SH)

Çizelge 6. Her iki deneyin ortak gerçekleştirildiği deney bölgeleri, deney sayıları ve deney sonuçları
Table 6. Number of performed tests and their results at joint test locations where both tests were carried out

Malzeme galeri girişinden mesafe	Ortak deney bölgeleri				Ortak deney bölgeleri	
	Nokta yükleme dayanım deney bölgesi ve deney sayısı		Schmidt sertlik belirleme deney bölgesi ve deney sayısı		Ortalama nokta yükleme dayanımı değeri	Ortalama Schmidt sertlik değeri
m	#		#		$I_{s(50)}$ (MPa), Ia	N
13,35	NYİ-3	Kömür	SH-1	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-4	21		45	0,59; 2,59	18,29
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		12		5	1,045; 1,13	29,60
40,60	NYİ-9	Kömür	SH-2	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-10	33		69	0,3075; 1,31	20,93
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		16		8	1,008; 1,45	43,00
72,60	NYİ-15	Kömür	SH-3	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-16	34		54	0,31; 1,29	19,26
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		22		7	0,7375; 1,25	30,43
101,10	NYİ-19	Kömür	SH-4	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-20	40		45	0,35; 1,46	19,42
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		32		5	1,7625; 1,64	30,80

Çizelge 7. Gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçları

Table 7. Results of statistical analyses

Dikkate alınan parametreler	Belirlenen istatistiksel eşitlik	R ²
Schmidt Sertlik (N) ve Nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$)	$I_{s(50)} = 0,125 e^{(0,064 \times N)}$	0,93
Anizotropi indeksi (Ia) ve Nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$)	$Ia = 1 + 0,362 I_{s(50)}^{(-0,457)}$	0,78
Elastik Modül Poisson oranı (E/v) ve Anizotropi indeksi (Ia)	$E/v = 869 Ia^{(-3,186)}$	0,75
Schmidt Sertlik (N) ve Elastik Modül Poisson oranı (E/v)	$E/v = 12,79N - 9,6976$	0,51

Bu çalışmada, kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik (N) deney sonuçları ile anizotropi indeks değerlerine bağlı olarak Eşitlik 4 kullanılarak belirlenen E/v oranı değerleri arasındaki matematiksel ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Her iki parametre arasında doğrusal karakterde matematiksel bir ilişki olduğu ve bunun ancak 0,51 (R²) başarı ile açıklanabildiği tespit edilmiştir.

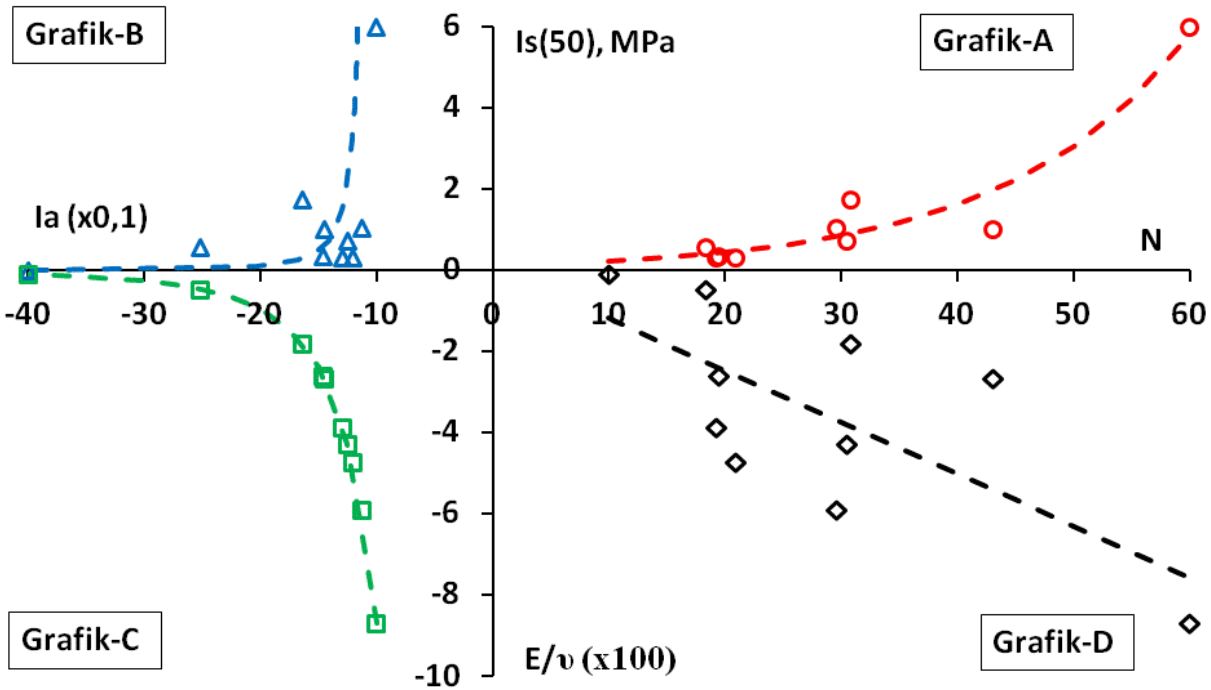
SPSS v17.0 istatistiksel analiz paket programı yardımıyla gerçekleştirilen analizler sonucunda belirlenen dört farklı matematiksel analiz sonucu topluca Çizelge 7’de sunulmuştur. A1 panosuna ait kömür arınında (385 m²) mevcut olan kömür ve ara kesme malzemesi için yerinde gerçekleştirilen Schmidt sertlik (N), nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$), anizotropi indeks (Ia) ve Elastik Modül Poisson oranına (E/v) bağlı bütüncü yaklaşım Şekil 8’de sunulmuştur.

Bütüncü yaklaşımın geliştirilmesinde kullanılan eşitliklerin (Çizelge 7), ilk üçü doğrusal olmayan karakterde iken sonuncu olan N-E/v ilişkisi, doğrusal bir karakter sergilemektedir. Bütüncü yaklaşımın son alt bölümünde N ve E/v arasında verilerin dağılımını en iyi açıklayan modelin diğerlerinin aksine doğrusal olduğu görülmüştür.

TKİ-Tunçbilek yeraltı kömür madeni kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik belirleme deney sonucu, eğer Şekil 8’de Grafik-A kullanılırsa, $I_{s(50)}$ değeri belirlenebilecek, Grafik-B kullanıldığında anizotropi indeks değeri (Ia) belirlenebilecektir. Anizotropi indeks değeri ($1 \leq Ia \leq 4$) arttıkça kömür malzemesinin farklı yönlere dayanam farklılığı kömürün kazı kolaylığını ifade edecektir. Grafik-C ile

E/v oran değeri belirlenebilecektir. Bu oran tek yönlü yük altında kalan malzemedeki yanal birim deformasyonları tanımladığı için, ilgili değer azaldıkça kömür malzemesinin kazı kolaylığı artacaktır. Benzer şekilde, Schmidt sertlik deney sonucu (N), Grafik-D'de kullanılarak E/v oranı belirlenebilecektir. ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından önerilen özellikle arazi uygulaması pratik olan Schmidt sertlik ve nokta yükleme deneylerinin sahada gerçekleştirilmesi durumunda, yukarıda sunulan bütüncü yaklaşım ile, kazı yapılacak arında kazı kolaylığı ve zorluğu kazı öncesi kolayca tahmin edilebilecektir. Bu ise etkin bir üretim planlamasının yapılmasında yardımcı olacaktır.

Bu deneysel çalışmaların yapıldığı ancak hazırlık aşamasında olduğu için henüz kazı çalışmalarının başlatılmadığı A1 panosu için yukarıda verilen değerlendirmeler yapılmıştır. Sahada gerçekleştirilen deney sonuçlarına ve Şekil 8'de sunulan bütüncü yaklaşım dikkate alınarak kazı kolaylığı/zorluğunu tanımlayan yeni bir sınıflama geliştirilmeye çalışılmıştır (Çizelge 8).



Şekil 8. Schmidt sertlik değeri, nokta yükleme dayanımı, anizotropi indeksi, elastik modülüne Poisson oranı değerlerine bağlı bütüncü yaklaşım

Figure 8. Integral approach based on Schmidt hardness, point load strength, anisotropy index, elastic module and Poisson ratio

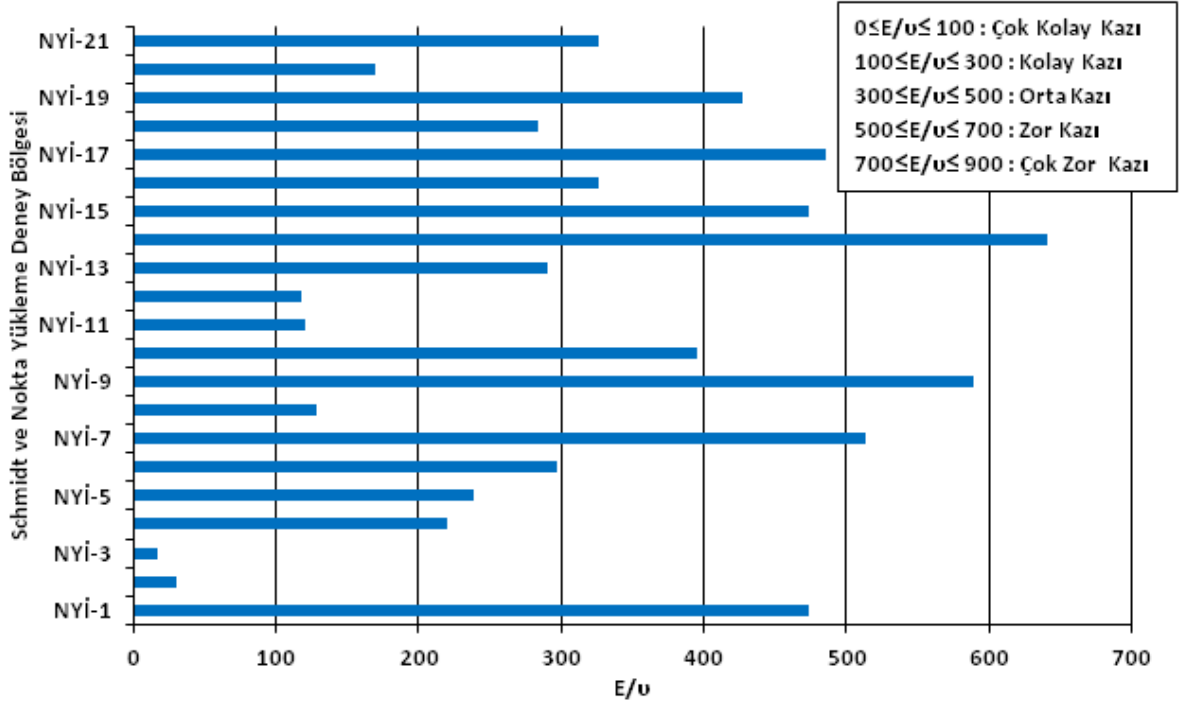
Çizelge 8. Kömür ve ara kesme malzemesinin bazı mekanik özelliklerine bağlı kazı sınıflaması

Table 8. Excavation classification based on some rock mechanic properties of coal and intermediate rock layer materials

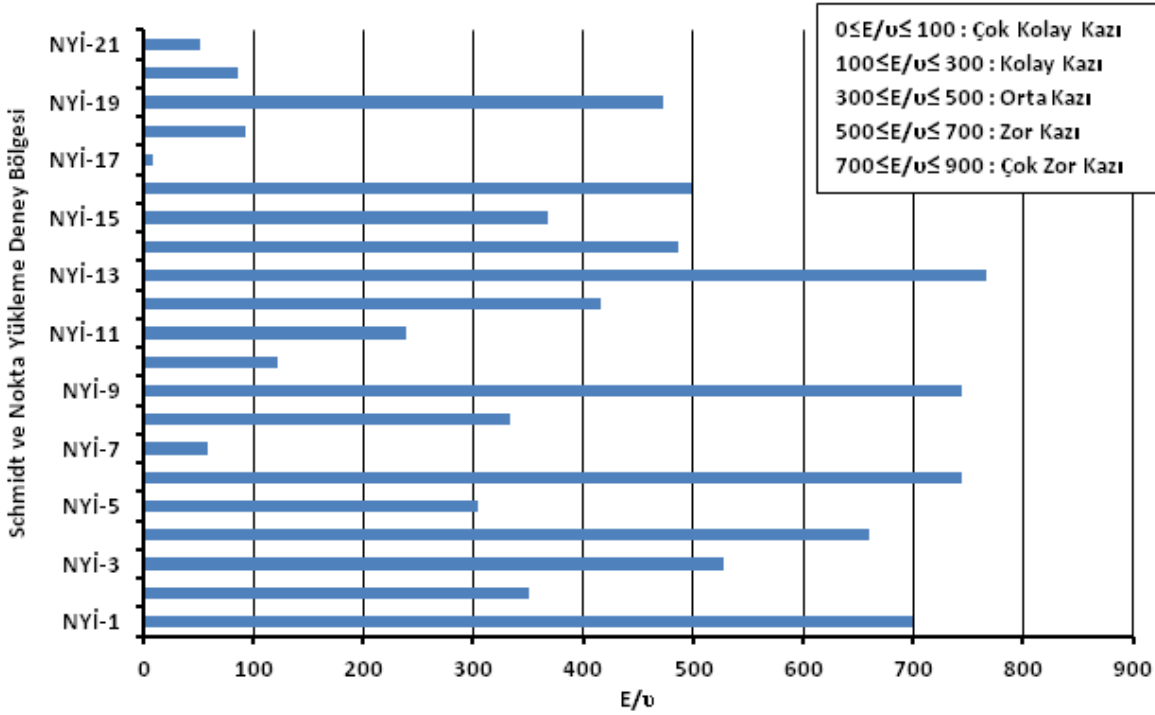
Schmidt sertlik belirleme deney sonuçlarına bağlı aralık	Nokta yükleme dayanımı deney sonuçlarına bağlı aralık (MPa)	Anizotropi indeksi değerlerine bağlı aralık	Elastik modülü, Poisson oranı değerlerine göre bulunan oran aralığı	Kazı Kolaylığı/zorluğu sınıflaması
N	$I_s(50)$	I_a	E/ν	
≤ 10	$\leq 0,115$	$\geq 2,00$	0-100	Çok kolay kazı
10 – 25	0,115 – 0,85	1,40 – 2,00	100-300	Kolay kazı
25 – 40	0,85 – 4	1,20 – 1,40	300-500	Orta zor kazı
40 – 55	4 – 40	1,07 – 1,20	500-700	Zor kazı
55 – 60	≥ 40	1,00 – 1,07	700-869	Çok zor kazı

Çizelge 8'de sunulan kazı sınıflaması dikkate alınarak bu makalede çalışılan A1 panosu kazı arını değerlendirilmeye çalışılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi toplam 385 m² alana sahip kazı arını,

belirtildiği üzere her biri yaklaşık 5 m genişliğe sahip toplam 21 adet deney bölgesine bölünmüştür. Şekil 9' da kömür malzemesinin, Şekil 10' da ara kesme malzemesinin kazı kolaylıkları E/u oranları dikkate alınarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kömür malzemesi için NYİ-2 ve NYİ-3 bölgesinde kazı çok kolay (arın yüzeyinin %9'u), NYİ-1, NYİ-9, NYİ-14'de kazının çok zor olacağı (arın yüzeyinin % 13,6'sı) ifade edilebilir. Diğer bölgeler (arın yüzeyinin % 77,4'ü) genel olarak kolay ve orta kazı sınıfında değerlendirilebilir. NYİ-1, NYİ-3, NYİ-4, NYİ-6, NYİ9 ve NYİ-13 bölgelerinde mevcut ara kesmelerin kazısında kazı makinesinin zorlanacağı söylenebilir. Bu sonuçların nokta yükleme dayanımı ve anizotropi indeks değerleri için verilen Şekil 4 ve 5 ile de uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Kömür arınında kömür malzemesi için kazı kolaylığı
Figure 9. The ease of excavation for coal layers in coal face



Şekil 10. Kömür arınında ara kesme malzemesi için kazı kolaylığı

Figure 10. The ease of excavation for intermediate rock layer materials in coal face

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)'ne bağlı yeraltı kömür ocağının hazırlık çalışmalarının yürütüldüğü A1 panosunda gerçekleştirilmiştir. 110 m uzunluğuna ve 3,5 m yüksekliğe sahip yaklaşık 385 m²'lik yüzey alanını öncelikle belirli bölgelere bölmüş ve bu birim alanlarda toplamda 563 adet nokta yükleme dayanımı ve 238 adet Schmidt sertlik değeri belirleme deneyleri yapılmıştır. Her iki deney sonuçları arasında ilişkinin varlığı, gerçekleştirilen bir seri istatistiksel analizlerden tespit edilmiştir. Tamburlu kesici-yükleyicinin kullanılmadığı maden işletmesinde henüz hazırlık aşamasında bulunan A1 panosuna ait bir kazı performansının tahmini için bir bütüncü yaklaşım geliştirilmiştir. Dört alt bölümden oluşan bu bütüncü grafikte, Schmidt sertlik değerine bağlı nokta yükleme dayanımını belirleyebilen eşitlik ve eğrisi, nokta yükleme dayanımına bağlı anizotropi indeks değerlerini hesaplayabilen eşitlik ve eğrisi, anizotropi indeks değerine bağlı E/v oranını belirleyebilen eşitlik ve eğrisi ile son olarak Schmidt sertlik değerlerine bağlı E/v oranının belirlenmesi için önerilen eşitlik ve eğrisi bulunmaktadır. Bunlardan ilk üç alt bölümde sunulan davranışlar doğrusal olmayan karakterde iken sonuncu olan alt bölümde (N-E/v) doğrusal karakterde bir davranış sergilendiği tespit edilmiştir. Bütüncü yaklaşımın son alt bölümünde N ve E/v arasında verilerin dağılımını en iyi açıklayan model, diğerlerinin aksine doğrusal davranış olmuştur.

Ömerler maden sahasında çalışan mühendisler önerilen bütüncü yaklaşım ile sahada yapacakları pratik Schmidt sertlik belirleme ve nokta yükleme dayanımı deneyleri yardımıyla kolayca E/v oranını belirleyebilecekler ve sonuçta tamburlu kesici-yükleyicinin kazıda zorlanabileceği bölgeleri önceden tahmin edip kazı makinesinin kazı operasyonu planlayabileceklerdir.

Yerinde tamburlu-kesici kazı makinalarının kazı performanslarının ölçülmesi ile bu makalede öne sürülen yaklaşımın denenmesi ve ihtiyaç dahilinde revize edilmesi gereklidir. Bunun için ek çalışmalara ihtiyaç duyulacaktır. Bu çalışmalar ilerisi için şimdiden öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

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

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 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, Vol. 7, pp. 287-332. Also NGI Publ. 105, 1974.
- Bieniawski, Z.T., 1975, "Point Load in Geotechnical Practice", *Eng. Geol.*, Vol. 9, pp. 1-11.
- Broch, E., Franklin, J. A., 1972, "The Point Load Strength Test", *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.*, Vol. 9, pp. 669-697.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., 1996, "Uniaxial Compressive Strength and Point Load Strength", *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, Vol. 33, pp. 183-189.
- Hawkins, A.B., 1998, "Aspects of Rock Strength, Bulletin of Engineering Geology and the Environment", *Bull Eng Geol Env.*, Vol. 57, pp. 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*, pp. 981-994.
- Özkan, İ., 1989, *Determination of Classification Parameters for Weak and Stratified Rocks Based on RMR and Q-Systems*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 156s.
- Ozkan, 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*, Vol. 45, (6), pp. 888-898
- Özkan İ., Mesutoğlu M., 2018, TÜBİTAK 116M698 nolu proje çalışması 1. Gelişme Raporu (yayınlanmamış).
- Öztürk, C.A., Özbakır, A. D., Nasuf, E., 2004, "Nokta Yük ve Tek Eksenli Basınç Dayanımları Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi", 6. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu.
- Peng, S.S., Chiang, H.S., 1984, *Longwall Mining*, John Wiley & Sons, New York.
- Ulusay, R., Özkan, İ., 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, pp. 233-240.
- Ünal, E., Özkan, İ., Ulusay, R., 1992, "Characterization of Weak Stratified and Clay-Bearing Rock Masses", *ISRM Symposium: EUROCK'92-Rock Characterization*, Chester, UK, 14-17 Sept. 1992, J.A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, pp. 330-335.