

Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler

Problems faced in the applications of the point load index test

Tamer TOPAL

ÖZ

Nokta yükleme deneyi, iki konik uç arasına yerleştirilen kayaç örneğinin kırılması esasına dayanmaktadır. Yenilme yükü ve örnek boyutları kullanılarak bulunan nokta yükleme dayanım indeksi çeşitli amaçlarla mühendislik jeolojisi çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu makalede, nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan aletsel ve kullanıcıyı ilgilendiren problemler tartışılmıştır. Yazarın uygulamada elde ettiği deneyimleri sonucu, standart deney formuna kayacın "D" boyutu, kırılma zamanı ve yüzde olarak yenilme yüzeyindeki süreksizliğin ve kayaç dokusunun kontrolü hakkındaki bilgilerin eklenmesi önerilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) - nokta yükleme dayanım indeksi ($Is_{(50)}$) oranının (k) değişik kayaçlar için çok geniş bir aralıkta değişmesi nedeniyle, mühendislik projelerinde bu oran ayrıca belirlenmelidir. Bu çalışmada, tüfler için kullanılacak yüksek korelasyon katsayısı veren (σ_c)-($Is_{(50)}$) ilişkisi sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: k-değeri, Mühendislik jeolojisi, Nokta yükleme dayanım indeksi, Tek eksenli sıkışma dayanımı, Tüf

EXTENDED ABSTRACT

The point load index test is based on the principle that rock sample is broken between two conical platens. Failure load and specimen dimensions are used to calculate the point load strength index and this index is used in engineering geological studies. In this paper, the problems related to the point load testing device and the common mistakes of the users are discussed. Based on the experience of the author, a proposal for including "D" dimension of the rock, failure time, and textural and structural information of the failure surface of rock in the point load test form is given. k-value, defining the ratio between the uniaxial compressive strength ($s\sigma_c$) and the point load strength index ($Is_{(50)}$), varies significantly for different rocks. Therefore, k-values for different rocks should be assessed for engineering projects. In this study, a linear relationship with high correlation coefficient between (σ_c) and ($Is_{(50)}$) is given for tuffs.

Key words: Engineering geology, k-value, Point load strength Index, Tuff, Uniaxial compressive strength.

GİRİŞ

Nokta yükleme deneyi günümüzde mühendislik jeolojisi ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney ile iki konik uç (platen) arasında

sıkıştırılan kayaç örneğinin yenilme yükü ve boyutları kullanılarak nokta yükleme dayanım indeksinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Elde edilen nokta yükleme dayanım indeksi, kayaçların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belir-

T. TOPAL: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

lenmesinde (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Norbury, 1986; Wijk, 1980), kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında (Guidicini vd., 1973; Bieniawski, 1975), kayaç anizotropisinin saptanmasında (Greminger, 1982; Broch, 1983), RMR kaya kütlesi sınıflamasında (Bieniawski, 1989), tünel açma makinası hızının tahmininde (McFeat ve Tarkoy, 1979), kayaçların kazılabilirlik açısından sınıflamalarında (Pettifer ve Fookes, 1994), ve kayaçların dış etkilere karşı dayanıklılığı ile ilgili çalışmalarda (Fookes vd., 1988; Rodrigues ve Jeremias, 1990) kullanılmaktadır. Genelde kayaçlar için önerilen bu deney, beton üzerinde de uygulanmıştır (Robins, 1980).

Nokta yükleme aletinin hafif ve taşınabilir olması, deneylerin hem laboratuvarında, hem de arazi koşullarında yapılabilmesini sağlamaktadır. Ucuz bir deney olması ve hızlı sonuç alınması nedeniyle, bu yöntem jeoteknik karot loglamasında da kullanılmaktadır (BSI, 1981; Hawkins, 1986). Karot örneği üzerinde çapsal ve ekstenel olarak; laboratuvarında hazırlanmış düzgün blok ve düzensiz örnekler üzerinde, örnek boyutları dikkate alınarak, nokta yükleme deneyi yapılabilmektedir. İlk defa Broch ve Franklin (1972) tarafından önerilen bu deney, ISRM (1972) ve Anon (1972) tarafından da kabul görmüştür. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar çerçevesinde, günümüzde yaygın olarak kullanılan uluslararası yöntem (ISRM, 1985) oluşmuştur.

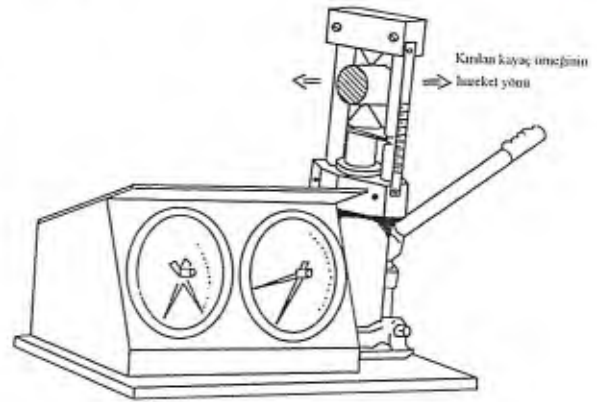
Bu yazının amacı, yazarın çeşitli mühendislik jeolojisi çalışmaları sırasında nokta yükleme deneyi ile ilgili elde ettiği deneyimlerin ve karşılaşılan problemlerin aktarılmasıdır.

NOKTA YÜKLEME DENEYİ

Bu bölümde Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği'nin (ISRM, 1985) kabul ettiği ve günümüzde yaygın olarak kullanılan önerisi özetle verilmiştir. ISRM (1985) önerisi dikkate alınarak, Türkçe olarak yazılmış nokta yükleme deneyinin ayrıntıları Ulusay vd. (1997) ile Ünal ve Tutluoğlu (1986)'dan sağlanabilir.

Deney Düzenegi

Nokta yükleme deney aleti, yükleme sistemi (yükleme gövdesi, yükleme pompası, ve iki konik uç), yük göstergeleri (düşük ve yüksek basınç için), ve deney esnasında konik uçlar arasındaki uzaklığı ölçen ölçüm sisteminden oluşur (Şekil 1). Ayrıca, kayaç örneğinin boyutlarını ölçebilmek için ölçüm kumpası (tercihen 0.01 mm veya 0.1 mm hassasiyetinde) gereklidir.



Şekil 1. Nokta yükleme deney aleti (ELE, 1990).

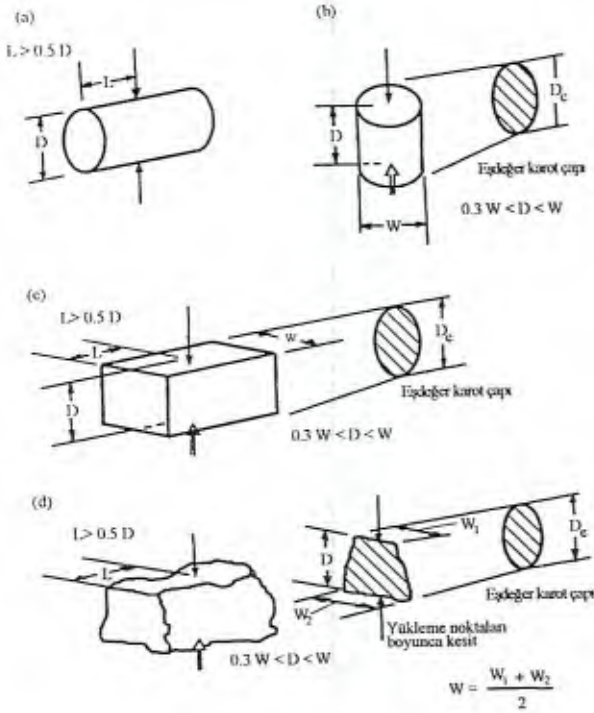
Deney Yöntemi

Nokta yükleme deneyinde karot örnekler (çapsal ve ekstenel deneyler için), kesilmiş blok örnekler veya düzensiz boyutlu örnekler kullanılabilir. Deney tiplerine göre gerekli olan örnek boyutları Şekil 2'de verilmiştir. Boyutları ölçülen ve konik uçlar arasına yerleştirilen kayaç örneği belirli bir süre içerisinde kırılır ve yenilme yükü, yük göstergesinden okunur.

Hesaplamalar

Nokta yükleme deneyinden elde edilen yük (P) ve örnek boyutları (D, W) kullanılarak, öncelikle düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (Is) bulunur. Bunun için aşağıda verilen eşitlik kullanılır.

$$I_s = P/D_c^2 \quad (1)$$



Şekil 2. Nokta yükleme deneyi için gerekli (a) çapsal; (b) aksenal; (c) blok; ve (d) düzensiz örnek boyutları (ISRM, 1985).

Burada D_c eşdeğer karot çapıdır. Çapsal deneylerde;

$$D_c^2 = D^2, \quad (2)$$

aksenal deneyler ile blok veya düzensiz boyutlu örneklerde;

$$D_c^2 = 4A/\pi, \quad (A = W \cdot D) \quad (3)$$

ifadeleri kullanılır. Burada (A) değeri, konik uçların değme noktalarından geçen örnek düzleminin en küçük kesit alanıdır. Deney, değişik eşdeğer çaptaki (D_c) örnekler üzerinde yapılabilmektedir. Bu durum ise düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımını (I_s) değiştirmektedir. Bu nedenle, standart bir nokta

yükleme dayanım indeksi (I_{s50}) bulabilmek için I_s değeri, 50 mm olarak belirlenmiş eşdeğer bir karot çapına ($D = 50$ mm) göre düzeltilmektedir. Bunun için literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir (Broch ve Franklin, 1972; Hassani vd., 1980; Brook, 1980 ve 1985; Türk ve Dearman, 1985 ve 1986; ISRM, 1985; Türk, 1988). Ancak, pratik olması nedeniyle aşağıda verilen formül ISRM (1985) tarafından önerilmiş ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır:

$$I_{s(50)} = F * I_s \quad (4)$$

Burada (F) düzeltme faktörü olup aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$F = (D_c/50)^{0.45} \quad (5)$$

Ortalama $I_{s(50)}$ değerini bulabilmek için bir kayaç üzerinde en az 10 adet geçerli deney yapılmalıdır. En düşük ve en yüksek ikişer değer gözardı edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması alınır. Örnek sayısı 10'dan az ise, en yüksek ve en düşük değerler gözardı edilir ve geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.

Nokta yükleme dayanımı anizotropi indeksini ($I_{a(50)}$) bulabilmek için, zayıflık düzlemine (tabaka, eklem, foliasyon, v.b.) dik ve paralel yönde ölçülen $I_{s(50)}$ değerlerinin oranı kullanılır. Kayacın izotropik olduğu durumlarda $I_{a(50)} = 1$; anizotropik olduğu durumlarda ise $I_{a(50)} > 1$ olur. ISRM (1985)'in önerdiği deney formu ve hesaplama yöntemine ait uygulama Ulusay vd. (1997) tarafından verilmiştir.

UYGULAMADA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

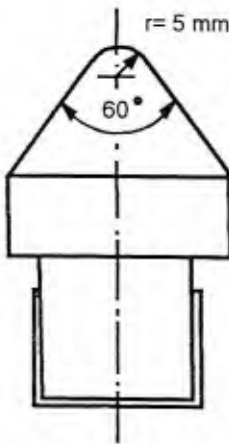
Bu bölümde, yazarın nokta yükleme deneyi ile ilgili çeşitli mühendislik projelerinde karşılaştığı problemler, deneyimleri aktarılmış ve örnekler verilmiştir. İlk kısımda dikkat edilmesi gereken aletsel prob-

lemler tartışılmış, daha sonra ise kullanıcıyı ilgilendiren hususlar üzerinde durulmuştur.

Aletsel Problemler

Nokta yükleme aleti boyutunun küçük ve basit çalışma prensibine sahip olması nedeniyle yerli ve yabancı firmalar tarafından imal edilebilmektedir. Bununla birlikte, zaman zaman ucuz ancak standartlara uygun olmayan aletlerde üretilebilmektedir. Deney sonuçlarını etkilemesi açısından bu aletlerle ilgili önemli görülen hususlar aşağıda belirtilmiştir:

Konik uçlar: ISRM (1985)'e göre konik uçlar 60° 'lik bir açığa sahip ve uç kısmının yarıçapı 5 mm olmalıdır (Şekil 3). Özellikle bazı deney aletlerinde konik uçlar 60° 'lik bir açığa sahip olmakla beraber, uçları keskin ve sivridir. Bu nedenle standartlara uymamaktadır. Bu hususun mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir. Diğer bir husus ise, konik uçların yeterince sertleştirilmemiş çelikten yapılmasıdır. Orta dayanımlı bir kayaç örneği kullanıldığında dahi 20-25 deney sonrası konik uçta kütleşme (düzleşme) meydana gelmekte, bu da yükün daha geniş alana uygulanması anlamına gelmektedir. Böylece olması gerekenden daha yüksek bir yenilme yükü elde edilmektedir. Uluslararası standarda göre üretilmiş aletlerle, yüksek-çok yüksek dayanımlı kayaçlar üzerinde yapılan deneyler sonrası dahi, zaman içinde standart konik uçta kütleşme meydana gelebilmektedir.



Şekil 3. Konik uç boyutları (ISRM, 1985).

Kumtaşı, dolerit, mermer ve kireçtaşlarında bu durum bizzat yazar tarafından gözlenmiştir. Bu nedenlerle yumuşak çelikten yapılmış konik uçlar kullanılmamalıdır. Kullanılan konik uçlar devamlı kontrol edilmeli ve uç kısımlarında kütleşme olmadığından emin olunmalıdır. Ayrıca, çok yüksek dayanımlı kayaçlarla çalışırken mümkünse NX (54 mm) boyutundan daha büyük örnekler kullanılmamalıdır. Böylece yenilme yükü nisbeten azalacak ve konik uçlardaki kütleşme daha uzun bir zaman aralığına yayılacaktır. Buna ek olarak, gerektiğinde kullanılmak üzere standartlara uygun yedek konik uç bulundurulmalıdır.

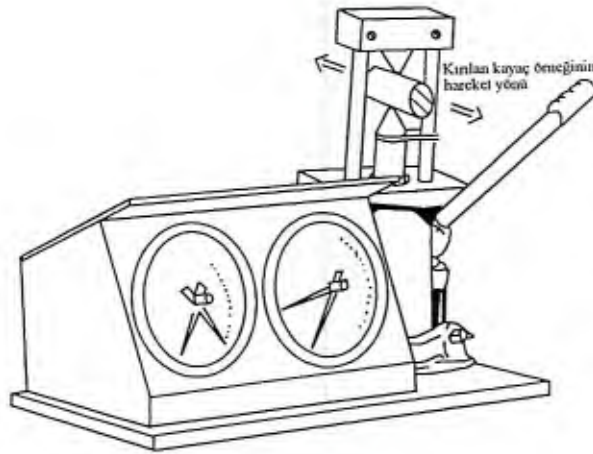
Yağ kaçırma: Nokta yükleme aleti, haznesindeki hidrolik yağ basıncını konik uçlara aktararak bu uçların hareketini sağlamaktadır. Alette zaman içinde meydana gelebilecek muhtemel yağ sızıntıları dikkatle incelenmelidir. Yağın eksilmesi, basıncın yanlış okunmasına neden olacaktır. Bu durumda yağ sızıntısı giderilmeli ve gerekli miktarda yağ hazneye eklenmelidir.

Gösterge hatası: Nokta yükleme aletinde küçük (0-5.5 kN kapasiteli, 0.1 kN hassasiyetli) ve büyük (0-55 kN kapasiteli, 1 kN hassasiyetli) yükleri okuyabilecek iki ayrı gösterge bulunmalıdır. Deney sırasında örnekler hızlı kırıldığından, yenilme yükünü gösteren "sabit çubuk" her iki gösterge içerisinde bulunmalıdır. Deney sırasında uygulanan kuvvetin yükselmesiyle küçük kuvvet göstergesi, bazı aletlerde olduğu gibi, el kumandalı bir sistem yerine, otomatik olarak devreden çıkmalıdır. El kumandalı sisteme sahip aletlerin kumanda kilidinde çok sık bozulmalar olmakta ve küçük kuvvet göstergesinin arızalanmasına neden olmaktadır. Deney aletini mutlaka mühendis veya çok tecrübeli bir teknisyen kullanmalıdır. Her deneyden sonra göstergeler incelenmeli ve göstergelerin sıfır değerine indiğinden emin olunmalıdır. Sıfır değerine inmemesi, göstergelerin bozulduğu anlamına gelir ve bu durumda yanlış okuma verir. Bu durumdaki göstergeler derhal değiştirilmelidir.

Yıllık bakım: Nokta yükleme aleti çok sık kullanılması nedeniyle yıllık bakımdan geçirilmelidir. Sadece göstergelerin doğru çalışıp çalışmadığı değil, konik uçlar arasındaki yük ile göstergede elde edilen yükler aynı değeri vermelidir.

Örnek kalınlığını belirten ölçek: Özellikle zayıf kayalarda yapılan deneyler sırasında, konik uçların kayaç örneğinin içine birkaç milimetre girmesi muhtemeldir. Gerçek " D_c " değerinin belirlenebilmesi için kırılma zamanındaki " D " mesafesi alet üzerindeki ölçü çubuğu yardımıyla kolaylıkla okunabilmektedir. Konik uçlar birbirine değerken, ölçü çubuğu sıfır değerini göstermelidir. Bu durum, belirli zaman aralıklarında kontrol edilmelidir.

Yanlış alet tasarımı: Nokta yükleme aletindeki örnek yerleştirme kısmının yönü son derece önemlidir. Son yıllarda üretilen aletlerin küçük boyutlu (kompakt) olması nedeniyle kullanıcı, kırılma bölgesine daha yakındır. Deney aletinin tasarımında, kırılan örnekler kullanıcıya zarar vermeden sağa ve sola gitmelidir. Ancak bazı deney aletlerinin gövde kısmında yapılan yanlış tasarım nedeniyle kırılan kayaç örneklerinin bazı parçaları kullanıcıya doğru gelmekte (Şekil 4) ve kullanıcının zarar görmesine neden olabilmektedir. Nokta yükleme aleti ile birlikte verilen plastik gözlükler bu problemi çözmekten uzaktır. Bu hususa, nokta yükleme aletinin satın alınmasında dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4. Yanlış tasarımı nokta yükleme aleti.

KULLANICIYI İLGİLENDİREN HUSUSLAR

Kırılma süresi: ISRM (1985)'e göre nokta yükleme deneyi, yüklemeye başladıktan sonra 10-60 saniye içerisinde tamamlanmalıdır. Tek eksenli sıkışma ve dolaylı yoldan belirlenen çekme dayanımı (Brazilian deneyi) gibi deneyler hidrolik pres kullanılarak ve yükleme hızı ayarlanarak yapılabilmektedir. Ancak, günümüzde üretilen nokta yükleme deney aletlerinde yükleme hızı elle ayarlanmakta ve böylece düzgün olarak hızın ayarlanması kullanıcının dikkatini gerektirmektedir. Çok hızlı, ya da çok yavaş kırılma, olması gerekenden daha yüksek, ya da daha düşük bir yenilme yükü vermektedir. Yazar, değişik projelerde kullanıcıların nokta yükleme aletini kullanmalarını incelemiş ve kullanıcıların bu deneye yeterli önemi vermemeleri durumunda genelde yüklemenin çok hızlı olduğunu ve kayacın kırılmasının 3-6 saniye içerisinde gerçekleştiğini gözlemiştir. Bu durum, olması gerekenden daha yüksek bir yenilme yükünü vermektedir. Literatürde de (Bowden vd., 1998) benzer gözlemlere değinilmiştir. Bu nedenle, kayaç kırılmasının ISRM (1985) tarafından belirtildiği gibi, 10-60 saniye içerisinde gerçekleşmemesi durumunda bu deney geçersiz sayılmalıdır. Bu konudaki hassasiyet, elde edilen sonuçların daha sonraki çalışmalarda doğru bir şekilde karşılaştırılabilmesi açısından da önem taşımaktadır.

Konik uçlar arasındaki uzaklık: Yüksek dayanımlı kayaçlarla ilgili deney öncesi konik uç aralığı " D ", örnek üzerinde ölçülmektedir. Ancak, özellikle zayıf kayaçlara ait deneyler sırasında, konik uçların kayaç örneğinin içine birkaç milimetre girmesi muhtemeldir. Böylece, deney öncesi ölçülen " D " mesafesi " D' " olarak değişecektir. Zayıf kayaçlar için kırılma zamanındaki " D " mesafesini alet üzerindeki ölçek yardımıyla belirlemek daha uygun olacaktır. Bu nedenle hem D hem de D' ölçümleri gerekli olacaktır. Böyle bir durumda $D_c^{2'}$ 'nin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmalıdır:

$$D_c^{2'} = D * D' \text{ (karot örnekleri için-çapsal) (6)}$$

$$D_c^2 = 4 (W * D') / \pi \text{ (diğer örnekler için)} \quad (7)$$

Burada dikkat edilmesi gereken husus, özellikle çok kalın düzensiz boyutlu örnek kullanılmamasıdır. Böyle bir durumda düzensiz boyutlu örnek, ölçü çubuğunu zorlamakta ve çubuğunun eğrilmesine neden olabilmektedir. Bu da yanlış kalınlık ölçümüyle sonuçlanmaktadır.

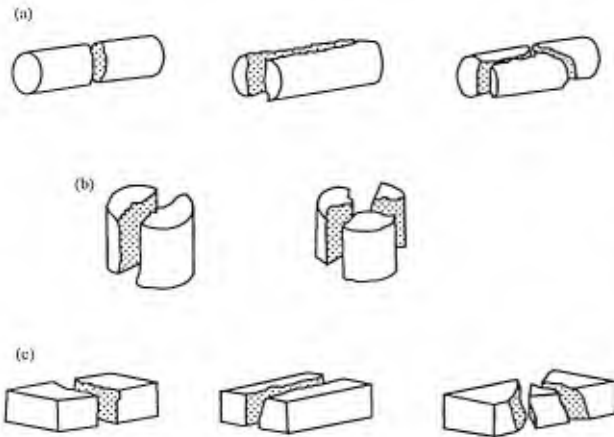
Deneylerin geçersizliği: Nokta yükleme deneyi, kayacın yenilme zamanı ve yenilme şekline göre geçerli, ya da geçersiz olabilmektedir. Hesaplamalarda sadece geçerli deney sonuçları kullanılmaktadır. Kayaç, yukarıda da belirtildiği gibi, zaman açısından 10-60 saniye içerisinde kırılmalıdır. Kayacın yenilme şekline göre geçerli ve geçersiz deney sonuçları Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu şekilde dikkat edilmesi gereken husus, yenilme yüzeyinin her iki yükleme noktasından (konik uç) geçmesidir. Bu tür yenilme şekli deneyin geçerli olduğunu belirtir. Yenilme yüzeyinin tek yükleme noktasından geçmesi durumunda ise, deney geçersiz sayılmalıdır. ISRM(1985)'de açıkça belirtilmeyen, ancak uygulamada karşılaşılan bir başka durum ise, yenilme yüzeyinin hiçbir yükleme noktasından geçmemesidir. Özellikle kayaç içerisindeki süreksizliklerin (mikrofisürler) yükleme yö-

nü ile bir açı yapması, yenilme yüzeyinin her iki konik ucun uzağından geçmesine neden olmaktadır. Bu tür deneyler de geçersiz sayılmalıdır. Kullanıcı açısından önemli olan, geçerli deneylerin saptanmasıdır. Bu nedenle, kayaç içindeki yenilme şekli ne olursa olsun (düzgün, dalgalı veya zig zag), her iki konik uçtan geçen yenilme şekli geçerli olarak değerlendirilmelidir.

Örnek yok iken konik uçların yüklenmesi: Örnek yok iken konik uçların yüklenmesi, alette deformasyona ve yanlış okumalara neden olmaktadır. Bu durumla genelde sık karşılaşmamaktadır. Ancak, kullanıcıların bu hususu dikkate almaları gerekmektedir.

Deney örneği elde etme yöntemi: Nokta yükleme deneyinde kullanılacak örneğin nasıl alındığı deney sonucunu etkilemektedir. Patlatma ve/veya parçalama (crushing) yöntemleri ile elde edilen örneklerde, gözle görülemeyecek kadar küçük kılcal çatlaklar oluşabilmektedir. Bu durum, oldukça düşük nokta yükleme dayanımının elde edilmesine neden olacaktır. Bu tür örnekler deneylerde kullanılmamalıdır. Karot ve testere ile kesilmiş örnekler en sağlıklı sonucu vermektedir. Burada önemli olan, kayaç örneğinin herhangi bir tahribata uğramamasıdır.

Deney raporunda belirtilmesi gereken hususlar: Nokta yükleme deneyi ile ilgili gerekli bilgiler ISRM (1985)'de verilen deney formuna kaydedilmelidir. Bu bilgiler; deney tipini, örnek boyutlarını, ölçülen yenilme yükünü, eşdeğer karot çapını, I_s , F ve $I_{s(50)}$ değerleri ile $I_{s(50)}$ ortalama değerini içerir. Ayrıca, kayaç anizotropisi araştırılmışsa, $I_{a(50)}$ değeri de rapora eklenebilir. Burada belirtilen bilgiler dışında, deney aletinin kalibrasyon verisi (yıllık bakım bilgisi), örnek numarası, örnek alım yeri, eğer varsa süreksizlik tipi ve yönü, ve nem içeriği gibi bilgiler de eklenmelidir. ISRM (1985) tarafından belirtilmemiş, ancak yazarın önemli bulduğu ve raporda belirtilmesi gerekli hususların başında, yumuşak kayaçlar için "D"ye ek olarak "D'" değerinin de deney formuna yazılması gelmektedir. Ayrıca her deney için yenilme süresi rapora eklenmelidir. Bir diğer husus ise yenilme yüzeyinin tanımıdır. Kayacın yenilme yüzeyi



Şekil 5. Geçerli ve geçersiz deneyler için yenilme tipleri: (a) geçerli çapsal deney; (b) geçerli eksensel deney; (c) geçerli blok deney;

şekli kayaç anizotropisiyle doğrudan ilişkilidir. Süreksizliklerin ve kayaç dokusunun etkisi, yenilme yüzeyinde gözle yapılacak inceleme ile saptanabilir. Örneğin; zig zag şeklinde kırılan ve yenilme yüzeyi iki süreksizlik düzleminde geçen kırılma olması gerekenden daha düşük bir yenilme yükünü verebilir. Aynı tip bir başka kayaç örneği ise tamamen sağlam kaya malzemesi boyunca kırılabilir. Yenilme yüzeyinin ne kadarının süreksizlik boyunca oluştuğunun (mümkünse yüzde olarak) belirtilmesi $I_{s(50)}$ değerindeki önemli farklılıkları açıklayacaktır. Buna ek olarak, süreksizliklerin tipi hakkında açıklama yapmak çok yararlı olacaktır. Yazarın tüfler üzerinde yaptığı çalışmalarda, tüfün yenilme yüzeyindeki pomza oranının tüfün dayanımını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Bu tür çalışmalarda, yenilme yüzeyi boyunca pomza oranının (% olarak) tayini, elde edilecek dayanım farklılıklarını da açıklayacaktır. Yenilme yüzeyindeki süreksizliklerin ve kayaç dokusunun tanımı ile ilgili bu öneri ilk bakışta biraz zaman kaybı olarak değerlendirilebilir. Ancak mühendislik projelerinde önemli olan, her türlü gözlem ve deneyden en fazla veriyi toplamaktır. Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak hazırlanmış örnek deney formu Çizelge 1'de verilmiştir.

Tek eksenli sıkışma dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi oranı (k): Yazının giriş bölümünde de belirtildiği gibi, nokta yükleme dayanım indeksi kayaçların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenmesinde sıkça kullanılmaktadır. Ancak yapılan bazı çalışmalarda (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Cavagnaro, 1980; Anıl vd., 1996; ISRM, 1985) ağırlıklı olarak tek eksenli sıkışma dayanımı ile nokta yükleme dayanım indeksi oranı (k) incelenmiş ve 22-24 arasında bir oran (k) kullanma eğilimi oluşmuştur. Buna karşın çok az sayıda çekme dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi oranı araştırılmış ve 0.8 oranı bulunmuştur (ISRM, 1985). Tek eksenli sıkışma dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi oranı incelendiğinde, elde edilen oranın literatürde 3-68 gibi çok geniş bir aralık içinde değiştiği ancak, genel kümelenmenin 10-30 arasında olduğu görülmektedir (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Wilson, 1976; Carter ve Sneddon, 1977; Al-Jassar ve Hawkins,

1979; Jenni ve Balissat, 1979; Cavagnaro, 1980; Hassani vd., 1980; Read vd., 1980; Beawis vd., 1982; Forster, 1983; Hagenaar vd., 1984; Abbs, 1985; Norbury, 1986; Hawkins ve Olver, 1986; Rao vd., 1987; Leung ve Radhakrishnan, 1990; Cargill ve Shakoore, 1990; Bell, 1992; Kahraman, 1996; Anıl vd., 1996; Wiesner ve Gillate, 1997; Bowden vd., 1998). Chau ve Wong (1996) yaptıkları teorik çalışmada bu oranın 24'ten daha küçük bir değerinde ve yaklaşık olarak 15 olması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Bazı araştırmacıların literatürde sunmuş oldukları oranlar (k-değerleri) Çizelge 2'de, yazarın tüfler üzerinde yapmış olduğu çalışmalarda elde ettiği k-değerleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2 ve Çizelge 3 incelendiğinde, genel olarak zayıf kayaçlarda bu oranın 10-20 arasında değiştiği, yüksek dayanımlı kayaçlarda ise 20-30 arasında olduğu söylenebilir. Yazarın tüfler üzerinde yaptığı deneyler dikkate alınarak çizilen tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) - nokta yükleme dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi, tüfler için (σ_c)-($I_{s(50)}$) arasında $\sigma_c = 10.65I_{s(50)} + 2.47$ eşitliği ile ifade edilen ve yüksek determinasyon katsayısı veren doğrusal ($R^2 = 0.92$) bir ilişki bulunmaktadır.

Diğer önemli bir husus ise, tüflerin k-değerlerinin 20'nin altında, genelde 13-14 olmasıdır. Bu durum, literatürde zayıf kayaçlar için bulunan k-değeri (10-20) ile uyumludur. Bu nedenle, zayıf kayaçlar için, $k=22-24$ değeri kullanılmamalıdır. Öte yandan, $k=3-68$ oranının elde edildiği çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların bazılarının (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Wilson, 1976; Carter ve Sneddon, 1977; Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Cavagnaro, 1980; Hassani vd., 1980; Read vd., 1980; Beawis, 1982; Forster, 1983; Hagenaar vd., 1984) ISRM (1985)'ce önerilen deney yöntemlerinden önce yapıldığı anlaşılmaktadır. Daha önceki standartlardaki bazı farklılıklar nedeniyle, elde edilen sonuçların ISRM (1985)'den sonraki çalışmalar ile doğrudan ilişkilendirilmesi hatalı olacaktır. Ayrıca, birçok yayında deney sayısına, ve kayacın yapısı ile dokusuna ait bilgiler bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu oranın incelenmesinde, eski çalışmaların

Çizelge 1. Önerilen nokta yükleme deney formu ve örnek veriler (ISRM standart deney formunda bulunan diğer bilgiler eklenmemiş ve örnek sayısı dik-kate alınmıştır).

Örnek No	Genişlik veya derinliği (m)	Çap D (mm)	Çap D' (mm)	Yenilme yükü P (kN)	Kırılma zamanı (saniye)	Eşdeğer karot çapı De2 (mm2)	Nokta yüklenme faktörü F	Düzeltme faktörü F	İs(50) MPa	Kayaç tanımı	Yenilme yüzeyi tanımlaması		
												W, L (mm)	P (kN)
1	e	13.00-13.06	60.00	44.45	44.45	7.2	40	1975.80	3.64	0.948	1.45	Kireçtaşı	Tamamen sağlam kayalık boyunca
2	e	13.10-13.18	76.10	45.60	45.60	1.75	25	2079.36	0.84	0.959	0.81	Kireçtaşı	Kısmen (%40) eklem boyunca
3	ç	22.00-22.05	46.95	28.15	28.15	8	52	1682.77	4.75	0.915	4.35	Mermer	Tamamen sağlam kayalık boyunca
4	e	35.00-35.09	82.55	41.75	41.75	9	50	1743.06	5.16	0.922	4.76	Granit	Tamamen sağlam kayalık boyunca
5	e	36.00-36.09	87.60	41.60	41.60	1.6	25	1730.56	0.92	0.921	0.85	Granit	Genelde (%75) eklem boyunca
6	e	50.00-50.12	112.4	53.40	50.00	4	30	2670	1.49	1.016	1.52	Tüf	Kısmen (%20) pomza boyunca
7	e	51.00-51.06	62	54.55	52.50	2	20	2863.88	0.70	1.03	0.72	Tüf	Kısmen (%50) pomza boyunca

Örnek türü: e-eksenel; ç-çapsal

Çizelge 2. Tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükleme dayanım indeksi arasındaki ilişkiler için literatürde verilen k-değerleri.

Araştırmacı	Kayaç türü	k-değeri
Broch and Franklin (1972)	Kumtaşı, dolerit	24
Bieniawski (1975)	Kumtaşı ve mağmatik kayalar	24
Wilson (1976)	Çok zayıf çamurtaşı	8
Carter and Sneddon (1977)	Kireçtaşı	26-28.5
	Kumtaşı	24.5
Al-Jassar and Hawkins (1979)	Kireçtaşı/dolomit	8-27
	Kumtaşı	22
Jenni and Balissat (1979)	Kireçtaşı ve dolomit	12
	Breş (killi)	9
Cavagnaro (1980)	Kömürlü birim	25
Hassani et al. (1980)	Tortul kayalar	29
Read et al. (1980)	Bazalt	8-24
	Silttaşı ve kumtaşı	10-45
Beawis et al. (1982)	Şeyl	8
Forster (1983)	Dolerit	12-14
	Kumtaşı	15-18
Hugenaar et al. (1984)	Kalkarenit	3
	Mercanlı kayaç	4-5
	Kızıl deniz tortulları	3-12
Abbs (1985)	Kalkarenit, kalsisiltit	5-11
Norbury (1986)	Kumtaşı	8-30 (genelde 20-25)
	Silttaşı	15-35
	Çamurtaşı	18-35 (genelde 20)
	Sleyt	24
	Mağmatik ve metamorfik kayalar	27
	Kristalize kireçtaşı	24-54
	Taneli kireçtaşı	8
	Tebeşir	10-22
Hawkins and Olver (1986)	Kireçtaşı	26.5
	Kumtaşı	24.8
	Silttaşı	9.3
Rao et al. (1987)	Kumtaşı	9.5-15
Leung and Radhakrishnan (1990)	Ayrılmış tortul kayalar	6
Cargill and Shakoor (1990)	Kumtaşı	19-31 (genelde 21-27)
	Kireçtaşı ve dolomit	17-30
Bell (1992)	Kumtaşı	12-19 (kuru), 7-12 (ıslak)
	Kireçtaşı	20-30(kuru), 14-24 (ıslak)
	Tebeşir	68 (kuru), 31 (ıslak)
Kahraman (1996)	Kireçtaşı, dolomit, serpantin, marn, kumtaşı, doyorit	20-30
Anıl vd. (1996)	Mermer	24
Wiesner and Gillate (1997)	Kumtaşı ve bazalt	18.6
Hawkins (1998)	Tortul kayalar	10-24 (ıslak)
	Tortul ve mağmatik kayalar	15-25 (kuru)
Bowden et al. (1998)	Tebeşir	11-21 (genelde 14-17)
	Marn	11-22

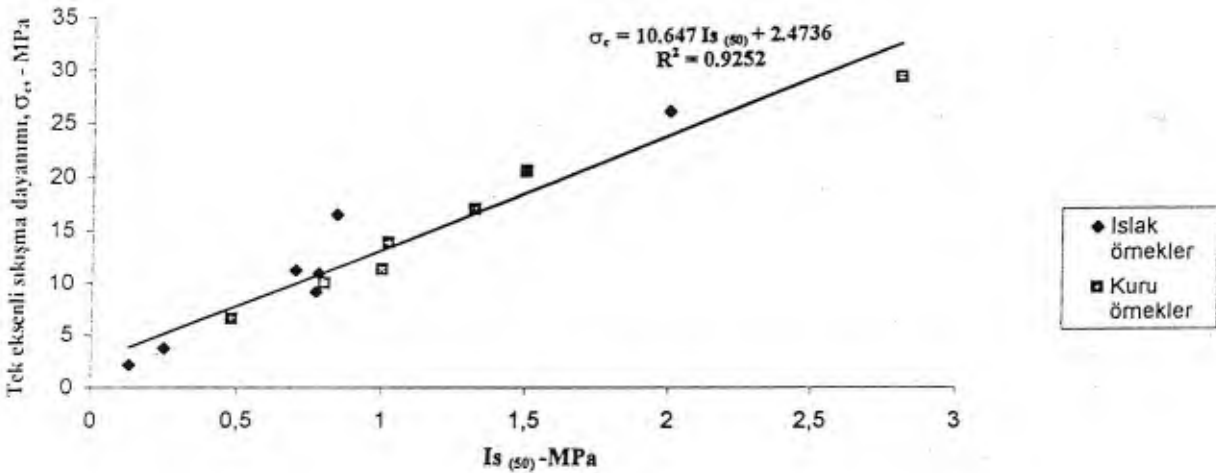
Çizelge 3. Bu çalışmada tüfler için belirlenen k-değerleri.

Kayaç Tanımı	Deney Koşulu	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı*, σ_c -(MPa)		$Is_{(50)}$ * -(MPa)		k-değeri
		Ortalama \pm Standart sapma		Ortalama \pm Standart sapma		
Kavak tüfü**	ıslak	2.16 \pm 0.34	(10)	0.13 \pm 0.04	(20)	16.6
	kuru	6.53 \pm 0.67	(10)	0.48 \pm 0.10	(20)	13.6
Yazılıkaya beyaz tüf***	ıslak	3.76 \pm 0.53	(10)	0.25 \pm 0.07	(10)	15.0
	kuru	10.00 \pm 0.88	(10)	0.80 \pm 0.13	(10)	12.5
Yazılıkaya pembe tüf***	ıslak	10.89 \pm 1.82	(10)	0.78 \pm 0.10	(10)	14.0
	kuru	16.95 \pm 0.54	(10)	1.32 \pm 0.30	(10)	12.8
Tahar tüfü**	ıslak	16.44 \pm 0.44	(10)	0.84 \pm 0.10	(10)	19.6
	kuru	20.50 \pm 1.24	(10)	1.50 \pm 0.27	(10)	13.7
Kızılkaya tüfü-az kaynaklanmış**	ıslak	9.17 \pm 1.33	(5)	0.77 \pm 0.15	(10)	11.9
	kuru	11.29 \pm 1.20	(5)	1.00 \pm 0.13	(10)	11.3
Kızılkaya tüfü- orta derecede kaynaklanmış**	ıslak	11.20 \pm 1.68	(5)	0.70 \pm 0.15	(10)	16.0
	kuru	13.87 \pm 1.67	(5)	1.02 \pm 0.21	(10)	13.6
Kızılkaya tüfü- ileri derecede kaynaklanmış**	ıslak	26.00 \pm 0.98	(5)	2.00 \pm 0.62	(10)	13.0
	kuru	29.19 \pm 0.43	(5)	2.81 \pm 0.80	(10)	10.4

*Parantez içindeki değerler örnek sayısını belirtmektedir.

**Ürgüp yöresi tüfleri.

***Seyitgazi (Eskişehir) yöresi tüfleri

Şekil 6. σ_c - $Is_{(50)}$ ilişkisini gösteren grafik.

çok fazla geçerliliği olmayacaktır.

Bazı araştırmacılar, nokta yükleme deneyinin zayıf kayalarda (tek eksenli sıkışma dayanımı <25 MPa) kullanılmamasını önermişlerdir (Bieniawski, 1975; Hawkins, 1986). Ancak, gerek tebeşir üzerinde yapılan yeni çalışmalar (Bowden vd., 1998), gerekse yazarın özellikle tüfler üzerinde yaptığı çalışmalarda elde ettiği tutarlı sonuçlar, nokta yükleme deneyinin zayıf kayalar üzerinde de kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu kapsamda örnek elde etmede problemlili olan bazı marn ve şeyl gibi kayalar hariç tutulabilir.

Mühendislik projelerinde nokta yükleme deneyi çok sayıda, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ise daha az sayıda yapılabilir. Bulunan oran (k) sadece o projedeki kayaları temsil edecektir ve bu aşamada literatürdeki oranlar dikkate alınıp genelleştirme yapılmamalıdır. Benzer kayalar üzerinde elde edilen farklı nokta yükleme dayanım indeksleri nedeniyle mühendislik yapılarının tasarımlarında bu indeks doğrudan kullanılmamalıdır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mühendislik jeolojisi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemler hem aletsel ve hem de kullanıcı ile ilgilidir. Aletsel problemler arasında konik uçlarda kütleleşme, yağ kaçırma, göstere hataları, periyodik yıllık bakım yapılmaması, örnek kalınlığını belirten ölçekte deformasyon, ve hatalı alet tasarımı bulunmaktadır. Nokta yükleme aletinin kullanıcısı mutlaka mühendis veya çok deneyimli bir teknisyen olmalıdır. Uygun yöntemle elde edilen geçerli deneylere ait veriler hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Yumuşak kayalar için deney sonuçlarını belirten standart deney formuna; kayacın "D" boyutu, yenilme zamanı ve yüzde olarak yenilme yüzeyi ve kayacın dokusunun dayanım üzerine etkisi hakkındaki bilgiler eklenmelidir. k-oranı 3-68 gibi çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Yazarın yaptığı deneylerde, tüfler için bu oran 10-20 arasında değişmektedir. Tüflerde yüksek

korelasyon katsayılı (σ_c)-(I_{s(50)}) ilişkisi bulunmuştur. Bu sonuçlar çerçevesinde, nokta yükleme deneyinin örnek hazırlamada problemlili olmayan tüf gibi zayıf kayalarda kullanılmasının mümkün olduğu söylenebilir. Değişik kayalar düşünüldüğünde ise, mühendislik projelerinde k-oranı ayrıca araştırılmalıdır. Tasarıma yönelik çalışmalarda, nokta yükleme deney sonuçları bu aşamada doğrudan kullanılmamalıdır. Gelecekte yapılacak araştırma ve uygulamalarda hem (σ_c) hemde (I_{s(50)}) belirlenerek değişik kayac türleri için ayrı ayrı kullanılabilir k-oranları bulunmalıdır.

KATKI BELİRTME

Yazar, makale üzerinde yaptığı kritik eleştiri ve önerilerden dolayı ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Vedat Doyuran'a teşekkür eder.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abbs, F.A., 1985. The use of the point load index in weak carbonate rocks. ASTM Special Technical Pub. 883 (R.C., Chaney and K.R., Demars), Strength Testing of Marine Sediment, Laboratory and In-situ Measurements, 413-421pp.
- Al Jassar, S.H., and Hawkins, A.B., 1979. Geotechnical properties of the Carboniferous limestone of the Bristol area-the influence of petrography and chemistry. 4th. Conference on International Society for Rock Mechanics, Montreux, 1, 3-14pp.
- Anıl, M., Kılıç, A., Kahraman, S., Sandıkçı, M., ve Akyıldız, M., 1996. İncehisar (Afyon) mermerlerinin petrografik ve mekanik özellikleri. KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Cilt 1, 436-447s.
- Anon, 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Quarterly Journal of Engineering Geology, 5, 293-382pp.

- Beawis, F.C., Roberts, F.I., and Minskaya, L., 1982. Engineering aspects of weathering of low grade metapelites in an arid climatic zone. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 15, 29-45pp.
- Bell, F.G., 1992. Engineering properties of soils and rocks. Butterworth-Heinemann, Oxford, 345 p.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9, 1-11pp.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. Wiley, New York, 264 p.
- Bowden, A. J., Lamont-Black, J., and Ulllyott, S., 1998. Point load testing of weak rocks with particular reference to chalk. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 31, 95-103pp.
- Broch, E., 1983. Estimation of strength anisotropy using the point load test. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 20, 181-187pp.
- Broch, E., and Franklin, J.A., 1972. The point load strength test. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 9, 669-697pp.
- Brook, N., 1980. Size correction for point load testing (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 17, 231-235pp.
- Brook, N., 1985. The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 22, 61-70pp.
- BSI, 1981. Code of practice for site investigations-BS 5930. British Standards Institution, 147 p.
- Cargill, J.S., and Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 27, 495-503pp.
- Carter, P.G., and Sneddon, M., 1977. Comparison of Schmidt hammer, point load and unconfined compression tests in Carboniferous strata. *Proceeding Conference on Rock Engineering*, Newcastle, UK, 197-210pp.
- Cavagnaro, R.L., 1980. Geotechnical testing for Leigh Creek Coalfield. *Proceeding 3rd. Australian and New Zealand Conference on Geomechanics*, Wellington, 1, 237-242pp.
- Chau, K.T., and Wong, R.H.C., 1996. Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 33, 183-188pp.
- ELE, 1990. Point load test apparatus, Operating Instructions, ELE International Ltd., 13 p.
- Fookes, P.G., Gourley, C.S., and Ohikere, C., 1988. Rock weathering in engineering time. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 21, 33-57pp.
- Forster, I.R., 1983. The influence of core sample geometry on the axial point-load test (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 20, 291-295pp.
- Greminger, M., 1982. Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 19, 241-246pp.

- Guidicini, G., Nieble, C.M., and Cornides, A.T., 1973. Analysis of point load test as a method for preliminary geotechnical classification of rocks. *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 7, 37-52pp.
- Hagenaar, J., Sijtsma, H., and Wolsleger, A., 1984. Selection and use of piles for marine structures in coral formations and carbonate sediments. *Conference on Piling and Ground Treatment*. Institution of Civil Engineers. Thomas Telford. London, 77-86pp.
- Hassani, F.P., Scoble, M.J., and Whittaker, B.N., 1980. Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for a new size-correction chart. *The State of the Art in Rock Mechanics*. Proceedings 21th. US. Symposium on Rock Mechanics. 543-553pp.
- Hawkins, A.B., 1986. Rock descriptions. *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Special Publication No.2. 59-72pp.
- Hawkins, A.B., 1998. Aspects of rock strength. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(1), 17-30pp.
- Hawkins, A.B., and Olver, J.A.G., 1986. Point load tests: Correlation factors and contractual use. An example from the Corallian at Weymouth. *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Special Publication No.2, 269-271pp.
- ISRM, 1972. Suggested method for determining the point-load strength index. *ISRM Committee on Field Tests*, Document No. 1, 8-12pp.
- ISRM, 1985. Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 22, 51-60pp.
- Jenni, J.P., and Balissat, M., 1979. Rock testing methods performed to predict the utilization possibilities of tunnel boring machine. *Proceedings of 4th. Int. Soc. Rock Mechanics*, Montreux, 2, 267-273pp.
- Kahraman, S., 1996. Basınç direnci tahmininde Schmidt ve nokta yük indeksi kullanmanın güvenilirliği, *KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü 30.Yıl Sempozyumu*. Cilt 1, 362-369s.
- Leung, C.F., and Radhakrishnan, R., 1990. Geotechnical properties of weathered sedimentary rocks. *Geotechnical Engineering, Thailand*, 21, 29-48pp.
- McFeat, S., and Tarkoy, P.J., 1979. Assessment of tunnel boring machine performance. *Tunnels and Tunnelling*, 11 (10), 33-37pp.
- Norbury, D.R., 1986. The point load test. *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Special Publication No.2. 325-329pp.
- Pettifer, G.S., and Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 145-164pp.
- Rao, K.S., Venkatappa Rao, G., and Ramamurthy, T., 1987. Strength of sandstone in saturated and partly saturated conditions. *Geotechnical Engineering, Thailand*, 18, 99-127pp.
- Read, J.R.L., Thornton, P.N., and Regan, W.M., 1980. A rational approach to the point load test. *Proceedings 3rd. Australian and New Zealand Conference on Geomechanics*, Wellington, 2, 35-39pp.
- Robins, P.J., 1980. The point-load strength test for concrete cores. *Magazine of Concrete Research*, 32, 101-111pp.
- Rodrigues, J.D., and Jeremias, F.T., 1990. Assessment of rock durability through index properties. *Proceedings 6th. International Congress IAEG*, 4, 3055-3060pp.

- Türk, N., 1988. Kayaçların nokta yükleme dayanımını bulmak için yeni bir yöntem. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 10, 25-31s.
- Türk, N., and Dearman, W.R., 1985. Improvements in the determination of point load strength. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 31, 137-142s.
- Türk, N., and Dearman, W.R., 1986. A new procedure for determination of point load strength in site investigation. Site Investigation Practice:Assessing BS 5930, Special Publication No.2, 406-411s.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal A., 1997. Kaya Mekanikliği Laboratuvar Deneyleri. Ders Notları 39, Hacettepe Üniversitesi Yayın No.3, 53 s.
- Ünal, E. ve Tutluoğlu, L., 1986. Kaya Mekanikliği İlkeleri, Seminer no.6, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 223 s.
- Wiesner, E., and Gillate, S.J., 1997. An evaluation of the relationship between unconfined compressive strength and point load strength index. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 56, 115-118pp.
- Wijk, G., 1980. The point load test for the tensile strength of rock. Geotechnical Testing Journal, 3, 49-54pp.
- Wilson, L.C., 1976. Tests of bored and driven piles in Cretaceous mudstone at Port Elizabeth, South Africa. Geotechnique, 26, 5-12pp.