



Orijinal Araştırma / Original Research

KAYA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN SCHMIDT SERTLİĞİ ÖLÇÜMLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF ROCK SURFACE ROUGHNESS ON SCHMIDT HARDNESS MEASUREMENTS

Kadir Karaman^{a,*}

^a Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

Geliş Tarihi / Received : 28 Ocak / January 2019
Kabul Tarihi / Accepted : 4 Kasım / November 2019

ÖZ

Anahtar Sözcükler:

Schmidt çekici,
Sertlik,
Yüzey pürüzlülüğü,
Taşlanmış yüzey,
Kesilmiş yüzey.

Schmidt çekici ile sertlik tayini maden, jeoloji ve inşaat mühendislerince uygulanan disiplinler arası bir deney yöntemidir. Yüzey pürüzlülüğü Schmidt sertliğini etkileyen önemli bir parametredir. Bu çalışmada doğal, taşlama yapılmış ve kesilmiş yüzeylerin olduğu blok numunelerde ve karot örneklerde ölçümler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca her yüzeyin pürüzlülük özellikleri belirlenmiş ve sertlik değerleri ile ilişkisi araştırılmıştır. En yüksek sertlik değeri ve en düşük standart sapma kesilmiş yüzeylerde, en düşük sertlik değeri ve en yüksek standart sapma ise doğal yüzeylerden elde edilmiştir. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü azaldıkça sertlik değerlerinin arttığı ve standart sapma değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, Schmidt çekicinin uygulanacağı yüzeyin pürüzlülüğü giderilmeli ve standart sapmanın yüksek olması durumunda test yüzeyi gözden geçirilmelidir.

ABSTRACT

Keywords:

Schmidt hammer,
Hardness,
Surface roughness,
Grinded surface,
Cut surface.

Determination of hardness with Schmidt Hammer is an interdisciplinary experimental method used by mining, geology and civil engineers. Surface roughness is an important parameter affecting the Schmidt hardness. In this study, hardness measurements were made on natural, grinded out and cut surfaces and on core samples and their results were compared. Furthermore, roughness properties of each surface were determined and their relations with hardness values were investigated. The highest hardness values and the lowest standard deviations were obtained from cut surfaces, while the lowest hardness values and the highest standard deviations were taken from natural surfaces. In this study, as the surface roughness decreases, hardness values were seen to increase and standard deviation values were found to decrease. As a result, the roughness of the surface where the Schmidt Hammer is applied should be eliminated and the test surface should be reevaluated if the standard deviation is high.

* Sorumlu yazar / Corresponding author: kadirkaraman@ktu.edu.tr • <http://orcid.org/0000-0002-3831-4465>

1. GİRİŞ

Başlangıçta beton yüzeylerinin sertliğini karşılaştırmak amacıyla geliştirilen Schmidt çekici (Schmidt, 1951), sonraları kaya yüzeylerinin sertliğinin belirlenmesi, kayaçların dayanım parametrelerinin tahmini (Kahraman, 2001; Yağız, 2009; Karaman ve Kesimal, 2015a), kaya kütlelerinin kazılabilirliği (Karpuz 1990), kayaçların ayrışma derecesinin belirlenmesi (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1977; Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000) ve tünel açma makinasının performansı (Poole ve Farmer, 1978; Bilgin vd, 1990) gibi oldukça çeşitli konularda kullanılmaktadır. Ucuz, kolay, taşınabilir ve pratik bir deney yöntemi (Goudie, 2006) olması nedeniyle dünya çapında kullanımını artırmıştır. Kullanılan çekiç tipi (L ve N), çekicinin kalibrasyonu, test edilen kayacın ayrışma durumu, test yüzeyinin nem içeriği, örnek/blok boyutu, uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemi ve kayaç yüzeyindeki pürüzlülükler gibi faktörler Schmidt çekici ile okunan geri tepme sayısını etkilemektedir (Aydın, 2009; Karaman ve Kesimal, 2015b).

Büyüksağış ve Gökten (2007) çekiç tipini ve farklı değerlendirme yöntemlerinin etkisini 27 kayacın dayanım tahmini için araştırmışlardır. Yazarlar, sertlik ölçümlerini elmas segmentli testere bıçağı ile kestirdikleri düzgün kaya blokları üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kahraman vd. (2002) Schmidt çekici kullanarak laboratuvarında karot örnekleri ve arazide büyük kaya blokları üzerinde ölçtükleri değerlerin istatistiksel ilişkilerini incelemişler ve anlamlı korelasyonlar bulmuşlardır. Birçok araştırmacı Schmidt sertliği ile kayaçların ayrışma özelliğini değerlendirmişlerdir (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1977; McCarroll, 1989; Gökçeoğlu ve Aksoy 2000; Aydın ve Basu, 2005; Dabski, 2014). Demirdağ vd. (2009) deneye tabi tutulacak örnek boyutunun Schmidt sertlik değerleri üzerine olan etkisini araştırmışlar ve uygun örnek boyutunu önermişlerdir. Sumner ve Nel (2002) örneklerdeki nemlilik oranı arttıkça Schmidt sertliğinde bir düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Literatürde önerilmiş birbirinden oldukça farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri mevcuttur (Hucka, 1965; Deere ve Miller, 1966; Poole ve Farmer, 1980; ISRM, 1981, 2007; Haramy ve De Marco, 1985; Gökten ve Ayday, 1993; USBR, 1998; ASTM, 2001; Karaman ve Kesimal, 2015a).

Test yüzeyindeki pürüzlülüğün Schmidt sertliğine etkisi olduğuna birçok araştırmacı tarafından değinilmiştir. Kayaç türüne göre pürüzlülük özellikleri değişkenlik arz etmektedir. Cerna ve Engel (2011) granitik kaya yüzleklerinde dayanımın değişimini incelemek amaçlı yaptığı çalışmada sertlik ölçümleri öncesinde yüzey pürüzlülüğünü 3-4 mm azaltmak için elektrikli taşlama/zımpara aletini kullanmışlardır. Çalışmada derinlik, ayrışma, doğal ve hazırlanmış yüzeyin sertlik okumaları üzerine etkileri de değerlendirilmiştir. Williams ve Robinson (1983) taze kumtaşı bloklarının pürüzlü yüzeylerinin pürüzsüz olanlara kıyasla daha düşük sertlik değerleri verdiğini belirtmişlerdir. Mccarroll (1989) buzullar üzerinde yaptığı çalışmada göreceli yaş tayini için Schmidt çekicini kullanmış ve Schmidt sertlik okumalarını etkileyen dört faktör bulunduğunu (alet hataları, litoloji, ayrışma ve yüzey pürüzlülüğü) ifade etmiştir. Her bir faktöre değinmekle birlikte minerallerin farklı ayrışma özelliğini ve taşınma tarihini yansıttığını ifade ettiği pürüzlülük faktörü üzerinde daha detaylı araştırma yapmıştır. Yazar, ortalama mikro pürüzlülük değeri arttıkça ortalama sertlik değerlerinde taze ve ayrışmış kayaçlara göre düşüş olduğunu belirtmiştir. Pürüzlülük üzerinde yapılan değerlendirmelerin granitik kayaçlar (Cerna ve Engel, 2011), kumtaşı (Williams ve Robinson, 1983) ve piroksence zengin metamorfik buzul kayaçları (Mccarroll, 1989) olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, Katz vd. (2000) Schmidt çekici kullanarak kayaçların (kumtaşı, kireçtaşı, mermer, siyeni ve granit) mekanik özelliklerini değerlendirme amaçlı yaptıkları çalışmada; arazi deneylerini üç farklı yüzey (doğal olarak ayrışmış kaya yüzeyi, manuel olarak taşlama taşı ile parlatılan yüzey ve elektrikli taşlama aleti ile parlatılan yüzey) üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar, sadece sertlik değerlerinin teste tabi tutulan yüzeylerdeki pürüzsüzlük arttıkça arttığını belirtmişlerdir. Ancak değerlerin ne ölçüde değiştiğini gösteren verileri paylaşmamışlardır.

Literatür taraması göz önüne alındığında Schmidt sertlik okumalarını etkileyen faktörler çok sayıda çalışmada değerlendirilmiştir. Ayrıca sertlik değerlerini önemli ölçüde etkileyen pürüzlülük faktörünün de belli ölçüde araştırıldığı görülmüştür. Ancak çalışmaların birçoğunda pürüzlülüğün sa-

yısal ifadesine yer verilmemiş, bazı çalışmalarda ise sadece ortalama Schmidt sertlikleri verilmiştir. Bu nedenle pürüzlülük faktörünün sertlik değerlerini ne ölçüde etkilediği tam olarak anlaşılamamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, farklı pürüzlülük özelliğine sahip kayalarda oluşturulan doğal, taşlama yapılmış yüzey, taş kesme makinasıyla kesilmiş yüzeylerde ve karot örneklerde Schmidt sertlik ölçümleri yapmak ve söz konusu yüzeylerin pürüzlülük profillerini sertlik ölçümleri ile karşılaştırmaktır. Ayrıca kesilmiş yüzeyler ile diğer yüzeylerde yapılan sertlik ölçümlerinin karşılaştırılmasına literatürde rastlanmamıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında masif, tabaka düzlemi ve foliasyon içermeyen ve olabildiğince homojen 5 adet kaya bloğu (granodiyorit, diyabaz, andezit, kireçtaşı ve kuvarsit) değerlendirmeye alınmıştır. Bozunma/ayırışma sertlik sonuçlarını etkileyen önemli parametrelerdendir. Bu çalışmada kullanılan kaya blokları ISRM (1981) tarafından önerilen kayaların bozunma derecesiyle ilgili sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Buna göre andezit kayacının doğal yüzeyinde hafif renk değişimi gözlenmiş olup, diğer kayalar tamamen taze kaya özelliği taşımaktadır. Test edilen her bir kaya bloğunda kırık ve gözle görünür kusurların olmamasına özen gösterilmiştir.

2.1. Schmidt Çekici Ölçümleri

Schmidt sertlik ölçümleri dört farklı kaya yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. Bunlar *i)* köşelerden uzak, tozdan arındırılmış, doğal yüzeyler üzerinde, *ii)* elektrikli taşlama aleti ile (16 numara) temizlenen/pürüzlülüğü giderilen yüzey üzerinde, *iii)* laboratuvar taş kesme makinasında kesilen yüzey üzerinde, ve *iv)* beş kaya bloğunun üçünden alınan karot örnekleri üzerinde yapılmıştır. Schmidt çekici ile verilen manuel taşlama aparatı granitik kayada istenilen pürüzsüzlüğü sağlayamadığından bu çalışmada kullanılmamıştır. Elektrikli taşlama aleti toz oluşumu ve ısınmayı en aza indirmek için aşama aşama kullanılmıştır. Karot örneklerde deneyler ISRM (2007) tarafından önerilen V tipi karot tutucular üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bütün

ölçümlerde titreşimi en aza indirmek için örnekler (blok ve karot) iyice sıkıştırılmıştır.

Karot örneğinin alınmadığı veya ihtiyaç olmadığı durumlarda Schmidt sertlik ölçümleri laboratuvara getirilen kaya bloğu üzerinde belirlenebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada hem laboratuvara getirilen kaya bloğu üzerinde, hem de bloklardan alınan karot örnekler üzerinde deneyler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

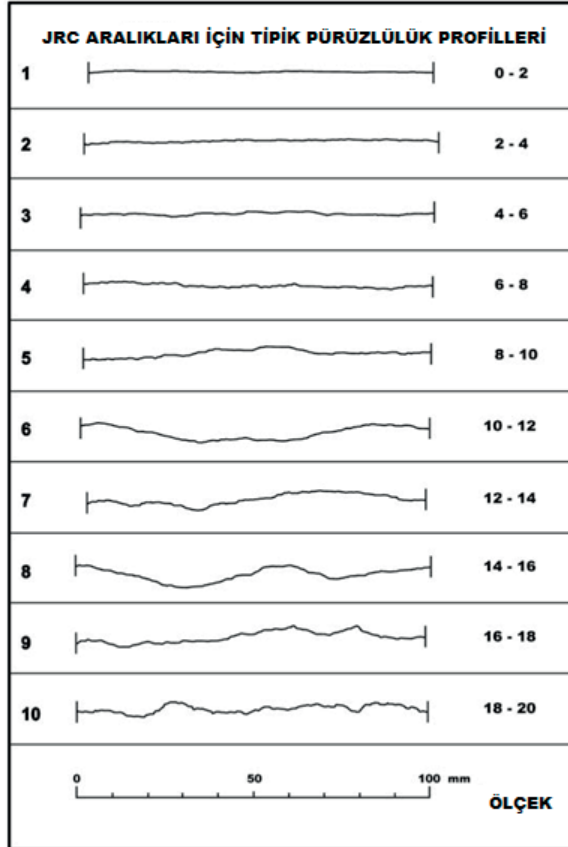
Bütün kaya blokları ve aynı bloklardan alınan karot örnekleri için yapılan deneylerde L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Bütün testler dikey olarak aşağı doğru tutulan çekiçle uygulanmıştır. Çekiçlerin kalibrasyonu düzenli aralıklarla kalibrasyon örsü ile kontrol edilmiştir. Katz vd. (2000) ve Sumner ve Nel (2002) teste tabi tutulacak kaya bloğunun 25 kilo civarında ve daha ağır olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu durum dikkate alınarak çalışma sürdürülmüştür. Yöntem olarak az sayıda ölçüm gerektiren ve pürüzlülük kaynaklı verilerdeki dalgalanmayı daha iyi temsil ettiği düşünülen ASTM (2001) seçilmiştir. ASTM (2001) yönteminde 10 farklı noktadan alınan değerlerin ortalaması alınır ve ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması Sertlik değerini vermektedir. Deneylere ilişkin görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.

2.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

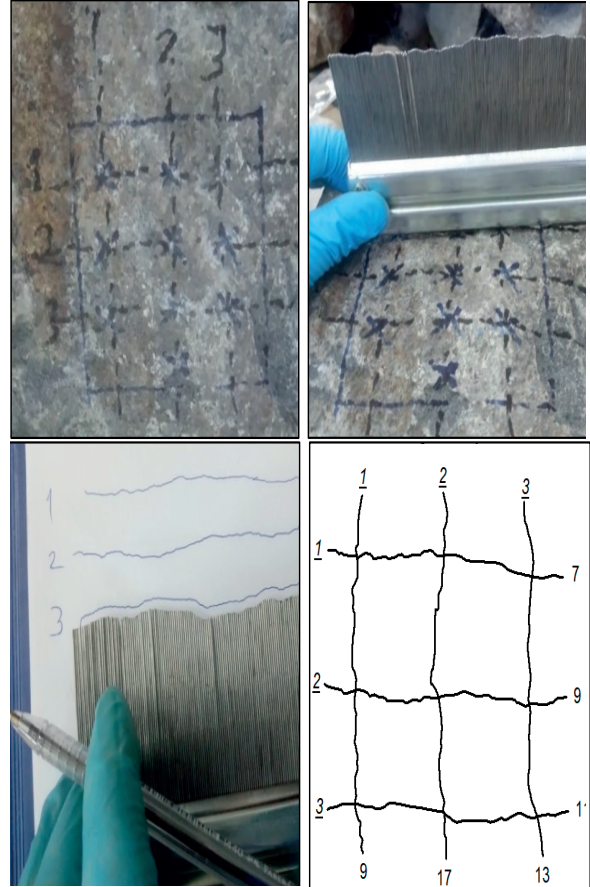
Barton ve Choubey (1977) 0–20 arasında değişen on standart profile karşılık gelen ve görsel olarak belirlenebilen pürüzlülük profilleri (JRC) önermişlerdir (Li ve Huang, 2015), (Şekil 2). Söz konusu yöntem bu çalışmada kullanılan yüzeyleri kıyaslamak için kullanılmıştır. Pürüzlülük ölçümleri için 10 cm uzunluğunda Barton pürüzlülük tarağı kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri için kullanılan kaya yüzeyinde ölçüm noktalarını da içeren ve birbirini dik yönde kesen toplam 6 adet pürüzlülük ölçümleri alınmış ve yüzeyin temsili pürüzlülüğü belirlenmiştir (Şekil 3). Bu çalışmada, pratiklik için her profile tek bir değer (orta değer) atanmıştır. Benzer bir şekilde Hsiung vd. (1995) kayaların eklem profilinin belirlenmesinde pratiklik olması açısından tek değeri (orta değer) dikkate almışlardır.



Şekil 1. Deneysel çalışmalardan görüntüler



Şekil 2. Pürüzlülük profilleri (JRC) (Barton ve Choubey, 1977)



Şekil 3. Pürüzlülük tayini için örnek gösterim

Her yüzey için 6 adet olmak kaydıyla bir kayaç için 18, bütün kayaçlar için toplam 90 adet pürüzlülük ölçümü değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Schmidt sertliğine ilişkin ölçüm sonuçları ve yüzeylerin pürüzlülük ortalamaları Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgede ayrıca on okumanın ortalaması (ham veri) ve ASTM yöntemine göre hesaplanan sertlik değerleri de verilmiştir. Doğal yüzeylerde ASTM yöntemine göre değerlendirilen geçerli örnek sayıları (7 birim sınırları içinde kalan) granodiyorit için 6, diyabaz ve andezit için 5, kireçtaşı için 7 ve kuvarsit için ise 9 adettir. Bunun anlamı pürüzlülük içeren doğal yüzeylerde (granodiyorit, diyabaz vb.) yapılan okumalar yüksek oranda sapma göstermekte ve neredeyse ölçümlerin yarısı hesaba dahil edilmemektedir. Diğer yüzeylerde (taşlanmış, kesilmiş ve karot) sapmalar daha az olduğundan on okuma dikkate alınabilmektedir.

Schmidt sertlik ölçümleri için farklı yüzeylerde (doğal, taşlanmış ve kesilmiş) ve karot örneklerinde (üç adet kayaçta) yapılan ölçümler Şekil 4’te verilmiştir. Bütün kayaçlar için doğal yüzeyde yapılan ölçümlerde sertlik değerlerinin oldukça fazla saçınım gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum Çizelge 1’de ham verinin standart sapma değerlerinden (5.1–11.6) de görülmektedir. ASTM yöntemine göre tekrar hesaplanan verilerde standart sapmalarda düşüş (2.4–6.9) yaşanmakla birlikte bazı kayaçlarda (diyabaz, andezit) neredeyse ölçümlerin yarısı hesaplamaya dahil edilmemiştir. Bu nedenle, pürüzlülük kaynaklı sapmaların daha iyi anlaşılması adına sadece doğal yüzeylerde

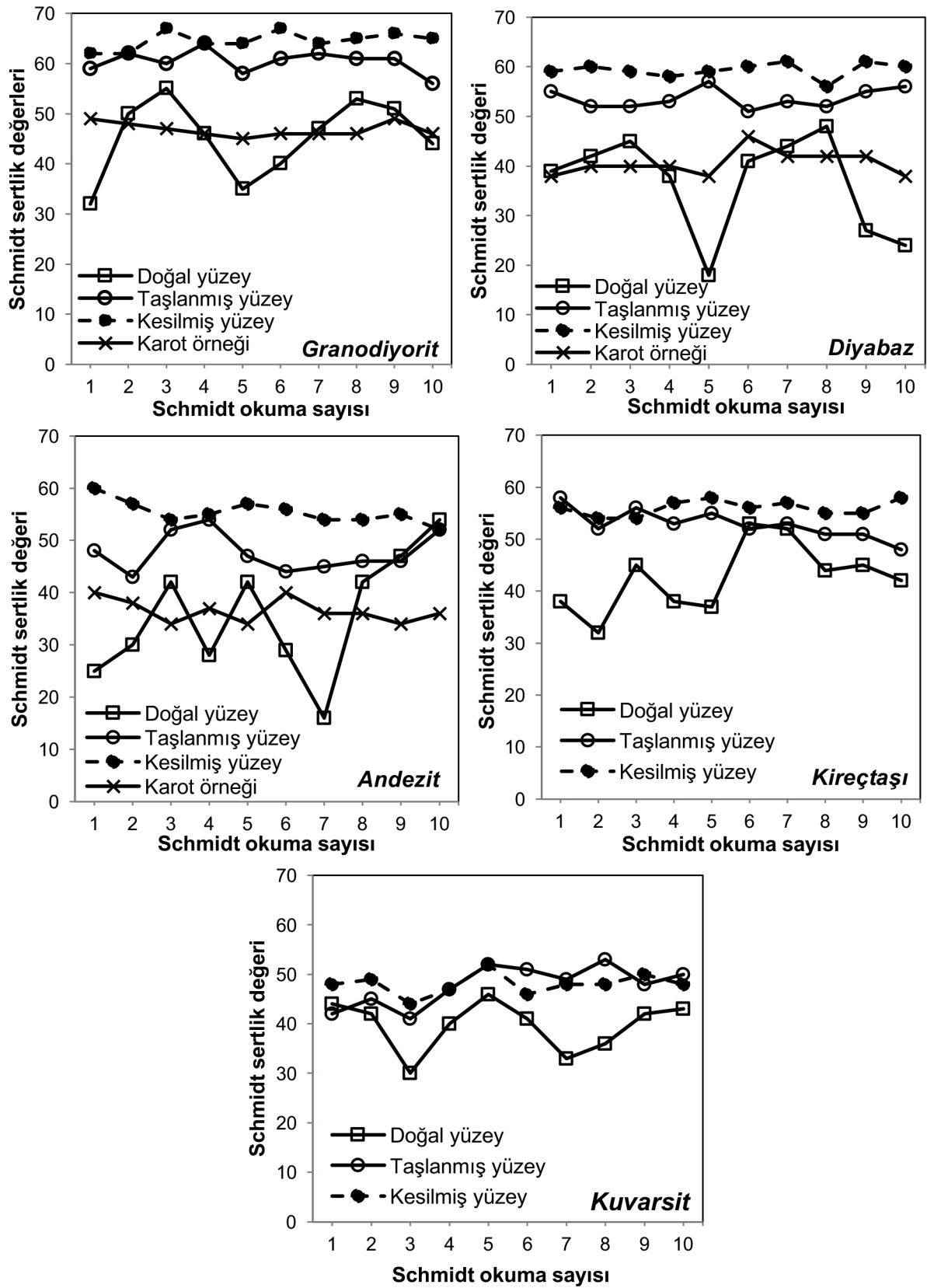
ham veriler kullanılmıştır (Şekil 4). Öte yandan, ölçüm yapılan bir yüzeyde pürüzlülük oranı az ise elde edilen sertlik değerlerinin nispeten birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Küçük farklılıklar olması çoğunlukla diğer faktörlere (mineral farklılıkları, çekicinin düzeyden fark edilmeyecek derecede sapması vb.) bağlıdır.

Farklı yüzeylerden hesaplanan ortalama ASTM Schmidt sertlik değerleri Şekil 5’te yer almaktadır. En yüksek ortalama sertlik değerleri kesilmiş yüzeylerde elde edilirken, en düşük değerler ise doğal yüzeylerden ve karot örneklerden hesaplanmıştır. İlginç bir şekilde ASTM’ye göre doğal yüzeylerde hesaplanan sertlik değerleri ile karot örneklerden belirlenen sertlik değerleri neredeyse aynı çıkmıştır. Kahraman vd. (2002) arazide 9 adet kaya bloğunda ve laboratuvarında aynı bloklardan alınan karot örneklerinden elde ettiği sertlik sonuçlarını karşılaştırmıştır. Söz konusu çalışmada karot ve blok örnekler arasındaki farkın çoğunlukla % 5’in altında olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada da 3 kayaç için doğal yüzey ile karot örnekler arasındaki fark % 0.5 – 1.4 aralığında çıkmıştır.

Verilerin doğal yüzeyde düşük çıkmasının en önemli nedeni çekiç ucunun temas yüzeyindeki pürüzlülüğünden dolayı yüzeye tam temas etmeyip boşluk oluşmasıdır. Öte yandan, çekiç ucunun temas edeceği düzgün yüzeylerde değerler yüksek çıkmaktadır. Böylelikle verilerin kendi içerisinde dalgalanması yani en küçük ve en büyük değer arasındaki farkın fazla olması söz konusu olmaktadır. Ayrıca doğal yüzeylerde var olan ve gözle anlaşılabilen az bozunma da sertlik değerlerinin daha düşük çıkmasına yol açabilmektedir. Bu

Çizelge 1. Deney sonuçları

Yüzeyler	Granodiyorit	JRC	Diyabaz	JRC	Andezit	JRC	Kireçtaşı	JRC	Kuvarsit	JRC
Doğal _{Ham veri} (10 _{ort})	45.3±7.6	11	36.6±10	9	35.5±11.6	11	42.6±6.6	5	39.7±5.1	7
Doğal (ASTM)	46.3±4.0	11	40.8±2.4	9	37.0±6.9	11	41.3±3.5	5	40.8±4.0	7
Taşlama (ASTM)	60.4±2.3	5	53.6±2.0	3	47.7±3.7	3	52.9±2.8	1.6	47.8±4.1	2
Kesilmiş (ASTM)	64.6±1.8	1	59.3±1.5	1	55.4±2.2	1	56±1.5	1	48.0±2.2	1
Karot (ASTM)	46.8±1.4	-	40.6±2.5	-	36.5±2.3	-	-	-	-	-



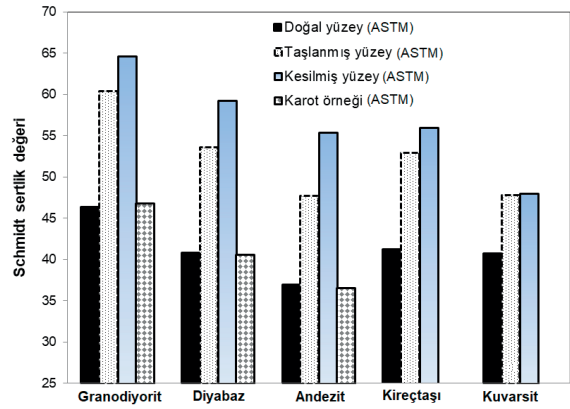
Şekil 4. Kayaç türüne göre ölçümlerin pürüzlülük üzerindeki değişimleri

çalışmada bozunma etkisinin doğal yüzeyde sertlik değerlerini etkileyen en önemli faktör olması beklenmemektedir. Bununla beraber andezit hafif renk değişiminden dolayı az ayrışmış olarak değerlendirilebilir. Deneyler temsili, özellikleri aynı olan yüzeylerde yapıldığından bozunma olmuş olsaydı (az bozunmuş gibi) bütün yüzeyde aynı olacaktı ve sertlik değerlerinin düşük, ancak birbirine yakın çıkması beklenirdi. Bu nedenle veriler arasındaki dalgalanmanın en önemli nedeninin pürüzlülük olduğu görülmüştür. Kayaçların içerdiği minerallerin farklı olması da sertlik değerlerinde belli ölçüde dalgalanmaya neden olabilir ancak büyük dalgalanmalar pürüzlülük ile alakalıdır.

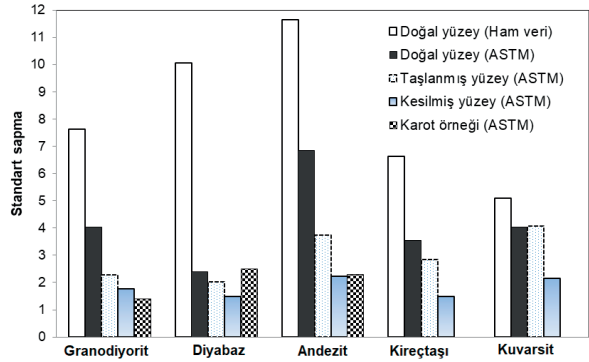
Literatürde parlatılmış/taşlanmış yüzeyin doğal yüzeyde yapılan ölçümlere kıyasla daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu vurgulanmaktadır (Dabski, 2009; Cerna ve Engel, 2011). Bu nedenle taşlanmış yüzeyle doğal yüzey arasındaki fark hesaplanmış ve granodiyorit için % 23.3, diyabaz için % 23.9, andezit için % 22.4, kireçtaşı için % 22 ve kuvarsit için % 14.7 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada literatüre ilave olarak kesilmiş yüzeyler ile taşlanmış yüzey arasındaki farklar da hesaplanmıştır. Kesilmiş yüzeyler ile taşlanmış yüzey arasındaki sertlik farkları granodiyorit için % 6.5, diyabaz için % 9.6, andezit için % 13.9, kireçtaşı için % 5.5 ve kuvarsit için ise % 0.4 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre test yüzeyinde taşlama yapılsa bile kaya türüne bağlı olarak kesilmiş yüzeydeki sonuçlardan yaklaşık % 14'e kadar daha düşük değer elde edilebilmektedir.

Şekil 6, standart sapmanın test yüzeylerine göre değişimini göstermektedir. Buna göre veriler arasındaki standart sapma en fazla doğal yüzeyde (ham veri) gözlenmektedir. ASTM yöntemine göre ortalamanın 7 birim üstündeki ve altındaki değerler çıkartıldığında hesaplanan standart sapma değerleri oldukça düşmektedir. Test yüzeyindeki pürüzlülüğün azaltılması veriler arasındaki standart sapmayı önemli derecede düşürmektedir. Dabski (2009) parlatılmış ve doğal yüzeyler için benzer bir durumla karşılaşmıştır. Bu çalışmada ilave olarak pürüzsüz ve standart sapmanın en düşük olduğu kesilmiş yüzeyler de kullanılmıştır. Karot örneklerde ölçülen değerlerin standart sapması da nispeten düşük (1.4–2.5) ve birbirine yakın çıkmıştır.

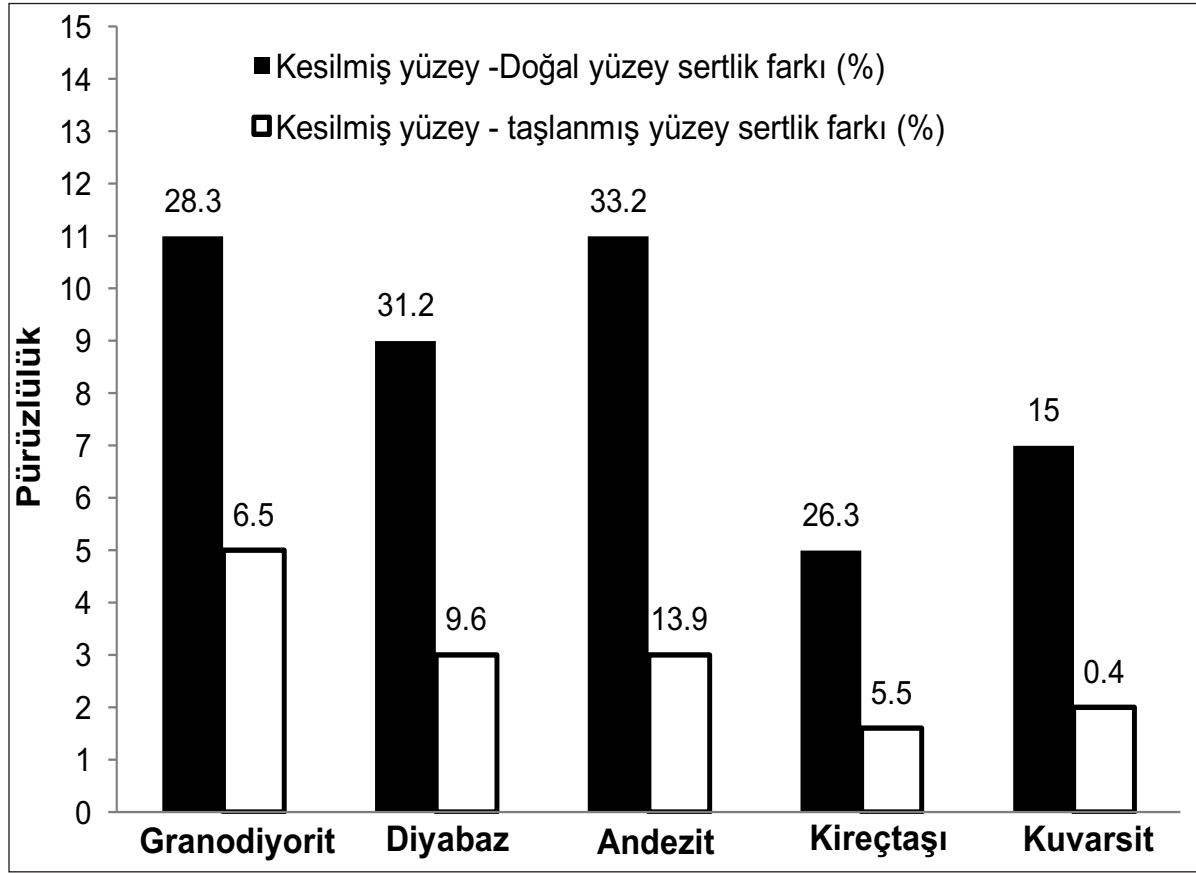


Şekil 5. Farklı yüzeylerden hesaplanan ortalama Schmidt sertlik değerleri



Şekil 6. Standart sapmanın test yüzeylerine göre değişimi

Kesilmiş yüzeydeki ortalama sertlik değerleri ile taşlanmış ve doğal (ASTM) yüzey sertlik sonuçları arasındaki % fark, kayaç bazında ve bütün ölçümler için hesaplanmıştır (Şekil 7). Pürüzlülük değerlerinin de yer aldığı (y eksen) grafikte genel olarak yüzeylere ait pürüzlülük değeri arttıkça kesilmiş – doğal yüzey sertlik farkı da artmaktadır. Yüzeyde taşlama yapılması durumunda ise kaya türüne bağlı olarak kesilmiş – taşlanmış yüzey sertlik farkı % 1'in altına düşmektedir. Söz konusu düşük değerler özellikle kireçtaşı ve kuvarsit gibi çoğunlukla tek mineralden oluşan kayaçlarda gözlenmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi kuvarsit örneğinin doğal pürüzlülüğü 7 iken taşlama sonrası ortalama pürüzlülüğü 2'ye düşmüştür. Aynı örnekte kesilmiş – doğal yüzey sertlik farkları % 15 iken, taşlama sonrasında bu fark (kesilmiş – taşlanmış

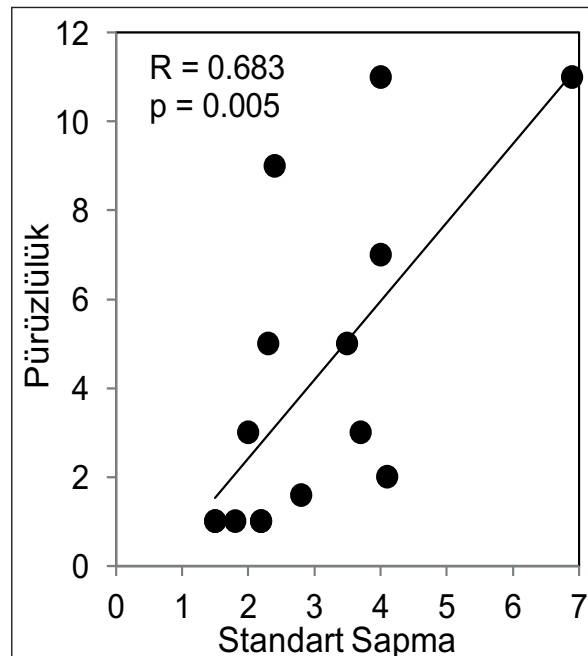


Şekil 7. Pürüzlülük değerleri ve yüzeylerarası sertlik farkları arasındaki ilişki

yüzey sertlik farkı) % 0.4'e kadar düşmüştür. Kesilmiş – doğal yüzey sertlik farkı en fazla andezit (% 33.2) ve diyabazda (% 31.2) görülmüştür.

Pürüzlülük ve standart sapma değerleri, yapılan istatistik analize göre sırasıyla $p=0.617$ ve 0.434 değerleri için normal dağılım göstermektedir. Bu iki parametre arasındaki korelasyon, istatistiksel açıdan önemli olup ($p=0.005$), yaklaşık güçlü ve pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Pürüzlülüğün artması ile Schmidt çekici sertlik değerlerinin standart sapmasının da arttığı görülmektedir (Şekil 8).

Pürüzlülük ölçümlerinin alınmadığı durumlar için, Schmidt sertlik okumalarındaki standart sapma değerlerinin yüksekliği, test ortamının pürüzlü olabileceğini düşündürmelidir. Aydın (2009) önerdiği yöntemde sertlik ölçümü için 20 okumanın yapılması gerektiğini ancak veriler arasındaki fark ± 2 olması durumunda 10 okuma-



Şekil 8. Pürüzlülük ve standart sapma arasındaki ilişki

nın yeterli olduğunu vurgulamıştır. Soiltest Inc (1976) standart sapmanın 2.5'in altında olması koşuluyla 15 okumanın en yüksek 10 değeri sertlik hesabında kullanımını önermiştir. Literatür dikkate alındığında Schmidt ölçümleri için verilerin daha az değişim göstermesi yani küçük standart sapmanın olması önem arz etmektedir. Bu durum kesilmiş test yüzeylerinde sağlanmaktadır. Öte yandan taşlama yapılan yüzeyde de doğal yüzeye kıyasla standart sapma değerleri oldukça düşük çıkmıştır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal yüzeyde özellikle pürüzlülükten kaynaklı olarak değerlerde büyük dalgalanmalar yaşanmıştır. Yüzeylerin pürüzlülüğü azaldıkça sertlik değerlerinde artış yaşanmıştır. Dolayısıyla en yüksek sertlik değerleri kesilmiş yüzeylerden elde edilmiştir. Standart sapma değerleri pürüzlülük ile doğru orantılı çıkmıştır. Ayrıca test ortamındaki pürüzlülük arttıkça farklı yüzeylerden elde edilen sertlik değerleri arasındaki % fark da belirgin ölçüde artmıştır. Karot örneklerde ölçülen sertlik değerleri ile doğal yüzeyde ölçülen değerler neredeyse aynı çıkmıştır.

İleriki çalışmalarda kayaç bazında çok sayıda yüzey (pürüzlülük profilindeki bütün yüzeyleri içeren) kullanılarak Schmidt sertlik ölçümleri yapılabilir. Böylelikle benzer yüzey pürüzlülüğüne sahip aynı tür kayaçlarda doğal yüzeyde elde edilecek sonuçlardan diğer yüzeylerdeki (kesilmiş ve taşlanmış) değerler tahmini olarak belirlenebilir. Schmidt çekici kullanarak arazide yapılacak ölçümlerden önce mümkünse taşlama işlemi yapılması gerekmektedir. Doğal yüzeyler pürüzsüz ve taze görünse bile kısmi bozunma (renk değişiklikleri) ve küçük ölçekli pürüzlülük sertlik değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Pürüzlülük ölçümleri olmadan Schmidt sertlik okumaları yapıldığında, standart sapmanın yüksek olması durumunda test yüzeyi pürüzlülük açısından gözden geçirilmelidir. Ayrıca literatürdeki sertlik değerleri kıyaslanacak ise test yüzeylerinin özellikleri (doğal, taşlanmış vb.) mutlaka bilinmeli ve benzer yüzeylerde yapılan sonuçlar kıyaslanmalıdır.

KAYNAKLAR

- ASTM., 2001. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method. 04.09, D 5873-00.
- Aydın, A., 2009. ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46:627–634.
- Aydın, A., Basu, A., 2005. The Schmidt Hammer in Rock Material Characterization. *Engineering Geology*, 81:1–14.
- Barton, N., Choubey, V., 1977. The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice, *Rock Mechanics*, 10, 1-2, 1-54.
- Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1990. Roadheaders Glean Valuable Tips for Istanbul Metro Tunnels. *Tunnelling*, Oct. 29–32.
- Büyüksağış, I.S., Göktaş, R.M., 2007. The Effect of Schmidt Hammer Type on Uniaxial Compressive Strength Prediction of Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44:299–307.
- Cerna, B., Engel, Z., 2011. Surface and Sub-Surface Schmidt Hammer Rebound Value Variation for A Granite Outcrop, *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 170–179.
- Dabski, M., 2009. Early Stages of Weathering of Glacially-Abraded Limestone Surfaces as Determined by Various Schmidt Hammer Tests: Biferten glacier forefield, Glarner Alps (Switzerland), *Landform Analysis*, 11, 11–15.
- Dabski, M., 2014. Rock Surface Micro-Roughness, Schmidt Hammer Rebound and Weathering Rind Thickness Within LIA Skálafellsjökull Foreland, SE Iceland, *Pol. Polar Res.* 35, 1, 99–114.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering Classifications and Index Properties of Intact rock. Technical report no. AFWL-TR 65-116, University of Illinois: p 300.
- Demirdağ, S., Yavuz, H., Altındağ, R., 2009. the Effect of Sample Size on Schmidt Rebound Hardness Value of Rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46:725–730.
- Goudie, A.S., 2006. The Schmidt Hammer in Geomorphological Research. *Progr. Phys. Geogr.* 30, 6, 703–718 .
- Göktaş, R.M., Ayday, C.A., 1993. Suggested Improvement to the Schmidt Rebound Hardness Isrm Suggested Method With Particular Reference to Rock Machineability. *Int J Rock Mech Min Sci* 30:321–322.

- Gökçeoğlu, C., Aksoy, H., 2000. New Approaches to the Characterization of Clay-Bearing, Densely Jointed and weak rock masses. *Engineering Geology*, 58, 1–23.
- Haramy, K.Y., De Marco, M.J., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing. In: *Proceedings 26Th Us Symposium Rock Mechanics*, 26–28 June, Rapid City, SD. Rotterdam: Balkema p 549–555.
- Hsiung, S.M., Ghosh, A., Chowdhury, A.H., 1995. On Natural Rock Joint Profile Characterization Using Self-Affine Fractal Approach, the 35th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 5-7 June, Reno, Nevada, 681-687.
- Hucka, V., 1965. A Rapid Method for Determining the Strength of Rocks in Situ. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2:127–134.
- ISRM., 1981. *ISRM Suggested Methods Rock Characterization, Testing and Monitoring*. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 s.
- ISRM., 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006*. In: Ulusay, Hudson (Eds.), *Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods*, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey p 628.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of Simple Methods for Assessing the Uniaxial Compressive Strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 981–94.
- Kahraman, S., Fener, M., Gunaydin, O., 2002. Predicting the Schmidt Hammer Values of in-Situ Intact Rock From Core Sample Values. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 39, 395–399.
- Karaman, K., Kesimal, A., 2015a. A Comparative Study of Schmidt Hammer Test Methods for Estimating the Uniaxial Compressive Strength of Rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 507-520.
- Karaman K., Kesimal A., 2015b. Correlation of Schmidt Rebound Hardness With Uniaxial Compressive Strength and P-Wave Velocity of Rock Materials. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40, 1897-1906.
- Karpuz, C., 1990. A classification System for Excavation of Surface Coal Measures. *Mining Science and Technology*, 11:157–163.
- Karpuz, C., Paşamehmetoğlu, A.G., 1977. Field Characterization of Weathered Ankara Andezites. *Engineering Geology*, 46:1–17.
- Katz, O., Reches, Z., Roegiers, J.C., 2000. Evaluation of Mechanical Rock Properties Using a Schmidt Hammer. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37:723–728.
- Li, Y., Huang, R., 2015. Relationship Between Joint Roughness Coefficient and Fractal Dimension of Rock Fracture Surfaces. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 75, 15–22.
- McCarroll, D., 1989. Potential and Limitations of the Schmidt Hammer for Relative-Age Dating: Field Tests on Neoglacial Moraines, Jotunheimen, Southern Norway, Arctic and Alpine Research, 21,3, 268-275.
- Poole, R.W., Farmer, I.W., 1978. Geotechnical Factors Affecting Tunneling Machine Performance in Coal Measures Rock. *Tunnels tunnelling Dec.* 27–30.
- Poole, R.W., Farmer, I.W., 1980. Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Geomech Abstr.* 17:167–171.
- Schmidt, E., 1951. a Non-Destructive Concrete Tester. *Concrete*, 59(8):34–35.
- Soiltest, Inc., 1976. *Operating Instructions—Concrete Test Hammer*. Soiltest Inc, Evanston
- Sumner, P., Nel, W., 2002. The Effect of Rock Moisture on Schmidt Hammer Rebound: Tests on Rock Samples From Marion Island and South Africa. *Earth Surf Process Landf* 27:1137–1142.
- USB., 1998. *Engineering Geology Field Manual*. *Field Index Tests*, 1:111–112.
- Williams, R.B.G., Robinson, D.A., 1983. The Effect of Surface Texture on the Determination of the Surface Hardness of Rock Using Schmidt Hammer. *Earth Surface Processes and Landforms* 8, 289-292.
- Yağız, S., 2009. Predicting Uniaxial Compressive Strength, Modulus of Elasticity and Index Properties of Rocks Using the Schmidt hammer. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68:55–63.