

KAYAÇLARIN DAYANIM PARAMETRELERİ ARASINDAKİ KORELASYONLARIN BELİRLENMESİ

DETERMINING THE CORRELATIONS BETWEEN THE STRENGTH PARAMETERS OF ROCKS

Abdulkadir ÇİNTESUN¹, Berna UNUTMAZ²

ÖZET

Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında ve geoteknik hesaplamalarda kullanılan yaygın parametrelerdir. Kayaya soketli kazıklar, kaya stabilite analizleri, tünel analizleri gibi pek çok önemli geoteknik hesaplama için kaya dayanım parametreleri gerekmektedir. Sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde yapılan testler ile bu parametrelerin belirlenmesi mümkündür. Ancak yeterli numune olmaması, kaya yapısının durumu, kullanılan makine-ekipman kalitesi vb. nedenlerle bu parametrelerin direkt elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlarda, birtakım korelasyonların kullanılması ve parametreler arası dönüşümlerin yapılması gerekmektedir. Kullanılan korelasyon katsayılarının gerçeğe yakınlığı tüm tasarımı doğrudan etkileyeceğinden seçimi oldukça önemlidir. Literatürde korelasyon katsayıları geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir. Korelasyon katsayılarının değişkenliğine ilişkin bir örnek bu çalışma kapsamında sunulmaktadır. Bu çalışma kapsamında çok sayıda deney sonucu içeren veri havuzu değerlendirilerek bağıntılar elde edilmeye çalışılmıştır. Kireçtaşı numunelerinde yapılan nokta yükü dayanım, tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü deneyleri irdelenmiş ve dayanım parametrelerinin birbirleri ile ilişkilerini belirlemek üzere korelasyon katsayıları geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, modül oranı, istatistiksel analiz, kireçtaşı.

ABSTRACT

Point load strength index, uniaxial compressive strength and modulus of elasticity are common parameters used in the classification of rock strength and geotechnical calculations. These rock strength parameters are required for various important geotechnical calculations such as rock-socketed piles, rock stability analyses, and tunnel analyses. These parameters can be determined by conducting tests on samples obtained from boreholes. However, in cases where there is an insufficient number of samples, the condition of the rock structure, the quality of the machinery and equipment used, etc., direct determination of these parameters may not be possible. In such cases, the use of correlations and parameter conversions becomes necessary. Selection of correlation coefficients is crucial as their accuracy directly impacts the entire design process. The literature shows that correlation coefficients vary within a wide range. An example of the variability of correlation coefficients is presented in this study. In this study, a large database containing numerous experimental results was evaluated to establish relationships. Point load strength, uniaxial compressive strength and modulus of elasticity tests conducted on limestone samples were examined, and correlation coefficients were developed to determine the relationships between the strength parameters.

¹ İnş. Yük. Müh., Proyapı Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., abdulkadircintesun@proyapi.com (Sorumlu yazar)

² Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, berna.unutmaz@hacettepe.edu.tr

Keywords: Point load strength index, uniaxial compressive strength, modulus of elasticity, modulus ratio, statistical analysis, limestone.

1. GİRİŞ

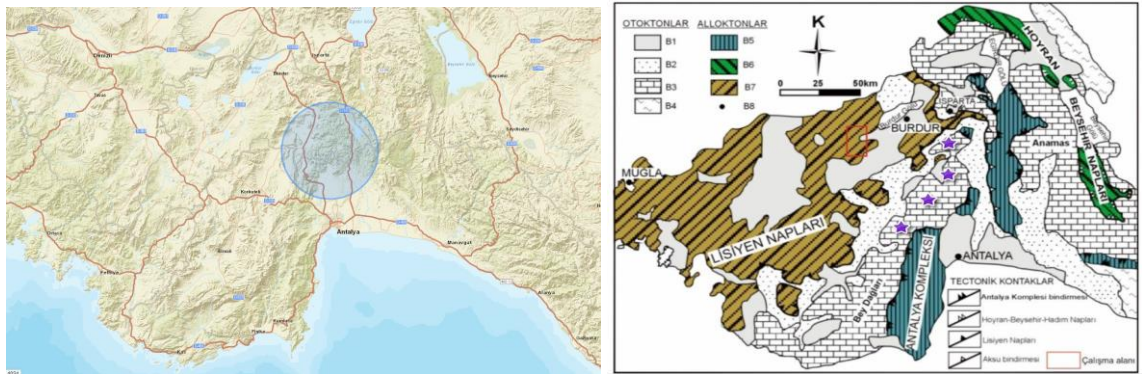
Farklı kayaç türlerinin rijitliklerinin doğru olarak belirlenmesi, geoteknik tasarımlarda önemli bir yer kaplamaktadır. Bu değerlerin hatalı olması durumunda, tasarım sırasında yapılacak hatalar önlenemez sonuçlara/yıkımlara sebep olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, belirli bir alanda ve formasyonda yer alan kayaç türü için korelasyon katsayılarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Arazi çalışmaları ve laboratuvar deneyleri kullanılarak, çeşitli kaya rijitlik parametreleri arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, Proyapı Mühendislik ve Müşavirlik tarafından tamamlanan Burdur-Antalya YHT projesindeki zemin araştırma çalışmalarının sonuçları kaynak olarak kullanılmıştır.

2. ZEMİN ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI ve HESAPLAMALAR

Bu çalışmaya kaynak olarak Beydağları formasyonunda yer alan kireçtaşları kullanılmıştır. Tünel, güzergâh ve sanat yapıları için yapılan zemin araştırma çalışmalarının sonuçları karma olarak değerlendirilmiştir.

2.1. Proje Lokasyonu

Çalışma dataları Antalya - Isparta illeri arasındaki alan içerisinde yapılan sondajlardan alınmıştır. Bölgenin yer bulduru ve jeolojik yapısına ait görseller Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Proje Lokasyonu ve Bölgesel Jeolojik Harita (Alpan vd.,1964)

2.2. Jeolojik Çalışmalar Hakkında

Sondajlardan elde edilen numunelere ait bazı karot sandık resimleri Şekil 2’de sunulmaktadır. Genel olarak tüm sandıklardaki numunelerin görünüşleri benzer durumdadır. Sandıkların en belirgin farklılıkları ayrışma dereceleri ve verimli karot yüzdeleridir. Ayrışma derecesinin değişkenliği yapılabilecek deney sayısını ve deney yöntemini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında 836 adet tek eksenli basınç, 886 adet nokta yükleme deneyi ve 392 adet elastisite modülü deney sonuçlarına sahip kireçtaşı numuneleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Karot Sandık Resimleri (Kireçtaşları)

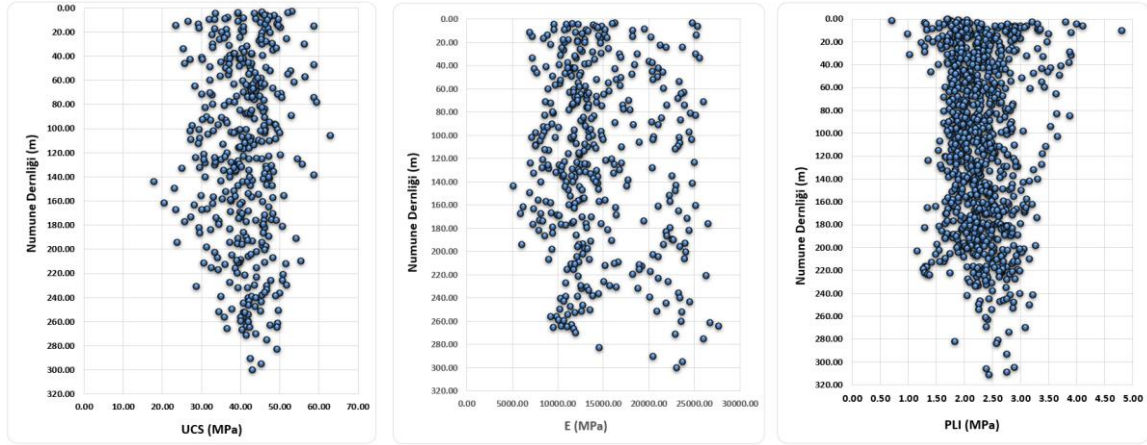
2.3. Numunelerin Dayanım Bakımından Değerlendirilmesi

Tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve nokta yük dayanım indeks değerlerine ait sonuçlar çalışmalar için sınıflandırılmıştır. Mevcut literatüre göre (Hoek ve Marinos, 2001) örneklerin çoğunluğu "dayanımlı- orta dayanımlı" kireçtaşları olarak kabul edilmektedir.

Tek eksenli basınç değerleri 17.90 MPa - 66.50 MPa, elastisite modülü değerleri 5.070 MPa - 27.667 MPa ve nokta yükleme dayanım indeksi değerleri 0.70 MPa - 4.80 MPa arasında değişmektedir. Bu değer aralıkları kayacın dayanım bakımından çok büyük farklılıklar içermediğinin anlaşılması için önemlidir.

2.4. Numunelerin Derinlik Bakımından Değerlendirilmesi

Şekil 3'te numunelerin ait olduğu derinlik ve bu derinlikteki dayanım değerleri yer almaktadır. Korelasyon değerlerinin derinlik ile olan ilişkisi bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Maksimum 311 metre derinlikten numune alınmıştır. Korelasyon katsayısının derinlikle olan değişimi kademeli ve detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3. Dayanım Değerlerinin Derinlikle Değişimi

2.5. Korelasyonların Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında elastisite modülü (E) - tek eksenli basınç (UCS) ve tek eksenli basınç (UCS) - nokta yük dayanımı (PLI) arasındaki korelasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Korelasyon çalışması değerlerin aritmetik ve geometrik ortalamalarının oranları ile istatistiksel çalışmaları kapsamaktadır.

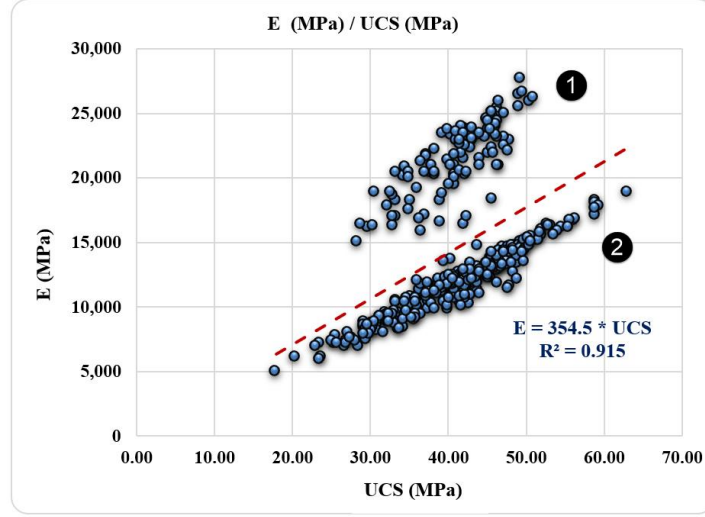
a) Elastisite Modülü – Tek Eksenli Basınç İlişkisi

Bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı, aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve regresyon analizi olmak üzere 3 farklı hesaplama yöntemi ile elde edilmiş ve sırası ile 354.95, 340.05 ve 354.50 olarak hesaplanmıştır. Bu konuda daha detaylı çalışmaya Çintesun (2023)'den ulaşılabilir.

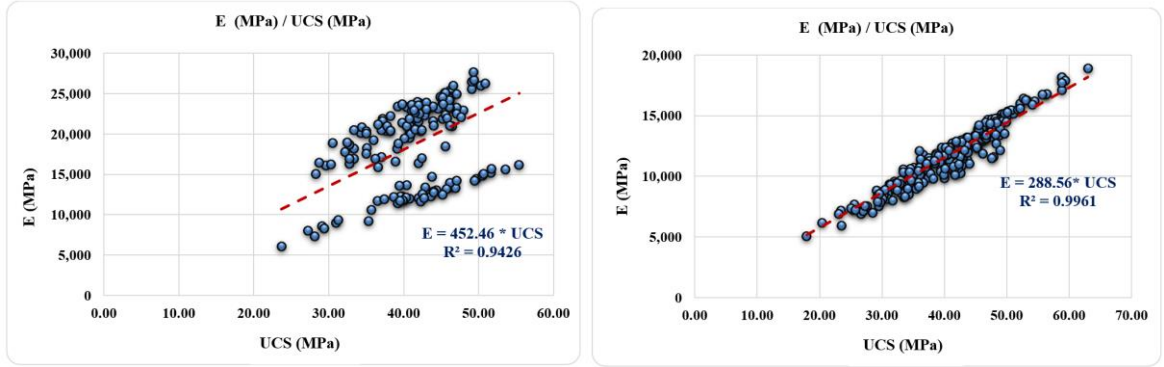
Çalışmanın giriş kısmında da bahsedildiği üzere, korelasyon katsayısının tespit edilmesi veya literatürden alınarak kullanılmasında dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Aşağıdaki grafik korelasyon katsayılarının geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebileceği ve tasarımcıların bu durumu dikkate alarak çalışması gerektiğine iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışma kapsamında numuneler üzerinde deneyler yapılarak belirlenen E - UCS değerleri Şekil 4'te sunulmaktadır. Bu grafikten de görüleceği üzere, aynı hat üzerinde bulunan numunelerde bile iki farklı eğilim söz konusudur. Bu iki farklı eğilim detaylı olarak incelendiğinde, aralarında ayırt edici bir özelliğe

rastlanmamıştır. Bu durum, literatürde yer alan ortalama değerlerin kullanımı konusundaki soru işaretlerini artırmaktadır. Daha tutarlı bir değerlendirme yapabilmek amacı ile değerler şekilde 1 ve 2 olarak gösterilen gruplar için ayrılmış ve bu iki farklı grup Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil 5'te görüleceği üzere modül oranı (korelasyon katsayısı) değerinin 452.46 ile 288.56 arasında değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Numunelerin çoğunluğu 288.56 değerinin olduğu gruptandır. yer almaktadır.



Şekil 4. Elastisite Modülü – Tek Eksenli Basınç Dayanımı Korelasyonu



Şekil 5. Elastisite Modülü – Tek Eksenli Basınç Dayanımı Korelasyonu (2 farklı grup için)

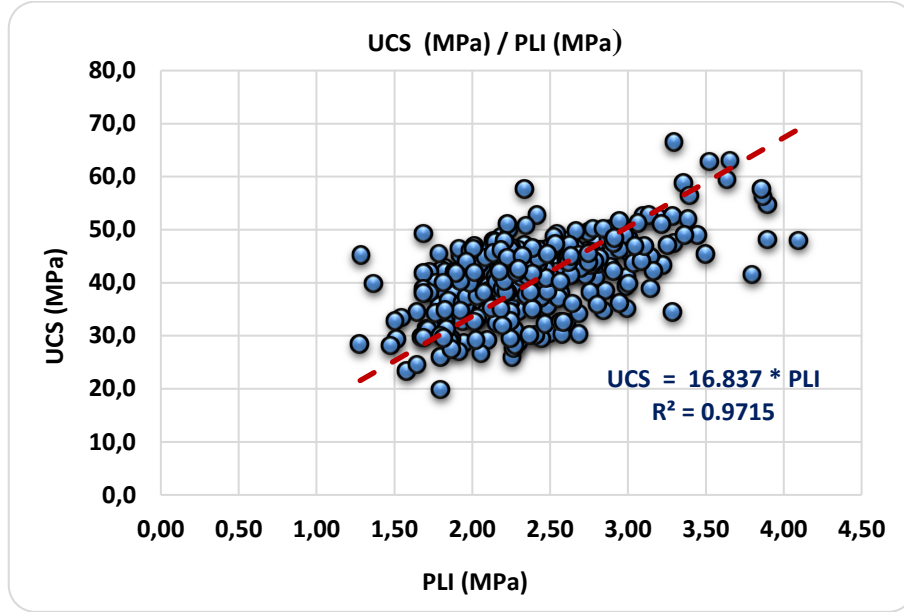
Analiz ve hesaplamalar sonucunda modül oranı 340-355 aralığında önerilmekte ve bu değer aralığının Hoek - Diederichs tarafından 400-600 olarak verilen ve günümüzde yaygın olarak kullanılan aralığa yakın olduğu değerlendirilmektedir. Konuyla ilgili literatürde pek çok farklı öneri ve yaklaşım bulunmaktadır.

Numunelerin farklı derinlikteki modül oranı (korelasyon katsayısı UCS - E) değerleri benzer hesaplama yöntemleri ile incelenmiştir. Numune derinliğindeki değişimle birlikte doğal koşullarda sıcaklığa bağlı olarak kayacın mineralojik yapısında, kaya kütle özelliklerinde ve fiziksel koşullarında önemli değişimler olmaktadır. Ancak sadece korelasyon katsayılarının sayısal değerleri dikkate alındığında anlamlı bir değişimin olmadığı görülmektedir.

b) Tek Eksenli Basınç – Nokta Yük Dayanım İndeksi İlişkisi

Bu çalışma kapsamında kullanılan UCS (tek eksenli basınç dayanımı)- PLI (nokta yük dayanım indeksi) değerleri Şekil 6'da sunulmaktadır. Bu grafikte, benzer derinliklerde elde edilen nokta yük ve tek eksenli basınç deney sonuçları kullanılmıştır. Bu nedenle, veri havuzundaki tüm sonuçlar istatistiksel analiz için kullanılamamıştır.

Tek eksenli basınç ve nokta yük dayanım indeksi arasındaki korelasyon katsayısı, aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve regresyon analizi olmak üzere üç farklı hesaplama yöntemiyle elde edilmiş ve sırasıyla 18.01, 18.15 ve 16.84 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Tek Eksenli Basınç Dayanımı – Nokta Yük Dayanım İndeksi Korelasyonu

Elde edilen regresyon katsayısı, literatürdeki benzer çalışmalar (ISRM, 1985; Brautigam vd., 1998; Rusnak ve Mark, 1999; Sabatakakis, 2008 vb.) ile karşılaştırıldığında, kireçtaşları için korelasyon katsayısı "C" değerinin genel olarak 20-25 aralığında değiştiği ve yukarıda belirtilen korelasyon önerisine yakın olduğu görülmektedir. Literatürün daha geniş bir özeti için Çintesun (2023)'a başvurulabilir. Bununla birlikte, benzer kaya veya genel bir tanımlama için literatürde verilen öneri katsayılarının büyük farklılıklar gösterdiği de tespit edilmiştir. Korelasyon katsayıları kullanılırken bu gerçeğin akılda tutulması önemlidir. Hatayı en aza indirmek için birden fazla korelasyon kullanılarak değerlendirmeler yapılması önerilmektedir.

ASTM, nokta yük dayanım değerinin "C" katsayısı ile çarpılması ile tek eksenli basınç değerinin hesaplanabileceği belirtmektedir. "C" katsayısının karot çapı ile değişkenlik gösterdiği verilen tablolardan ve grafiklerden anlaşılmaktadır. Çalışmalarda bu kıstasında dikkate alınması önem arz etmektedir.

Suarez - Burgoa (2012), korelasyon katsayısının geniş bir aralıkta değişmesinden kaynaklanan belirsizlikler olduğunu ve noktasal yük dayanım indeksi testinde bulunan sonuç kullanılarak dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımına geçilmesinden kaçınılması gerektiğini belirtmektedir. Nokta yük testi ile belirlenen dayanım indeksi değerlerinin kendi aralarında ve herhangi bir korelasyon kullanılmadan sınıflandırılması gerektiğini belirtmektedir.

UCS - E korelasyonuna benzer şekilde, numunelerin farklı derinlikteki korelasyon katsayısı UCS - PLI değerleri benzer hesaplama yöntemleri ile incelenmiştir. Bu ilişkide de numune derinliğindeki değişimle birlikte doğal koşullarda sıcaklığa bağlı olarak kayacın mineralojik yapısında, kaya kütle özelliklerinde ve fiziksel koşullarında önemli değişimler olmaktadır. Ancak sadece korelasyon katsayılarının sayısal değerleri dikkate alındığında anlamlı bir değişimin olmadığı görülmektedir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamındaki korelasyon katsayıları, geniş bir veri havuzundan elde edilen veriler ile önerilmektedir. Doğrudan test sonuçlarıyla korelasyon değerleri bir dereceye kadar doğrulanmalıdır. Korelasyonlar arasında önemli farklılıklar ortaya çıktığı için, geoteknik mühendislerinin korelasyon katsayılarını kullanırken dikkatli olmaları gerekmektedir. Hatayı en aza indirmek ve daha gerçekçi hesaplamalar elde etmek için;

- Kayanın doğal durum özelliklerini değerlendirilmelidir. (Doygunluk derecesi, mineral yapısı vb.)
- Birden fazla korelasyon ile değerlendirme yapılmalıdır.
- Örnek sayısı fazla olan literatür çalışmalarının seçilmesine özen gösterilmelidir.

Çok sayıda test sonucu kullanılmış olmasına rağmen, verilerin hala sınırlı olduğu unutulmamalıdır. Belirli bir kaya türü için genel bir korelasyon kullanmak yerine bölgesel korelasyonların belirlenmesi gerektiği ve korelasyonun en yakın sonuçları vermesi için çok sayıda numunenin önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu makale, özellikle mühendislik tasarımının belirli ön aşamalarında, malzemelerin mekanik özelliklerini tahmin etmeye yönelik gerçek ihtiyacın testin yerine geçmediğini, bunun yerine bu tahminlerin bazı özel verilerin genişletilmesi ve doğrulanması olarak hizmet ettiğini açıklamaktadır.

Matematiksel ve lineer regresyon analizleri ile oluşturulan ampirik formüllerin tahmin gücünün gelecekte çeşitli laboratuvar test bulgularının bu veri tabanlarına eklenmesiyle artacağı öngörülmektedir. Ayrıca, toplanan sonuçların gelecekte bölgesel istatistiksel veri tabanına entegre edilmesinin faydalı olacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya katkılarından ve desteklerinden dolayı Proyapı Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.'nin Yönetim Kurulu Başkanı'na ve değerli yönetim kurulu üyelerine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- ASTM, "American Society for Testing and Materials, D 5731 – 95, Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock".
- Hoek E, Diederichs M.S., (2006), "Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences", 43 203–215
- Marinos, P., Hoek, E., (2001), "Estimating the Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses Such as Flysch, Bulletin of Engineering Geology and the Environment", 60, pp. 85-92.
- Brautigam, T., Knochel, A., and Lehne, M., (1998), "Prognosis of Uni-Axial Compressive Strength and Stiffness of Rocks Based on Point Load And Ultrasonic Tests", Otto-Graf Journal 9: 61-79.
- Rusnak, J. A., Mark, C., (1999), "Using the Point Load Test to Determine the Uniaxial Compressive Strength of Coal Measure Rock", Proceedings of 19th International Conference on Ground Control in Mining, 362-371.
- Suarez-Burgoa, L. O. (2012). On the Reliability of the Uniaxial Compressive Strength Obtained from the Point Load Index. In Qihu Qian and Yingxin Zhou (Eds.), Proceedings of the 12th International Congress on Rock Mechanics: Harmonizing Rock Engineering and the Environment (pp. 837-839).
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., & Papanakli, S. (2008), " Index Properties and Strength Variation Controlled by Microstructure for Sedimentary Rocks", Engineering Geology, 97(1–2), 80–90.
- Çintesan, A., (2023) "Determining the Correlation Between Uniaxial Compressive Strength, Modulus of Elasticity and Point Load Strength Index of Rocks." Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.