Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
18. Ulusal Konferansı

29-30 Eylül 2022
Erciyes Üniversitesi, Kayseri

DOI:10.5505/2022zmgm.SS-03

SERT ZEMİN/YUMUŞAK KAYADA PARAMETRE TAHMİNİ

ESTIMATION OF GEOTECHNICAL PARAMETERS OF STIFF SOIL/SOFT ROCK

Hakan KÖPÜKLÜ[1], Ersin AREL[2], Akın ÖNALP [3]

ÖZET

Ege Bölgesi kıyı kesiminde yüzeylenen püskürük kayaçlardan tüfit aglomera; yumuşak kaya özellikleri gösterir. Tek eksenli basma dayanımı 2-22MPa arasında önemli değişiklik gösteren bu kayanın yarma yöntemi ile ölçülmüş çekme dayanımı ise 100kPa'a kadar düşmektedir. Bu koşullarda ortamın temel altında veya bir yarmada davranışını hesaplamak için kaya ve zemin ortamı seçeneklerinden birini kullanmak gerekli olmaktadır. "Zemin" kabulü yapıldığında uygulanan üç eksenli hücre kesme deneyinde yenilme dairelerine çizilen teğetler c_i=1010kPa ve ϕ_i=35° gibi bir kayma direnci açısı gösterirken, "Kaya" varsayımında çekme dayanımı da göz önüne alınarak parametreler Mohr Coulomb'a göre S_i=1350kPa ve ϕ_i=27.5°'ye değişmektedir. Bu farklar göz ardı edilemeyecek düzeydedir. Daha da önemlisi, düşük çekme dayanımı değeri nedeniyle RQD değeri %100'lerde dolaşan tüfit, uygulanan gerilmeler altında çekme ile kolayca yenildiğinde parametreler süreksizlikler boyunca S_j=10kPa ve ϕ_j=36° düzeyinde belirmektedirler. Bildiride bu bulgular irdelenerek Hoek-Brown-GSI kavramına geçiş yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Tüfit, Çekme Dayanımı, Basınç Dayanımı, Süreksizlik*

ABSTRACT

The pyroclastic rocks of West Anatolia such as tuffitic agglomerate exhibit notably low parameters that prompt the engineers to model such formations as soil. Such formations indicating uniaxial compressive strengths in the range 2 to 22MPa somehow show tensile strengths as low as 100kPa despite the fact that RQD may rise to 100%. The client to the geotechnical laboratory who is familiar with the Mohr-Coulomb criterion only, often requires failure envelopes without a tension cut-off. However, significant discrepancies emerge in the values of the parameters if the tensile strength of the intact rock is neglected. Moreover, tension cracks that are likely to form due to its low value upon loading exhibit conspicuously low parameters for the discontinuity at around S_j=10kPa and ϕ_j=36°. Findings of a detailed testing program are reevaluated in the light of GSI, currently a popular approach to failure issues in geotechnical problems.

Keywords: *Tuffite, Tensile Strength, Compressive Strength, Discontinuity*

[1] İnşaat Yüksek Mühendisi, Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş., hakan.kopuklu@zeminas.com.tr (Sorumlu yazar)
[2] Doç. Dr., ersinarel@gmail.com
[3] Prof. Dr., onalpakin@gmail.com

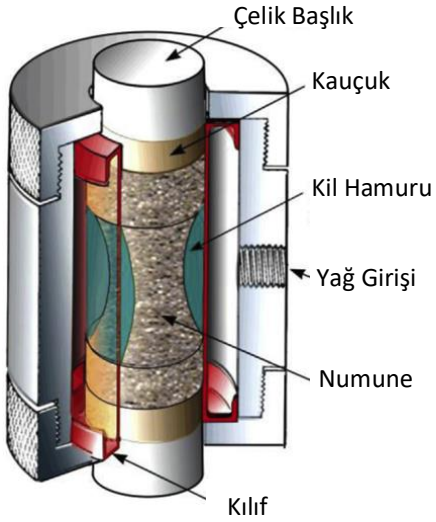
1. GİRİŞ

Ege Bölgesi'nin batısında yüzeylenen püskürük kayaçlarda gerçekleştirilecek projelerde; bir kesimde karşılaşılmış olan tüfit-aglomeralar içerdikleri tüf oranına bağlı olarak "yumuşak kaya" özelliği göstermişlerdir.

Son yıllarda yapılan araştırmalarda sağlam kayacın parametre tayininde (σ_{ci}) iki önemli tespit yapılmıştır. Tek eksenli basma deneyinden elde edilen direncin (q_u=UCS) üç eksenli deneylerden türetilen basma dayanımı σ_{ci}'den farklı olması (Hoek, 2018); ayrıca zor olan σ_t değerinin doğrudan çekme ile ölçümü yerine yarma (Brazilian) deneyinden dolaylı elde edilen σ_t değerlerinin kullanımı, yarma deneyinde küçük asal gerilmenin basınç olması nedeniyle gerçekten yüksek sonuç vermesi, parametre tayininde yanlış değerlendirmeler yapılmasına neden olabilmektedir.

Bu bulgular ışığında bu çalışmada yapılmış UCS sonuçları kullanılmamış, yarma ile ölçülmüş çekme dayanımları da $\int$ =0.8 ile azaltılmıştır (Perras & Diederichs, 2014).

Bu yüzden analizlerde kullanılacak çekme dayanımı σ_t'nin yine üç eksenli koşullarda ancak, köpek kemiği biçimli (Şekil 1) numunede ölçülmesi önerilmektedir (Ramsey & Chester, 2004).



Şekil 1. Köpek kemiği numunede üç eksenli koşulda çekme dayanımı ölçümü

Çekme dayanımı düşük olan kayada küçük hareketlerde dahi ortamda yaygın süreksizlik yüzeyleri oluşacağından, bu tür kayalarda süreksizlik yüzeylerinin kaya kitlesinin mekanik özelliklerini zayıflatacağı bilinir. Süreksizlik yüzeylerinin profili de kayma direncini değiştireceğinden, özellikle kayma direnci açısı ϕ_j'nin "normalleştirilmesi" gerekmektedir.

Bu işlem en basit şekilde basit kesme deneyinde ölçülen kabarma açısı y'yi kullanan Hencher yöntemiyle yapılabilir (Hencher & Richards, 2015). Süreksizliğin kayma direnci;

$$s = \tau_{max} = \sigma_n \, (\phi_b + i) \qquad (1)$$

olarak ifade edildiğinde σ_n süreksizlik yüzeyine etkiyen normal gerilme, ϕ_b yüzeyin ana (temel) sürtünme açısı, *i* ise pürüzlülük ve dalgalılığın dirence katkısını göstermektedir. (ϕ_b+*i*) değeri kesme sırasında ölçülen düşey hareketin yatay hareketle oranlanması ile hesaplanır ise süreksizliğin karakteristik kayma direnci;

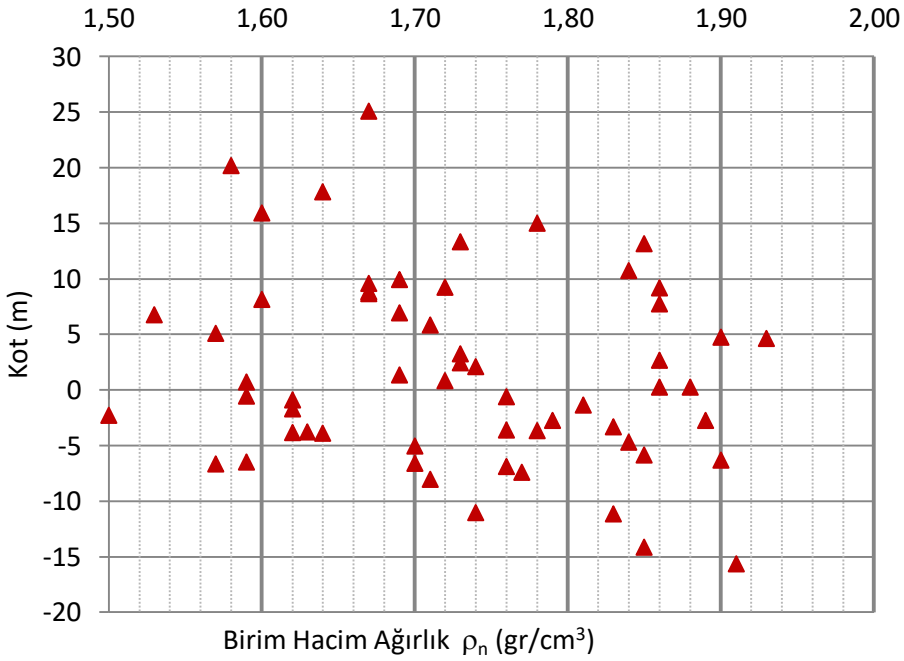
$$\tau_f = \cos i \ (\tau \cos i - \sigma_n \sin i) \quad (2)$$

$$\sigma_n = \cos i \ (\sigma_n \cos i + \tau \ \sin i) \quad (3)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Çalışma konusu olan tüfit aglomera'da ($\phi_b \approx$34-38°) geoteknik modeli oluşturmak için bu yaklaşım kullanılmıştır.

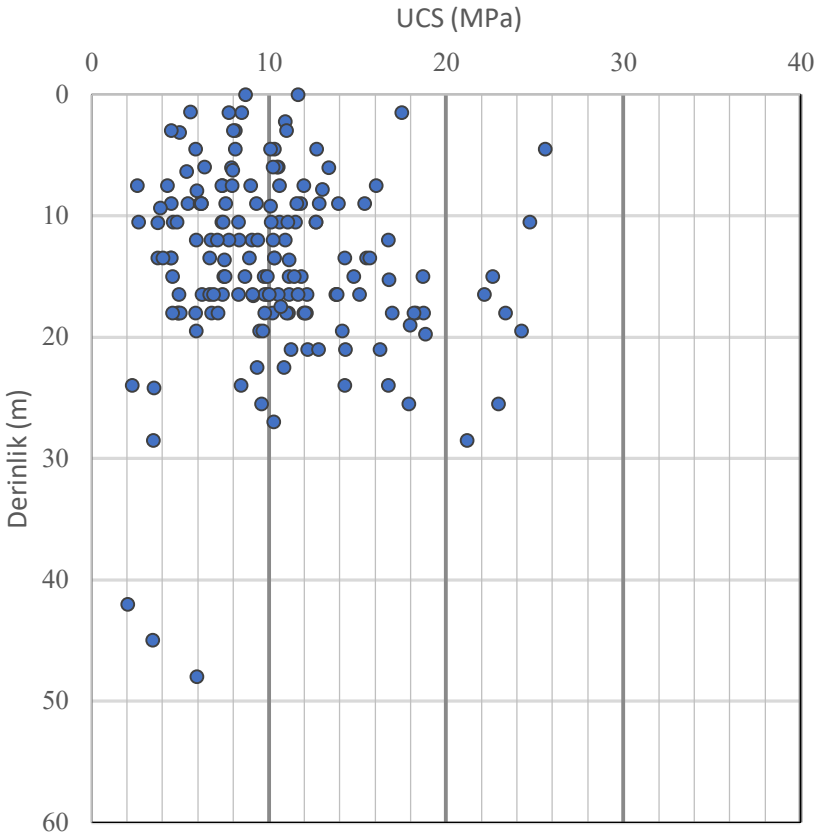
2. KAYANIN TANITIMI

Tüfit aglomera üzerinde gerçekleştirilen standart deneylerde öncelikle düşük birim hacim ağırlıklar (ρn=14.71-22.56kN/m^3) dikkat çekmiştir (Şekil 2). Buna bağlı olarak görünür porozite n_a=%30-40 dolayında çıkmaktadır. Birim hacim ağırlığın yükselmesi bileşimdeki aglomera oranının artmasına bağlıdır.



Şekil 2. Tüfit Aglomera'da birim hacim ağırlık

Birim hacim ağırlıktaki dağılıma bağlı olarak tek eksenli basma dayanımı da büyük standart sapmalar göstermekte, ayrıca üç eksenli deneylerden gelen sonuçlarla uyum sağlanamamaktadır (Şekil 3). RQD değeri %100'e yakın çıkan bir ortamda (Şekil 4) böylesine büyük farklılıklar görülmesi açıklanması gereken bir özellik olarak öne çıkmıştır.

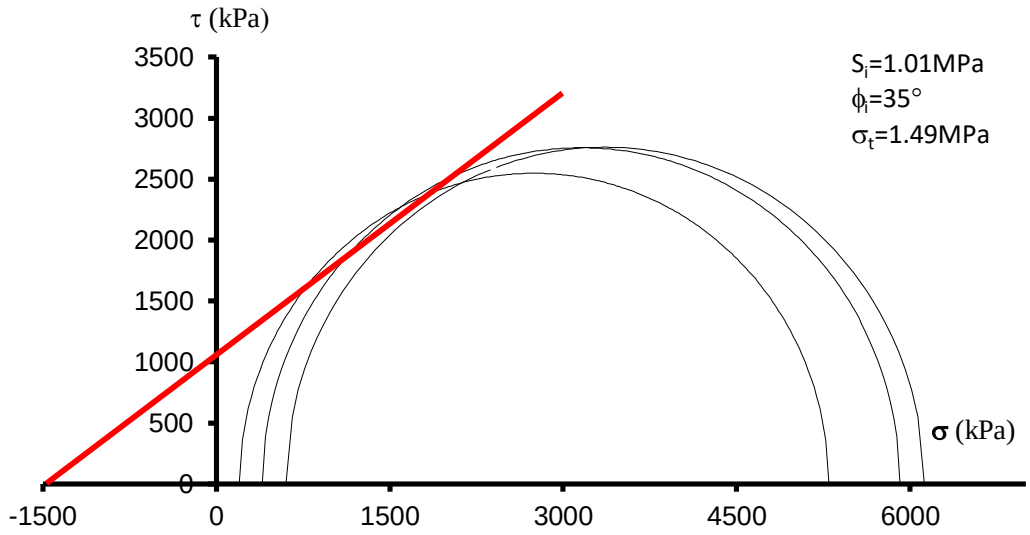


Şekil 3. Tüfit Aglomera'nın Serbest Basma Dayanımı

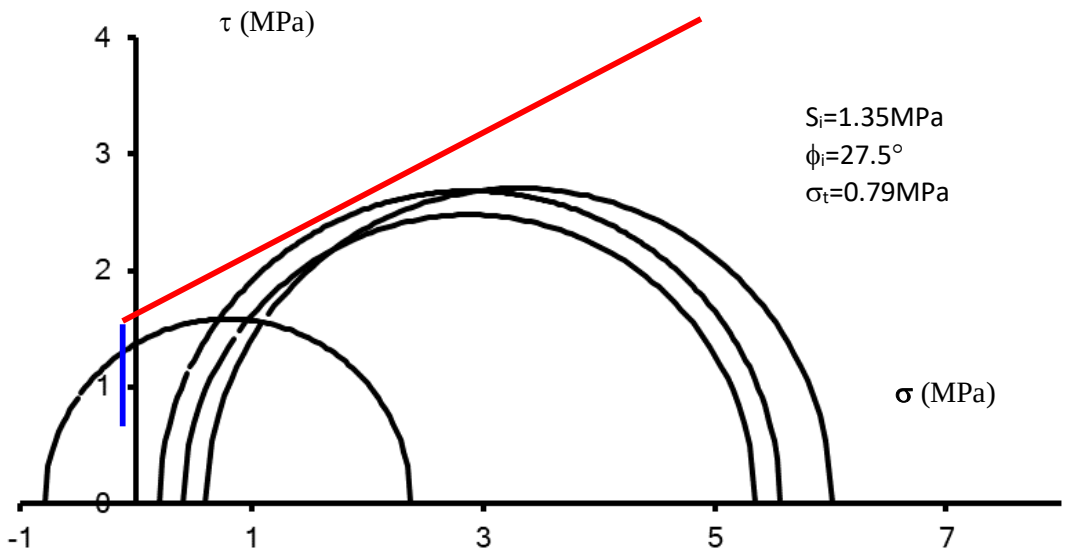
Şekil 4. Tipik karot sandığı görünümü

3. KAYMA DİRENCİNİN ÖLÇÜMÜ

Parametre tayinine üç eksenli hücre kesme deneyleri ile başlanmış, Mohr daireleri ile çizilen kırılma zarfları oluşturulmuştur (Şekil 5). Daha sonra bu sonuçlar yarma deneyleri ile deneştirilmiş (Şekil 6) ve parametrelerde beliren fark ciddi boyutlara ulaşmıştır.



Şekil 5. Dolaylı Çekme Dayanımı Ölçümünün Parametrelere Etkisi, Zemin Kabulü



Şekil 6. Dolaylı Çekme Dayanımı Ölçümünün Parametrelere Etkisi, Kaya kabulü

Bu bulgular ışığında bu çalışmada yapılmış UCS sonuçları kullanılmamış ve yarma ile ölçülmüş çekme dayanımları da ƒ =0.8 ile azaltılmıştır (Perras & Diederichs, 2014).

Tablo 1 bu yaklaşımla yapılmış karşılaştırmaları göstermektedir. Yumuşak kayada zemin varsayımı ile yapılan yorumların kayma direnci açısı ve kohezyon değerlerinin gerçekten yüksek verdiği görülmektedir. Tablo değerlendirildiğinde, örneğin sert killerde parametre tayininde de kilin çekme dayanımının ölçülmesinin yerinde bir yaklaşım olacağı görülebilir.

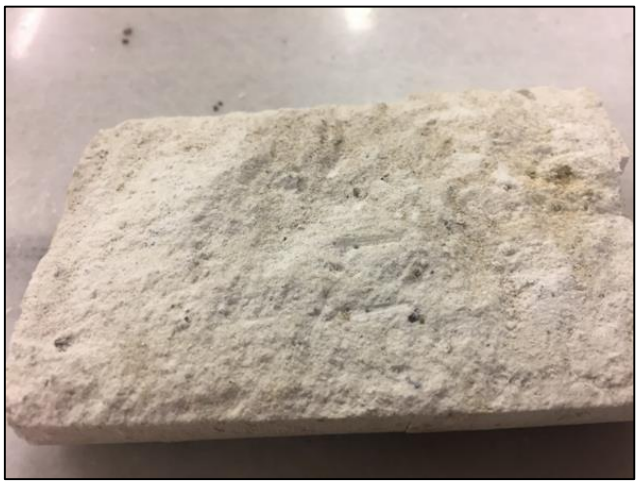
Tablo 1. Parametrelerin zemin ve kaya yaklaşımı ile karşılaştırması

KOD	DERİNLİK (m)	ZEMİN			KAYA			
		c′(MPa)	ϕ' (°)	σ_t (MPa)	S_i (MPa)	ϕ_i (°)	σ_t (MPa)	σ_t*(MPa)
RC6	2.50	1.05	37	1.48	1.31	30	0.79	0.63
RC9	1.00	0.90	38	0.98	1.15	33	0.65	0.52
BG2	4.07	0.72	37	0.95	0.69	33	0.11	0.09
BG7	1.50	0.93	53	0.72	2.12	36	1.25	1.00
BG4	1.45	0.66	43	0.65	1.35	32	0.79	0.63
	ORT	0.85	**41**	0.96	1.32	**33**	0.72	0.58

4. SÜREKSİZLİKLERİN DİRENCİ

Kayalar ve ağır derecede aşırı konsolide olmuş killer süreksizlik yüzeyleri içerirler. Özellikle temel altı, yamaç ve tünellerde süreksizlik sistemleri projenin kaderini tayin eder. Bu nedenle kritik özelliklere sahip tüfit aglomeralarda yük altında yaygın hale gelebilecek süreksizlik yüzeylerinin özellikleri de değerlendirilmiştir.

Bu kayada süreksizlik yüzeyinin özelliği; dalgalılık, pürüzlülüğün en düşük seviye olması ve pürüzlerin düşük çekme dayanımıdır (Şekil 7). Bu nedenle doğru kesme deneyine tabi tutulduğunda numune yarma etkisi almakta ve parçalanmaktadır. Yarılmayı önlemek için deneylerde normal gerilmeler düşük tutulmuştur ($\sigma_n<\sigma_t$).

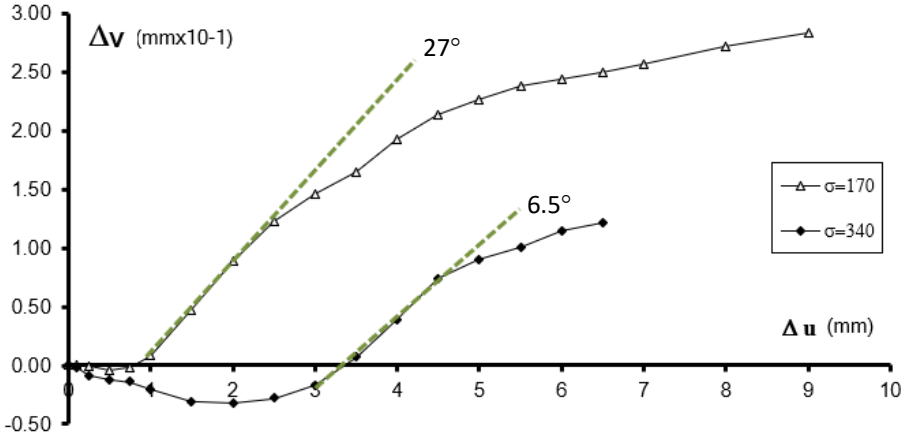


Şekil 7. Tüfit Aglomera Süreksizliği Yüzeyi

Süreksizlik kayma direnci deneylerinde düşey yük ve kesme kuvvetine ek olarak çatlağın kabarması ölçülmüştür. Şekil 8'de tipik bir sonuç görülmektedir. Kayma direncini belirleyen açı;

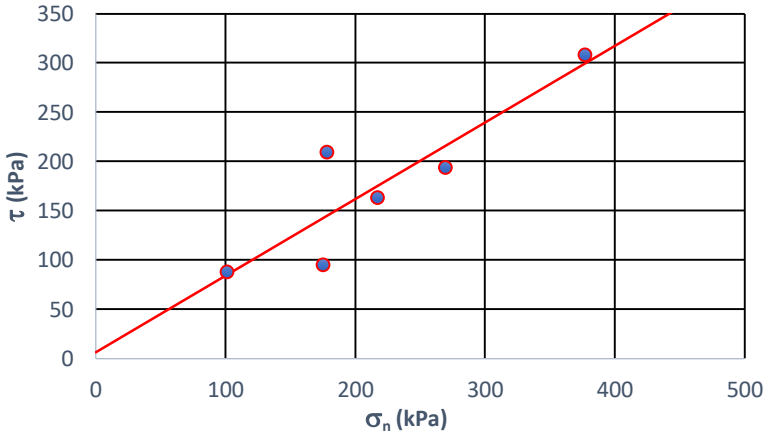
$$i = tan^{-1}\left(\frac{\Delta v}{\Delta u}\right) \quad (4)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Bu formülde Δv ve Δu sırasıyla düşey ve kayma deplasman değerleridir.



Şekil 8. Süreksizlik Yüzeyinin Kesme Sırasında Normal gerilmeye bağlı hareketleri

Kayma gerilmesi ve normal gerilmeler yüzey özelliğini yansıtan *i* değerlerini Formül (1)'e yerleştirerek kabarma için düzeltme yapıldığında Şekil 9'da görülen bağıntı bulunmakta ve süreksizlik yüzeyinin karakteristik kayma direnci açısı ϕ_j=36° olarak belirmektedir.



Şekil 9. Süreksizlik kayma direncinin yüzey özelliği için düzeltilmiş hali

5. KAYA KİTLESİNİN SINIFLAMASI

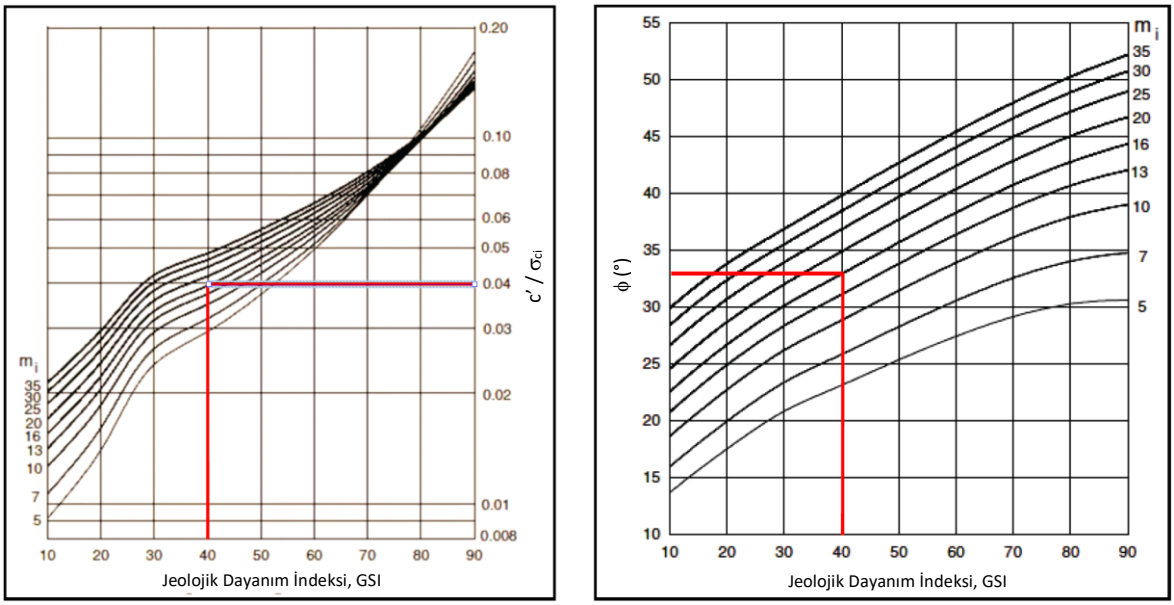
Yukarıda elde edilen verilerin ışığında bu zayıf kayanın GSI sistemi ile sınıflaması yapıldığında, pürüzlülük sayısı R_r=5, yüzey yıpranma R_w=6, dalgalılık R_f =2 ile süreksizlik yüzey koşulu için SCR=13; bunun yanında sondaj logları ve Şekil 4'ten beher m^3'teki süreksizlik sayısı J_v=10 ile Yapısal Özellik puanı da;

$$S_r = -17.5 \ln J_v + 7.98 = 32$$

olduğundan, ortamın jeolojik dayanım indisi GSI=40 olarak bulunmaktadır. Bu da ortamı "çok zayıf-bloklu" sınıfına sokmaktadır (Hoek vd., 2002). Sağlam tüf için kilitlenme sayısı m_i=13, aglomera için 19 olarak verildiğinden, ortama $m_i \approx 16$ atayarak Mohr-Coulomb'a göre parametreler Şekil 10'dan okunabilmektedir. Buna göre de Mohr-Coulomb parametreleri;

$c' = 400kPa \quad \phi' = 33°$

düzeyinde bulunmaktadır.



Şekil 10. Süreksiz ortam parametrelerinin Mohr-Coulomb'a göre yorumlanması

6. SONUÇLAR

Sert zemin ve yumuşak kayada projelendirmeye yönelik değerlendirme yapılırken ortamın çekme dayanımının güvenilir bir yöntemle ölçülmesi önem taşımaktadır. Çekme dayanımının hesaplamaya katılması kırılma zarfının konumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle sert zemin ve yumuşak kayada gerçekleştirilecek projelerde σ_t değerine önem verilmesi önerilmektedir. Bunun yanında, zemin parametrelerinin tayininde GSI kavramının göz önüne alınması daha gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corkum, B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion" Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July.

Hoek, E. and Brown E.T.The "The Hoek-Brown failure criterion and GSI" (2019) Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 11(3)445-463.

Hencher, S.R. and Richards, L.R. "Assessing the shear strength of rock discontinuities at laboratory and field scales" (2015) Rock Mechanics & Rock Engineering 48, 883-905.

Perras, M.A. and Diederichs, M.S. (2014) "A review of the tensile strength of rock: Concepts and testing" Geotechnical and Geological Engineering 32(2)525-46.

Ramsey, J.M. and Chester, F.M. (2004) "Hybrid fracture and the transition from extension fracture to shear fracture" Nature 428, 63-6.