

BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ TAŞIMA GÜCÜ HESAPLAMALARINDA YANLIŞ VE/VEYA EKSİK OLAN HUSUSLARA İLİŞKİN DEĞERLENDİRME GÖRÜŞÜ

Yeni “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”nin 16. Bölümü olan “Deprem Etkisi Altında Temel Zemini ve Temellerin Tasarımı İçin Özel Kurallar” göre “Zemin ve Temel Etüd Raporları”, “Veri Raporu” ve “Geoteknik Rapor” olarak ikiye ayırmaktadır.

Yeni “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” 16. Bölümü olan “Deprem Etkisi Altında Temel Zemini ve Temellerin Tasarımı İçin Özel Kurallar” kısmında taşıma gücü hesaplaması anlatılmaktadır. Bu bölümde tarif edilen yöntem genel taşıma gücü bağıntısıdır. Bununla birlikte bu bağıntıyla hesaplanan taşıma gücünün aşağıdaki Tabloda verilen 1.4 dayanım katsayısı değerine bölünmesi gerektiği ifade edilmiştir. Eurocode 7 Jeoteknik tasarımda nihai limit durum (Ultimate Limit State, ULS) ve servis kabiliyeti limit durumu (Serviceability Limit State, SLS) koşullarını tarif etmektedir. Kısaca ULS göçme ile SLS ise deformasyon seviyesi ile kontrol edilmektedir. Eurocode 7 ULS değerlendirmesi için 3 farklı tasarım analizi (Design Analysis, DA) DA1 için ise iki farklı kombinasyon tanımlanmaktadır. Eurocode 7’de tanımlanan tasarım analizi yaklaşımları Tablo 2’de özetlenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde “Türkiye Deprem Yönetmeliğinde” kullanılan dayanım katsayısı değerinin Eurocode 7 tasarım yaklaşımı (DA2, A1+M1+R2) 2’ye denk geldiği görülmektedir. Bununla birlikte Eurocode 7, DA2 kalıcı olumsuz etkiye sahip yükleri %35 oranında ($\gamma_G = 1.35$) arttırırken, Türkiye Deprem Yönetmeliği, yük artırım katsayısından direk olarak bahsetmemekte, temele aktarılan yüklerin statik yük birleşimlerinin ilgili yönetmeliklerden alınacağı ifade edilmektedir. Aşağıda “Türkiye Deprem Yönetmeliği”nin ilgili kısımları verilmiştir.

- **16.7.3.1** – Statik yük birleşimleri, ilgili yönetmeliklerden alınacaktır. Deprem etkisini içeren yük birleşimleri ise **4.4.4**’te verilmiştir. Temel zemininde oluşan etkiler, E_t , düşey yük etkileri ile birlikte **4.10.3**’e göre depremde bina taşıyıcı sisteminden temele aktarılan kuvvetler esas alınarak hesaplanacaktır.
- **16.7.3.2** – Tasarıma esas aksenal kuvvet ve eğilme momenti, temel tabanında düşey doğrultudaki *temel taşıma gücü* ile karşılanacaktır.

Deprem etkisini içeren yük bileşimlerinin verildiği bölüm 4.4.4’e bakıldığında ise, sabit yük etkisinin (G) olduğu gibi veya 0.9 çarpanı ile kullanıldığı görülmektedir. Aşağıda “Türkiye Deprem Yönetmeliği”nin ilgili kısımları gösterilmiştir. Eşitliklerde G sabit yük etkisi, Q hareketli yük etkisi, S kar yükü etkisi, Ed doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisini, H ise yatay zemin etkisini ifade etmektedir.

4.4.4.1 – Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında esas alınmak üzere, deprem etkisini içeren yük birleşimleri **Denk.(4.11)** ve **Denk.(4.12)** ile tanımlanmıştır:

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.11)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.12)$$

Türkiye Deprem Yönetmeliği”nin bölüm 4.10.3’si ise aşağıda verilmiştir.

4.10.3. Temellere Aktarılan Kuvvetler

Bölüm 16 kapsamında temellerin taşıma gücü yaklaşımı ile tasarımında esas alınmak üzere, binadan temele aktarılan kuvvetler aşağıdaki şekilde belirlenecektir.

4.10.3.1 – 3.3.1'de verilen tanıma göre bodrumsuz binalarda veya bodrumlu binalarda kritik perde yüksekliğinin temel üst kotundan başladığı durumlarda,

(a) Perdeden temele aktarılan eğilme (devrilme) momenti, perde taban kesitindeki eğilme momentinin *üst bölüm*'e ait *Düst* katsayısı ile çarpımından elde edilecektir. Ancak bu eğilme momenti, *süneklik düzeyi yüksek* perdelerde perde tabanındaki akma momentinden daha büyük alınmayacaktır. Betonarme perdeden temele aktarılan kesme kuvveti, perde taban kesitinde **7.6.6.3**'e göre tanımlanan kuvvettir.

(b) Bu tür binalarda perdelerin diğer iç kuvvet bileşenleri ve perdeler dışındaki diğer elemanlardan temele aktarılan iç kuvvetler, **4.10.1.1**'e göre sünek tasarıma karşı gelen iç kuvvetlerin $0.6D_{üst}$ ile çarpılarak büyütülmesi ile elde edilecektir.

4.10.3.2 – 3.3.1'de verilen tanıma göre bodrumlu binalarda, kritik perde yüksekliğinin temel üst kotundan daha yukarıda başladığı durumlarda, perdelerden aktarılan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri de dahil olmak üzere, tüm elemanlardan temele aktarılan iç kuvvetler **4.10.1.5**'e göre hesaplanacaktır.

Görüldüğü gibi temele aktarılan yüklerin ne oranda arttırılacağı “Türkiye Deprem Yönetmeliği”de açık bir biçimde ifade edilmemektedir. **Ülkemizde, günümüze kadar uygulanan geleneksel taşıma gücü analizlerinde 2 – 4 arasında değişen, genellikle 3 alınan bir güvenlik katsayısı kullanılmaktadır.** Bu yöntemde hesaplanan maksimum taşıma gücü genellikle 3 alınan bir güvenlik katsayısına bölünerek emniyetli taşıma gücü elde edilir ve yapıdan zemine aktarılan gerilmelerin emniyetli taşıma gücünden küçük eşit kalması sağlanırdı. Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre ise yapıdan aktarılan gerilmeler bir katsayı ile çarpılarak arttırılmaz ise güvenlik katsayısının 1.4 mertebesinde kalacağı anlaşılmaktadır. **Bu durum güvensiz tasarım yapılmasına, hatta deprem durumunda göçmelere bile neden olabilecektir.**

Tablo 1. Yüzeysel Temeller için Dayanım Katsayıları (Türkiye Deprem Yönetmeliği, 2018)

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

Tablo 2. Eurocode 7'ye göre ULS değerlendirmesi için kullanılan kısmı faktörler (Wang ve Thusyanthan, 2008)

(1) Partial Factors on Actions (γ_F) or the Effects of Actions (γ_E), based on Table A-3 of EC7-1 Annex A				
Duration	Action Condition	Symbol	Set	
			A1	A2
Permanent	Unfavourable	γ_G	1,35	1,0
	Favourable		1,0	1,0
Variable	Unfavourable	γ_Q	1,5	1,3
	Favourable		0	0
(2) Partial Factors for Soil Parameters (γ_M), based on Table A-4 of EC7-1 Annex A				
Material Property	Symbol	Set		
		M1	M2	
Angle of shearing resistance ($\tan\phi'$)	γ_ϕ'	1,0	1,25	
Effective cohesion	γ_c'	1,0	1,25	
Undrained shear strength	γ_{cu}	1,0	1,4	
Unconfined compressive strength	γ_{qu}	1,0	1,4	
Weight density (γ)	γ_f	1,0	1,0	
(3) Partial Resistance Factors (γ_R) for Shallow Foundations, based on Table A-5 of EC7-1 Annex A				
Resistance	Symbol	Set		
		R1	R2	R3
Bearing capacity	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Sliding resistance	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0

Yine ‘‘Türkiye Deprem Yönetmeliği’’nde taşıma gücü hesapları için sadece tek bir yöntemin (genel taşıma gücü bağıntısı) kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Söz konusu genel taşıma gücü bağıntısı toprak zeminler için kesme dayanımı parametreleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Kesme dayanımının doğrudan laboratuvar deneyleriyle belirlenmesinin veya SPT gibi arazi deneylerinden kestirilmesinin mümkün olmadığı zayıf kaya birimlerde (örneğin örnek alınamayan ve kohezyonlu – kohezyonsuz zemin gibi davranmayan yani hem kohezyon hem de sürtünme direncine sahip birimlerde) genel taşıma gücü bağıntısı nasıl kullanılacaktır? Ayrıca literatürde, kaya kütleleri için kabul görmüş hesap yöntemleri bulunmaktadır (örn. Hoek ve Brown yenilme kriterini, kaya kütle sınıflandırma sistemlerini kullanan yöntemler). Eurocode 7 Jeoteknik tasarım aşamasında tek bir yöntemin kullanılmasını zorlamamakta, jeoteknik tasarımın genel olarak analitik model, yarı ampirik model ve sayısal modeller ile yapılabileceğini belirtmekte ve çeşitli yöntemleri ‘‘örnek’’ olarak vermektedir. Özellikle Presiyometre deney sonuçlarından taşıma gücü hesaplaması yarı ampirik yöntem olarak verilmekte ve ayrıca kaya kütleleri için taşıma gücü hesap yöntemi sunulmaktadır. Benzer bir durum şev stabilitesi hesaplama yöntemlerinde de görülmektedir. Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde verilen şev stabilitesi hesap yöntemi, toprak zeminler için uygundur ancak stabilitesi süreksizlikler (fay, tabaka düzlemi, foliasyon vb.) tarafından kontrol edilen kaya kütlelerinde Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde verilen şev stabilitesi hesap yöntemi kullanılamaz.

Aşağıda örnek teşkil etmesi açısından kaya birimlerde kullanılabilecek taşıma gücü hesaplama ve değerlendirme yöntemleri sunulmuştur.

KAYA KÜTLELERİNE ÜZERİNE OTURAN SIĞ TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ VE OTURMA HESABI ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELERİ

Kaya kütlesi; kaya malzemesinin süreksizlikler (fay, tabaka düzlemleri, fisürler, eklemler vb.) ile kesilmesi sonucunda oluşan yapılardır. Kaya kütlelerinin mühendislik davranışı çoğunlukla, bunların en zayıf bileşeni olan süreksizlikler tarafından kontrol edilir. Bu nedenle kaya kütlelerinin mühendislik davranışının belirlenmesinde yapısal jeoloji, süreksizliklerin karakterizasyonu ve tanımlanması önemli rol oynamaktadır.

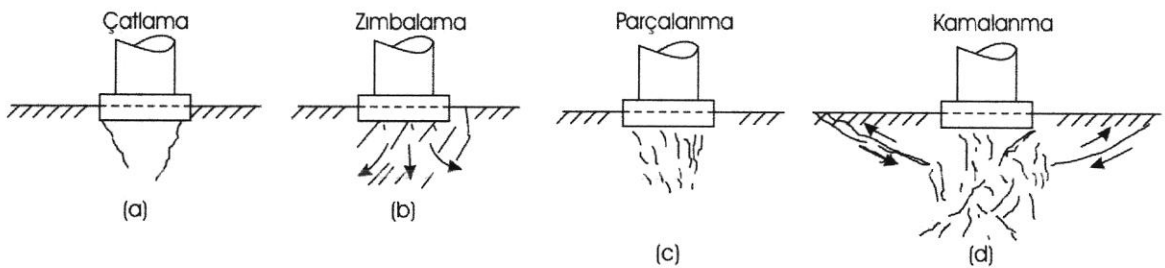
Kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi için kaya kütlelerini test edebilecek boyutta arazi deneyleri (büyük çaplı plaka yükleme, dilatometre deneyleri vb.) yapılabilir. Bu mümkün olmadığında; hem kaya malzemesi özelliklerini hem de süreksizlik özelliklerini dikkate alan ampirik yöntemler olan kaya kütle sınıflandırma sistemleri (RMR, Q vb. gibi) kullanılarak kaya kütle puanı belirlenmelidir. Kaya kütle sınıf puanı, ampirik eşitliklerle birlikte kullanılarak kaya kütlelerinin deformasyon modülü tahmin edilir. Ayrıca GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) gibi bir indeks doğrusal olmayan Hoek ve Brown yenilme ölçütünde kullanılarak da kaya kütleleri makaslama dayanımı belirlenir. Bu nedenle, kaya malzemesinin tanımlanması, değerlendirilmesi ve süreksizliklerin mekanik özellikleri (sürtünme açısı, kohezyon) ile süreksizlik dolgu malzemesinin dayanım ve sıkışabilirliği belirlenir.

Kaya kütlelerine oturan sığ temellerin tasarımında:

- Yapı için izin verilen oturma değeri, kaya kütlelerinin deformasyon özellikleri ve dayanımı;
- Temel altında fay zonu, erime boşlukları ve zayıf tabakaların olup olmadığı;
- Süreksizliklerin varlığı ve özellikleri (dolgu, devamlılık, aralık, ayrışma vb.);
- Kayanın ayrışma, alterasyon ve süreksizliklerin derecesi;
- Kaya kütlelerinin doğal durumunun, yeraltı işleri, şevlere yakınlık gibi sebeplerle örselenme durumu,

dikkate alınmalıdır.

Kaya kütlelerini oluşturan süreksizliklerin farklı yönelimleri ve karakteristikleri, farklı yenilme türlerine neden olabileceği için, kaya kütlelerine oturan sığ temellerin tasarımı için genel bir yöntem geliştirmek mümkün değildir. Örneğin sağlam ve ince bir tabaka altında nispeten yumuşak bir çamurtaşı birimi bulunduğu yerde yenilme sağlam tabakanın zımbalanması (Şekil 1a, 1b) şeklinde gerçekleşebilir. Büyük erime boşlukları içeren kaya kütlelerinde ise yenilme mekanizması boşlukların özellikleri tarafından kontrol edilecektir. Kaya ortamlarda inşa edilen yapı temellerinde sıkça karşılaşılan yenilme türleri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Kayaçlar içinde inşa edilen temelerde karşılaşılabilen yenilmeler

Bununla birlikte, bir çok koşulda basit analitik yöntemler ile kaya kütlelerinin taşıma gücü belirlenebilir. Karmaşık jeolojik yapıya sahip kaya kütleleri söz konusu olduğunda ve/veya yapı yükleri nispeten yüksek olan riskli projelerde ileri sayısal analiz yöntemleri kullanılmalıdır.

Sağlam Kaya Kütlelerinde Sığ Temel Tasarımı

Kaya kütlesi olumlu özelliklere (ayrışmamış – kapalı süreksizlikler, nispeten geniş süreksizlik aralığı gibi), temelden uygulanan kuvvetlere göre süreksizlikler olumlu yönelime sahip ve temelden aktarılan yük aksel ise (teğet bileşen yoksa) aşağıda verilen eşitlik kaya kütlesinin emniyetli taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılır.

$$q_a = K_{sp} \times q_{u\text{-karot}} \quad (\text{Canadian Foundation Engineering Manual, 2006})$$

q_a : İzin verilen taşıma gücü değeri

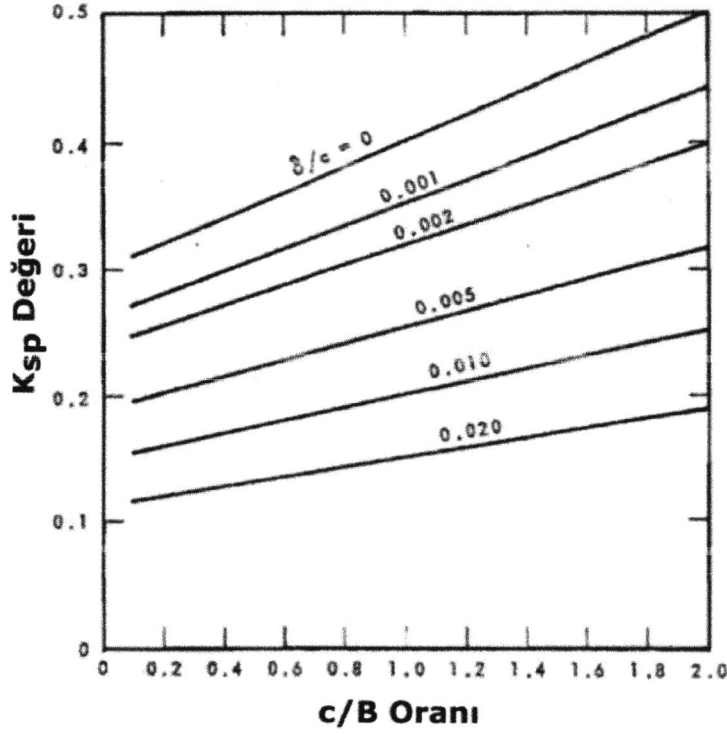
$q_{u\text{-karot}}$: Kayacın ortalama serbest basınç mukavemeti

K_{sp} : 3 güvenlik faktörü içeren ve 0,1 ile 0,4 arasında (emniyet gerilmesinin tasarımı açısından) değişen ampirik bir katsayıdır (Çizelge 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.)

Çizelge 1. K_{sp} katsayısının süreksizlik aralığına bağlı değişimi

Süreksizlik aralığı		K_{sp}
Tanım	Aralık (m)	
Orta derecede açık	0,3-1	0,10
Geniş	1-3	0,25
Çok geniş	>3	0,40

Katsayıların büyüklüğünü etkileyen faktörler, Şekil 2' de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilde verilen ilişki, süreksizlik açıklığı 5 mm den daha az (zemin veya kaya döküntüleri ile doluyorsa 25 mm'den daha az), süreksizlik aralığı 300 mm'den büyük olan ve genişliği 300 mm'den büyük temeller için geçerlidir. Sedimanter kayaçlarda bu eşitliğin kullanılabilmesi için tabaka düzlemleri yatay veya yataya çok yakın olmalıdır.



$$K_{sp} = \frac{3 + c/B}{10 \sqrt{1 + 300 \delta/c}}$$

c: Süreksizlik aralığı
 δ : süreksizlik açıklığı
 B: Temel genişliği
 $0.05 < c/B < 2.0$
 $0 < \delta/c < 0.02$ için geçerlidir

Şekil 2. Taşıma gücü katsayısı, K_{sp}

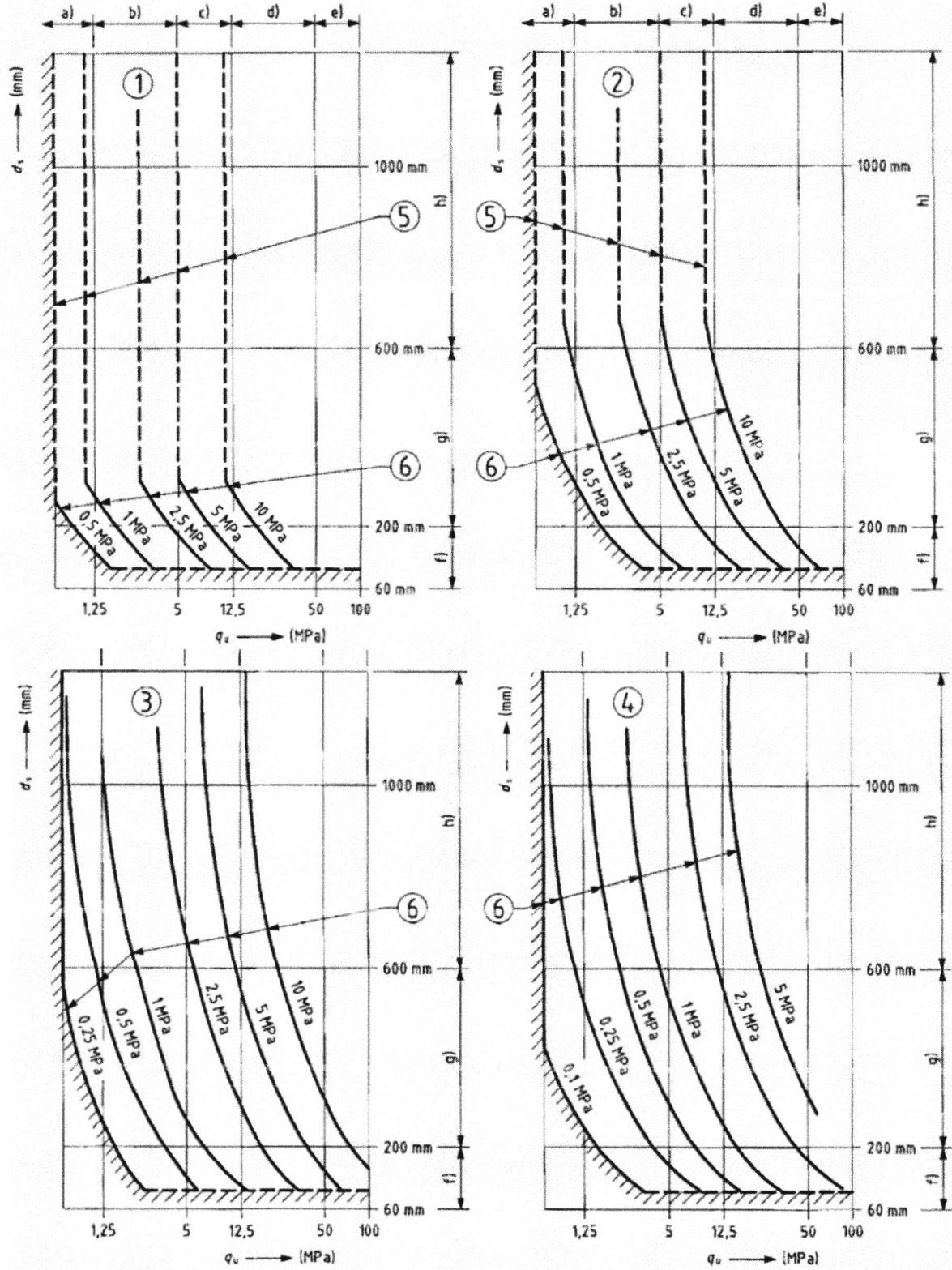
Tablo 1 ve Şekil 2' de sunulan taşıma gücü katsayısı (K_{sp}) süreksizliklerin varlığını ve boyut etkisini hesaba katar ve kayaya oturan temellerin emniyetli taşıma kapasitesinde nominal 3 güvenlik katsayısı içerir.

Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü İçin Amprik Yöntem

Kaya kütleleri için izin verilen taşıma gücü belirleme yöntemi Eurocode 7'de verilmektedir. Bu yöntemde zayıf – kırıklı kapalı süreksizliklere sahip kaya kütlelerinin taşıma gücü Şekil 3 kullanılarak belirlenir. Bu yöntem, üst yapının, temel genişliğinin % 0,5'i kadar bir oturmaya izin verebileceği kabulüne dayanmaktadır. Farklı oturma seviyeleri için izin verilen taşıma gücü değerleri doğru orantı ile belirlenir. Açık süreksizliklere sahip zayıf veya kırıklı kaya kütlelerinde ise Şekil 3'den belirlenen izin verilebilir taşıma gücü değeri azaltılmalıdır. Çizelge 2'de taşıma gücü yönteminde kullanılan kaya türleri grupları verilmiştir.

Çizelge 2. Taşıma gücü yönteminde kullanılan kaya türleri grupları (Eurocode 7)

Grup 1	Saf kireçtaşı ve dolomitler, düşük gözenekli karbonatlı kumtaşları.
Grup 2	Magmatik kayalar, oolitik – marn içeren kireçtaşları, iyi çimentolanmış kumtaşları, sertleşmiş – çimentolanmış çamurtaşları, sleyt – şist dahil metamorfik kayalar (düz klivaj ve foliasyonlu)
Grup 3	Çok marnlı kireçtaşları, zayıf çimentolu kumtaşları, sleyt – şistler (dik klivaj ve foliasyonlu)
Grup 4	Çimentolanmamış çamurtaşı ve şeyl birimleri.



Yatay eksen, q_u (MPa): Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı

Düşey eksen, d_s (mm): süreksizlik aralığı

1: Grup 1 kayalar 2: Grup 2 kayalar 3: Grup 3 kayalar 4: Grup 4 kayalar

5: Süreksizlikler kapalı ise izin verilen taşıma gücü kayacın tek eksenli basınç dayanımını aşmayacak, süreksizlikler açık ise izin verilen taşıma gücü bu değer % 50'si alınacak.

6: İzin verilen taşıma güçleri a) çok zayıf kaya b) zayıf kaya c) orta zayıf kaya d) orta sağlam kaya e) sağlam kaya

Süreksizlik aralıkları: f) yakın aralıklı süreksizlikler g) orta aralıklı süreksizlikler h) geniş aralıklı süreksizlikler

Şekil 3. Kaya kütesine oturan kare temeller için amprik taşıma gücü abağı (temel genişliğinin % 0,5'ini aşmayan oturma seviyesi için) (Eurocode 7).

Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücünün Belirlenmesinde RMR Puanı Kullanımı

Bieniawski tarafından geliştirilen RMR sistemi puanı, kaya kütlelerinin net izin verilen taşıma gücünün belirlenmesi amacıyla kullanılabilir (Mehrotra, 1992, Singh ve Goel, 1999). Çizelge 3’de RMR puanı, net izin verilebilir taşıma gücü tablosu sunulmuştur.

Çizelge 3. Kaya kütleleri için RMR puanına göre net izin verilebilir taşıma gücü değerleri (Mehrotra, 1992).

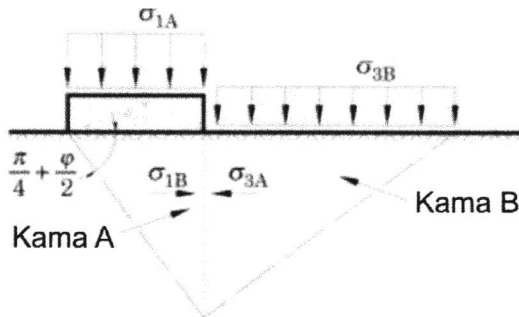
Kaya kütlesi sınıf No.	I	II	III	IV	V
Kaya kütlesi tanımı	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
q_a (ton/m ²)	600 - 440	440 - 280	280 - 135	135 - 45	45 - 30

Not: 1. Çizelge kullanılırken: RMR değerinin temel kotunun altında temel genişliğine eşit bir derinlikte belirlenmiş olması gerekir. Eğer temel genişliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü kadar bir derinlikte kayacın üst kesimleri düşük kaliteli ise, bu zayıf kısmın RMR puanı esas alınmalı veya kötü kaliteli bu kısım kazılarak yerine beton dökülmelidir. Çizelgedeki değerler belirli bir oturma sınırı esas alınarak önerildiğinden, temel kayacın içine gömülü şekilde inşa edilse de, çizelgeden seçilen değerlerde artış yapılmamalıdır.

2. Deprem yükleri söz konusu olduğunda, çizelgedeki izin verilebilir taşıma güçleri, kaya kütlelerinin reolojik davranışı da gözeticilerle % 50 oranında arttırılmalıdır.

Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü Hesabı İçin Teorik Yöntem (Wyllie (1992) Yöntemi)

Çok kırıklı veya nispeten az süreksizlik içeren masif kaya kütleleri için Şekil 4’de verilen yenilme mekanizmasını kullanılır.



Şekil 4. Wyllie (1992) kaya kütlesi taşıma gücü yöntemine göre göçme mekanizması.

Analizlerde eklemli kaya malzemesinin makaslama dayanımı parametreleri kullanılır. Şekil 4’de A kaması aktif kama, B kaması ise pasif kama. Yatay bir kaya yüzeyinde sonsuz uzunluğa sahip bir temel altındaki kaya kütlelerinin üç eksenli deneyine benzer bir

durumda olduğu varsayılır. Kayaç ağırlığı ihmal edilirse, A kamasındaki en büyük asal gerilme (σ_{1A}) temelden aktarılan gerilmeye eşittir. B kamasındaki kaya kütlesi de yatay yönde etki eden en büyük asal gerilme (σ_{1B}) ve en küçük asal gerilmenin düşey (σ_{3B}) durumda olduğu üç eksenli deney koşuluna benzetilir. Temel kaya yüzeyine oturuyorsa, en küçük asal gerilme (σ_{3B}) sıfır olacaktır. Şekil 4’de gösterilen A ve B kamaları yenildiğinde, A kamasına etki eden en küçük asal gerilme, B kamasındaki kaya kütlesinin tek eksenli sıkışma dayanımına eşit olacaktır. Bu koşullarda Hoek ve Brown (1980, 2002) yenilme kriteri uygulanılarak, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\sigma_{1A} = q_{ult} = s^{0,5} \sigma_{ci} (1+(ms^{-1/2} + 1)^{1/2})$$

q_{ult} : Nihai taşıma gücü,

σ_{ci} : Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı,

s, m: Hoek ve Brown yenilme kriteri sabitleri.

İzin verilebilir taşıma gücü ise:

$$q_a = [C_{fl}s^{0,5} \sigma_{ci} (1+(ms^{-1/2} + 1)^{1/2})]/G.K$$

olup, bu eşitlikte:

q_a : İzin verilebilir taşıma gücü,

C_{fl} : Temelin Şekline Bağlı Boyutsuz düzeltme faktörü (Çizelge 4)

G.K: Güvenlik katsayısı.

Çizelge 4. Temel şekline bağlı düzeltme faktörleri (L: uzunluk, B: genişlik) (Sowers 1970)

Temel Şekli		C_{fl}
Şerit (Sürekli, L/B>6)		1,00
Dikdörtgen	L/B=2	1,12
	L/B=5	1,05
Kare		1,25
Dairesel		1,20

Bu yöntemde kullanılan Hoek ve Brown yenilme kriteri sabitleri, Jeolojik Dayanım İndisi (GSI) kullanılarak belirlenir. Hoek ve Brown yenilme kriterinin ilk versiyonu kullanıldığından “a” parametresi 0,5 alınır. Miranda vd. (2012), Wyllie (1992) taşıma gücü eşitliğini genelleştirilmiş Hoek ve Brown (2002) yenilme kriterine adapte etmişlerdir. Bu eşitlik aşağıda sunulmaktadır.

$$\sigma_1 = q_{ult} = [s^a + (m_b s^a + s)^a] \sigma_{ci}$$

q_{ult} : Nihai taşıma gücü,

σ_{ci} : Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı,

s, m_b, a: Genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme kriteri sabitleri.

İzin verilebilir taşıma gücü ise, nihayi taşıma gücü (q_{ult}) temel faktörü (C_{fl}) ile çarpılıp, güvenlik katsayısına bölünerek elde edilir.

Wyllie (1992) tarafından geliştirilen eşitliklerde izin verilebilir taşıma gücünün hesaplanmasında temelin derinliğinin ve boyutlarının dikkate alınmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu eşitliğin temel derinliğinin etkisini dikkate alan türevi Wyllie (1999)'da verilmiştir.

Kaya Kütlelerinin Taşıma Gücü Hesabı İçin Kullanılabilecek Diğer Teorik Yöntemler

Zayıf ancak az kırıklı kaya kütlelerinde Bell çözümü kullanılarak taşıma gücü hesaplanabilir. Yöntemin deyatları Wyllie (1992) ve Ulusay ve Sönmez (2007)'de bulunabilir.

Serrano ve Olalla (1994) ve Serrano ve diğ. (2000) kırıklı kaya kütlelerinde taşıma gücünün hesaplanması için yine Hoek & Brown yenilme kriterini kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, temel derinliğini, yamaca yakın inşa edilmiş temelleri ve eğimli yüklerin etkisini de dikkate alabilen daha gelişmiş bir yöntemdir. Kaya kütlelerinin taşıma güçleri Serrano ve Olalla (1994) ve Serrano vd. (2000)'nin geliştirdiği yöntemle de hesaplanabilir.

Çok ayrışmış, çok zayıf kaya kütlelerinde presiyometre deneyinde limit basınç elde edilebiliyorsa, Menard tarafından geliştirilen yarı teorik yöntem ile net limit basınç değerlerinden taşıma güçleri bulunabilir.

Kaya Kütlelerine Oturan Sığ Temellerin Oturma Hesabı ve Değerlendirmesi

Kaya kütlelerinde oturma mekanizması, süreksizlik ve kaya malzemesinin özellikleri tarafından belirlenir. Kayaya oturan sığ temellerin tasarımında kaya kütlesi özellikleri uygunsa homojen ve izotrop varsayılabilir. Bu durumdaki kaya kütlelerinde oturma ani olarak gerçekleşir ve zamana bağlı etkiler içermez. Bu koşullarda kaya kütlesi için temsil edici bir deformasyon modülü ve Poisson oranı seçilerek, elastisite teorisi eşitlikleri ile oturmalar hesaplanabilir.

Aşağıda verilen elastisite teorisi eşitliği ile oturmalar hesaplanır.

$$\delta_v = \frac{C_d \Delta p B_f (1 - \nu^2)}{E_m}$$

δ_v : Oturma,

C_d : Temel şekil ve rijitlik faktörleri (Çizelge 5).

Δp : Temelden aktarılan gerilme,

B_f : Temel genişliği,

ν : Poisson oranı,

E_m : Kaya kütlesi deformasyon modülü.

Çizelge 5. Yarı sonsuz elastik ortam üzerindeki yüklü alanların oturma hesapları için şekil ve rijitlik faktörleri, C_d (Winterkorn ve Fang, 1975).

Şekil	Merkez	Köşe	Kısa kenarın ortası	Uzun kenarın ortası	Ortalama
Daire	1,00	0,64	0,64	0,64	0,85
Daire (rijit)	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Kare	1,12	0,56	0,76	0,76	0,95
Kare (rijit)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Dikdörtgen (uzunluk/genişlik)					
1,5	1,36	0,67	0,89	0,97	1,15
2	1,52	0,76	0,98	1,12	1,30
3	1,78	0,88	1,11	1,35	1,52
5	2,10	1,05	1,27	1,68	1,83
10	2,53	1,26	1,49	2,12	2,25
100	4,00	2,00	2,20	3,60	3,70
1000	5,47	2,75	2,94	5,03	5,15
10000	6,90	3,50	3,70	6,50	6,60

Elastik eşitlikler ile oturma hesaplanırken seçilen deformasyon modülünün kaya kütlelerini temsil ettiğinden emin olunmalıdır. Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesi için kaya kütlelerini test edebilecek boyutta arazi deneyleri (büyük çaplı plaka yükleme, dilatometre deneyleri vb.) yapılabilir. Bu mümkün olmadığında hem kaya malzemesi özelliklerini hem de süreksizlik özelliklerini dikkate alan kaya kütle sınıflandırma sistemleri (RMR, Q, gibi) ve GSI gibi indeks bir değer kullanılarak, kütle deformasyon modülü, amirik eşitlikler ile belirlenir (Örneğin Hoek ve Diederichs, 2006).

Bununla birlikte homojen ve izotrop yapıda olmayan, erime boşlukları ve yeraltı açıklıkları (örneğin maden galerileri) içeren, süreksizliklerin eğimli, tabaka kalınlıkları ve özelliklerinin değişken olduğu, ayrık fay ve makaslama zonu içeren ve krip davranışı gösteren kaya kütleleri gibi karmaşık jeolojik yapıya sahip birimlerde elastisite teorisi eşitlikleri ile oturma hesaplanması mümkün değildir. Bu türde karmaşık jeolojik yapıya sahip kaya kütleleri söz konusu olduğunda ve yapı yükleri nispeten yüksek olan riskli projelerde sonlu elemanlar, sonlu farklar, ayrık elemanlar gibi sayısal analiz yöntemleri ile deformasyon analizleri yapılmalıdır.

Kaya Kütlelerinde Şev Duraylılığı Analizi Değerlendirmeleri

Kaya kütlelerinde şev yenilme mekanizması genellikle süreksizliklerin yönelimleri ve özellikleri tarafından belirlenmektedir. Zemin ve kaya birimlerde, stabilite analizi değerlendirmelerinde tüm ilgili duraysızlık modellerinin dikkate alınması gerekmektedir. Süreksizlik içeren birimlerde duraysızlık yüzeyinin geometrisinin kısmen veya tamamen süreksizlikler tarafından denetlenmektedir. Çok zayıf kaya malzemesi veya çok kırıklı – parçalanmış kaya kütlelerinde, zeminlerde gözlendiği gibi dairesel kayma türü duraysızlık oluşabilmektedir. Duraysızlık mekanizması devamlılığı yüksek ve kesişen süreksizlikler üzerinde gelişiyor ise süreksizlik ve şev geometrisine bağlı olarak düzlemsel kayma, üç boyutlu kama tipi kayma ve devrilme türü duraysızlıklar oluşabilmektedir. Kayma düzlemi - mekanizması ayrık süreksizlikler ile kontrol ediliyorsa, süreksizliklerin makaslama dayanımı uygun deneysel yöntemler ve arazi ölçümleri ile belirlenmelidir.

Kaya kütlelerinde şev stabilitesi değerlendirmelerinde öncelikle süreksizliklerin ve şevin yöneliminin dikkate alındığı kinematik analizler stereonet tekniği ile yapılmalı, olası yenilme türleri belirlendikten sonra uygun limit denge analizleri yapılmalıdır. Kaya kütlelerinde dairesel yenilme mekanizması bekleniyorsa, kaya kütlelerinin makaslama dayanımı uygun bir yöntem ile (örneğin GSI kullanılarak Hoek ve Brown yenilme kriteri ile) belirlenerek limit denge ve/veya sayısal analizler yapılmalıdır. Şeve yakın veya şev üzerinde temel tasarımında taşıma gücüne ilaveten temel yükleri etkisinde şev stabilitesi değerlendirmeleri de dikkate alınmalıdır. Karmaşık duraysızlık türlerinin (farklı duraysızlık mekanizmalarının bir arada görüldüğü yenilme türleri) beklendiği karmaşık jeolojiye sahip kaya kütlelerinde ayrık elemanlar gibi sayısal analiz tekniklerinin kullanılması gereklidir.

Referanslar

Canadian Foundation Engineering Manual, 2006, Canadian Geotechnical Society.

CEN 2004. Eurocode 7 Geotechnical Design – Part 1: General Rules.

Eurocode 7., 2004, Geotechnical design. Part 1, General rules.

Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE **106** (GT9), 1013-1035.

Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002, Hoek – Brown Failure Criterion – 2002 Edition, Proc. NARMS – TAC Conference, Toronto, 267 – 273.

Hoek, E., Diederichs, M. S., 2006, Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43, 203 – 215.

Mehrotra, V. K., 1992, Estimation of Engineering Properties of Rock Mass, Ph.D. Thesis, Uttarakhand, India, IIT Roorkee, p. 267.

Miranda, T., Martins, F., Araujo, N., 2012, Design of Spread Foundations on Rock Masses According to Eurocode 7, Harmonising Rock Engineering and the Environment – Qian & Zhou eds., Taylor & Francis.

Serrano, A. and Olalla, C. 1994. Ultimate bearing capacity of rock masses. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr 31:93–106.

Serrano, A., Olalla, C. and González, J. 2000. Ultimate bearing capacity of rock masses based on the modified Hoek-Brown criterion. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 37: 1013–1018.

Singh, B., Goel, R. K., 1999, Rock Mass Classification, Elsevier.

Sowers, G. F., 1970, Introductory Soil Mechanics and Foundations, Macmillan, New York.

Ulusay, R., Sönmez, H., 2007, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayını.

Wang, J., Thusyanthan, N I, 2008, Evaluating Foundation Design Concepts of Eurocode 7&8, Proceedings of the BGA International Conference on Foundations, Dundee, Scotland, 24 – 27 June 2008. IHS BRE Press.

Winterkorn, H. F., and Fang, H., 1975, Foundation Engineering Handbook. 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, NY.

Wyllie, D. 1992. Foundations on rock. E & FN Spon.

Wyllie, D. 1999. Foundations on rock, Second Edition, E & FN Spon.