

ÇOK SIRALI ÖNGERMELİ KALICI KAYA ANKRAJLARI ARASI YATAY MESAFENİN 3D SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF THE HORIZONTAL DISTANCES BETWEEN MULTI-ROW PRESTRESSED ROCK ANCHORS BY 3D FINITE ELEMENT ANALYSES

Özgen KÖKTEN ¹, Yusuf YAŞAR ²

ÖZET

Kayada oluşan heyelanların veya kaya kazı şevlerinin düzenlenmesi ve desteklenmesinde yaygın olarak kullanılan çok sıralı kalıcı öngermeli kaya ankrajların hesap ve tasarım ilkeleri ile beraber ankrajların birbirleriyle olan etkileşimlerinin de iyi değerlendirilmesi gerekir. Bu çalışmada, mevcut kaya bir şevde oluşan heyelan esas alınarak bir vaka analizi özelinde; çok sıralı kalıcı öngermeli kaya ankrajların kök bölgeleri arasındaki etkileşimleri yapılan 3 boyutlu nümerik analizler ile değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde kademeli bir şekilde artırılarak uygulanan tasarım öngörme yükleri altında, tek bir ankraj ve şevlerde yer alan çok sıralı ankrajların birbirleriyle olan etkileşimleri, meydana gelmesi muhtemel olan çekme konileri ve etki sınırları araştırılmıştır. Tasarlanacak öngermeli kalıcı kaya ankrajların uluslararası şartnamelerde belirtilen tasarım kriterlerini sağlayarak ankrajlar arasında ki güvenli mesafenin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öngermeli ankraj, heyelanlar, 3D model, kaya ankraji, sonlu elamanlar

ABSTRACT

In order to support and rehabilitation of landslides and cut slopes in rock, the calculation and design principles of the prestressed rock anchors and their internally interactions might be well evaluated in 3D dimensional space. In this study, the interactions and horizontal space optimizing of the multi row prestressed rock anchors in a real rock landslide area are evaluated by the performed 3D finite element analyses. The interactions between anchors, possible tension cones and its influence zones have been evaluated with take in consideration incremental loads up to service load for single and multi-row anchors. Within the scope of this study, it is aimed to determine the safe distance between the anchors by providing the design criteria specified in the international specifications of the prestressed permanent rock anchors to be designed.

Keywords: Prestressed anchors, landslides, 3D model, rock anchors, finite element

¹İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., ozgen.kokten@temelsu.com.tr
(Sorumlu Yazar)

²İnşaat Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., yusuf.yasar@temelsu.com.tr

1. GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında bir vaka analizi özelinde, yaşanan heyelan nedeni ile yerinde göçme veya kayma yenilmesine uğramış kaya şevlerin düzenlenmesi ve desteklenmesi, uluslararası şartname ve kodlarda belirtilen tasarım kriterleri göz önüne alınarak kalıcı öngermeli halat kaya ankrajların projelendirilmesi ve aralarındaki güvenli yatay mesafenin optimize edilerek belirlenmesi amaçlanmıştır. Meydana gelen şev kaymasının geometrisi ve sınırları, şevlerde oluşan çatlaklar, yaşanan göçmenin olası nedenleri ve şev kayma mekanizmaları ile ilgili olarak geoteknik değerlendirmeler yapılmıştır. Olası yeni kaymaların önlenmesi ve şevlerin daha stabil hale getirilerek uluslararası şartnamelerce tanımlanan gerekli güvenlik düzeyine taşınabilmesi için yapısal elemanlar ile birlikte öngermeli kaya ankrajlarının etkin olarak kullanıldığı şev destekleme sistemi ileri nümerik analizler ile tahkik edilerek projelendirilmiştir.

Bildiri kapsamında destekleme sistemini oluşturan elemanlar özelinde çok sıralı kalıcı öngermeli kaya ankrajların tasarım ilkeleri ile yatay mesafelerinin optimisasyonu için yapılan çalışmalara ve değerlendirmelere yer verilecektir.

2. JEOLJİK VERİLER

Şev düzenlemeleri ve desteklemeleri heterojen yapıda kıltaşı, kumtaşı ve silttaşı ardalı anizotrop çok parçalı fliş kaya birim içerisinde gerçekleştirilecektir. Çalışma alanında toplam derinliği 753.0 m olan 16 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Fliş kaya birimler özelinde Hoek & Marinos, 2001, tarafından GSI (Geological Strength Index) üzerinden heterojen kaya kütlelerinin, flişin jeoteknik özelliklerinin tahmini için yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak RMR: 30, GSI: 25 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Sahada yer alan fliş kayadan görünüm

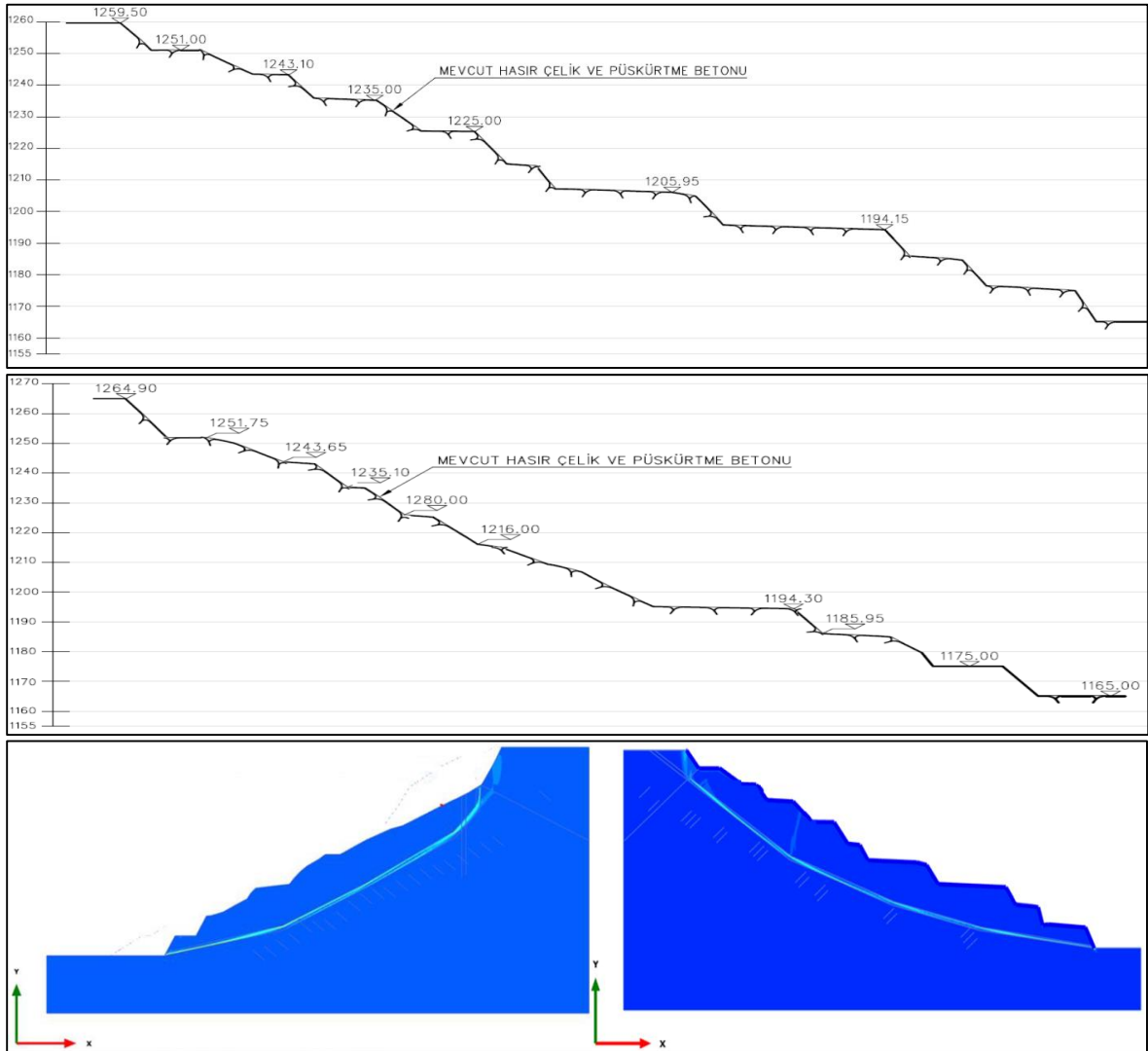
Kritik analiz kesitleri Plaxis 2D paket programı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan geri analizler sonucunda olası kayma yüzeyinin derinliği ve malzeme parametreleri saha verileri ile yapılan sondaj ve laboratuvar çalışmaları birlikte değerlendirilerek belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan malzeme parametreleri ve bünne modelleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan malzeme parametreleri ve malzeme modelleri

Parametre	Fliş	Kumtaşı
γ (kN/m ³)	22	24
c (kN/m ²)	50	200
Φ (°)	30	30
E (kN/m ²)	600000	2000000
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb

3. GERİ ANALİZLER

Bu çalışma kapsamında şevlerin düzenlenmesi ve desteklenmesi amacıyla kalıcı öngermeli ankrajlar kullanılmıştır. Yapılan saha incelemelerinde, şevlendirme sonrasında kayma yaşanan bölgeden alınan güncel harita ve parametrik hassaslık analizleri birlikte değerlendirilmiştir. Toptan kaymaya karşı limit durumda güvenlik sayısını “1” veren olası kayma düzleminin en derin yerde arazi yüzeyinin yaklaşık 25 m altından geçeceği yapılan analizler ile belirlenmiştir. Bu kapsamda, tasarlanan öngermeli ankrajların serbest halat boyları 27 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Kritik analiz kesitleri ve geri analiz sonucu oluşan kayma yüzeyleri

4. ÖNGERMELİ KAYA ANKRAJİ TASARIMI

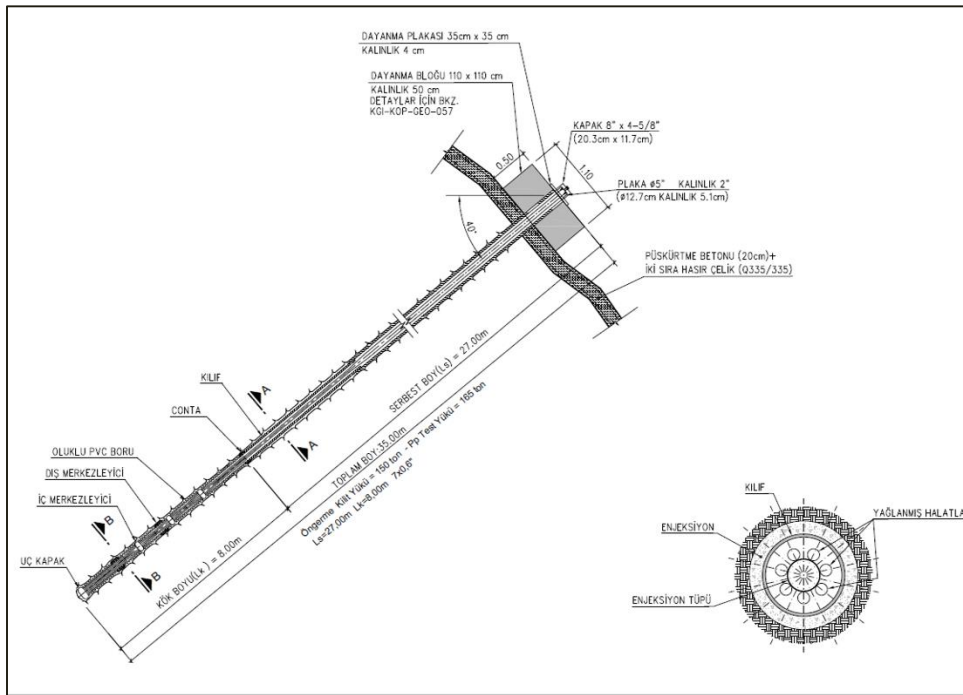
Kalıcı öngermeli ankrajların kök bölgesi uzunluğu $L_b = 8$ m ve ankraj delgi çapı $d = 0.20$ m olarak seçilmiştir. Seçilen kök bölgesi uzunluğu için ankrajların taşıyabileceği nihai yük miktarının hesaplanmasında kullanılacak güvenlik sayısı değeri BS 8081, Code of Practice for Grouted Anchors (2015) şartnamesinde servis süresi $t > 2$ yıl olan kalıcı ankrajların kök bölgesi – zemin ara yüzeyi için önerilen F.S. = 3.0 olarak seçilmiştir.

Kumtaşı birimde teşkil edilecek olan ankraj kök bölgesi için ara yüz kök bölgesi dayanımı en olumsuz durum göz önüne alınarak, Littlejohn, G.S. ve Bruce, D.A.,1975, Xanthakos,P. 1991 ve FHWA–IF–99–015, 1999 şartnamesi tarafından önerilen değerler esas alınarak $\tau = 0.90$ MPa olarak belirlenmiştir.

Kaya birimde teşkil edilecek ankraj kök bölgeleri için seçilen $\tau = 0.90$ MPa enjeksiyon – zemin ara yüzeyi arası dayanımı ve 8 m ankraj kök bölgesi boyu için hesaplanan güvenlik sayısı (F.S. = 3.02) ile ilgili hesap çıktısı Şekil 3'te paylaşılmaktadır. Kullanılan tipik ankraj kesiti ise Şekil 4'te gösterilmiştir.

	L_b : Kök Boyu / Bond Length (m)	8
	τ_w : Mobilize Olan Kök Dayanımı / Mobilized Bond Strength(kPa)	900
	d : Ankraj Deliği Çapı / Anchor Hole Diameter(m)	0.2
	$F.S_{des}$:Tasarım Güvenlik Faktörü / Design Factor of safety	3
	$P = \tau_w * \pi * d * L_b$	
	P_{ult} : Nihai Ankraj Yüğü / Ultimate Anchor Load (ton)	452.4
	P_{mob} : Mobilize Maks. Ankraj Yüğü / Max Mobilized Anchor Load (ton)	150.0
	P_{des} : Tasarım Ankraj Yüğü / Design Anchor Load	150.0
	$\frac{P_{ult}}{P_{des}} = 3.02 \geq F.S_{des} = 3.00$	OK
	P_{kilit} : Ankraj Kilit Yüğü / Anchor Lock Load (ton), $1.15P_{des}$	173

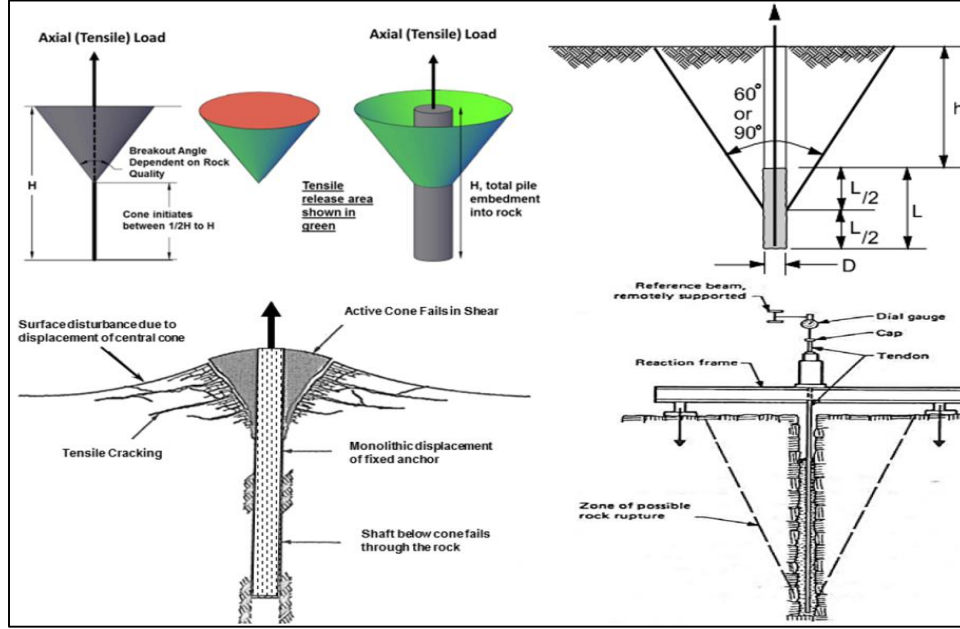
Şekil 3. Ankraj tasarım öngerme yükü



Şekil 4. Tipik öngermeli ankraj kesiti

5. ÖNGERMELİ KAYA ANKRAJLARDA SIYRILMA TAHKİKİ

Kayaya uygulanan öngermeli ankrajların emniyetli limit çekme dayanımlarının, kök bölgeleri etrafında kayanın uygulanan çekme kuvveti altında bir blok olarak sıyrılarak yenilmesini durumu için tipik olarak Şekil 5'te gösterildiği gibi koni biçimli bir hacmin etkin ağırlığına karşılık geldiği varsayılmaktadır (Weerasinghe ve Littlejohn, 1997).



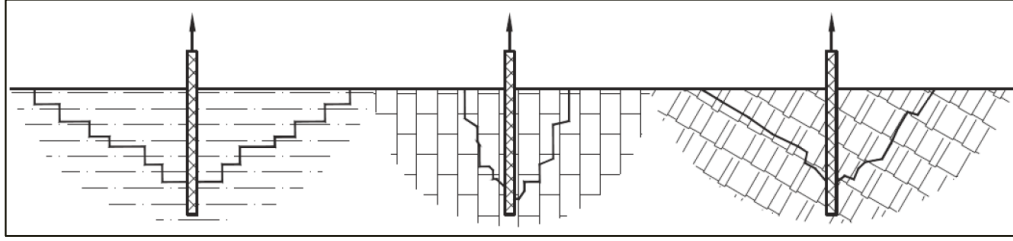
Şekil 5. Tek bir öngermeli ankraj için koni geometrisi ve yükleme durumu (Carter,1995, Weerasinghe ve Littlejohn, 1997, Panton 2016)

Hesaplamalarda, kaya kütlesi ile sıyrılmaya çalışan blok ara yüzeyindeki kayma dayanımı genellikle güvenli tarafta kalınması amacıyla göz ardı edilmektedir. Belirlenen koninin içindeki kaya hacmin ağırlığı, tasarım ankraj yükünden daha büyükse, kaya ara yüz kayma dayanımı ihmal edildiğinden ankraj servis öngerme yükü yeter emniyet ile güvenli olarak kabul edilir.

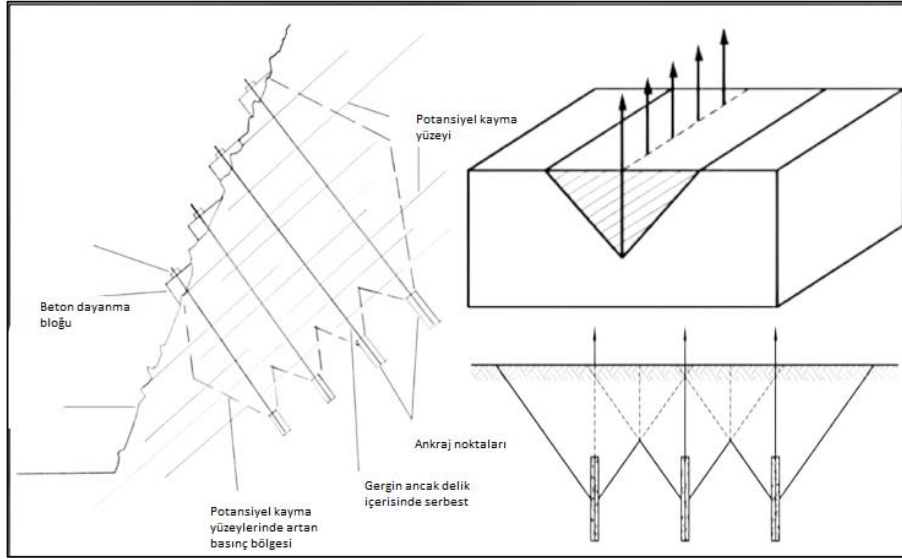
Genel kabul gören uluslararası literatürde çekme konisinin, ankraj kök bölgesinin orta noktasından yüzeye doğru, 60° ile 90° derece arasında tepe açısı ile geliştiği kabul edilmektedir (Saliman ve Schaefer, 1968, Littlejohn, 1976, Wylie 1999, Kim ve Lee, 2005, Thomas ve Lepine, 2014 ve Brown, 2016).

Çekme konisinin tepe açısının seçilmesinde 60° çok ayrılmış – ayrılmış kaya türleri, 90° ise diğer tüm kaya türleri için önerilmektedir. Ancak bununla birlikte kaya türü, ayrışma ve dayanım derecesi ile süreksizliklerin yönlerine göre kırılma tepe açısı değişkenlik göstermektedir.

Şev üzerinde teşkil edilen öngermeli ankrajların güvenli olarak tasarlanabilmesi için, mobilize olan blokların birbiriyle etkileşimleri ile kaya içerisinde mevcut bulunan süreksizliklerin çekme konisi üzerinde Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilen etkileri tasarımda dikkate alınmalıdır.



Şekil 6. Kaya süreksizliklerinin çekme konisi üzerindeki etkisi (Panton 2016)



Şekil 7. Çok sıra ankraj için koni geometrisi ve yükleme durumu (Brown, 2015)

5.1. Analitik Hesaplamalar

Tek bir öngermeli ankraj için, ankraj sırası boyunca birim uzunluk başına mevcut dayanım direncini vermek için aşağıdaki formül kullanılabilir. Burada; "s" ankrajlar arasındaki mesafeyi " θ_c " ise kayma konisinin açısını temsil etmektedir. Yapılan hesaplamalar neticesinde ankraj için belirlenen öngörme kuvvetinin güvenli olduğu anlaşılmıştır.

$$Q_{ru} = \frac{1\gamma}{2s} \left(D + \frac{L}{2} \right)^2 \tan \frac{\theta_c}{2} \quad (1)$$

Öngermeli Ankrajların Tasarımı			
s:	6.00	m	
γ	22.00	kN/m ³	
L:	27.00	m	
D:	8.00	m	
θ _c	60	derece	
A	170.41	m ²	
P	150.00	ton	
			$Q > P$
			Güvenli
			$Q_{ru} = 489.28 \text{ kN/m}^2$
			$Q = 8337.826 \text{ ton}$
s:	ankrajlar arası mesafe		
γ	kaya birim hacim ağırlık		
L:	Kök boyu		
D:	yüzeyden gömme uzunluğunun tepesine veya yakın ucuna kadar olan derinlik		
θ _c	Koni açısı(60-90)		
A	Kapalı alan ağırlığı (tek ankraj için)		
P	Gerilme		

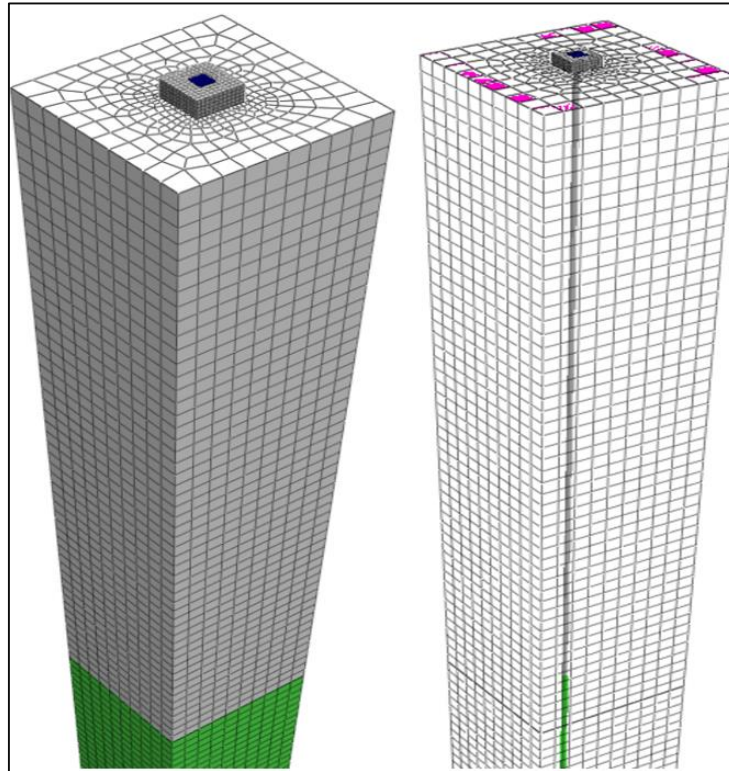
Şekil 8. Kök bölgesi – kaya çekme tahkiki

5.2. 3 Boyutlu Nümerik Analizler ve Ankraj Öngörme Yüğü

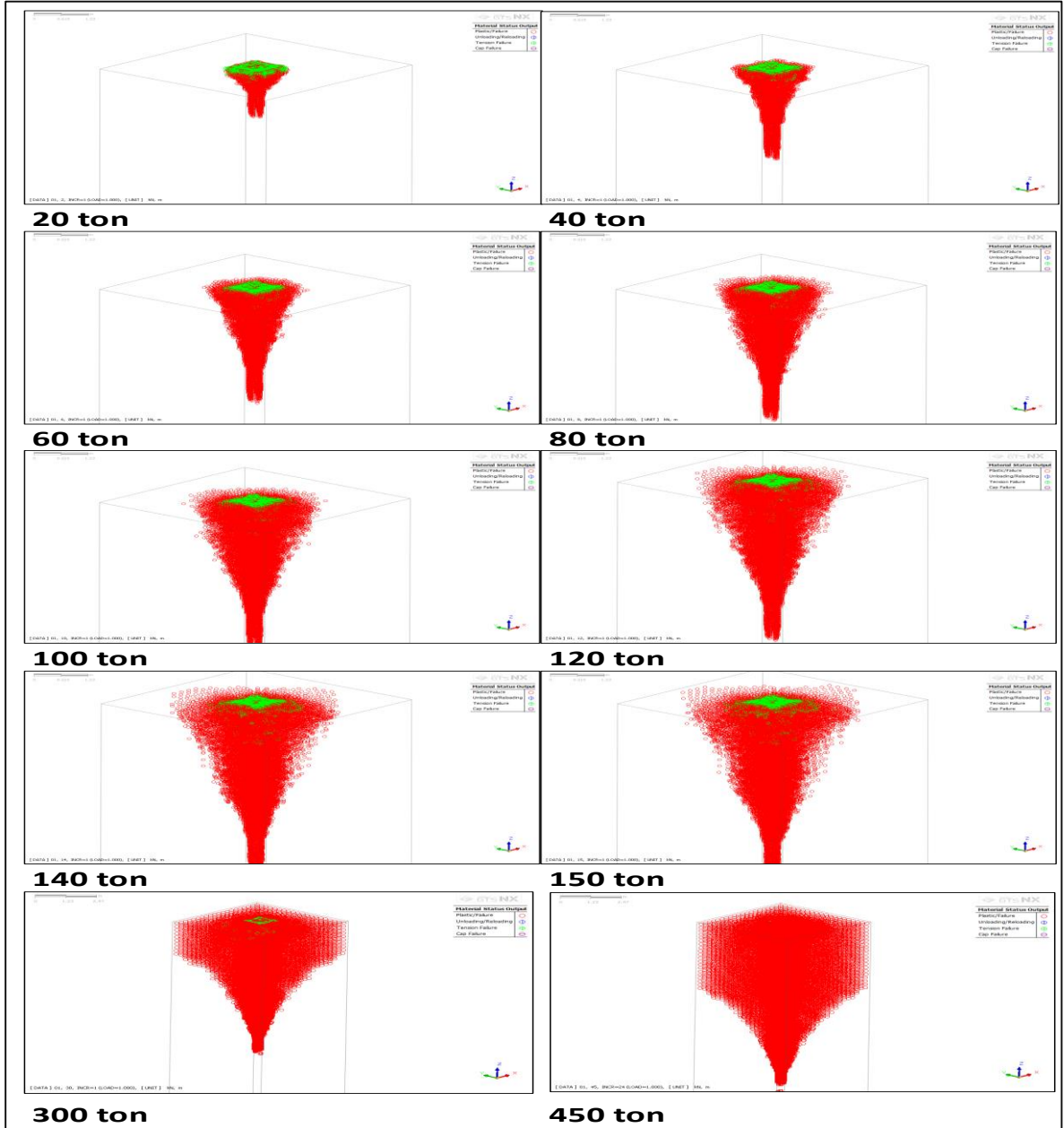
Tek bir ankrajın servis öngörme çekme kuvveti altında kök bölgesi ve kaya birim ile etkileşimi Midas Gts Nx 3D paket bilgisayar programı ile elasto – plastik bünye (malzeme) modelleri kullanılarak üç boyutlu modellenerek sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Hazırlanan nümerik modelde tek bir öngermeli halat ankraj ve şevde çok sıra ankraj, çelik plak ve betonarme dayanma bloğu ile birlikte püskürtme beton dikkate alınarak artan yük kademeleri ile tasarım servis yükü olan 150 ton ve nihai davranışını görebilmek için 300 ton ve 450 ton öngörme kuvveti modele girilmiş ve analiz edilmiştir. Şevlerde teşkil edilecek birden fazla sayıdaki ankraj için 6 x 6 m yerleşim deseni esas alınmıştır. Analizlerde kullanılan yapısal malzemelere ait malzeme modelleri, özellikleri ve parametreleri Tablo 2’de sunulmuştur . Buna göre tek bir ankraj ve şevde çok sıra ankrajlı durum için yapılan analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan yapısal elemanların malzeme modelleri ve özellikleri

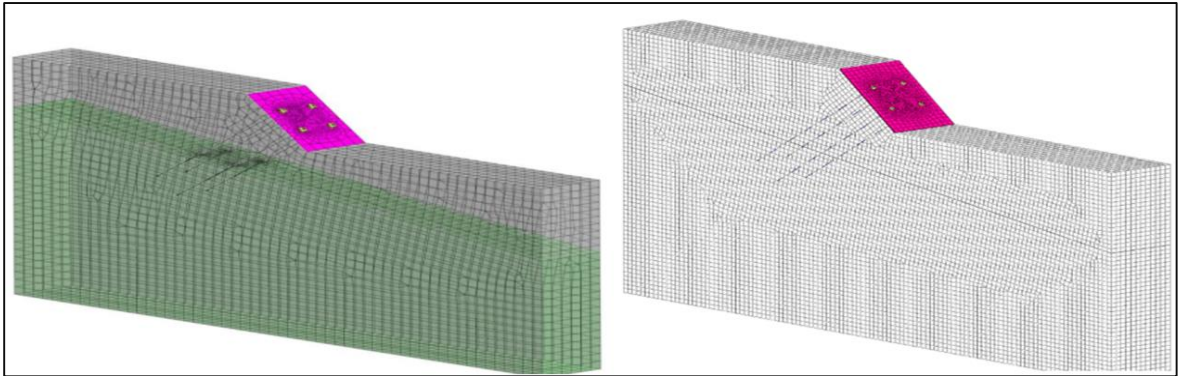
Parametre	Enjeksiyon	Çelik Halat	Çelik Levha	Püskürtme Beton	Beton Blok
Malzeme Modeli	Elastik	Elastik	Elastik	Elastik	Elastik
Malzeme Özelliği	Katı model	Gömülü Kafes	Katı model	Katı model	Katı model
E (N/mm ²)	28000	200000	200000	28000	32000



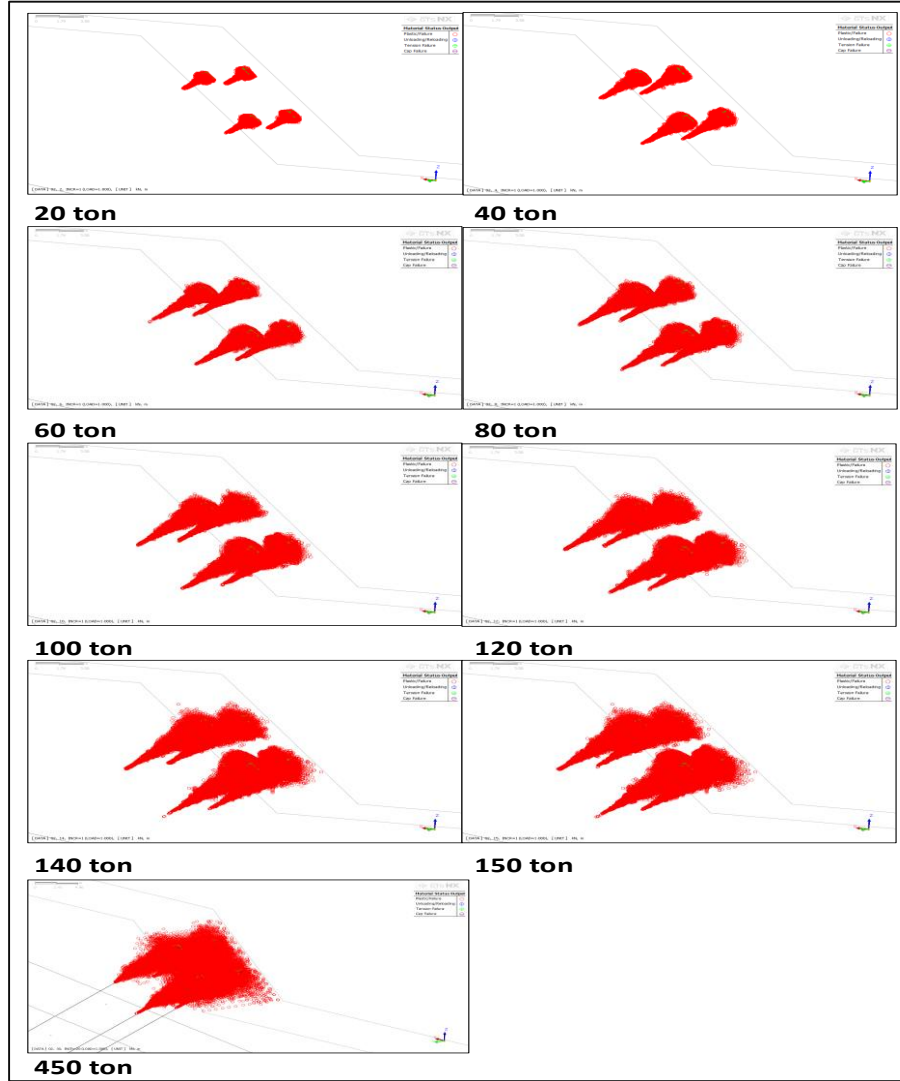
Şekil 9. Midas Gts Nx 3D tek ankraj nümerik modeli



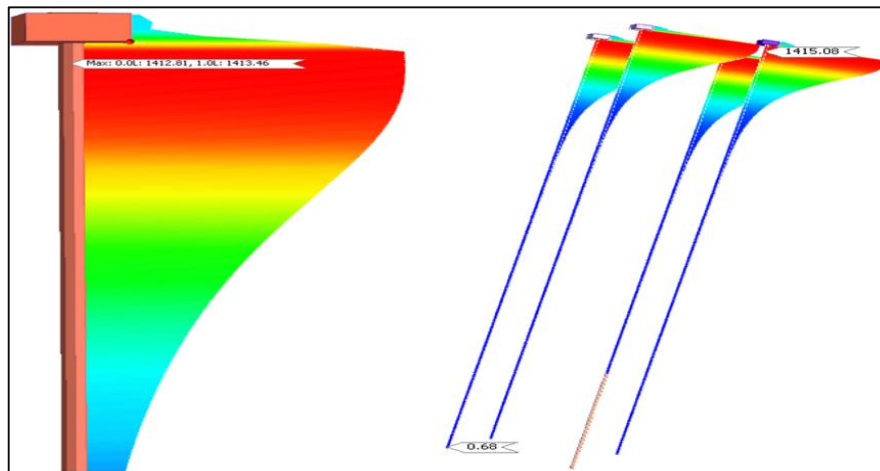
Şekil 10. Tek bir ankraj için artan yüklere karşı gelişen plastik nokta dağılımı ve çekme konisi gelişimi



Şekil 11. MIDAS Gts Nx 3D şevde çok sıra ankraj modeli



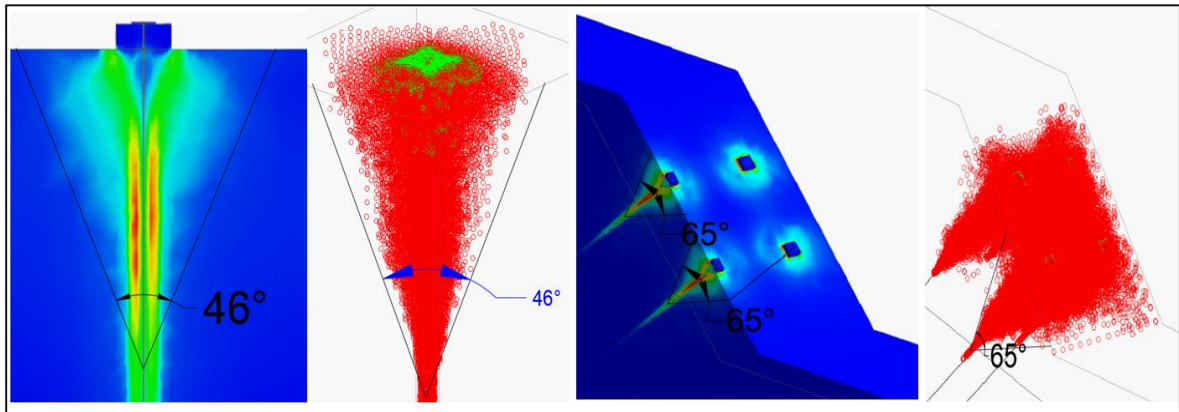
Şekil 12. Şevde çok sıra ankraj için artan yüklere karşı gelişen plastik nokta dağılımı ve çekme konisi gelişimi



Şekil 13. 150 ton servis tasarımı yükü altında tek ve çok sıralı ankrajlarda oluşan aksel çekme kuvveti diyagramı, 150 ton

Analiz sonuçlarına göre ankraj kök bölgesinde kaya ile etkileşen kısımda kaya kayma birim şekil değiştirmeler yönünde zorlanan bir bölge gözükmemekte ve davranış beklenildiği gibi oluşmaktadır. Bu durum ankraj kök bölgesinin yeter güvenlikle hizmet vereceğini göstermektedir. Analizlerde çekmeye bağlı etkin bölge sınırları paylaşılan konik davranış ile oldukça uyumlu niteliktedir.

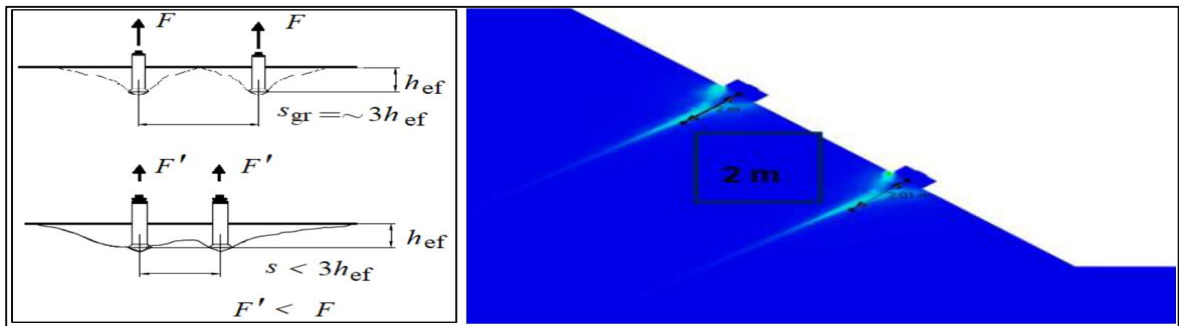
Nümerik yaklaşım ve benzer şekilde analitik olarak literatürde Littlejohn (1993) ve Brown (2015) tarafından paylaşılan yayınlarda gösterilen yöntem ile yapılan hesaplamalarda uygulanacak öngörme servis yükü nedeni ile kaya içerisinde ankraj kök bölgesinde bir çekme yenilmesi oluşmayacaktır.



Şekil 14. 450 ton nihai yük altında tek bir ankrajda oluşan çekme konisi, kayma birim şekil değişime, plastikleşen bölge ve 46 derece tepe açısı

Öngermeli halat ankrajlar için seçilen 6 m yatay mesafe Jonak ve diğ. (2020) tarafından yayımlanan ayrıca Elgehausen ve diğ. (2014); Ballarini ve diğerleri 2017; Lehr B, 2003; El Sharnouby, M., (2010) tarafından da belirtilen kriterler esas alınarak belirlenmiştir.

Belirtilen referanslarda, teşkil edilecek öngermeli ankrajların grup olarak birlikte çalışması için tanımlanan $s_{gr} \leq 3h_{ef}$ kriteri esas alınmıştır. Burada h_{ef} yüzeye yakın bölgede oluşan koninin derinliğini temsil etmektedir.



Şekil 15. Ankraj yatay aralığı sınırı

Midas GTS NX 3D sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan elasto plastik analizlerde aşağıda Şekil 15'de gösterildiği gibi h_{ef} değeri 2 m olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda ankrajların çekme konilerinin birbiriyle etkilenmemesi için gerekli minimum ve grup olarak etkin çalışabilmesi için gerekli limit yatay mesafe 6 m olarak hesaplanmıştır.

6 m yatay aralıklı, 27 m serbest boya ve 8 m kök boyuna sahip 150 ton öngermeli ankrajlar için yapılan hesap sonuçlarına göre 150 ton tasarım öngerme kuvveti altında kaya – kök bölgesi etkileşimi oldukça güvenli olarak yeterli güvenlik sayısını sağlamaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında bir vaka analizi ile şevde teşkil edilen çok sıra öngermeli kaya ankrajların arasındaki güvenli ve etkin mesafenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca birbirleriyle olan etkileşimlerinin görülebilmesi için analitik ve nümerik olarak hesaplamalar yapılmıştır. Midas Gts Nx 3D programı ile yapılan analizlerde tek bir ankrajın ve şevli bir yüzeydeki çok sıralı ankrajların çekme konisi geometrisi ve tepe açısı kayma birim deformasyon ve plastikleşen bölgeler dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında çekme konilerinin etkileşimleri, aralarında kalan mesafe ve ankraj çelik halatında meydana gelecek olan aksenal kuvvetler değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler ile tek bir ankraj için çekme konisi tepe açısı 46° , şevde teşkil edilen çok sıralı ankrajlarda ise Şekil 15.'de gösterildiği üzere 65° olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin uluslararası genel kabul gören literatürde kaya ayrışma ve dayanım durumlarına göre önerilen 60° ve 90° değerleri ile oldukça uyumlu olduğu değerlendirilmektedir (Saliman ve Schaefer, 1968, Littlejohn, 1976, Wylie 1999, Kim ve Lee, 2005, Thomas ve Lepine, 2014 ve Brown, 2016).

Midas Gts Nx 3D programı ile tek sıra ve şevde teşkil edilen çok sıra öngermelei ankrajlar için yapılan öngerme simülasyonlarında, öngerme yükü 20 ton ile başlatılarak kademeli olarak arttırılmış, servis tasarım yükü olan 150 ton denetlenmiş ve nihai ankraj öngerme yükü olan 450 tona kadar simülasyona devam edilmiştir (Şekil 11 ve Şekil 13). Yapılan simülasyon ile artan öngerme yükleri ile çekme konisinin gelişimi artımsal olarak gösterilmiştir.

Yapılan ankraj yükleme simülasyonda 450 ton nihai yükleme altında gerek tek sıra gerekse şevde çok sıralı ankrajlarda elde edilen mobilize kayma birim şekil değiştirmesi değerleri incelendiğinde Şekil 15.'de gösterildiği üzere oldukça yüksek ve yenilmeyi tarif eden kırmızı ile taralı değerler ve sağlımlar elde edilmiştir. Bu değerler Şekil 5.'de analitik olarak BS 8081, Code of Practice for Grouted Anchors (2015) ve FHWA (1999) uluslararası şartnameleri esas alınarak hesaplanan 450 ton ankraj kapasite değeri ile oldukça uyumludur.

Bununla birlikte şevde çok sıralı ankrajlar için yapılan analizler ile elde edilen efektif çekme konisi etki derinliği h_{eff} : 2 m olarak hesaplanmıştır. Vaka analizinin projelendirilmesinde efektif grup davranışı için ankrajlar arası yatay mesafenin s_{gr} optimize edilmesinde esas alınan $s_{gr} \leq 3h_{ef}$ kriteri ile elde edilen çekme konisi etkileşimlerinde birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Analiz sonuçlarına göre, ankraj kök bölgesinde kaya ile etkileşen kısımda kaya kayma birim şekil değiştirmeler yönünde zorlanan bir bölge gözükmemekte ve davranış beklenildiği gibi oluşmaktadır. Bu durum ankraj kök bölgesinin yeter güvence ile hizmet vereceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Analysis of the Rock Failure Cone Size Relative to the Group Effect from a Triangular Anchorage System, Jonak, J., 2020
- British Standart, BS 8081, Code of practice for Ground Anchorages, 2015
- Brown, E.T., Rock engineering design of post-tensioned anchors for dams - A review, 2015 FHWA-IF-99-015, Geotechnical Engineering Circular No. 4, Ground Anchors and Anchored Systems, P.J. Sabatini, D.G. Pass, R.C. Bachus, 1999
- Hongran, C. ve Siqing, Q A physical model predicting instability of rock slopes with locked segments along a potential slip surface, 2017
- Jonak ve diğerleri, "Numerical analysis of the effect of embedment depth on the geometry of the cone failure", Journal of Physics: Conference Series, 2020
- Littlejohn GS. "Overview of rock anchorages", 1993. In: Hudson JA, Brown ET, Fairhurst Littlejohn, G. S., & Bruce, D. A.. "Rock anchors-state of the art. Part 1: design". Ground Engineering, 8(3), 1975.
- Littlejohn G.S. and Bruce D.A., "Rock anchors – design and quality control". In Fairhurst, C. & Crouch, S. L. (Eds.), Design Methods in Rock Mechanics, 1977, Proceedings of the 16th Symposium on Rock Mechanics. pp 77-88
- Littlejohn, G. S., Bruce, D. A., & Deppfier. "Anchor Field Tests in Carboniferous Strata", 1977.Revue Franoise Geotechnique, 82-86.
- Hoek E, eds. Comprehensive Rock Engineering. Oxford: Pergamon Press, 1993, 4: 413-50
- Panton B., D. Elmo, J. Carvalho and E.T. Brown, "Numerical simulation of rock cone pullout and the influence of discrete fracture network statistics on foundation anchor capacity",2015.
- Proceedings of the 13th ISRM Congress. Montreal, May 10-13th. Paper 711
- Petros P. Xanthakos, "Ground Anchors and Anchored Structures, 1991
- Saliman, R. and Schaefer, R., "Anchored Footings for Transmission Towers", 1968, ASCE Annual Meeting and National Meeting on Structural Engineering, Pittsburg, PA, Sept. 3~Oct. 4, Preprint 753. pp.15-38
- Thomas-Lepine, "Rock bolts – improved design and possibilities" MSc Thesis Norwegian University of Science and Technology, 2012, Trondheim.
- U.S. Department of Transportation, FHWA, Geotechnical Engineering Circular No. 4, "Ground Anchors And Anchored Systems", 1999
- Wyllie D.C., "Foundations on rock: engineering practice" (2nd ed.),1999, E & FN Spon, London

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
γ	Birim Hacim Ağırlık	P_{kilit}	Ankraj Kilit Yüğü
c	Kohezyon	P_{des}	Tasarım Ankraj Yüğü
Φ (°)	İçsel Sürtünme Açısı	P_{mob}	Mobilize Ankraj Yüğü
E	Elastisite Modülü	P_{ult}	Nihai Ankraj Yüğü
A	Alan	τ	Nihai Kök Bölge Dayanımı
S_{gr}	Yatay Mesafe	t	Servis Süresi
h_{ef}	Koninin Derinliği	d	Ankraj Deliğı Çapı
F_{max}	Maks. Taşıma Yüğü	L_b	Kök Bölgesi Uzunluğu
RMR	Kaya kütle değeri	GSI	Jeolojik dayanım indeksi