

# GROVAK BİRİMLERDE PASİF ANKRAJ KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

## DETERMINATION OF SOIL NAIL CAPACITY IN GREYWACKE FORMATION

Arif ÇINAR<sup>1</sup> Osman PEKARUN<sup>2</sup> Bora BERK<sup>3</sup> Kaan DOĞANIŞIK<sup>4</sup>

### ABSTRACT

A research study is presented in which the performance, pullout capacity and design parameters of permanent soil nails in the greywacke rocks of the Istanbul are investigated. In order to determine the failure mechanism of the soil nails, pullout tests have been performed on 6 of the soil nails. For this specific project, the critical failure mechanism for the soil nails have been determined as yielding of the rebar. The critical, long term axial capacity of the rebar have been determined using equations and methods that estimate the corrosion rate. The corrosion calculations estimate the reduction of 32 mm rebar diameter from 32 mm to 28.3 mm and the corresponding allowable axial tensile capacity as 140 kN.

Keywords; permanent soil nails, pull out test, allowable tensile capacity, greywacke, corrosion, sacrificial thickness

### ÖZET

Bu çalışma, İstanbul'da grovak formasyonlarda yapılan kalıcı pasif ankraj projesi, pasif ankrajlar üzerinde yapılan çekme deneyi ve kalıcı iksa tasarım parametrelerini içermektedir. Grovak zeminde yapılan kalıcı pasif ankrajlı sistemin göçme mekanizmasını belirlemek için sahada yapılan 6 adet pasif ankraj üzerinde çekme deneyi yapılmıştır. İncelenen proje için kritik göçme mekanizmasının, ankraj donatısının akması olduğu tespit edilmiştir. Uzun dönem stabilite tahkiklerinde riskli görülen donatının eksenel kapasitesi, çeşitli bağıntılar ve yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, projede pasif ankraj donatısı olarak seçilen  $\phi 32$  mm çapındaki nervürlü inşaat demirinin, proje ömrü sonunda yaklaşık 28.3 mm çapında olacağı ve güvenilir eksenel kapasitesinin 140 kN mertebesinde olacağı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler; kalıcı pasif ankraj, çekme testi, güvenilir taşıma kapasitesi, grovak, korozyon, pasif kalınlık

<sup>1</sup> İnş. Müh., ÇINAR, A., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti. İstanbul, Türkiye, arifcinar@geobos.com

<sup>2</sup> İnş. Yük. Müh., PEKARUN, O., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti. İstanbul, Türkiye, pekarun@geobos.com

<sup>3</sup> İnş. Yük. Müh., BERK, B., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti. İstanbul, Türkiye, berk@geobos.com

<sup>4</sup> İnş. Müh., DOĞANIŞIK, K., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti. İstanbul, Türkiye, kdoganisik@geobos.com

## 1. GİRİŞ

Korudukları yapının proje ömrüne bağlı olmakla beraber genelde 30 ile 100 yıl proje ömrüne sahip iksalara kalıcı iksa denilmektedir. Kalıcı iksa tasarımında geçici iksalardan farklı olarak, uzun dönem tasarım parametreleri ve farklı güvenlik katsayıları kullanılmaktadır. Pasif ankrajlarla oluşturulan kalıcı iksa yapılarında dışsal ve içsel stabiliteye bağlı güvenlikler araştırılırken, tasarım için gerekli iksa elemanının proje ömrü sonundaki mukavemetini öngörmek gerekmektedir. Uzun dönem için etkili olacak donatı mukavemeti, donatının çapına bağlı olarak değişmektedir. Gömülü yapılarda donatının çapı korozyon sebebiyle zaman içerisinde azalmaktadır. Kapasite hesaplamalarında son derece önemli olan korozyonun önlenmesi için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Genel olarak donatının kaplanması veya kılıf içerisinde korunması bu yöntemlerdendir. Zaman içerisinde oluşacak korozyon miktarının belirlenmesi ve tasarımlarda bu kalınlığın ihmal edilmesi de diğer bir yöntemdir. Gömülü yapılarda zaman içerisinde oluşacak korozyon miktarının belirlenmesi için Romanoff (1957), Elias (1990) ve Anderson (1996) gibi araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada ikinci yöntem kullanılarak kalıcı pasif ankrajlı iksa için proje ömrü sonunda oluşacak etkili donatı alanı ve pasif ankraj kapasitesi araştırılmıştır.

## 2. PROJE BİLGİLERİ

İncelenen proje, İstanbul Ümraniye bölgesinde yer almaktadır. Proje kapsamında, doğal arazi eğiminin %15 olduğu, bitkisel toprak kaplı arazi üzerinde yapılması düşünülen yapı için, arsanın 280 m uzunluğundaki bir cephesinde kalıcı iksa yapılacaktır. Kalıcı iksanın proje ömrü 70 yıl olarak düşünülmüştür. İksa yüksekliği 4 ile 11 m arasında değişmektedir.

### 2.1. Zemin Koşulları

İnceleme alanının genel jeolojisi, İstanbul genelinde hakim Trakya Formasyonunu oluşturan Kıltaşı-Kumtaşı (grovak) birimlerden oluşmaktadır. Birçok derin kazı projesinde karşılaşılan grovak sedimenter kayaç türlerindedir. Arazi genelinde 13 adet sondaj yapılmış, bu sondajların tamamında ağız kotundan itibaren kahve - açık kahve renkli grovak birimler geçilmiştir. Alt karbonifer yaşa sahip bu birimler ayrışmış - az ayrışmış nitelikte ve çatlaklı yapıdadırlar. Bu birimler için ortalama RQD (kaya kalitesi sınıflaması) değeri yaklaşık 13'tür. Çeşitli derinliklerde alınan numuneler üzerinde nokta yükleme deneyi yapılmış ve  $I_s = 1.8$  ile 11.2 MPa arasında değişen noktasal yük dayanımları elde edilmiştir.

### 2.2. İmalat Bilgileri

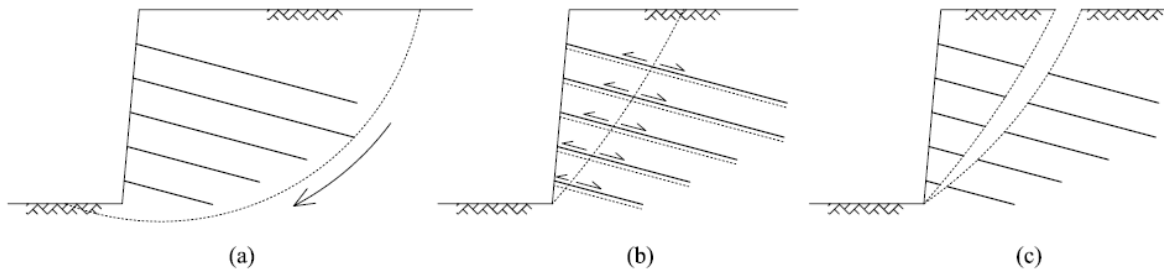
Pasif ankrajlı iksa imalatı, kademeli kazılarla ve yukarıdan aşağı inilerek yapılmaktadır. Bu yöntemde, göçmeye karşı donatılı doğal bir kütle yaratılır, donatılar arasında oluşacak yerel göçmeler için de yüzey kaplama elemanı kullanılır. Donatılar genelde nervürlü inşaat demiri ile oluşturulurken, kaplama elemanı hasır çelik ve püskürtme betondan oluşmaktadır (Şekil 1). Kalıcı iksalarda ankraj elemanlarının korozyona karşı korunması büyük önem taşımaktadır. Bu projede ankraj elemanları üzerinde, donatıların zemine temasını engelleyen özel merkezleyiciler ve donatılar korozyona karşı koruyan antipas boya kullanılmıştır.



Şekil 1. Pasif ankraj elemanları (Ankraj donatısı ve hasır çelik - püskürtme beton)

### 2.3. Tasarım Bilgileri

Pasif ankrajlı iksa projesi kapsamında, sistemin muhtemel göçme mekanizması, sistemin tamamını ele alan dışsal stabilite ve ankraj elemanlarının davranışını inceleyen içsel stabilite olarak sınıflandırılmaktadır. Dışsal stabilite analizlerinde, ankraj elemanları ile tutulu kütlelerin tamamının bir bütün olduğu kabulü yapılır. Bu sistemde göçmenin, ankraj elemanları ile tutulu kütlelerin dışında herhangi bir düzlemde oluşacağı varsayımı geçerlidir (Şekil 2.a). İçsel stabilite hesaplamalarında sistemin davranışını sınırlayan kriterler, enjeksiyon - zemin arasındaki sürtünme, ankraj donatısı - enjeksiyon arasındaki sürtünme (Şekil 2.b) ve ankraj donatısı akma dayanımıdır (Şekil 2.c). Hesaplamalarda bu kriterlerin tamamı dikkatlice değerlendirilmelidir.



Şekil 2. Pasif ankrajlı sistemlerde oluşabilecek muhtemel göçme mekanizmaları

Enjeksiyon-zemin arasındaki sürtünme direnci, imalat yapılan zeminin dayanımı, plastisitesi ve dane çapı dağılımına bağlıdır. Ayrıca delgi yöntemi ve enjeksiyon basıncıda sürtünme direncini etkileyen önemli faktörlerdendir. Pasif ankraj donatısı olarak nervürlü inşaat demirinin seçilmesi, ankraj donatısı-enjeksiyon arasında mekanik kenetlenme sağlayarak sürtünmenin artmasında önemli rol oynamaktadır.

Pasif ankrajlı iksa projelerinde yatay yükün tamamı pasif ankrajlarla taşınır. Ankrajlara gelen yükün ankrajın aksel kapasitesini aşması, sistemin göçmesine yol açacaktır. Ankrajın aksel kapasitesi, malzemenin akma dayanımı ve enkesit alanı ile doğrudan bağlantılıdır. Özellikle kalıcı iksa yapılarında, zaman içerisinde oluşacak korozyon nedeniyle donatının enkesit alanının ve dolayısıyla aksel kapasitesinin azalacağı unutulmamalıdır.

İncelenen projede, grovak zeminde yapılan kalıcı iksa sisteminde, yukarıda anlatılan içsel göçme mekanizmalarından hangisinin kritik olduğunu anlamak için sahada pasif ankraj çekme deneyi yapılmıştır.

### 3. PASİF ANKRAJ ÇEKME DENEYİ

İnceleme alanında yapılması planlanan kalıcı iksa yapısı için gerçekleştirilecek içsel göçme mekanizmasının araştırılması amacıyla projede kullanılan 4, 7 ve 10 m boyundaki 6 adet pasif ankraj üzerinde çekme deneyi yapılmıştır. Değişik yük kademelerinde, pasif ankrajlarda oluşan deplasmanlar kaydedilmiş ve göçme oluşana kadar bu işlem sürdürülmüştür.

#### 3.1. Deney Düzenegi

Deney, enjeksiyonları 14 gün öncesinde yapılan pasif ankrajlar üzerinde yapılmıştır. Ankraj kafasından hidrolik piston yardımı ile çekilen ankrajlar için reaksiyon shot-crete yüzeyden alınmıştır. Reaksiyon bölgesinde oluşacak gerilmelerin ankrajı etkilememesi için pasif ankrajların ilk 1 m'lik kısmı enjeksiyonlanmamıştır. Deneyde kullanılan malzemeler (Şekil 3);

- 1 adet 80 ton kapasiteli hidrolik kriko ve piston;
- 1 adet 3 ayaklı denge sehpası;
- 2 adet çelik dengeleme plakası;
- 2 adet 0.01 mm duyarlıklı komparatör.



Şekil 3. Deney düzeneginin genel görüntüsü

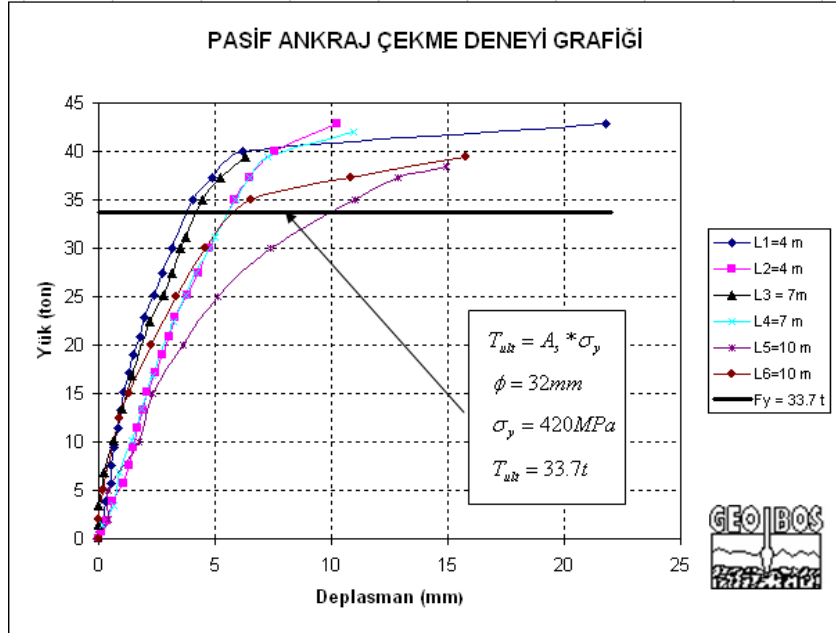
#### 3.2. Deney Yöntemi

Deney, literatürde tanımlanan kontrollü deplasman testi (Clouterre, 1991) referans alınarak yapılmıştır. Göçmenin tam olarak hangi mekanizmadan kaynaklandığını görmek için

literatürde önerilenden farklı olarak göçme oluşuncaya kadar, proje yükünün %25'lik dilimleri şeklinde artan yükler uygulanmıştır. Her yük kademesinde 5 dakika beklenerek ara okumalar alınmıştır. Okumalar pasif ankraj kafasından ve reaksiyon sağlayan shot-crete yüzeyden 2 ayrı komparatör kullanılarak alınmıştır.

### 3.3. Deney Sonuçları

Yapılan 6 adet çekme testi için yük-deplasman grafiği Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Pasif ankraj çekme deneyi sonuçları (yük-deplasman grafiği)

1. Tüm deney donatıları donatısının akma dayanımının aşılması nedeniyle göçmüştür.  $\sigma_y=420$  MPa akma dayanımı ve 32 mm çapındaki donatılar  $T_{nih} = 33,7$  ton nihai eksenel çekme kapasitesine sahipken, yaklaşık 38 ton yük altında akmıştır. Eksenel çekme kapasitesi arasındaki bu farkın üreticiden kaynaklandığı düşünülmektedir.
2. En kısa donatının ( $L_{min}=4$  m) bile akma dayanımına ulaşması, pasif ankraj eksenel kapasitesinin projede kullanılan ankraj boylarından bağımsız olduğunu göstermektedir.
3. Enjeksiyon-zemin arasında sıyrılma oluşmadığı için grovak birimlerin sürtünme direnci tam olarak belirlenememiştir.
4. İlgili projede kritik içsel göçme mekanizmasını, donatının akma dayanımının belirlediği anlaşılmıştır.

Kalıcı iksa ömrü boyunca donatının korozyona maruz kalacağı ve en kesit alanının küçüleceği bilindiğinden, uzun dönem için donatının alanında ve dolayısıyla kapasitesindeki değişim büyük önem kazanmaktadır.

## 4. PROJE ÖMRÜ SONUNDAKİ ANKRAJ DONATISI KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Kalıcı iksa projelerinde, ankraj elemanlarının korozyona karşı korunması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; plastik ve çelik koruma kılıfı kullanılması, galvanizleme yapılması, plastik bazlı kaplama kullanılmasıdır.

Diğer bir yöntem ise oluşabilecek korozyon için pasif bir kalınlık kullanılmasıdır (Clouterre, 1991). Bu yöntem, ankraj donatısının yıllar içerisinde korozyona uğrayacağı ve korozyona uğrayacak kalınlığın kapasite hesaplarında ihmal edilmesi gerektiği prensibine dayanır. Yıllar içerisinde donatının korozyona maruz kalarak kalınlığının bir kısmını kaybetmesi olayı Romanoff (1957), Elias (1990), Anderson (1996) vb. araştırmacılar tarafından araştırılmış ve çeşitli bağıntılar geliştirilmiştir. Aşağıda bu bağıntılar incelenmekte ve her yöntem için proje ömrü sonunda oluşabilecek donatı çapı belirlenmektedir.

### 4.1. Romanoff (1957) Yöntemi

Romanoff (1957) gömülü metal elemanlarda korozyon miktarının belirlenmesi için aşağıda yer alan denklemi geliştirmiştir.

$$\Delta a = A * t^r \quad (1)$$

$\Delta a$  = İhmal edilecek kalınlık/yarıçap ( $\mu\text{m}$ )

A = Sabit ( $\mu\text{m}$ )

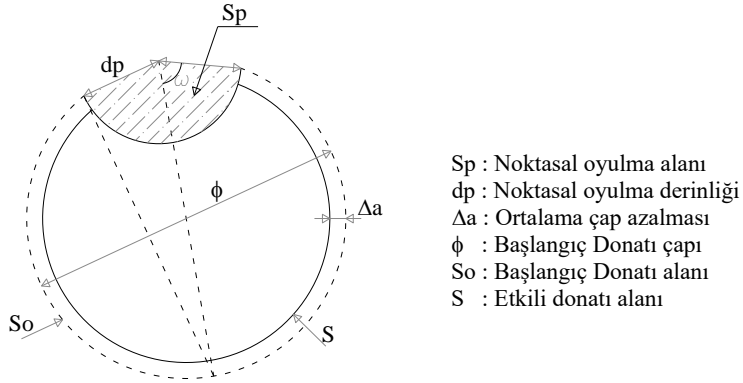
t = Zaman (yıl)

r = Katsayı

Bu modele göre normal zemin koşullarında (pH = 5-9), gömülü metal donatılar için A = 40 ve r = 0.8 değerleri alınabilir. (Kentucky Transportation Center, University of Kentucky, 2005). Proje ömrü (t) 70 yıl olarak planlanan bu projede Formül 1. kullanılarak, pasif ankraj için ihmal edilecek kalınlık değeri  $\Delta a = 1.2$  mm hesaplanmaktadır. Bu değer yarıçapta oluşacak kayıp olduğu dikkate alındığında, 32 mm çapındaki pasif ankraj donatısının çapı proje ömrü sonunda  $32 - 1.2 * 2 = 29.6$  mm olarak hesaplanabilir.

### 4.2. Earth Reinforcement (1996) Yöntemi

Bu yöntemde Romanoff (1957) tarafından geliştirilen denkleme (Formül 1) ek olarak, malzeme şekline bağlı bir katsayı kullanılmaktadır. Korozyona uğrayacak yüzeyde üniform kesit azalmasının yanında, noktasal oyukların oluşacağı varsayımı yapılır (Smith A. vd., 1996). Bu yöntemde, noktasal oyukların ( $S_p$ ) kritik kesitte yalnızca bir noktada yer aldığı, noktasal oyuklar dışında düzgün ve eşit kalınlıkta ( $\Delta a$ ) korozyon olduğu ve noktasal oyukların yarı dairesel olduğu kabulü yapılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Korozyon etkisi altındaki donatı enkesiti

Bu oyuk noktalarında birikecek gerilme artışı nedeniyle, elemanın çekme mukavemetinde oluşan azalma ( $\Delta T$ ) kesitinde oluşan azalmaya ( $\Delta S$ ) oranla daha fazla olacaktır (Smith A. vd., 1996). Enkesit alanı ve çekme dayanımındaki azalma arasında K gibi bir katsayı tanımlanmaktadır.

$$\frac{\Delta T}{T} = K * \frac{\Delta S}{S} \quad (2)$$

Şekil faktörü olarak adlandırılan K ( $K > 1$ ), kesitin boyutuna ve cinsine bağlı olarak değişmektedir. K katsayısı için yapılan çalışmalarda *Reinforced Earth* imalatlarında kullanılan dikdörtgen kesitli metal şeritler için bulunan değerlerin yuvarlak donatılar için bulunan değerlerden küçük olduğu anlaşılmaktadır (Smith A. vd., 1996). Dolayısıyla proje ömrü sonunda metal şeritlerde oluşacak kalınlık azalması, yuvarlak donatılarda oluşacak çap azalmasına oranla daha az olmaktadır. Ayrıca K katsayısı, yuvarlak donatılarda kalınlık artışıyla beraber düşmektedir.  $\Delta a = 0.2$  mm kalınlık kaybı için, metal şerit (50 mm x 4 mm) donatıda  $K=1.78$  ve  $\phi 6$  mm çapındaki donatıda  $K=3.11$  iken bu değer  $\phi 10$  mm çapındaki donatı için 2.56 olmaktadır (Anderson vd., 1996). Aşağıdaki denklemler kullanılarak K katsayısı hesaplanabilir.

$$\Delta S = \pi * (\phi - \Delta a) * \Delta a \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{1.1}{\Delta a} \quad (4)$$

$$K = 1 + \frac{\lambda * Sp}{\Delta S} \quad (5)$$

Bu projede kullanılan  $\phi 32$  donatı için  $K=1.87$  olarak hesaplanmıştır. Şekil faktörü (K) ve enkesitte oluşacak alan azalması ( $\Delta S$ ) kullanılarak proje ömrü sonunda etkili enkesit alanı ( $S_{ec}$ ) hesaplanabilir.

$$S_{ec} = S_o - K * \Delta S \quad (6)$$

Formül 7. kullanılarak, etkili alan için geçerli çap azalması ( $E_s$ );

$$E_s = \phi - \sqrt{\frac{4 * S_{ec}}{\pi}} \quad (7)$$

$E_s = 4.7$  mm olarak hesaplanmaktadır. Buradan da proje ömrü sonunda 32 mm çapındaki donatının  $\phi_{eff} = 32 - 4.7 = 27.3$  mm kalınlığında olacağı hesaplanmaktadır.

#### 4.3. Clouterre (1991) Yöntemi

Bu yöntemde korozyona uğrayacak elemanın içerisinde bulunduğu zeminin cinsi, rezistivitesi, su içeriği ve pH değerine bağlı çeşitli katsayılar (A) kullanılarak sabit bir korozyon indeksi bulunur (Tablo 1). Yapılacak yapının önemine göre belirlenecek yapı önem katsayısı da (C) dikkate alınarak toplam korozyon indeksi ( $\Sigma I = \Sigma A + C$ ) belirlenir (Clouterre, 1991).

Tablo 1. Toplam korozyon indeksi

Kriter	Özellik	A İndeksi
Zemin Cinsi	Kil - Kum	2
Rezistivite (p, ohm/cm)	$5000 < p$	0
Su içeriği (%w)	$w < 20$	0
pH	5 - 6	2
<b>Toplam İndex (<math>\Sigma A</math>)</b>		<b>4</b>

Laboratuarda %20 'lik çözelti içerisinde yapılan deney sonucunda proje bölgesinden alınan grovak birimler için yaklaşık 6 pH değeri elde edilmiştir. İksa yüksekliğinin 10 m'den daha fazla olduğu, ağır trafik yükü ve yapılar altında yapılacak veya korozyon özelliği fazla olan atık sularla beslenen zeminlerde yapılacak kazılar için C indeksinin 2 veya üstü alınması önerilmektedir (Clouterre, 1991). Söz konusu proje bu risklerden uzak bir iksa planlandığından, standart yapılar için alınması önerilen  $C = 0$  değeri alınmıştır. Proje ömrü 70 yıl olarak planlanan iksa için, ilgili parametreler kullanılarak ihmal edilmesi gereken kalınlığın 4 mm olduğu hesaplanmıştır. Buna göre 32 mm çapındaki pasif ankraj donatılarının proje ömrü sonunda  $32 - 4 = 28$  mm olacaktır.

## 5. GÜVENİLİR EKSENEL KAPASİTE VE ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ

Proje ömrü boyunca korozyona uğrayacak ve çaplarında azalma meydana gelecek olan pasif ankraj donatılarının güvenilir aksenal kapasitesi, Fransız Standart Birliği (AFNOR), İngiliz Standardı (BS) ve Amerikan Karayolları ve Ulaştırma Ofisi (AASHTO) standartları kullanılarak hesaplanmıştır. Kapasite hesaplarında kullanılacak güvenlik katsayıları standartlar arasında farklılıklar göstermektedir (Anderson vd., 1996). Bu çalışmada AASHTO ve Federal Karayolları Yönetimi (FHWA) tarafından kalıcı yapılarda kullanılan metal donatılar için önerilen  $AF = 0.55$  azaltma faktörü kullanılmıştır. Proje ömrü sonunda oluşacağı hesaplanan efektif en kesit alanı ( $A_s$ ) kullanılarak, pasif ankrajların proje ömrü sonundaki güvenilir aksenal kapasiteleri (T) hesaplanmıştır.



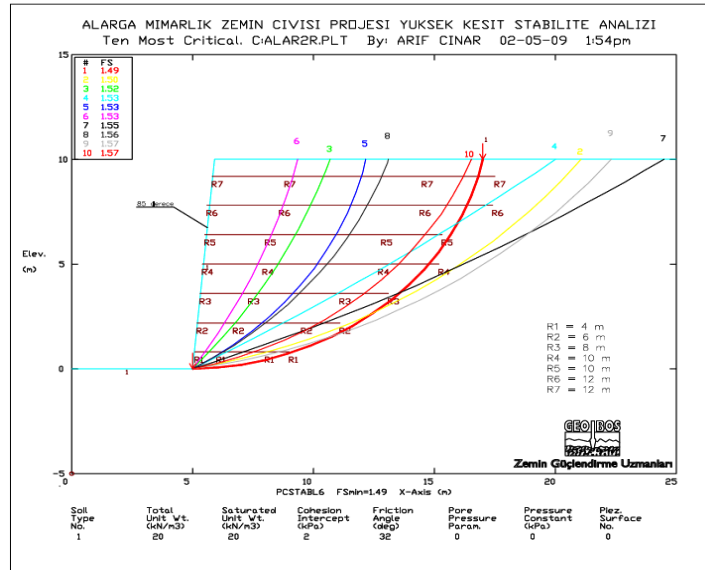
$$T = AF * \sigma_y * A_s \quad (8)$$

Proje kapsamında kullanılan S420 inşaat demiri için, akma dayanımı  $\sigma_y = 420$  MPa kabul edilmiştir. Bu değer kullanılarak  $\phi 32$  mm çapındaki pasif ankraj donatısının proje ömrü sonundaki güvenilir eksenel kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kalıcı Pasif ankraj donatısı için güvenilir kapasite değeri.

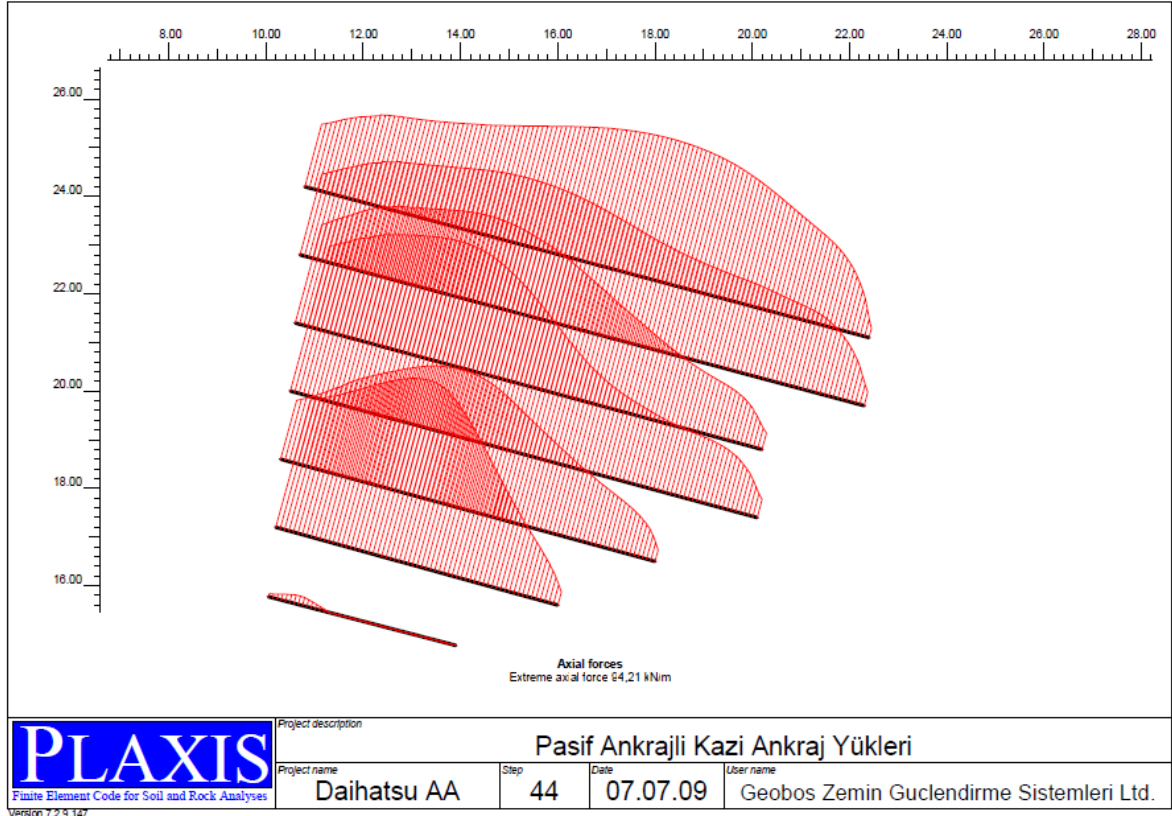
Yöntem	Etkili Çap (mm)	T (kN)
Romanoff, 1957	29.6	159
Earth Reinforcement, 1996	27.3	135
Clouterre, 1991	28.0	142

Proje ömrü 70 yıl olarak planlanan pasif ankrajlı iksa için yukarıdaki tabloda yer alan kapasite değerleri karşılaştırılmış ve eksenel ankraj kapasitesi 140 kN kabul edilmiştir. Bu değer ve grovak için kabul edilen uzun dönem mühendislik parametreleri ( $c'$ ,  $\phi'$ ) kullanılarak Stable v.6 ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile çalışan Plaxis v.7.2 bilgisayar programları ile yapılan dışsal stabilite tahkiklerinde sistemin dışsal stabilite güvenlik katsayısı statik durumda sırasıyla 1.49 ve 1.41 olarak bulunmuştur (Şekil 6). Stable v.6 programı ile yapılan dinamik analiz sonucunda güvenlik katsayısı 1.10 bulunmuştur.



Şekil 6. Dışsal stabilite analizi sonucu (Stable v.6).

Plaxis v.7.2 programı kullanılarak modellenen kazı sonrasında zemin çivileri üzerinde 94 kN/m (141 kN) eksenel yük oluşmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Zemin çivileri üzerinde oluşacak en büyük eksenel kuvvet değeri (Plaxis v.7.2)

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda yatayda ve düşeyde sırasıyla 1.5 m ve 1.4 m aralıklarla toplam 1700 m<sup>2</sup> iksa alanında 7000 m pasif ankraj imalatı yapılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Bitmiş projeden genel görünüm.

## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada grovak birimlerde yapılan kalıcı bir iksa örneği incelenmiştir. Pasif ankrajlarla desteklenen kalıcı iksa için kritik içsel göçme mekanizmasının belirlenmesi amacıyla sahada çekme deneyleri yapılmıştır. Değişik boylardaki pasif ankrajlar göçme oluşana kadar çekilmiştir. Çekme deneyi sonucunda, kritik içsel göçme mekanizmasının ankrajın sıyırılması ile değil, donatının akması ile oluşabileceği görülmüştür. Tasarım için ankraj donatısının kapasitesinin birinci derecede önemli olduğu anlaşılmıştır. Proje ömrü sonunda ankraj donatısının en kesit alanının ne olacağı, çeşitli yöntemler ve bağıntılar kullanılarak araştırılmıştır. 70 yıl proje ömrüne sahip bu proje için güvenilir pasif ankraj kapasitesinin 140 kN mertebesinde olacağı hesaplanmıştır. Bu değer sadece grovak

zeminde yapılan ilgili proje için geçerlidir. Belirlenen tahmini çap ve eksenel kapasite değerleri kullanılarak, Plaxis v.7.2 ve Stable v.6 programları yardımıyla yapılan şev satabilitesi analizlerinde toptan göçmeye karşı sırasıyla 1.41 ve 1.49 güvenlik katsayıları elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, çivilerde oluşacak en büyük eksenel yük değerinin 141 kN olacağı bulunmuştur. Eksenel kapasitenin belirlenmesinde, zeminin rezistivitesi, pH değeri, su içeriği, projenin önemi, ankraj elemanının şekli ve boyutu gibi birçok değişkenin kullanıldığı dikkate alınarak her proje için ayrı hesaplamaların yapılması uygun olacaktır. Kalıcı iksa sistemlerinde ankraj elemanlarının korozyona karşı korunması için özel tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Bu sistemlerde iksa arkasında toplanacak su, iksa elemanlarında korozyona neden olmasının yanında, iksa için ciddi ek yükler oluşturmaktadır. İksa arkasında toplanan suların bertaraf edilmesi için gerekli drenaj tedbirlerini almak, kalıcı iksa yapıları için büyük önem taşımaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- American Association of State Highway And Transportation Officials (AASHTO), 5.8.6.2, (1996). Washington.
- Anderson P., Boyd M., Segrestin P., Worall K. (1996). The need for standard safety factors in the determination of allowable tensile loads. Earth Reinforcement Special Volume, Japan.
- Corrosion evaluation of mechanically stabilized earth walls, Kentucky Transportation Center, University of Kentucky, 2005.
- French National Research Project Clouterre, Soil nailing Recommendations (1991). France.
- Romanoff M. (1957), National Bureau of Standards Circular 579, vs. Department of Commerce.
- Smith A., Jailloux J. M., Segrestin P. (1996). Durability of galvanized steel reinforcements as a function of their shape. Earth Reinforcement Special Volume, Japan.