

DESTEKLİ BİR DERİN KAZIDAKİ YÜKSEK DEFORMASYONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

ASSESSMENT OF HIGH DEFORMATIONS ON A SUPPORTED DEEP EXCAVATION

Volkan ÜZELER¹, Mohamed Lotfi ALIANE², Özgür KURUOĞLU³

ÖZET

Cezayir’de yapım çalışmaları devam eden bir viyadüğe ait temellerin inşaa edilebilmesi için, derinliği 60 metreye varan kazıların yapılması planlanmış olup, kazıların kaya bulonları ile desteklenmesi öngörülmüştür. Proje kapsamında önerilen kazıların başlangıcından Ocak 2022 tarihine kadar, destekli kazılar üzerine yerleştirilen ölçüm noktaları üzerinden, üç boyutlu deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerin, kazı yüzeylerinde vektörel olarak toplamda ortalama 30 cm mertebelerine ulaştığı tespit edilmiştir. Belirlenen yüksek deplasmanlara rağmen, kazılarda büyük ölçekli bir stabilite sorunu meydana gelmemiş ancak, kazıların gerisinde gerilme çatlakları oluşmuş, kazı tabanına yakın şevlerdeki desteklerde aşırı yüklenme belirtileri gözlenmiştir. Deformasyonların gözlemlendiği kesimi temsil eden kesitte yapılan sonlu eleman analizleri sonucunda, elde edilen deplasman mertebelerinin, yönlerinin ve genel deplasman şeklinin, sahada ölçülen değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Derin kazı, şev stabilitesi, deformasyon, destek

ABSTRACT

In the scope of a ongoing highway project in Algeria, excavations with heights up to 60 meters are planned in order to construct the viaduct foundations where the excavations are proposed to be supported with rock bolts. Three dimensional deformations of the supported slopes are monitored by deformation points from the beginning of the excavations until January 2022. Based on the monitoring data, vectorial deformations have reached up to 30 cm levels on the average. In spite of the measured high deformations, a major stability problem has not been occurred but tension cracks have been observed behind the excavations and overloading indications on the supports were determined near the bottom of the slopes. According to the results of finite element analyses, obtained deformations conforms with the measured values at the site in terms of amount, direction and mode.

Keywords: Deep excavation, slope stability, deformation, support

¹ İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje A.Ş., vuzeler@yukselproje.com.tr (Sorumlu Yazar)

² İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje A.Ş., laliane@yukselproje.com.tr

³ Dr. İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje A.Ş., ozgurk@yukselproje.com.tr

1. GİRİŞ

Cezayir’de yapım çalışmaları süren bir karayolu projesi kapsamında, güzergah üzerinde projelendirilen viyadüğe ait temel kotları ve topografik koşullar dikkate alındığında, ilgili kesimlerde derin temel kazıları yapılması gerekli görülmüştür. Bu amaçla, hem viyadük temellerine ait geoteknik tasarımın yapılması hem de derin kazıların projelendirilmesi için kapsamlı bir saha araştırma çalışması planlanmıştır. Sahada yapılan temel araştırma sondajlarına ait veriler, yerinde (in-situ) ve laboratuvar deney sonuçları değerlendirilerek, zemin ve kaya birimlerinin tasarıma esas parametreleri belirlenmiştir.

Projelendirilen kazı geometrisi ve geoteknik tasarım parametreleri dikkate alınarak, derin kazılar için şev stabilitesi analizleri yapılmış olup, yapılan analizler doğrultusunda, şevlerin püskürtme beton ve kaya bulonları ile desteklenmesi öngörülmüştür. Bununla birlikte, kazı projelendirilen kazı şevi yükseklikleri ve kazıların mevcut falezlere olan mesafesi göz önüne alındığında, yapılan şev ve destek tasarımının performansının takip edilebilmesi amacıyla, şev yüzeyleri üzerine 3 boyutlu deformasyon ölçüm noktaları tesis edilmesi önerilmiştir.

Bu bildiri kapsamında, projelendirilen destekli derin kazıların, yapım çalışmaları sırasında ve sonrasında şev yüzeylerinde ölçülen 3 boyutlu deformasyonlar ile yapılan sonlu eleman analizleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Proje alanına ait genel bir görünüm, Fotoğraf 1’de verilmiştir.



Fotoğraf 1. Viyadüğe ait destekli temel kazılarına ait genel görünüş

2. KAZI GEOMETRİSİ VE ŞEV TASARIMI

Temellerin bulunduğu bölgelerdeki mevcut topografya göz önüne alındığında, temel kazılarının falez bölgesine doğru olan kesiminde bu kazılara ait yüksekliklerin yaklaşık 60 metreye ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 1).

İlgili kesimde yapılan jeolojik – geoteknik araştırma çalışmaları kapsamında, ayak bölgelerinde 5 adet temel sondajı kuyusu ve pressiometre deney kuyusu ile kazı çalışmaları sırasında şev bölgelerinde gerçekleştirilen ve jeolojik birim kalınlıklarının tespitine yönelik 4 adet mekanik sondaj kuyusu açılmıştır.

Yapılan jeolojik - geoteknik çalışmalar sonucunda, ayak kazılarının gerçekleştirileceği yamaç bölgesinde idealize zemin profilini üç ana birimin oluşturduğu belirlenmiştir. Bunlar yüzeyden itibaren sırasıyla, orta sıkı kum niteliğindeki çok - tümüyle ayrılmış kumtaşı (Mt - W5) devamında zayıf dayanımlı kumtaşı - kalkerli kumtaşı (Mt) ve tabanda zayıf dayanımlı kıltaşı - marn (Mm) birimleri olarak belirlenmiştir.

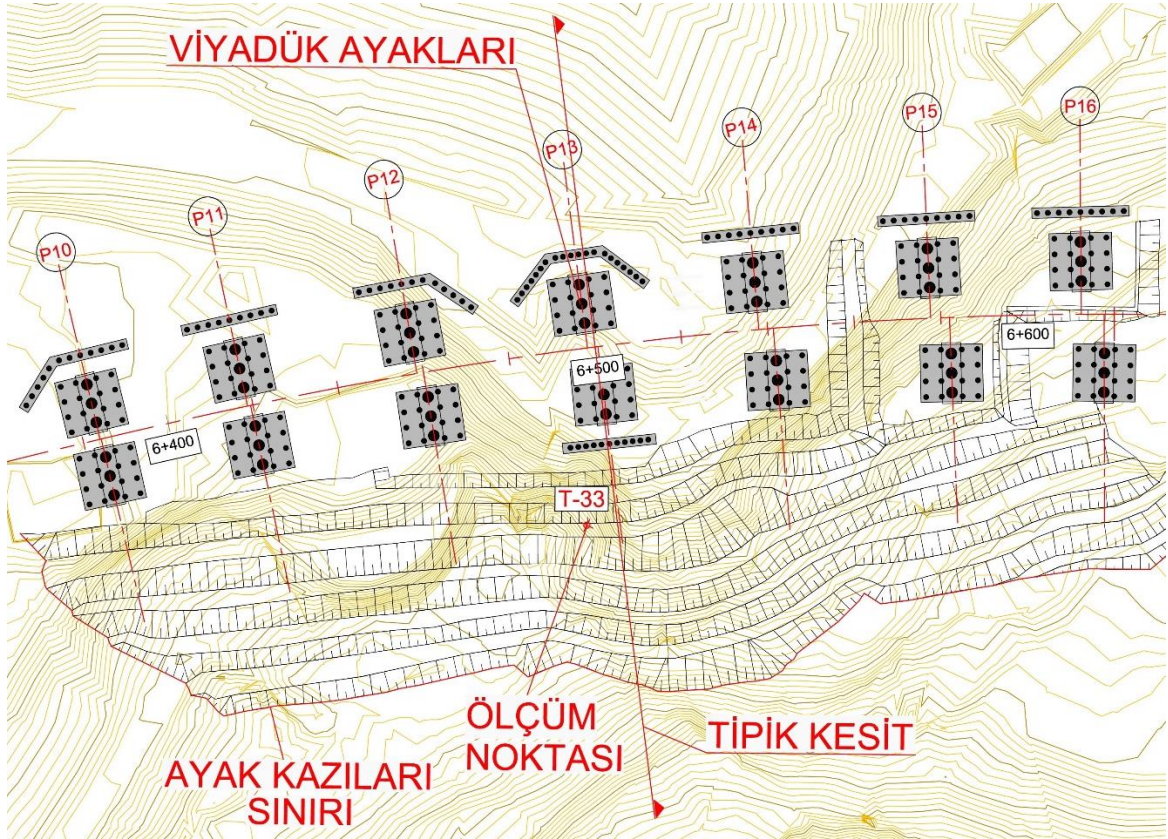
Sahada gerçekleştirilen araştırma çalışmaları ve elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları dikkate alınarak, idealize zemin profilini oluşturan kaya niteliğindeki birimler için analizlerde kullanılacak geoteknik parametreler, RocScience RocLab yazılımı ile belirlenmiş olup, seçilen parametreler aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 1. Belirlenen Zemin ve Kaya Parametreleri

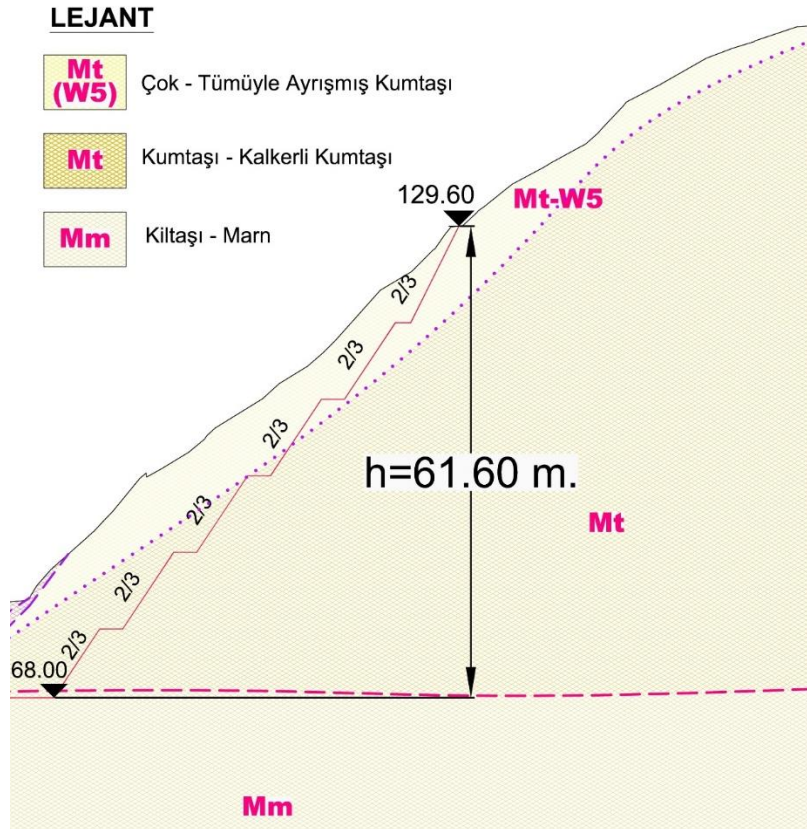
Jeolojik Birim	Birim Hacim Ağırlık (kN / m ³)	Efektif Kohezyon (c') (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (φ) (°)	Deformasyon Modülü (E) (MPa)
Ayrılmış Kumtaşı (Mt-W5)	21	10	38	35
Kumtaşı (Mt) (df = 0.00)	22	123	29	90
Kumtaşı (Mt) (df = 0.50)*	22	85	22	55
Kıltaşı - Marn (Mm) (df = 0.00)	22	96	16	80
Kıltaşı - Marn (Mm) (df = 0.50)*	22	63	11	50

* Kazı ve destek çalışmaları sırasındaki örselenme etkilerinin modellenmesi amacıyla, şev yüzeylerinden itibaren belirli bir bölgede örselenme faktörü (df) tarif edilmiştir (Hoek, 2012).

Yapılan ön değerlendirmeler sonucunda, kazı şevlerinin 2Y:3D şev oranı (56°) ile, 10 metre yüksekliğindeki şevler ve 5 metre genişliğindeki palyeler ile oluşturulması öngörülmüştür (Şekil 1). Yapılan şev tasarımı ve stabilite analizleri kapsamında, söz konusu ayak bölgelerinde oluşturulacak toplam şev yükseklikleri, jeolojik birimlerin parametreleri ve kazıların mevcut falezlere olan yakınlığı göz önüne alınarak, tasarıma esas kritik kesit olarak P13 nolu ayak bölgesinden geçen kesit incelenmiştir (Şekil 2). Şev stabilite analizleri, limit denge yöntemi ile yapılmış olup, analizlerde RocScience SLIDE yazılımı kullanılmıştır. Kaya bulonları ve püskürtme beton ile desteklenecek şevler için, Amerikan Federal Karayolları Birliği (Federal Highway Association, FHWA) tarafından destekli kazı şevleri için yayımlanan şartname (FHWA-IF-03-17, 2003) kriterleri dikkate alınmıştır.

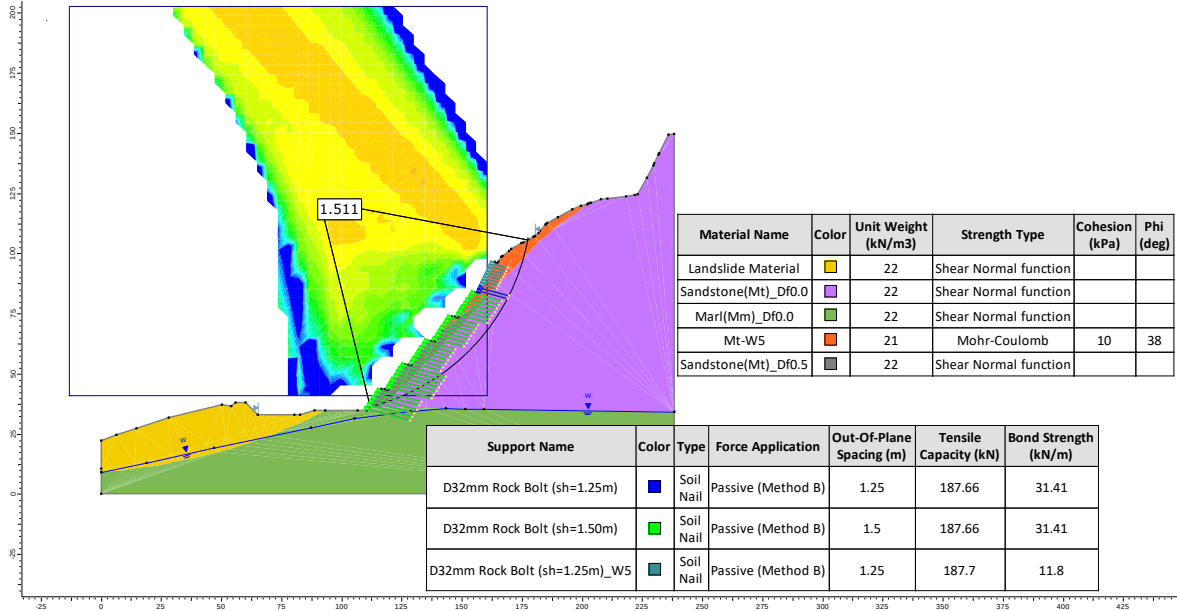


Şekil 1. Proje alanı viyadük ve ayak kazıları planı (ölçeksiz)



Şekil 2. P13 Ayağı jeolojik – geoteknik tip enkesiti ve kazı şevleri (ölçeksiz)

Yapılan iteratif çalışmalar sonucunda, şevlerin üst kesimlerde 6 metre, orta kesimlerde 12 metre ve alt kesimlerde 18 metre boyundaki kaya bulonları ile desteklenmesi tasarlanmıştır. P13 nolu ayak için gerçekleştirilen destekli şev stabilite analizi detayları Şekil 3'te sunulmuştur. Yapılan analiz sonucunda minimum güvenlik sayısı 1.51 olarak elde edilmiş olup, bu değer hedef güvenlik sayısı kriterini sağlamaktadır.



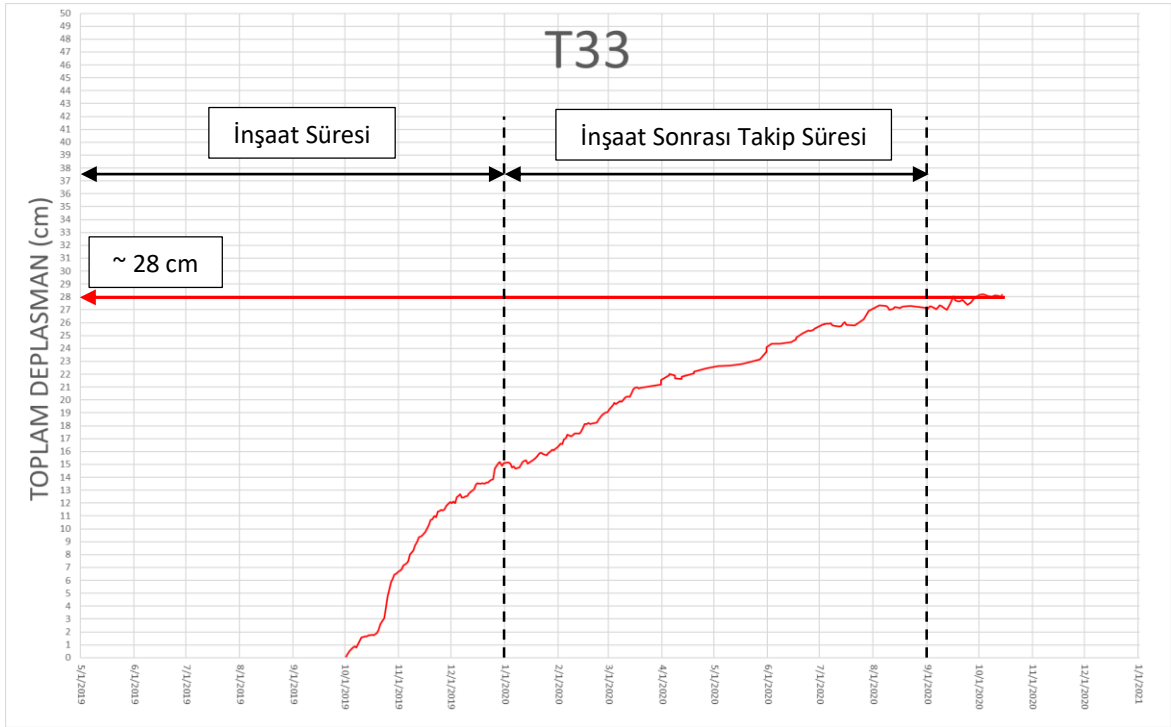
Şekil 3. P13 Ayağı destekli kazı şevleri stabilite analizi

İlgili kesimde yer alan tüm ayak temellerine ait derin kazılar, yukarıda belirtilen yöntem ile projelendirilmiş ve hazırlanan projeler onaylanarak, sahada kazıların inşaat sürecine başlanmıştır.

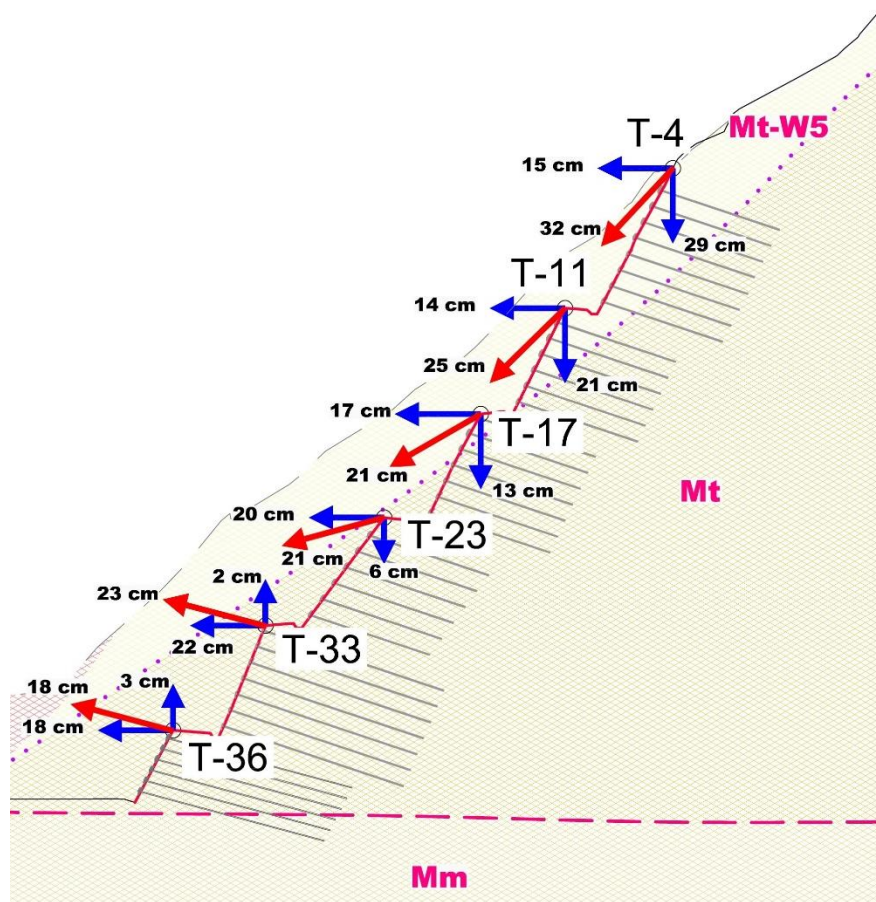
3. DEFORMASYON ÖLÇÜMLERİ VE YORUMLANMASI

Temeller için yapılan derin kazılara ait tasarımın tamamlanmasının ardından, Nisan 2019 tarihinde sahada yapım çalışmalarına başlanmış ve Aralık 2019 - Ocak 2020 tarihlerinde çalışmalar tamamlanmıştır. Proje kapsamında da önerildiği şekilde, destekli kazı şevleri üzerindeki deformasyonlar, yapımın başlamasından itibaren, 55 adedi destekli kazı yüzeylerine yerleştirilecek şekilde, toplam 61 noktadan 3 boyutlu topografik ölçüm noktaları ile ölçülmeye başlanmış ve Ocak 2022 tarihine kadar olan 3 yıllık süreçteki deformasyonları takip edilmiştir.

Yapılan ölçüm verilerine göre, vektörel deformasyonların toplamda ortalama 25 - 30 cm mertebelerine ulaştığı tespit edilmiştir. Deformasyonların düşük hızlarda da olsa artmaya devam ettiği belirlenmiş olup, sönümlenme eğiliminde olduğu değerlendirilmiştir. Seçilen T33 nolu ölçüm noktasına ait zamana bağlı vektörel deformasyon grafiği Şekil 4'te; kritik kesit üzerinde ölçülen deformasyonların yön ve miktarlarını gösteren tip kesit Şekil 5'te sunulmuştur. Kazı şevlerinde belirlenen yüksek deplasmanlara rağmen, kazılarda büyük ölçekli bir stabilite sorunu veya yenilme meydana gelmemiştir. Ancak, gelişen deformasyonlara bağlı olarak, kazıların gerisinde gerilme çatlakları oluşmuştur.



Şekil 4. T33 numaralı deformasyon noktası zamana bağlı deformasyon grafiği



Şekil 5. P13 ayağı deformasyon noktaları yerleşimi ve ölçülen deplasman miktarlarını gösteren en kesiti

4. SONLU ELEMAN ANALİZ SONUÇLARININ DEFORMASYON ÖLÇÜMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Kazı şevlerinde tespit edilen deformasyonların şev stabilitesi ve destek sistemini oluşturan bulon ve püskürtme beton sistemi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla, kritik olarak değerlendirilen P13 nolu ayak temeli en kesitindeki destekli şev kazıları, sonlu elemanlar yöntemi ile de değerlendirilmiştir.

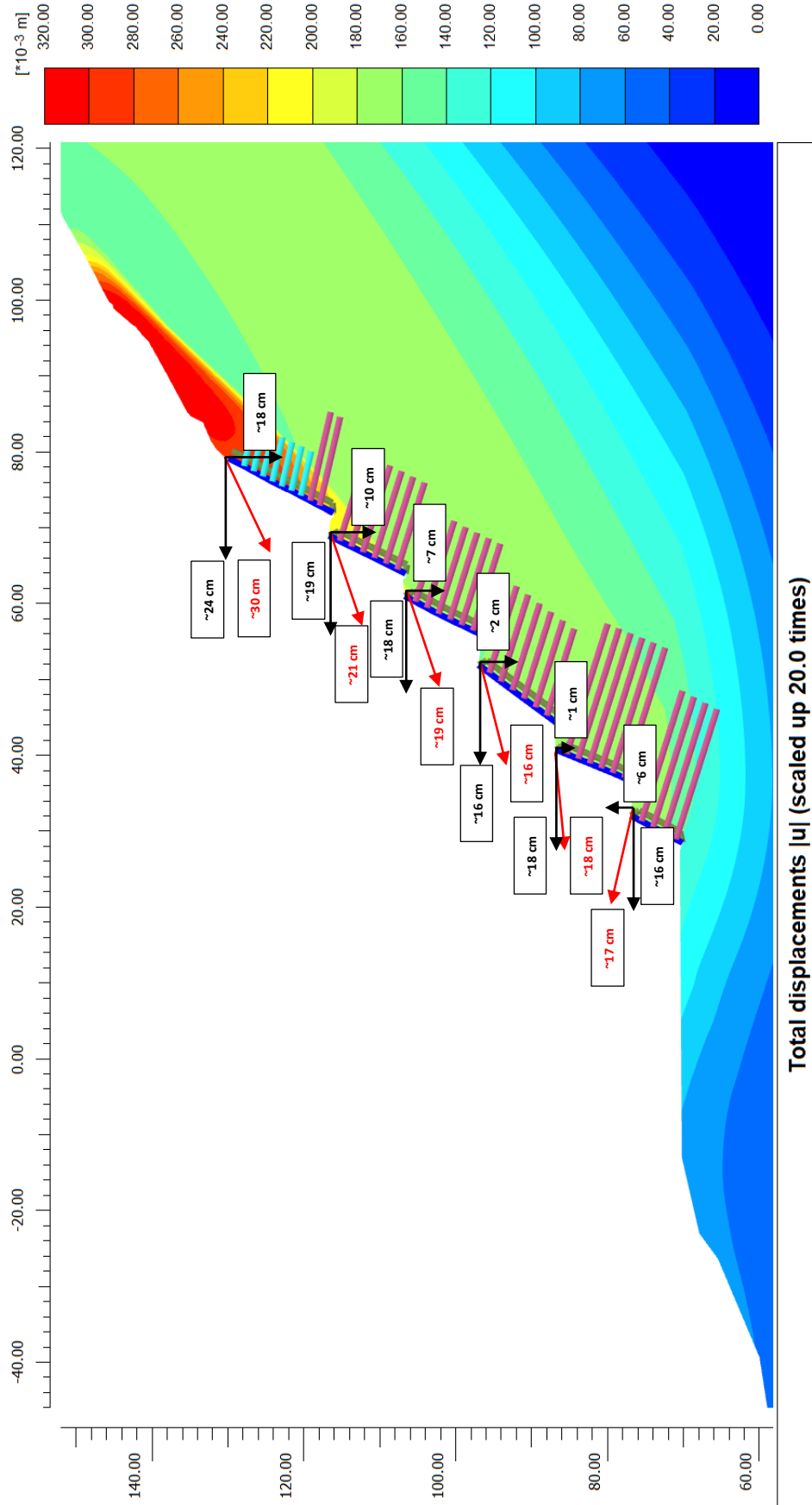
Analizlerde, PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinde, zemin ve ayrılmış/zayıf kaya birimleri için, zeminin non-lineer davranışını modelleyebilen ‘Hardening Soil’ model kullanılmıştır. Bu modellerde programa veri olarak zeminin birim ağırlığı γ , içsel sürtünme açısı ϕ , kohezyonu c , elastisite modülü E , ve Poisson oranı ν , girilmektedir. Kazı zemini programdaki on beş noktalı üçgen elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar modelinde, şev destekleme elemanları olan kaya bulonları “gömülü kiriş sırası” (embedded beam row); püskürtme beton şev kaplaması ise programdaki “plaka” (plate) elemanları ile modellenmiştir.

Destekli şevler ile ilgili kazı aşamaları, yerinde uygulanan yöntemle benzer şekilde, kademeler halinde kazı yapılması ve ilgili kademedeki şev destekleme elemanlarının yerleştirilmesi şeklinde modellenmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda, destekli şev kazılarının tamamlandığı son aşamaya ait deplasman miktarlarını ve yönlerini gösteren çıktılar Şekil 6’da sunulmuştur. Buna ek olarak, yapılan sonlu eleman analizleri ile ölçülen deformasyonlara ait karşılaştırmalı grafikler ise Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir.

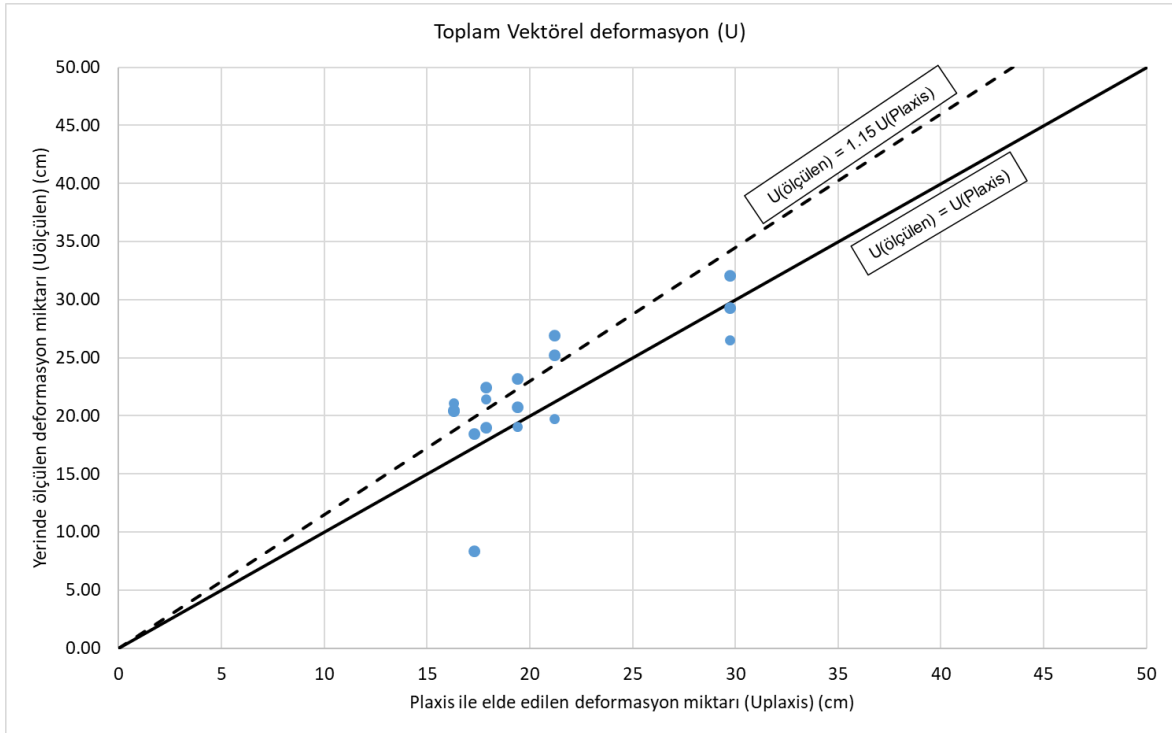
Yukarıda sunulan analiz sonuçları değerlendirildiğinde, kazı şevlerinin üst kesimlerinde belirlenen düşey deformasyon değerlerinin daha yüksek olduğu ancak, şev tabanına doğru düşey deformasyon değerlerinin azaldığı ve en alt şev kademesinde deformasyonların yukarı yönde olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, yatay deformasyon değerlerinin, üst kazı şevinden şev tabanına doğru gidildikçe, önemli ölçüde bir değişiklik göstermeden, benzer mertebelerde olduğu belirlenmiştir.

Sonlu elemanlar modeli ile her bir şev kademesi için elde edilen toplam vektörel deformasyonların, sahada ölçülen değerler ile, genel ortalama % 15 bir farkla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, sonlu elemanlar modeli ile sahada ölçülen yatay deformasyon değerleri kıyaslandığında, değerlerin ortalama %5 bir farkla uyumlu olduğu; düşey deformasyon anlamında ise, sonlu elemanlar modeli belirlenen değerler ile sahada ölçülen değerler arasında, genel ortalama % 30 bir fark olduğu belirlenmiştir.

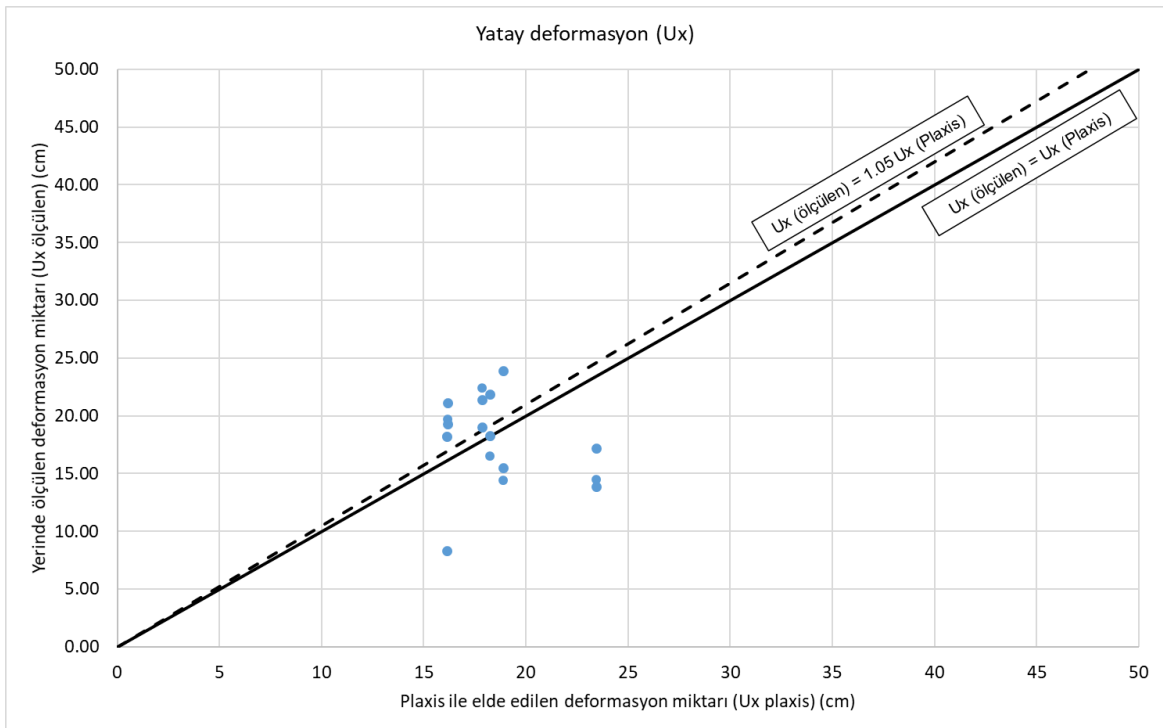
Sonuç olarak, sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen deformasyon miktarları ile deformasyon şeklinin, sahada gerçekleştirilen ölçümler ile mertebesal ve vektörel anlamda uyumlu olduğu ve analizlerin, yerindeki koşulları doğrular nitelikte sonuçlar verdiği belirlenmiştir.



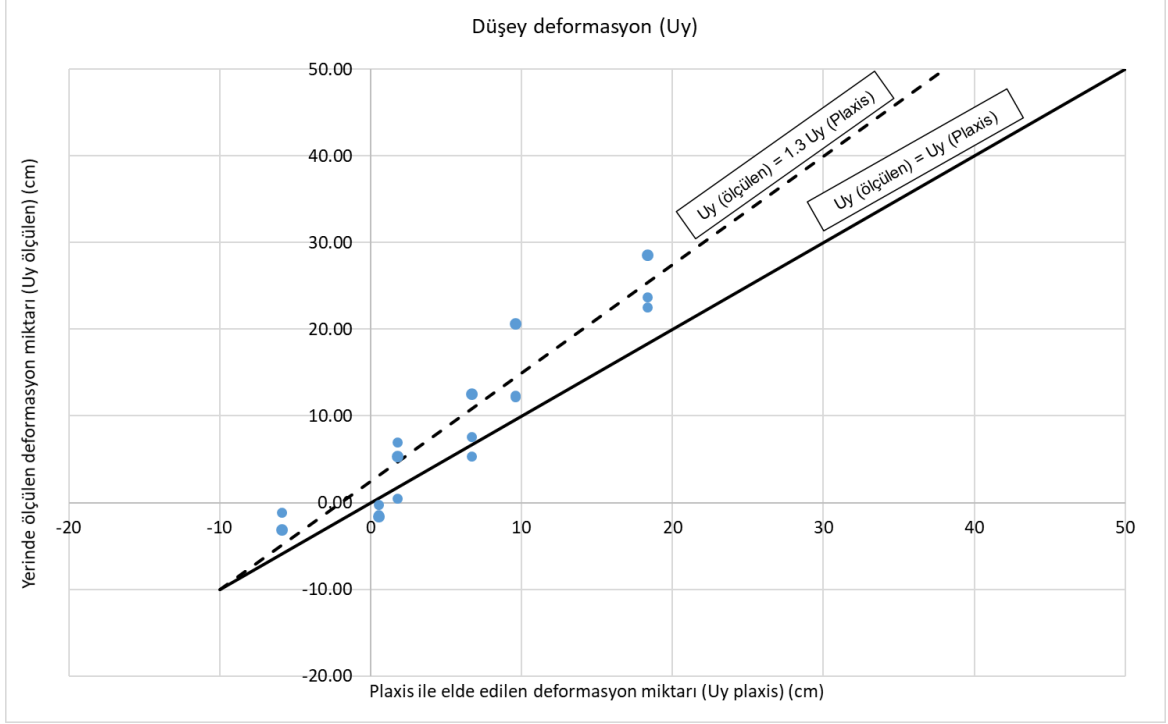
Şekil 6. P13 ayağı kritik kesiti sonlu elemanlar analizi toplam deplasman grafiği



Şekil 7. Toplam vektörel deformasyonlar için sonlu eleman analizleri ile elde edilen değerlere karşı sahada ölçülen değerlerin karşılaştırma grafiği



Şekil 8. Yatay deformasyonlar için sonlu eleman analizleri ile elde edilen değerlere karşı sahada ölçülen değerlerin karşılaştırma grafiği



Şekil 9. Düşey deformasyonlar için sonlu eleman analizleri ile elde edilen değerlere karşı sahada ölçülen değerlerin karşılaştırma grafiği

5. SONUÇLAR

Cezayir’de yapım çalışmaları süren bir karayolu projesi kapsamında, güzergah üzerinde projelendirilen viyadüğe ait temel kotları ve topografik koşullar nedeniyle yüksekliği 60 metreye varan derin ve destekli kazılar projelendirilmiştir.

Projelendirilen kazı şevlerindeki deformasyonların takip edilebilmesi amacıyla, 55 adedi destekli kazı yüzeylerine yerleştirilecek şekilde, toplam 61 noktadan 3 boyutlu topografik ölçüm noktaları ile ölçülmeye başlanmış ve Ocak 2022 tarihine kadar olan 3 yıllık süreçteki deformasyonları takip edilmiştir. Yapılan ölçüm verilerine göre, şev yüzeyindeki vektörel deformasyonların toplamda ortalama 25 - 30 cm mertebelerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Soz konusu destekli şev kazıları, belirlenen kritik bir kesitte sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen deformasyon miktarları ile deformasyon şeklinin, sahada gerçekleştirilen ölçümler ile mertebesal ve vektörel anlamda uyumlu olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Federal Karayolları Birliği (FHWA) Zemin Çivili Duvarlar Kılavuzu, FHWA-IF-03-017, 2003, ABD Ulaştırma Departmanı, Washington, ABD.

Hoek, E. (2012) “Blast Damage Factor” , Technical Note for RocNews, Kış 2012 Nüshası

Plaxis 2D Connect Edition V21.01 (2021) Kullanıcı Kılavuzu, Delft, Hollanda