

Araştırma Makalesi / Research Article

**Duraysız Şevlerde Yapılan Stabilite Çalışmaları ve
Maliyet Analizi**

*¹Fatih TAŞTEMÜR, ²Mesut TIĞDEMİR

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye, fatihastemur@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1919-199X>

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta, Türkiye, mesuttigdemir@sdu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5303-2722>

Geliş / Recieved: 30.12.2019;

Kabul / Accepted: 18.12.2020

Öz

Bu çalışmada şevlerin problemlerinden genel olarak bahsedildi ve bu problemleri kontrol altına alabilme yöntemleri anlatıldı. Örnek olarak seçilen Antalya-Kemer karayoluna ait bir yarma şevi hattı alındı ve duraysızlık problemi yaşayan şevlerin deterministik çözümleme yöntemleri hakkında bilgi verildi. Veriler ışığında şevlerin duraylılıklarını yitirme nedenleri incelendi. Sonra problemi oluşturan kaya kütlelerinin hareketini sınırlamak ve yol platformunu güvenlik altına almak için parametreler hesaplandı. Hesaplamalar sonucu şevlerin stabilitesi sağlandı ve birbirinden farklı şev parametreleri karşılaştırmalı olarak ortaya konuldu. Ortaya konulan alternatifler arasında maliyet analizi yapılarak en ekonomik tahkimat sistemine karar verildi.

Anahtar kelimeler: Şev stabilizasyonu, Duraysızlık analizleri, Maliyet analizi.

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Taştemür, F., & Tığdemir, M., (2020). Duraysız şevlerde yapılan stabilite çalışmaları ve maliyet analizi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 2(2), 55-70.

Stability Studies on Unstable Slopes and Cost Analysis

Abstract

In this study, the problems of slopes are generally mentioned and methods of controlling such problems were explained. A cut slope line belonging to the Antalya-Kemer highway was selected as an example was discussed and information was given about the deterministic analysis methods of slopes experiencing instability problem. In the light of the data, the reasons for the loss of stability of the slopes were examined. Parameters were then calculated to limit the movement of the rock masses that posed the problem and to ensure the safety of the road platform. As a result of the calculations, the stability of the slopes was provided and the different slope parameters were presented comparatively. Among the alternatives, the most economical reinforcement system was decided by cost analysis.

Keywords: *Slope stabilization, Instability analysis, Cost analysis.*

1. Giriş

Kapıdan kapıya ulaşım sağlaması, esnek hareket imkânı, diğer ulaşım türlerine göre daha az yatırım gerektirmesi vb. gibi nedenlerden dolayı karayolu ulaşımı, ülkemizde ve Dünya'da en yaygın kullanılan ulaşım türüdür. Gün geçtikçe artan insan nüfusu ve araç sayısı mevcut karayolu altyapısına gelen yükü daha da arttırmaktadır.

Nüfusun artması, teknolojinin ilerlemesi ve insanların daha güvenli seyahat etme istekleri daha güvenli karayollarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Birçok ülkede yatırımlarının çoğu alt yapının yenilenmesi, geliştirilmesi ve uzun ömürlü projeler yapılması için ayrılmaktadır. Bu durum sınırlı kamu kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasını gerektirmektedir.

Günümüzde karayolu projeleri boyutlandırılırken, yol platformunun taşıyacağı trafik yükü, şerit genişliği, şerit sayısı ve üstyapı kesitleri ölçümler ışığında oluşan verilerle rahatlıkla hesaplanabilmektedir (Umar ve Yayla, 2006). Karayolu kapasitesinin yetersiz kaldığı kesitlerde platform genişletmesi sıkça başvurulan yöntemlerden biridir. Düz arazilerde platform genişletmesi, kamulaştırma maliyeti ve yapım çalışmaları dışında özel bir durum gerektirmezken, dağlık arazilerde durum böyle değildir. Toprak işlerinin çokça olduğu, derin yarma şevlerine mecbur kalındığı en kesitlerde yol hizmete açıldığında sorun teşkil etmeyen şevler, sonraki zaman zarfında can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürecek hareketliliğe sebep

olabilmektedir. Sadece can ve mal kaybı değil, trafiğin olmadığı durumlarda ise yol üstyapısına zarar vererek yenileme ve onarım çalışmaları için mali değeri yüksek zararlara yol açmaktadır (Geotechnical Engineering Office, 2000; Harabinova, 2017).

Yeni otoyol ve yol iyileştirme projelerinin planlanmasında, planlama sürecinin ilk aşamalarında geoteknik hususlar diğer gereksinimlerle birlikte dikkate alınmalıdır. Geçki belirlenmesi ve güzergâh boyunca ilgili optimum tasarım seçenekleri, geoteknik gereklilik dahil olmak üzere tüm faktörler dikkate alınarak olası alternatiflerin maliyet etkinliğinin dengeli bir değerlendirilmesine dayalı olarak seçilmelidir (Geotechnical Engineering Office, 2000., Önalp ve Arer, 2004 Coduto&Mollamahmutoglu, 2006).

Şevlerde oluşabilecek tehlikeleri önleyebilmek için şevi tanımak, hareket potansiyelini doğru sınıflamak ve bu parametreleri doğru analiz etmek gerekmektedir. Bilgisayar programları ile çözümlenecek modellerde; şevden kopmuş ve yerçekimi etkisi ile hareket yeteneği kazanmış parçaların izleyeceği yatayda ve düşeyde yol/mesafe, hız, sıçrama yüksekliği ve parçaların kinetik enerjisi tahmin edilebilmektedir. Analiz ile belirlenmesi en kritik parametreler ise süreksizlik takımlarının tespiti ile şevin sürtünme açısıdır. Şev stabilitesinin zorunlu hale geldiği gözlem sahasına ait geri verme katsayısı normal (R_n) ve teğetsel bileşen (R_t) ile zeminin içsel sürtünme açısı literatürden veya deneysel çalışmalar neticesinde belirlenebilmektedir (KGM,

1985; Coduto&Mollamahmutoğlu, 2006; Hoek 2007). Gözlem sahası ile literatürü kıyaslayacak olan araştırmacı jeolojik faktörleri iyi analiz etmek zorundadır. Çünkü problemleri şevlerin bulunduğu jeolojik formasyon, depremler, yağışlar, donma-çözünme olayı, fiziksel ve kimyasal ayrışmaların tetikleyicisi olmaktadır (Hoek & Bray, 1977; Harp & Noble, 1993;). Bu makale çalışmasında gerçek bir yol kesimine ait şev için dört farklı şev stabilitesi tahkiki için maliyet kıyaslaması yapılmıştır.

2. Literatür İncelemesi

Şevler belli bir eğim ile herhangi bir desteğe ihtiyaç durmadan stabil kalabilirler. Zemin yapısına göre yatayla yaptığı bu eğim değişebilmektedir. Stabilitesi daha yüksek olan zemin sınıflarında, yol yapım çalışmalarında şev eğimleri azaltılarak kazı, işçilik, yakıt maliyetleri azaltılabilir ve zamandan tasarruf sağlanır.

2.1. Şevlerde Duraysızlık Nedenleri

Şevlerde duraysızlığı etkileyen faktörler geometrik yapı, kayaç yapısı ve dışardan etkiyen yükler olarak gruplandırılabilir. Geometrik yapı bakımından şevin yüksekliği ve platform ile yaptığı açı önemli bir faktördür (Önalp ve Arel, 2004).

Yeraltı su seviyesinin değişimi, yağış sızıntıları, şev yüzeyinde boşluk suyu basıncının artması, mineralojik yapı değişimi ile çatlakların büyümesi kayaç yapısını etkilemekte ve kaya şevlerin

stabilitesine etki etmektedir (Pan et al., 2020).

Deprem, tektonik hareketler, kazı sırasında yapılan patlatmalar, jeoloji, jeomorfoloji, iklim şartları, atmosferik aktiviteler vb. etkenler de şevde hareket etme enerjisini tetikleyecektir (Komadja et al, 2020).

Halihazırda, kuvvetlerin, momentlerin veya enerji dengelerinin dengesine dayalı olarak şev stabilitesini hesaplamak için birkaç yöntem kullanılmaktadır. Çoğu zaman, kayma yüzeyine doğru arızanın meydana geldiği varsayımına dayanan yöntemler vardır. Kayma yüzeyinin şekli, temel olarak zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine veya bunların profilde düzenlenmesine bağlıdır. Söz konusu stabilite analizi, her iki temel prensibi de dikkate alır. Birincisi, geliştirilen kayma yüzeyinin dairesel olacağı varsayımı (Pettersen ve Bishop Yöntemleri) ve ikinci prensip, kayma yüzeyinin çokgen olacağıdır (Sarma Yöntemi). Bir güvenlik faktörü, harekete direnen kuvvetlerin (böylece şev stabilitesini sağlayan) tahrik hareketine (dolayısıyla şev stabilitesini tehdit eden) oranı, yani aktif ve pasif kuvvetler arasındaki oran olarak tanımlanabilir. Genel olarak, bir şevin güvenlik faktörü 0 ile 1.0 arasındaki aralık içindeyse, şev aktif olarak kararsızdır. 1.0'ın üzerindeki değer, şevin stabil kabul edildiğini gösterir (Harabinova 2017).

Literatürde konuyla ilgili olarak çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Matsui ve San (1992) kayma mukavemeti azaltma tekniği ile sonlu

elemanlar yöntemi ile şev stabilitesi analizi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analiz sonucunda dolgu ve yarma şevlerinin başarıyla simüle edildiği görülmüştür. Cheng vd. (2007) limit denge ve mukavemet azaltma yöntemiyle iki boyutlu bir şev stabilitesi analizi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılara göre her iki yöntem de güvenlik faktörünün ve olası arıza mekanizmasının bir tahminini sağlar olarak görülmelidir, ancak mühendisler analizlerinin sonuçlarını değerlendirirken her yöntemin sınırlamalarını da gözönünde bulundurulmalıdır. Komadja et al. (2020) iki farklı kesimden seçilen bir Himalaya yol kesimine ait şevlerin stabilite analizini yapmışlardır. Phase2 yazılımını kullanarak eğim kesitlerini simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemine dayalı mukavemet azaltma faktörü (SRF) yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlar, nispeten düşük bir toplam açığa sahip, tamamen ayrılmış şev profili bölümünün kritik SRF'sinin, orta ila yüksek derecede ayrılmış profil bölümünde elde edilen değerden yaklaşık %50 daha düşük olan 1.25 olarak bulunduğunu gösterdi. Bu sonuçlar, bir eğimin geometrisinin ayrışma derecesini etkilediğini ve bunun da şevi dengesizleştirdiğini ortaya koyan diğer yayınlanmış çalışmalarla uyumludur. Çalışmanın sonuçları, hava etkisinin etkisini dikkate alan şev tasarımına yardımcı olacağı düşünülmüştür. Su and Shao (2021) limit denge yöntemine ve sonlu elemanlar yöntemi gerilme hesaplamasına dayanan üç boyutlu bir şev stabilitesi analizi yöntemi önermiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme

hesaplamasında doğrusal elastik ideal plastik modeli ve Mohr-Coulomb akma kriteri kullanılmıştır. Kayma yönü, kayma yüzeyindeki kayma gerilmesi vektörlerinin toplamına göre elde edilir. Yerel güvenlik faktörü, kayma gerilimi ve kayma yönüne göre belirlenmiştir.

2.2. Şev Destekleme Yöntemleri

Şevler her zaman müsaade edilen eğimlerle yükselemeyebilirler. Çünkü şev başı denilen noktalar bazen kamulaştırma sınırlarını geçebilirler. Şevi destekleme sebepleri sadece yol platformunu tehlikeye sokan durumlar değildir. Yüksek gerilim direkleri, özel mülkler, doğal yaşamı koruma adına büyük miktarda toprak hareketini önlemek için şev destekleme uygulamaları da yapılabilmektedir.

Bu uygulamalar yapılırken zeminin jeolojik yapısına en uygun metod seçilmelidir.

Ankraj sistemi seçilerek ana kaya bloğu veya ana kütle olarak tanımlanan kesimin stabilizasyonu sağlandıktan sonra yüzeyinde çelik aklar ya da püskürtme beton yöntemiyle desteklenmesi gerekebilir. Bu iki sistem birbirinin eksiklerini tamamlayarak destekleme işlemini tamamlarlar (KGM 2013).

Ankrajlar uygulama metodu olarak 4'e ayrılırlar. Bunlar;

1-SN Bulon,

2-PG Bulon,

3-IBO Bulon,

4-Swallex Bulon'dur (Taştëmür, 2019).

Tablo 1. Zemin yapısına göre önerilen bulon tipi

Önerilen Bulon Tipi	Zemin Yapısı
SN Bulon	Bütünleşmiş kaya kütlelerinde
PG Bulon	Kırıklı, çatlaklı yapıdaki kaya kütlelerinde
IBO Bulon	Boşluklu, çatlaklı ve delgi esnasında ilerlemenin zor olduğu kaya kütlelerinde
Swellex Bulon	Bloklu, çatlaklı yapıdaki kaya kütlelerinde

2.2.1. SN Bulon Yöntemi

En yaygın uygulama olarak kullanılan zemin çivileme yöntemidir.

Önceden karelağı ve çapı belli olan delgiler, delici makinalarla tamamlanır. Ardından deliklere çelik çubukların yerleştirilir ve içine su-çimento karışımı enjeksiyon uygulanır (KGM 2013; Taştemür, 2019).

2.2.2. PG Bulon Yöntemi

PG bulon imalatı SN bulon imalatı ile benzer özellik taşımaktadır. En belirgin farklılığı enjeksiyon yapıma yöntemidir. PG bulonda donatıya dış açılır. Bulon takımının başına plakası ve somunu geçirilir. SN bulondaki gibi kuyuya önceden enjeksiyon verilmez.

PG bulonda donatı boyunca enjeksiyon borusu bağlanır. İkinci kılavuz hortuma sadece bulon başından 30 cm içerde kalacak şekilde bağlanır. Uzun olan borudan enjeksiyon verilir ve kuyu dolduktan sonra diğer kılavuz borudan çıkması beklenir. Bulon kuyuya yerleştirilince etrafı da hızlı donan alçıyla tıkanır. Enjeksiyon kılavuz borudan gelene kadar enjeksiyon kesilmez (KGM 2013; Taştemür, 2019).

2.2.3 IBO Bulon Yöntemi

Enjeksiyon kazanlarında şartnameye göre hazırlanan su ve çimento karışımı enjeksiyon borularıyla iletilerek kurt ağızı denilen aparatlarla IBO bulonların uçlarına sabitlenir. Yaklaşık 5-6 bar basıncında basılan enjeksiyonlar IBO bulonların içinden geçerek bitin ucundan kuyuyu doldurmaya başlar. Bit ucundan çıkan enjeksiyon eğer zeminde çatlak varsa ve ana kayaya kadar giderken sızıntı yapıyorsa enjeksiyon kesilmez. Enjeksiyon gerekirse 24 saat aralıksız yapılmalıdır. Bunun sebebi de bu doldurulmayan çatlaklar ilerde daha büyük hareketleri tetikleyecek olmasıdır.

Enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra bulonların başına plakaları geçirilir. Plakalar bulonun baş noktasında oluşan gerilmeleri şev yüzeyine aktarır. Plakalar en son somunlarla torklanarak yüzeye tamamıyla ankraje edilmiş sayılır (KGM 2013; Taştemür, 2019).

2.2.4. Swellex bulon yöntemi

Swellex bulonlar, bulonlama ihtiyacı hemen duyulması durumunda kullanılmaktadır. Kopmakta olan kaya kütlelerinin enerjisini kırmak için veya deformasyon ölçümleri sonucunda hareket eğiliminde olan şev yüzeylerinin deformasyonunu durdurmak için kullanılır (Taştëmür, 2019).

2.3. Çelik Ağ Yöntemi

Çelik tutucu ağ sistemleri çalışma sistemine göre iki alt gruba ayrılırlar. Şev yüzeyinde kopması veya düşmesi muhtemel kaya kütlelerinin hareketini önlemek ve stabilite kontrolü sağlamak amacıyla kullanılan sistemler aktif önleyici sistemler olarak adlandırılırlar (KGM, 2013; Taştëmür, 2019).

Yüzey güçlendirme sistemleri çelik ağ formunda birleştirilmiş farklı türde çelik tel ve çelik halatlar, ankrajlar ile şev yüzeyine sabitlenerek oluşturulur.

Pasif sistemler ise, yüzeysel olarak ana kaya kütlelerinden kopan parçaların yüzey boyunca hareketini kısıtlayarak şevin alt kısmının düşme olayından etkilenmesini minimize etmek ve daha güvenli olmasını sağlamak amacıyla kullanılan sistemlerdir (KGM, 2013).

Şev yüzeyinden kopup gelerek yol platformuna zarar verme ihtimali olan kaya kütlelerinin tutulabilmesi amacıyla yapılan bu iyileştirme yöntemiyle, düşen kayaların sıçrayarak yola ulaşmasını engellemek ve şev dibinde toplanmasını sağlamak amaçlanmaktadır (Taştëmür, 2019).

3. Materyal ve Yöntem

Bu makale çalışmasında Şekil 1'de verilen haritada gösterilen Antalya-Kemer karayolundaki bir şev için dört farklı alternatif şev stabilite analizi çalışmasının maliyet kıyaslaması yapılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil1).



Şekil 1. Şev stabilitesi maliyet kıyaslaması yapılan güzergahın yer bulduru haritası.

Şev stabilitesi alternatif seçimlerinde SWedge® yazılımı kullanılmıştır. SWedge, kaya şevlerinde yüzey kamalarının geometrisini ve stabilitesini değerlendirmek için hızlı ve kullanımı

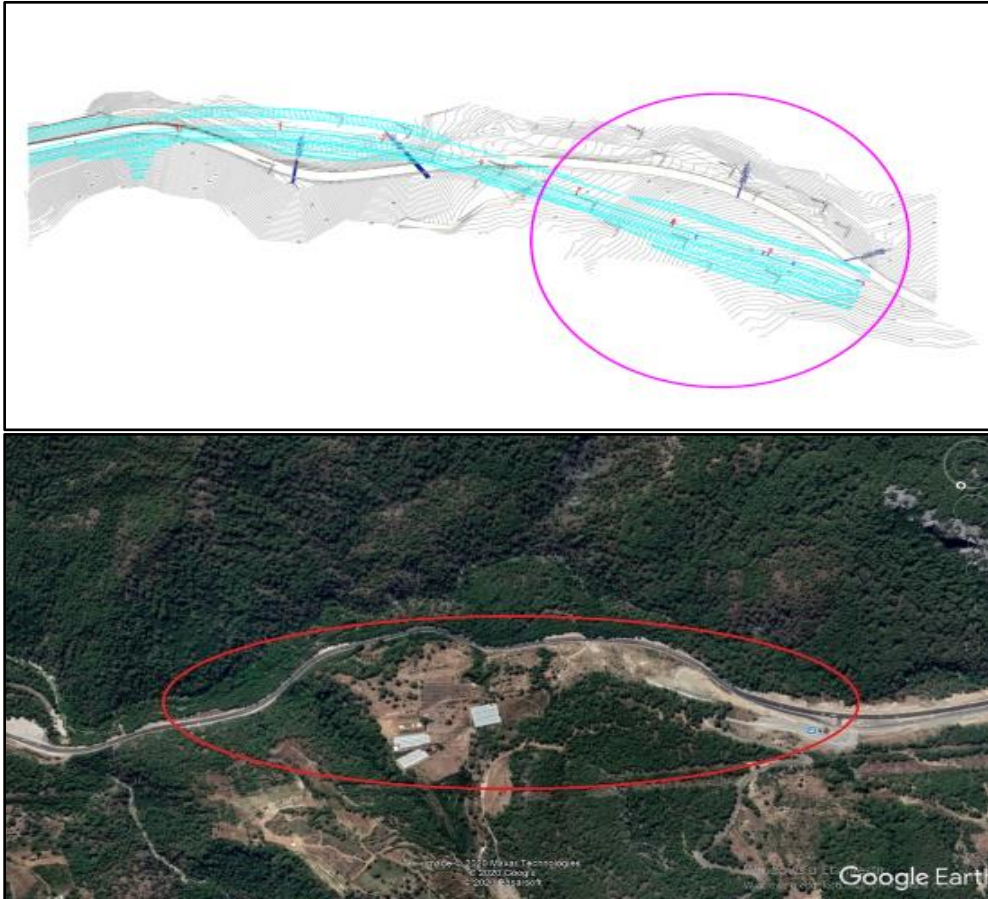
kolay bir analiz aracıdır. Yaygın olarak kullanılan SWedge, kaya şev stabilitesinin analizi için önemli bir programdır (İnt Kaynağı 2020).

4. Bulgular

4.1 Örnek Bir Kesitte Maliyet Analizi

Tek platformda çift yön trafik akışının olduğu bir yolu, bölünmüş yola çevirme çalışmalarından bir kesim ele alınmıştır. Belirlenen yeni hat eski yol platformuna

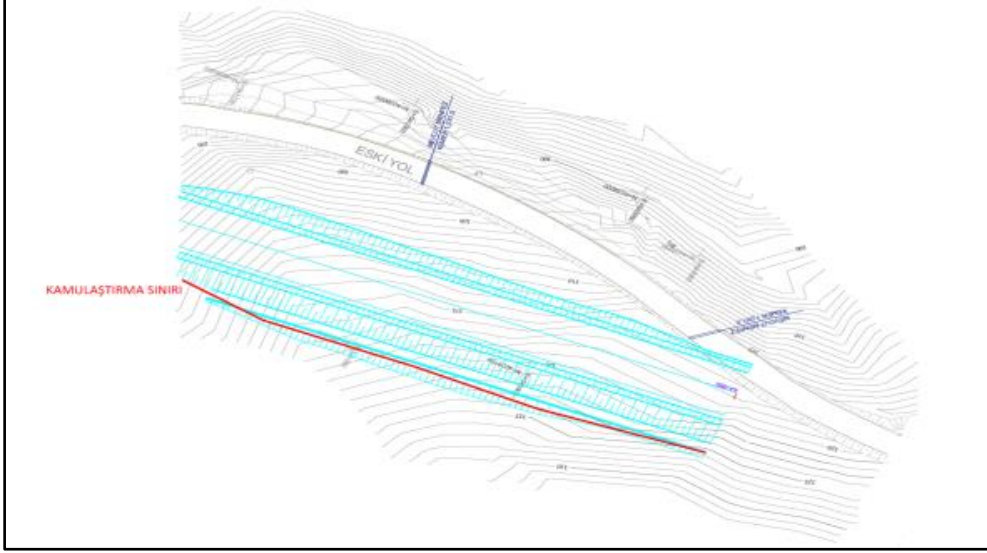
ne kadar yakın seçilirse toprak hareketi o oranla az olacaktır. Fakat yeni yol yapım çalışmalarında platformun yatay ve düşey geometrik standartlarının artırılması istenebilir. Şekil 2'de bulunan şevli planda böyle bir durum ele alınmıştır.



Şekil 2. Şevli plan

Eski yol platformunun yarıçapı küçük olan kurpları büyütülmüş ve yolun yatay standardı artırılmıştır. Fakat bu işlem sonunda yol platformu eğimi yüksek araziye girmiş ve yarma kazısı

yapılması ihtiyacı doğurmuştur. Şekil 3'de kazının başlayacağı şev başı noktasının kamulaştırma sınırını geçtiği görülmektedir.

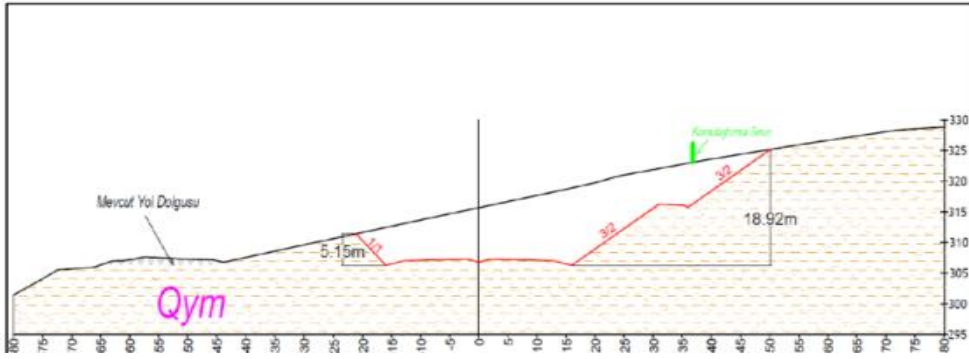


Şekil 3. Kamulaştırma sınırını geçen kesim

Yol platformunun sağ ve sol köşelerinden kesit üzerinde şevlerin baş noktaları bulunmuş ve kazı kesileri oluşturulmuştur. Ancak yapacağımız kazı projesine göre gerekli eğimlerde yatırılan şevler, karayolu için tahsis edilen kamulaştırma sınırının dışına çıkmak zorunda kalmıştır. Bu durumda kuruma ek kamulaştırma maliyetleri çıkar ve çoğu zamanda çözülebilir. Ancak kamulaştırma seçeneği mümkün olmadığı durumlarda şev başın noktalarının kamulaştırma çizgisinin içinde kalıp, şev eğimlerinin artırılıp, şevlerin dik duruma getirilmesi tercih edilebilir. Bu durumda da limit değerleri zorlanan şevler ileriki yıllarda hareket eğilimi gösterebilecektir. Bunun önüne geçmek için yapılacak alternatif kazı çalışmalarını tasarlayıp tahkimat

planları oluşturulmalıdır. Bu çalışmalarının sonunda finansal analizler yapılabilecektir.

Mevcut yol platformu ile yeni tasarlanan yol platformu aynı kesitte Şekil 4'te görülmektedir. Zayıf zemin grubunda bulunan yamaç molozu sınıfında bir zeminde projeye göre şev eğiminin 3Y/2D şeklinde olması öngörülmektedir. Bu durumda yeni yol platformunun sağ ekseninde kalan şevin baş noktası kamulaştırma sınırını geçmektedir. Bu durumda şevin tepesinde bulunan arazinin idareye tahsisi istenebilir. Bu mümkün değil ise (tarihi eser bir yapı bulunması vb.) şevin baş noktası kamulaştırma sınırının içine çekilmelidir.



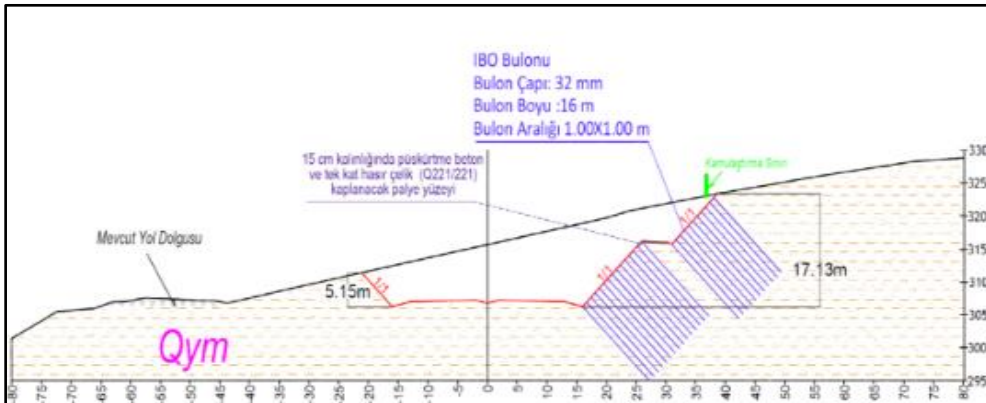
Şekil 4. 1 nolu alternatif

Tablo 2. 1 nolu alternatife ait maliyet analizi

Poz Adı	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL/m ²)	Tutar (TL)
Kamulaştırma Bedeli	m ²	800	900	720.000
Kazı	m ³	5300	16	84.800
Bulon	-	-	-	-
Barbakan	-	-	-	-
Hasır Çelik	-	-	-	-
Püskürtme Beton	-	-	-	-
TOPLAM				804.800

Tahkimat analizleri sonunda elde edilen kesit Şekil 5'te gösterilmiş ve 1 adet palye bırakılarak şev eğimi 1Y/1D olarak değiştirilmiştir. Bunun sonunda 1.00 X 1.00 kareajla 16 m derinliğinde bulon

imalatı ve şev yüzeyinin tek kat hasır çelik ve 15 cm kalınlığında püskürtme betonu ile kaplanması önerisi sunulmaktadır. Tablo 3'te 2 nolu alternatifin detayları gösterilmiştir.



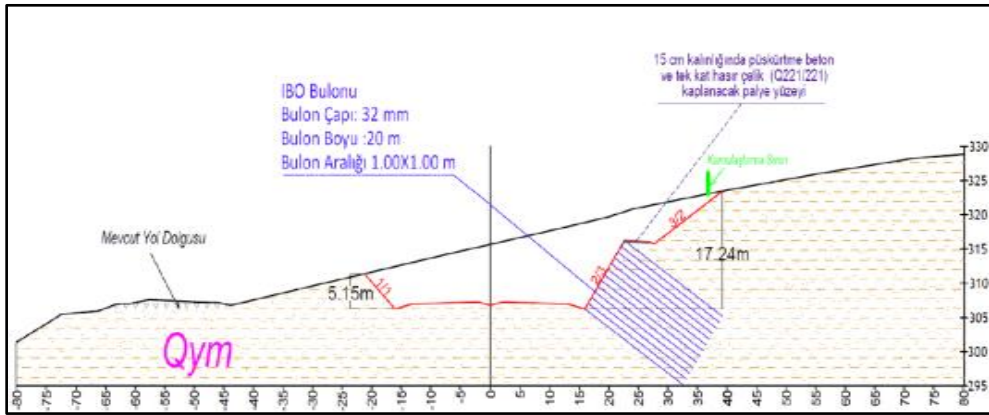
Şekil 5 2 nolu alternatif

Tablo 3. 2 nolu alternatifte ait maliyet analizi

Poz Adı	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar (TL)
Kamulaştırma Bedeli			(TL/m ³)	
Kazı	m ³	4200	16	67.200
Bulon	m	6800	80 TL/m	544.000
Barbakan	m	240	35 TL/m	7.350
Hasır Çelik	kg	1200	12 TL/kg	14.400
Püskürtme Beton	m ³	54	500 TL/m ³	27.000
TOPLAM				659.950

Şekil 6'da gösterilen 3 nolu alternatifte, 2Y/3D eğimle gösterilen ilk şevde 20m uzunluğunda 1.00 X 1.00 m kareli IBO bulon, tek kat hasır çelik ve 15 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanması önerilmiştir. İkinci şevde

tahkimat önerilmemiş, 3Y/2D eğimle sadece kazı yapılması önerilmiş ve kamulaştırma sınırına yaklaşılmıştır. Tablo 4'te 3 nolu alternatifin detayları gösterilmiştir.



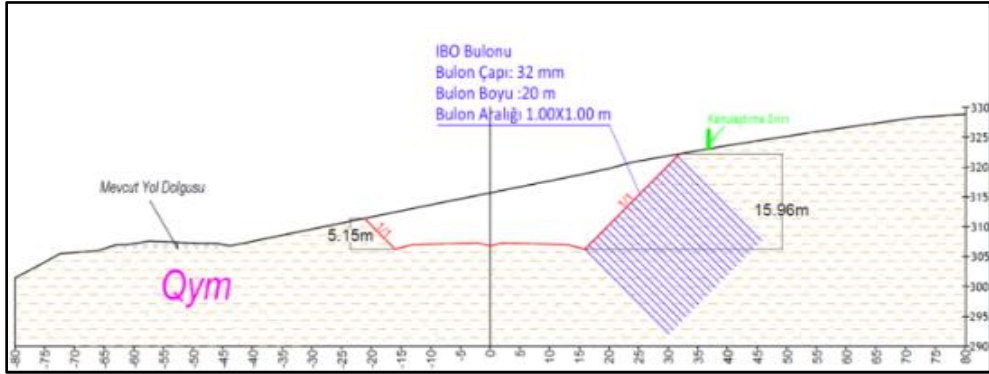
Şekil 6. 3 nolu alternatif

Tablo 4. 3 nolu alternatifte ait maliyet analizi

Poz Adı	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar (TL)
Kamulaştırma Bedeli				
Kazı	m ³	4750	16 TL/m ³	76.000
Bulon	m	5200	80 TL/m	416.000
Barbakan	m	180	35 TL/m	6.300
Hasır Çelik	kg	900	12 TL/kg	10.800
Püskürtme Beton	m ³	46	500 TL/m ³	23.000
TOPLAM				532.100

Şekil 7’de gösterilen 4 nolu alternatifte şev 1Y/1D eğimle dik bir şekilde kazılmıştır. 1.00 X 1.00m karela 20 m uzunluğunda IBO bulon uygulaması ile desteklenmesinin yeterli olduğu öngörülmüştür. Tablo 5’te 4 nolu alternatifin detayları gösterilmiştir. Şekil

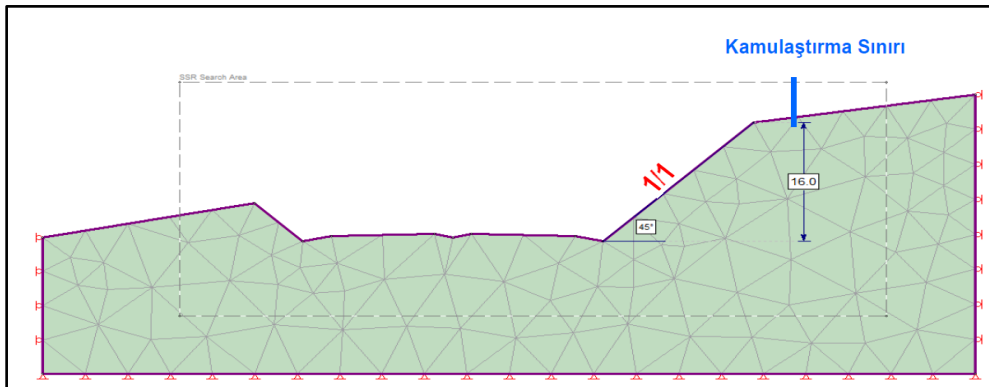
8, 9 ve 10’da SWedge yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar ağı, destekli ve destekless analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 11’de ise 4 nolu alternatifte ait bulon yerleşim planı verilmiştir.



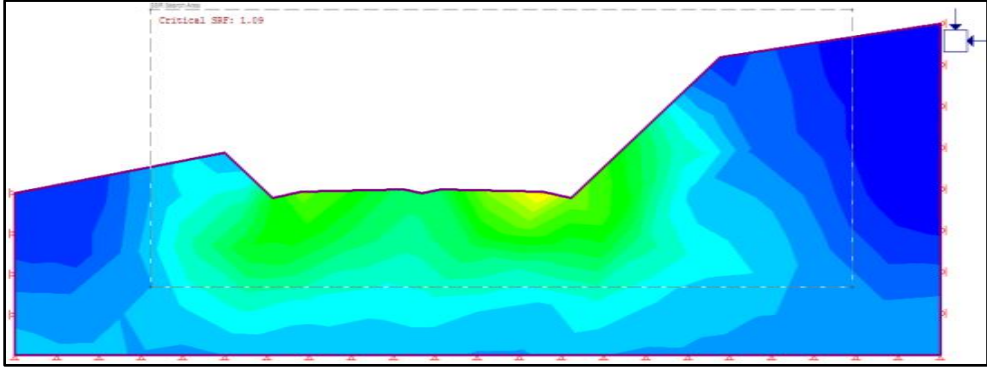
Şekil 7. 4 nolu alternatif

Tablo 5. 4 nolu alternatifte ait maliyet analizi

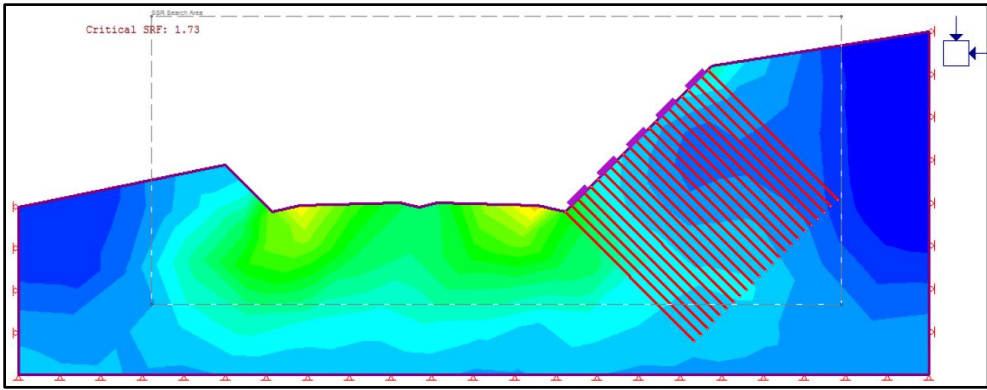
Poz Adı	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar (TL)
Kamulaştırma Bedeli				
Kazı	m ³	3200	16 TL/m ³	51.200
Bulon	m	6000	80 TL/m	480.000
Barbakan	m	200	35 TL/m	7.000
Hasır Çelik	kg	1000	12 TL/kg	12.000
Püskürtme Beton	m ³	50	500 TL/m ³	25.000
TOPLAM				575.200



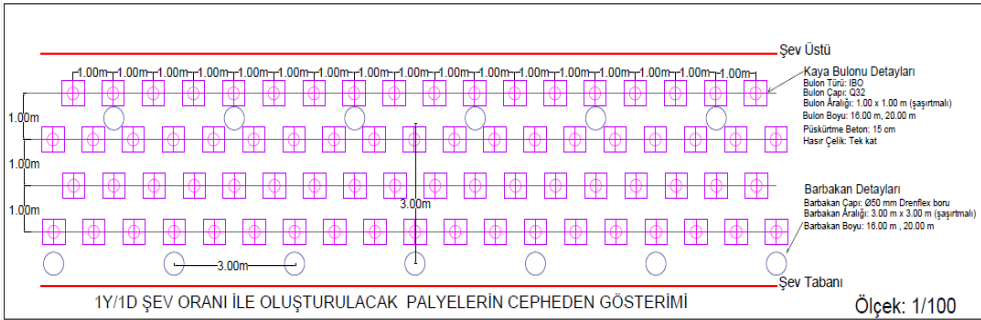
Şekil 8. 4 nolu alternatifte ait analiz modeli



Şekil 9. Desteksiz statik durum



Şekil 10. Destekli statik durum



Şekil 11. Bulon yerleşim planı

Tablo 6'da verilen mukayese değerlerinden, maliyet açısından en uygun seçenek 3 nolu alternatif olarak görülmektedir.

Tablo 6. Maliyet mukayese tablosu

Yapım Seçenekleri	Tutar
1 Nolu alternatif	804.800 TL
2 Nolu alternatif	659.950 TL
3 Nolu alternatif	532.100 TL
4 Nolu alternatif	575.200 TL

4.Sonuçlar

Şevlerin yapısını oluşturan parametreler değerlendirildiğinde, teknik şartlara uygun eğimli kazılar yapılırsa şevlerin ayakta durabildiği gözlemlenmiştir. Bu parametreler sonradan değişir veya değişmek zorunda kalırsa ek destekleme ihtiyacı doğmaktadır. Destekleme sistemleri kütlenin stabilizasyonunu sağlamak için ayrı, şev yüzeyinin stabilizasyonu için ayrı değerlendirilirse ortaya daha az maliyetli destekleme sistemi çıkarılabilir. Şevlerin yapısına uygun bulonlama sistemi seçilmeli ve şev yüzeylerine gerek duyulursa püskürtme beton ya da çelik ağ sistemi uygulaması yapılmalıdır.

Bulon uygulamalarında teknik nezaretçi, yapılan bulon delgilerini, bulon-kuyu birleşimini ve enjeksiyon uygulamalarını tekniğine uygun yaptırmalıdır. Çünkü seçilen bulon metodu, uygulama sırasında değişebilir. Yapılan bulon analizlerinde dinamik ve statik durumda seçilen güvenlik katsayıları genelde 1-2 arasında seçilmektedir. Bu yüzden bulon başına istenen performans uygulama sırasında sağlanmak zorundadır. Zemine ve şev yapısına uygun olmayan metotta bulon uygulanması durumunda, yapılan uygulama zaman içerisinde şevin hareket enerjisine yenik düşebilir ve göçükler meydana gelebilir.

Çalışma yapılacak alanın mevsimsel ısı farklılıkları ve bulunduğu bölgeye ait yağış grafiği modelleme yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır. Mevsimsel ısı farklılıkları çok değişken olan

bölgelerde yüzeysel çatlaklar sıkça görülmektedir. Eğer yağış oranı yüksek bir bölgede ise bu çatlakların arasından yağmur suları geçer ve çatlakların büyümesine sebep olur. Yüzeysel başlayan çatlaklar derinlere iner ve kamasal kayma zonunu oluştururken tespit etmediğimiz süreksizlikler, en ağır kaya kütlesini seçerken yapılan hesaplarda yanıltıcı değerlere ulaşmamıza sebep olur. Bu durumun önlenmesi ve seçilen tahkimat sisteminin daha uzun ömürlü olması için uygun drenaj sistemi seçilmeli ve tahkimat sistemi ile bir bütün çalıştırılmalıdır. Tahkimat yapılan yüzeylerde bulon delikleri ile barbakan deliklerinin eğimi mutlaka kontrol edilmelidir. Şev başlarında ve şev diplerinde beton hendekler yapılmalı, ayrıca palye bırakılacak şevlerde muhakkak yatay eğim verilmeli ve palye üzerinde biriken su şev yüzeyinden akmamalıdır.

Çelik ağ uygulamalarında tepe ve topuk ankrajları çelik ağ sisteminin ömrünü arttırmaktadır. Kullanılacak çelik ağlar düşey düzlemde mümkün olduğunca tek parça halinde örtülmelidir. Yatayda yan yana gelip birleşecek çelik ağlar ise en az iki göz birbirine bindirilmeli ve bu çelik halatlar ile bindirme yerleri dikilmelidir. Dikey yönlerde ise üretim esnasında en kritik şev uzunluğu boyu kadar üretim tek parça halinde yaptırılmalıdır.

Yol yapımı devam ederken toprak işleri seviyesinde kazı çalışmaları bitirilmeden tahkimat gerekliliği sorgulanmalıdır. Eğer şevlerde hareketlilik veya bu tarz davranışlara

eğilim varsa muhakkak destekleme ihtiyacı tartışılmalıdır. Toprak işleri aşamasında verilen kararlar doğru verilir ise hizmete açılan yolda tekrar yapım, bakım ve onarım gibi giderler önlemiş olur.

Toprak işleri kısmında verilen kararlar seçenek açısından çokça zengindir. Şev imalatlarında ilerleme için karar seçilirken maliyet analizi de sağlam verilerle tekrar denetlenebilir. Ülkemizde kullanılan kaynakların verimli harcanması için yolun servis ömrü kadar tahkimat sistemi de hizmet vermelidir. Maliyet mukayesesi için hazırlanan tablolar sonucunda verilen güzergâh modeli emniyetlilik, ekonomiklik ve estetiklik yönünden sorgulanabilir.

Tahkimat sistemleri yapılırken oluşturulacak maliyet mukayesesinde

Kaynaklar

Coduto, D. P., Mollamahmutoğlu, M., & Kayabalı, K. (2006). *Geoteknik mühendisliği: ilkeler ve uygulamalar*. Gazi Kitabevi.

Cheng Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B. (2007). Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods. *Computers and Geotechnics* 34 (2007) 137–150.

Geotechnical Engineering Office. (2000). *Highway Slope Manual*. Civil Engineering Department The Government of the Hong Kong, Special Administrative Region. Hong Kong.

güncel rayiç fiyatların baz alınması yeterli gibi görünse de işin bitim süresine ve yolun hizmet süresine göre ileriki yıllarda oluşabilecek birim fiyatların yaklaşık değerine göre analiz yapılmalıdır. Japonya’da derin yarma ve dolgu şevlerinden uzak durulur. Yüksek dolgu şevlerinde oluşan eğim nedeniyle kaybedilen toprak tarıma elverişli arazi ise kısa açıklıklı çelik köprülerle geçilmesi tercih edilmektedir. Bunun sebebi ileriki yıllarda tarım arazilerinin nüfusa oranla yetersiz kalacağıdır. Bir diğer unsurda çelik köprü yaparak ülkelerine hammadde stoğu yapılmaktadır. Ömrünü tamamlamış çelik köprüler demonte edilerek başka bir amaç için de kullanılabilir.

Harabinova, S. (2017). Assessment of Slope Stability on the Road. *Procedia Engineering*, 190: 390-397.

Harp, E. L., & Noble, M. A. (1993). An engineering rock classification to evaluate seismic rock-fall susceptibility and its application to the Wasatch Front. *Environmental and Engineering Geoscience*, 30(3), 293-319.

Hoek, E, & Bray, J. W., (1977). *Rock Slope Engineering*. Institute of Mining and Metallurgy, London, 402 p.

Hoek, E. (2007). *Rock engineering*, available online at: <http://www.rocscience.com>.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM). (1985). *Şev Projelendirme Rehberi*.

- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2013). *Karayolu Teknik Şartnamesi*. Ankara.
- Komadja G.C., Pradhan S.P., Roul, A.R., Adebayo, B., Habinshuti, J.B. Glodji, L.A., Onwualu, A.K. (2020). Assessment of stability of a Himalayan road cut slope with varying degrees of weathering: A finite-element-model-based approach. *Heliyon*, 6, e05297.
- Matsui T., San, K-C. (1992). Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique. *Soils and Foundations*. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. 32(1), 59-70.
- Önalp, A., & Arel, E. (2004). *Geoteknik Bilgisi II, Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği*. Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- Pan, Y., Wu, G., Zhao, Z., He, L. (2020). Analysis of rock slope stability under rainfall conditions considering the water-induced weakening of rock. *Computers and Geotechnics*. 128, 103806, Article in press. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103806>.
- Su, Z., Shao, L. (2021). A three-dimensional slope stability analysis method based on finite element method stress analysis. *Engineering Geology*. 280 (2021). 105910. Article in press. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105910>
- Taştemür,F. (2019). Duraysız şevlerde yapılan stabilite çalışmaları ve maliyet analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta. https://www.rocscience.com/software/s_wedge. Erişim 13.08.2020.