



## **Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Trafo Merkezi Kazı Şevlerinin Duraylılık Analizi**

### *Stability Analysis of Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Substation Excavation Slopes*

**AHMET ÖZBEK<sup>1</sup>** ORCID 0000 0002 6326 4324

**OZAN NATUR<sup>2</sup>** ORCID 0000 0002 4282 8629

**M. SALİH KESKİN<sup>2</sup>** ORCID 0000 0003 1973 4437

<sup>1</sup>*Jeoloji Müh. Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş*

<sup>2</sup>*İnşaat Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır*

Geliş (Received): 16/03/2022

Kabul (Accepted): 09/05/2022

### **ÖZ**

Son yıllarda mühendislik yapıları inşa edilirken, özellikle eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda yapılan kazılar nedeniyle, oluşturulan şevlerin duraylılığı, hem kazı sonunda hemde uzun dönemde önem taşımaktadır. Şevlerde duraysızlık sorununu, doğru bir şekilde değerlendirebilmek için duraysızlığa neden olan koşulların ve zemine ait parametrelerin doğru belirlenmesi ve bu doğrultuda şev duraylılık analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, inceleme alanı olarak, Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Trafo Merkezi temel alanında oluşturulan kazı şevleri incelenmiştir. Seçilen kazı şevlerinde, duraysızlığa neden olan parametreler ve kayma mekanizmasının belirlenmesi için Limit denge yöntemlerinden Slide-5 bilgisayar programı ile sonlu elamanlar yöntemine dayanan, Plaxis 7.20 programı kullanılarak iki farklı kesit profili üzerinde, duraylılık analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, yeraltı suyu ve deprem durumunda şevlerin, duraysızlığa uğradığı ve modellerin destek ve tasarım değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda, şevin duraylılığının sağlanması için istinat duvarlı iyileştirme yöntemi

önerilmiştir. İyileştirme sonrası hem sonlu elemanlar hem de limit denge yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerde; statik, dinamik (deprem durumu) ve yeraltı suyu koşullarında şevin duraylılığının arttığı gözlenmiştir. Gerekli güvenlik sayısına ulaşılarak kazı şevlerinde duraylılık sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Duraylılık, Plaxis, Slide, Suçatı (Kahramanmaraş), İstinat Duvarı*

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [ozbeka@ksu.edu.tr](mailto:ozbeka@ksu.edu.tr), [ozbekaderen@gmail.com](mailto:ozbekaderen@gmail.com)*

## **ABSTRACT**

In recent years, while engineering structures are being built, the stability of the slopes created due to excavations especially in areas with slope environment is important both at the end of the excavation and in the long term. In order to correctly evaluate the instability problem of slopes, the conditions that cause instability and the parameters of the soil should be correctly determined and slope stability analyses should be carried out in this direction. Within the scope of this study, the excavation slopes created in the foundation area of Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Substation were selected as a study area. In order to determine the parameters that cause instability and the sliding mechanism in the selected excavation slopes, stability analyses were performed on two different section profiles with using the Slide-5 software, which is one of the limit equilibrium methods, and the Plaxis 7.20 program, which is based on the finite element method. According to analyses, it has been determined that the slopes are unstable in case of groundwater and earthquakes, and the models need support and design changes. In addition, as a result of the analysis, a retaining wall improvement method has been proposed to ensure the stability of the slope. In the analyses performed with both finite elements and limit equilibrium methods after improvement; It was observed that the stability of the slope increased in static, dynamic (earthquake condition) and groundwater conditions. Stability in the excavation slopes has been achieved by reaching the required factor of safety.

**Key Words:** *Stability, Plaxis, Slide, Suçatı (Kahramanmaraş), Retaining Wall*

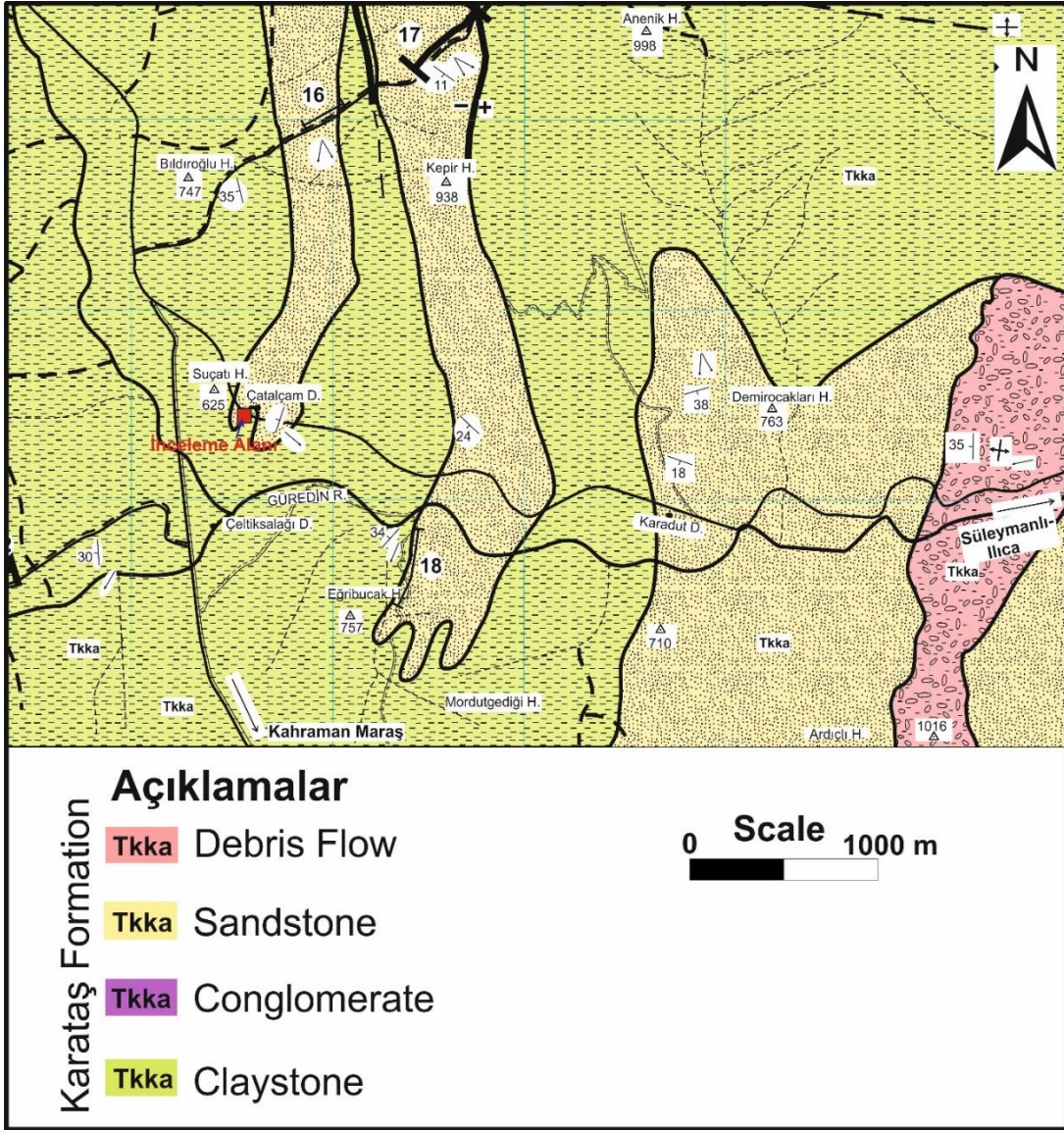
## **GİRİŞ**

Doğal olarak dengede bulunan yamaçlarda mühendislik yapılarının inşası için yapılan kazılar sonucunda ortaya çıkan kazı şevlerinin duraylılığının sağlanması mühendislik

yapılarının güvenliği açısından oldukça önemlidir. Şev topuğunda yapılan kazılar, yeraltı ve yüzey sularının etkisi, şev eğimi, şev yüksekliği, zemin parametreleri vb. özellikler şev duraylılığının belirlenmesinde ana etmenleri oluşturmaktadır. Son yıllarda ülkemizde hızla gelişen yapılaşmaya bağlı olarak, özellikle engebeli ve eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda mühendislik yapılarının inşası artmaktadır. Ancak bu çalışmalar yürütülürken, bu tür eğimli alanlarda yeterli ve gerekli şev duraylılığına yönelik çalışmaların yapılmadığı, bunun sonucunda istenmeyen can ve mal kayıplarının olduğu gözlenmektedir. Esnek, rijit, kagir, beton ve kafes-gabion türü farklı istinat yapılarının tasarımından önce heyelan mekanizmasının doğru bir yöntem ile belirlenmesi, uygulanacak istinat yapısının seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Geçmişten günümüze kadar şev duraysızlığı probleminin ortaya konması, oluşum nedenleri ve şev duraylılığının sağlanmasına yönelik olarak Kim et al (2002), Cheng et al. (2007), Bol ve diğ. (2017), Pehlivan (2008), Hammouri, et al. (2008), Akçakal (2009), Akçakal ve diğ. (2010), Tekin (2011), Fırat ve Canik (2014), Tokgözoğlu (2014), Liu et al. (2015), Taşkiran ve diğ. (2015), Pınarlık ve diğ. (2017), Alamdağ (2016), Natur (2018), Chen, Li, and Fang (2019), Büyükkağnıcı ve Işık (2019), Karadağ ve diğ. (2019), Ün ve Yıldız (2021) vb. bir çok araştırmacı tarafından yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacılar genel olarak farklı analiz yöntemleri kullanarak şev duraylılığı analizleri yapmış, yapılan analizlere bağlı olarak duraysızlığa neden olan parametreler belirlenerek yenilme mekanizması belirlenmeye çalışılmış ve yenilme sonrasında duraylılığın sağlanmasına yönelik ne tür iyileştirme yöntemlerinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

İnceleme alanı, Kahramanmaraş Kayseri Karayolunun yaklaşık 30 km kuzeybatısında Süleymanlı Ilıca kasabaları yolu üzerinde yer almaktadır (Sekil 1). Suçatı barajının hemen kıyısında yer alan 154 kV Çağlayan Trafo Merkezi, dik yamaçlarla sınırlandırılmış bir denizaltı yelpazenin üzerine inşa edilmiştir. İnceleme alanında yapılan saha çalışmalarında genelde kumtaşı ve kiltası ar dalanmasından oluşan Orta Miyosen yaşlı Karataş formasyonuna ait birimler ile formasyon içerisinde havza kenarlarında yamaç ortamında çökelmiş moloz akmaları ve göçme (slump) çökelleri belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (Gül 2000 ve Gül 2004'ten değiştirilerek)

Figure 1. Geological map of the study area and its vicinity (modified from Gül 2000 and Gül 2004)

Karataş Formasyonu birbirinden oldukça farklı fasiyes özellikleri sunan kaya türlerinden oluşmaktadır. Alt seviyeleri, sarımsı gri, boz, kahverenkli, ince-orta tabakalı killi kireçtaşı-marn, koyu boz renkli, şeyl ile seyrek kanal çakıltası ve ince tabakalı türbiditik kumtaşı ardalıdır. Üst seviyeleri ise, üste doğru artan çakıl, blok ve moloz akmalarının hakim olduğu koyu boz renkli, tabanı kazımalı, kalın, çok kalın tabakalı çakıltası, kalın tabakalı, yer yer masif kumtaşı, yer yer kalın-çok kalın tabakalı, derecelenmeli, laminalı,

karbonatlı kumtaşı ve şeyl ile Eosen-Miyosen yaşlı kireçtaşı olistolitleri içeren, olistostromal çakıllı şeyl ardalanmalıdır.

Bu çalışma Kahramanmaraş ilinde bulunan 154 kV Çağlayan Trafo Merkezi sahasının yapım aşamasında tesviye kotuna getirilmesi için açılan desteksiz kazılarda zamanla gözlenen şev kaymalarının nedenleri ve kayma mekanizmasının belirlenmesine yönelik çalışmaları kapsamaktadır.

## LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

İnceleme alanından yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalalarının oluşturduğu zeminlerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri TS 1900–1 (2006) TS 1900–2 (2006) standartlarına göre belirlenmiştir. Zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin olarak; doğal birim hacim ağırlık, kıvam limitleri (likit limit, plastik limit), dane boyu dağılımı (elek analizi) ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kesme kutusu deneyi konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) koşullarında, kesme hızı 0.60 mm/dak olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** İnceleme alanındaki zeminlerin bazı fiziksel özellikleri.

*Table 1. Some physical properties of soils in the study area.*

Örnek No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	Kıvam Limitleri			Elek Analizi		Zemin Sınıfı (TS 1500)	Kesme Kutusu	
			LL (%)	PL (%)	PI (%)	200 No Geçen (%)	10 No Geçen (%)		$\phi$	c (kg/cm <sup>2</sup> )
N-1	Yüzey	18,69	42,00	18,36	23,64	51,48	83,20	CI	27,78	0,54

İnceleme alanında Orta Miyosen yaşlı Karataş formasyonu içerisinde yer alan kumtaşı kiltası ardalanmasından oluşan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları kapsamında ISRM (2007) standartları göz önüne alınarak yüzeyden derlenen

örnekler üzerinde doğal birim hacim ağırlık, görünür gözeneklilik, boşluk oranı, ağırlıkça su emme ve disk makaslama dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır (Tablo 2). Kumtaşı ve kıltaşı araldanmasından oluşan kayaçların yer yer az-orta ve oldukça bozunmuş olması nedeniyle laboratuvarında istenilen standartlara uygun karot numuneler elde edilememiştir. Bundan dolayı kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri, Ulusay ve Gökceoğlu (1997) tarafından önerilen ve daha sonraki yıllarda kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda daha da geliştirilen disk makaslama indeksi deneyi kullanılarak dolaylı yoldan belirlenmiştir.

**Tablo 2.** İnceleme alanındaki kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

*Table 2. Some physical and mechanical properties of the rocks in the study area*

Deney No	Doğal Birim Hacim ağırlık $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ağırlıkça Su Emme Aw (%)	Görünür Gözeneklilik n (%)	Boşluk Oranı e	Disk Makaslama İndeksi Deneyi BPI (Mpa)	Tahmini Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı $\sigma_c$ (Mpa)
1	25,40	2,50	7,40	0,08	4,92	25,10
2	23,75	4,85	8,98	0,12	5,45	27,80
3	24,86	2,76	5,68	0,07	4,83	24,65
4	23,45	4,86	9,45	0,01	5,73	29,20
5	24,25	4,30	8,02	0,10	4,86	24,80

## KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında kumtaşı ve kıltaşı araldanmasından oluşan heterojen birimlerin deformasyon ve dayanım özelliklerinin belirlenmesinde Hoek-Brown yenilme kriterleri (Hoek ve Brown 1980; Hoek ve ark. 1995; Hoek ve Brown 1997; Hoek ve ark. 1998; Marinov ve Hoek 2001; Hoek ve ark. 2002; Sonmez ve Ulusay 2002; Hoek ve Diederichs 2006, Hoek 2013 ve Hoek ve Martin 2018) göz önüne alınmıştır. İnceleme alanındaki birimlerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda RocDATA programı (Rocscience, 2017) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında kumtaşı ve kıltaşı araldanmasından oluşan birimlerin Jeolojik dayanım indeksi (GSI) Marinov ve Hoek (2001) tarafından önerilen tablo kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 3). Araziye yapılan ölçümler ve incelemeler sonucunda kumtaşı ve kıltaşılarının süreksizlik yüzey koşulu genelde sert ve köşeli parçalar içeren dolgular içeren, çok ayrılmış kaygan yüzeylere sahiptir.

Kompozisyon ve yapı açısından iki farklı sınıf belirlenmiştir. Birincisi zayıf kıltaşı ve kumtaşı tabakaları içermekle birlikte kıltaşı oranı kumtaşına göre oldukça yüksek oranlarda tespit edilen E sınıfı, ikincisi ise tektonik olarak deforme olmuş, yoğun kıvrımlanma, kırılmış kıltaşları ile kaotik yapıda kırılmış ve deforme olmuş kumtaşlarından oluşan F sınıfıdır. Tablo 3 kullanılarak yapılan değerlendirmelerde E sınıfı için GSI 26 ve F sınıfı için GSI değeri 22 olarak belirlenmiştir.

Marinos ve Hoek (2001) heterojen kayaçların  $\sigma_{ci}$  ve  $m_i$  parametrelerinin belirlenmesinde hem kumtaşlarının hem de kıltaşlarının laboratuvar veya arazi deneyleri ile belirlenmiş değerlerin direk kullanılamayacağını belirtmişlerdir. Bunun yerine her iki birimi temsil eden ortalama bir değer kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Marinos ve Hoek (2001) inceleme alanımızdaki gibi bazen yüzlerce tabakalanma yüzeyi içeren heterojen kumtaşı-kıltaşı aradalanmalarının dayanımının ve  $m_i$  parametrelerinin sağlam kumtaşı tabakalarına göre belirlenen değerlerden daha düşük olması gerektiğini önermişlerdir. İnceleme alanında yapı ve kompozisyon özellikleri göz önüne alınarak belirlenen kayaç gruplarına göre  $\sigma_{ci}$  ve  $m_i$  parametreleri Marinos ve Hoek (2001) tarafından önerilen tablo kullanılarak E sınıfı için % 40 ve F sınıfı için %60 oranında azaltılarak belirlenmiştir (Tablo 4).

Temel kazısı elle veya iş makinalarıyla yapılacağından örselenme faktörü tüm kayaçlar için (D) 0.7 alınmıştır. Hoek Brown (2018) yenilme kriteri kullanılarak yapılan analizler sonucunda kumtaşı kıltaşı aradalanmasından oluşan birimlerden E sınıfı için, Mohr Colomb kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0.039 MPa, içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) 34.56°, F sınıfı için yer yer deformasyona uğramış kıvrımlanmış kumtaşı kıltaşı aradalanmasından oluşan birimler için, kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0.025 MPa, içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) 25.98° belirlenmiştir. Elastisite modülü ( $E_{rm}$ ) Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen Eşitlik-1 kullanılarak E sınıfı için 120.90 MPa, F sınıfı için 75.10 MPa, olarak hesaplanmıştır.

$$E_{rm} = E_i \left\{ 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + \exp[(60 + 15D - GSI)/11]} \right\} \quad \mathbf{E-1}$$

**Tablo 3.** Fliş tipi heterojen kaya kütlelerinin GSI'nin belirlenmesi GSI (Marinos and Hoek 2001).

Table 3. Geological strength index estimates for heterogeneous rock masses such as Flysch (Marinos and Hoek 2001).

FİLİŞ GİBİ HETEROJEN KAYA KÜTLELERİ İÇİN GSI (Marinos P. ve Hoek E. 2000)		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU				
<p>Litoloji, yapı ve yüzey koşulları tanımlamalarında (özellikle tabaka düzlemlerinde) tablodan bir kutu seçin. Süreksizlik koşullarına karşılık gelen kutunun konumunu belirleyin ve konturlardan GSI için tahmini ortalama değerleri belirleyin. Çok hassas olmaya teşebbüs etmeyin. 33-37 arası bir değer yerine daha gerçekçi olarak GSI= 35 olarak alın. Hoek-Brown kriterinin yapısal olarak kontrol edilmeyen yenilmelere uygulanamayacağına dikkat edin. Uygun olmayan yönelimli sürekli zayıf düzlemsel süreksizliklerin olduğu yerlerde, bunlar kaya kütle davranışlarında etkin olacaktır. Bazı kaya kütlelerinde dayanımı yeraltı suyunun varlığı ile azaltılır ve buda sütunlarda orta, zayıf ve çok zayıf koşullar için sağa doğru hafif kaymalara izin verebilir. su basıncı GSI değerini değiştirmez ve sadece efektif gerilim analizlerinin kullanımı ile ilgilidir.</p> <p><b>Kompozisyon ve Yapı</b></p>		<p><b>ÇOK İYİ</b> Çok pürüzlü, taze ve yırtılmamış yüzeyler</p>	<p><b>İYİ</b> Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvımalı yüzeyler</p>	<p><b>ORTA</b> Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler</p>	<p><b>ZAYIF</b> Kaygan, sert veya kösel parçalar içeren, dolguya sahip, çok ayrılmış yüzeyler</p>	<p><b>ÇOK ZAYIF</b> Kaygan, yumuşak kil dolgusu çok ayrılmış yüzeyler</p>
<p><b>A.</b> Kalın tabakalı, çok bloklu kumtaşı. Tabaka düzlemleri üzerine pelitik kaplama etkisi kapalı kaya kütleleri ile minimize edilmiştir. Sığ tüneller ve şevlerdeki bu tabaka düzlemleri yapısal olarak kontrollü duraysızlığa neden olabilir.</p>		70				
<p><b>B.</b> İnce silttaşı ara tabakalı kumtaşı</p>	<p><b>C.</b> Benzer oranda kumtaşı ve silttaşı</p>	50				
<p><b>D.</b> Silttaşı veya kumtaşı ile siltli şeyl</p>	<p><b>E.</b> Zayıf silttaşı veya kumtaşı ile killi şeyl</p>	40				
<p>C, D, E ve G- resimdekinden daha az veya daha çok kıvrımlanmış olabilirler ancak bu dayanımı değiştirmez. Tektonik deformasyon, faylanma ve devamlılığın azalması F ve H kategorisinde gösterilir.</p>	<p><b>F.</b> Tektonik olarak deforme olmuş yoğun kıvrımlanma/faylanma parçalanmış killi şeyl veya silttaşları ile hemen hemen chaotic yapıdan oluşmuş kırılmış ve deforme olmuş kumtaşları.</p>	30				
<p><b>G.</b> Bozunmamış siltli veya killi şeyl, ince kumtaşı tabakaları olmaksızın.</p>	<p><b>H.</b> Tektonik olarak deforme olmuş siltli veya killi chaotic yapıdan oluşmuş şeyl ile kil içerir. İnce tabakalı kumtaşları ince kayaç parçalarına dönüşmüştür.</p>	20				
		10				

→ : Tektonik bozunma sonrasındaki deformasyon

#### 4. ANALİTİK MODELELER İLE ŞEV DURAYLILIK ANALİZİ

Şev duraylılık analizi topoğrafik özellikler, litolojik özellikler, eğim durumu, hareket yönü göz önüne alınarak iki kesit güzergâhı seçilerek gerçekleştirilmiştir. Seçilen A-A' kesiti için şev yüksekliği 10 m, şev açısı 45-23° arasında değişim sunmakta olup, kesit uzunluğu 20 m, B-B' kesiti için şev yüksekliği 10 m, şev açısı 48-33° arasında değişim sunmakta olup, kesit uzunluğu 20 m alınmıştır. Seçilen iki kesit için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak mevcut durum için duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.



**Tablo 4.** Düzeltilmiş  $\sigma_{ci}$  ve  $m_i$  parametreleri  
*Table 4. Adjusted  $\sigma_{ci}$  and  $m_i$  parameters*

Deney No	Kompozisyon ve Yapı	Düzeltilme Katsayısı	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı $\sigma_c$ (Mpa)	Düzeltilmiş Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı $\sigma_c$ (Mpa)	$m_i$ Sabiti	Düzeltilmiş $m_i$ sabiti
1	E	%40 Oranında	25,1	15,06	17	10,2
2	E	Kumtaşı Değerlerini	27,8	16,68	17	10,2
3	E	Azaltın	24,65	14,79	17	10,2
4	F	%60 Oranında	29,2	11,68	17	6,8
5	F	Kumtaşı Değerlerini Azaltın	24,8	9,92	17	6,8

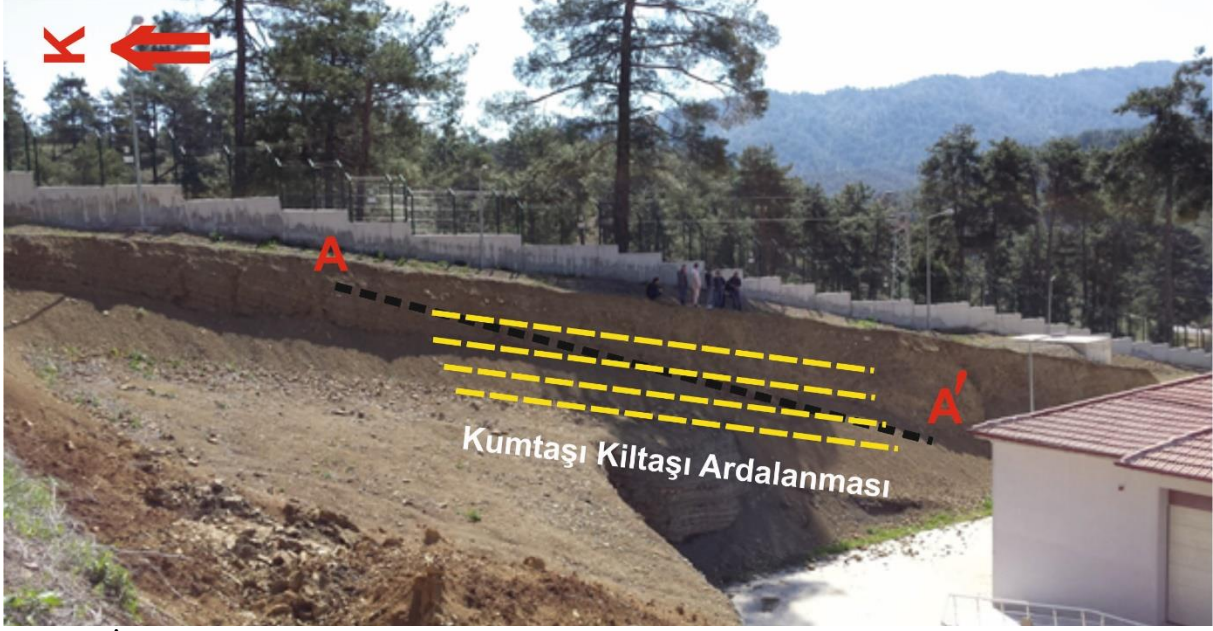
Güvenlik katsayısı hesaplamaları mevcut yamaçta boşluk suyu basıncı ( $r_u$ ) göz önüne alınarak statik ve dinamik (deprem durumu) koşullar için yapılmıştır. Bir şev kaymasında, kayan bölgenin içinde kalan su kütlelerinin yarattığı boşluk suyu basıncının, kayan zemin kütlelerine oranına boşluk suyu basıncı oranı denir (Smith, 1993) ve şev için aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir. Bu bağlamda  $\gamma_t$  zeminin toplam birim hacim ağırlığıdır.

$$r_u = \frac{\text{Kayan şev parçasının hacmi (su altındaki)} * \gamma_w}{\text{Kayan şev parçasının hacmi} * \gamma_t}$$

Burada incelenen şevin drenaja açık yapısı dikkate alındığında şevdeki su hacmi, kayan kütlelerin hacminin yarısı mertebesinde olduğu kabul edilebilmektedir. Göçmelerin yağışlı bir sezonda gerçekleşme olasılığına karşın  $r_u$  için 0.0 ila 0.3 arasında değişen değerler alınmıştır. Suyun birim hacim ağırlığının, zeminin doymun birim hacim ağırlığına oranının 0.5 olduğu dikkate alınır, yukarıda verilen formülden,  $r_u$  değeri yamaç molozu için 0.27 ve kumtaşı kıltaşı aralanmasından oluşan birimler için 0.25 olarak seçilerek analizlerde kullanılmıştır. İnceleme alanının dinamik (deprem durumu) analizleri için en büyük yer ivmesi (PGA) Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak, Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) ve inceleme alanının aktif faylara göre konumu ile deprem büyüklüğü göz önüne alınarak 0.252 g olarak belirlenmiştir.

Seçilen A-A' kesitinin kumtaşı kıltaşı aralanmasından oluşan tabakalı bir yapı sunduğundan dairesel olmayan düzlemsel kayma dikkate alınarak analizler

gerçekleştirilmiştir. Araziye yapılan ölçümlerde tabaka konumları K85D/16GD olarak ölçülmüştür. Tabakaların konumları ve eğimleri model üzerine aktarılmıştır (Şekil 2). Yamaç molozundan oluşan B-B' kesiti için analizler dairesel kayma koşulu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



**Şekil 2.** İnceleme alanında şev duraylılık analizi için seçilen A-A' kesit hattı  
*Figure 2. A-A' section line selected for slope stability analysis in the study area*

Genel olarak kumtaşı kiltası ardalanmasından oluşan A-A' kesiti ve yamaç molozundan oluşan B-B' kesiti için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayısı değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Şev duraylılık analizlerinde şev üst bölgesinde yer alan İhata duvar yükü gözönüne alınarak analizler yapılmıştır. TS 8853 (1991) standartlarına göre yarmalarda toplam gerilme için güvenlik sayısı >1.50 m, efektif gerilme için >1.25 ve deprem durumu için >1.0 olarak verilmiştir. temeller için Analizlerde kullanılan A-A' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizler ile elde edilen değerler şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının her iki programda da 1,50 değerinden büyük olduğundan duraylı olduğu, ancak Slide ve Plaxis programı ile yeraltı suyu ve dinamik (deprem durumu) koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4-5). B-B' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizlerde şevin

statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının 1,50 değerinden büyük olduğundan duraylı olduğu, ancak Slide programında yeraltı suyu koşulunda duraylı ve dinamik (deprem durumu) koşulda duraysız, Plaxis programında yeraltı suyu ve dinamik (deprem durumu) koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6-7).

A-A' kesitinin çizildiği şev kumtaşı, kıltaşı malzemelerinin araldanmasından oluştuğundan, bu kesite ait zemin dayanım parametreleri belirlenirken Hoek Brown yenilme kriteri esas alınarak tek bir birim olarak değerlendirilmiş ve her iki şev analiz programında modellenerek analiz edilmiştir. Limit denge yöntemini kullanan programda (Slide-5) tek bir birim olarak değerlendirilen araldanmanın tabakalar halinde bulunan yapısı ve tabaka konumları model üzerinde oluşturulabilmekte ve istenilen herhangi bir tabaka üzerinde düzlemsel kayma analizi yapılabilmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde A-A' kesitinde kayma yüzeyinin daha derinde çıkmasının sebebi kullanılan programda (Plaxis 7.20) kullanıcı tanımlı bir analiz yapılamamaktadır ve model tek birim olarak değerlendirildiğinden gerçekte dairesel kayma analizi yapmaktadır. Esasen modelleme kolaylığı açısından bu duruma benzer yamaçlarda (aynı birim olarak değerlendirilmesi gereken ve gerçekte tabakalı bir yapı sunan yamaçlarda) kullanıcı tanımlı analizler yapılabilmesine izin vermesi limit denge yöntemlerinin avantajıdır.

Şevli bir zeminde yeraltı su seviyesinin artması durumu için boşluk suyu basıncı yöntemi ya da su seviyesinin model üzerinde tanımlanması yöntemi ile analizler gerçekleştirilebilmektedir. Limit denge analizini kullanan programda boşluk suyu basıncı yöntemi tercih edilmiş ve ru değeri için 0 - 0,3 aralığından 0,27 ve 0,25 değerleri seçilmiştir. Belirlenen ru değerlerinin limitler içerisinde üst değerine yakınlığı göz önünde bulundurulduğunda, sonlu elemanlar yöntemini kullanan programda oluşturulan kesitlerin tamamına yakını yeraltı su seviyesi içerisinde kalacak şekilde modellenerek analiz edilmiştir.

Limit denge yöntemini kullanan programda (Slide-5) her bir nokta için güvenlik sayıları verildiğinden açıklamalar bölümünde renklendirme şeklinde lejant verilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan programda (Plaxis 7.20) ise açıklamalar bölümündeki güvenlik sayısı programda sonuç olarak verilmekte olup, renkli olarak verilen lejant ise yerdeğiştirmeleri gösterdiğinden, burada lejant verilmemiştir. Plaxis programında, basınç gerilmeleri altında oluşturulan ağırlık yüklemesi adımıyla kullanılan poisson oranının seçimi ağırlık yüklemesi eşleştirmesiyle değerlendirilir. Plaxis programında genel olarak Poisson

oranının 0,15-0,25 aralığında bir değer olarak alınması önerilmektedir Brinkgreve (2002). Bu doğrultuda plaxis analizlerinde poisson oranı, Mohr Coulomb Model ile oluşturulan zemin birimleri ile dolgu malzemesinde 0,20, Lineer Elastik Model ile oluşturulan istinat duvarı yapısında ise 0,25 olarak alınmıştır.



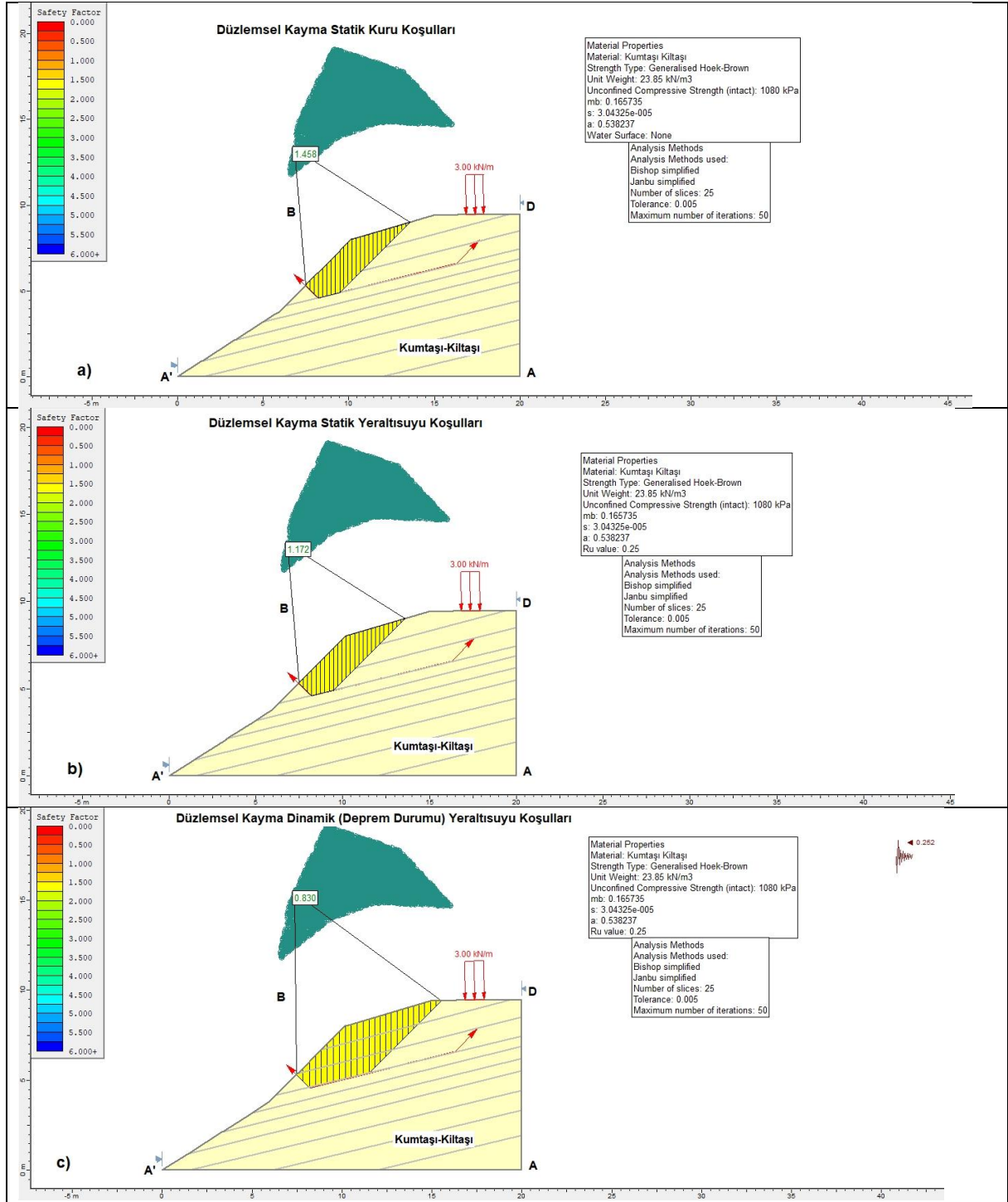
**Şekil 3.** İnceleme alanında şev duraylılık analizi için seçilen B-B' kesit hattı

*Figure 3. B-B' section line selected for slope stability analysis in the study area*

**Tablo 5.** A-A' ve B-B' kesitleri için statik, yeraltısuyu ve dinamik (deprem durumu) koşullarda elde edilen güvenlik sayıları

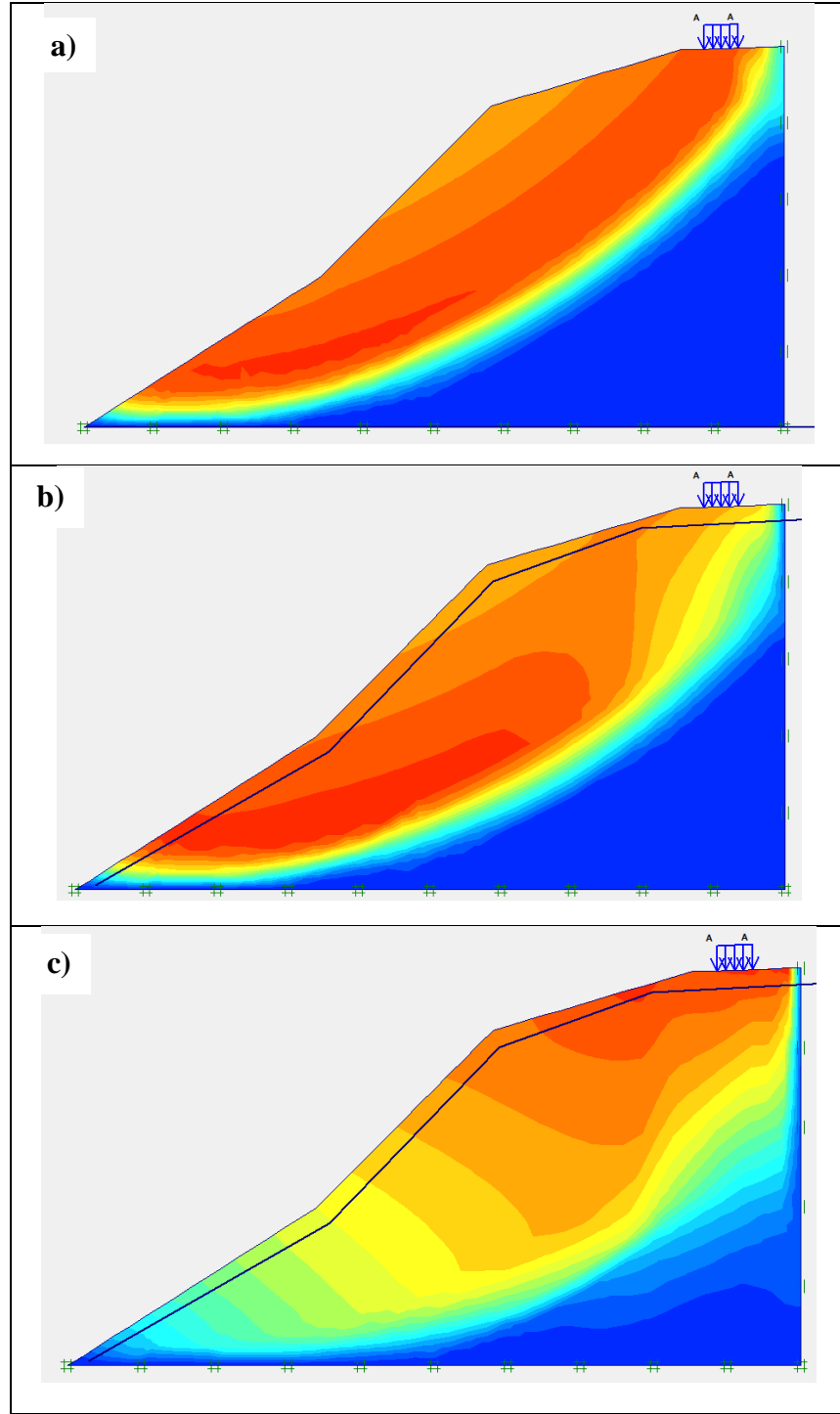
*Table 5. Safety numbers obtained in static, groundwater and dynamic conditions for sections A-A' and B-B'*

Kesit	A-A' KESİTİ		B-B' KESİTİ	
	Slide	Plaxis	Slide	Plaxis
<b>Program</b>				
<b>Statik Kuru Koşullar</b>	1,458	1,753	1,706	1,562
<b>Statik Yeraltısuyu Koşulu</b>	1,172	1,25	1,310	< 1,00
<b>Dinamik (Deprem Durumu) Yeraltısuyu Koşulu</b>	0,83	< 1,00	0,833	< 1,00



**Şekil 4.** İnceleme alanındaki A-A' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

*Figure 4.* Slope stability analysis of the A-A' section in the study area under the condition of a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).



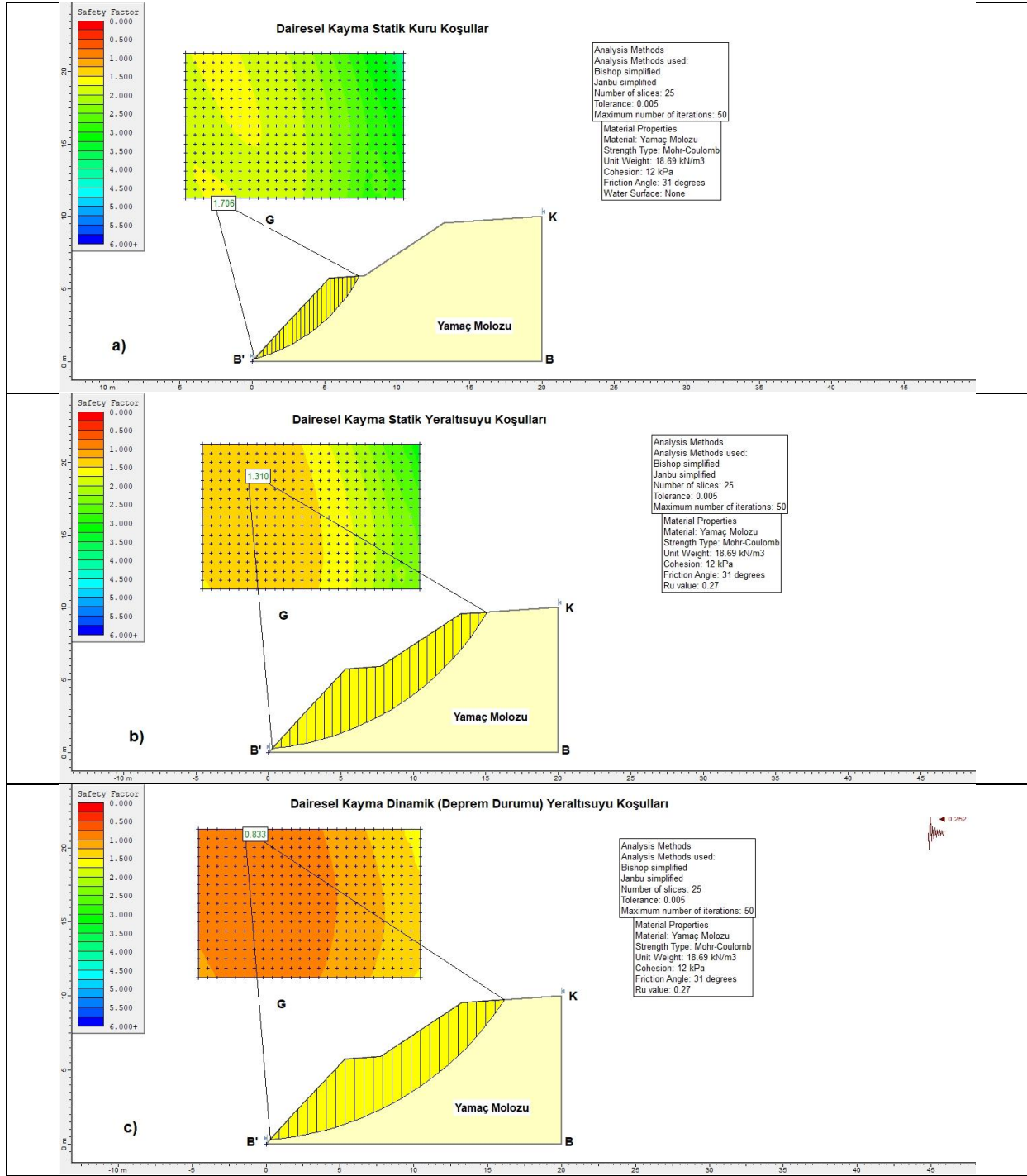
**Şekil 5.** İnceleme alanındaki A-A' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

*Figure 5. Slope stability analysis of the A-A' section in the study area, taking into account the a) static dry, b) static groundwater and c) dynamic (seismic) groundwater conditions performed in the Plaxis program*

Destek tasarımına ihtiyaç duyulan şevlerin iyileştirmesine yönelik betonarme istinat duvarları planlanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlerde betonarme istinat duvarı lineer elastik malzeme modeli ile modellenmiş olup model parametreleri olarak programa Elastisite Modülü,  $E=30.000$  MPa (C25 beton sınıfı), Poisson Oranı,  $\nu= 0,25$  olarak kabul edilmiştir. İstinat duvarı tasarımında geri dolgu ara yüzleri de oluşturularak limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleriyle duraylılık analizleri yapılmıştır. Analizler dolgu malzemesi için literatürden AS 4678 (2002)'de önerilen parametrelerden kohezyon değeri 5 kPa ve içsel sürtünme açısı ise  $32^\circ$  alınarak gerçekleştirilmiştir.

A-A' kesiti üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm koşullarda yeterli güvenlik sayıları elde edilmiştir (Tablo 6). Plaxis programında yapılan analizlerde statik, kuru ve yeraltı suyu koşullarında şevdeki zorlanmaların önemli ölçüde azaldığı, dinamik durumda ise istinat duvarına yakın kısımda yüzeysel olarak oluştuğu gözlenirken, Slide programında ulaşılan kayma yüzeylerinde ise tüm koşullarda üst kısımlarda yapı yükünün çevresinde yüzeysel olarak oluştuğu görülmektedir (Şekil 8-9).

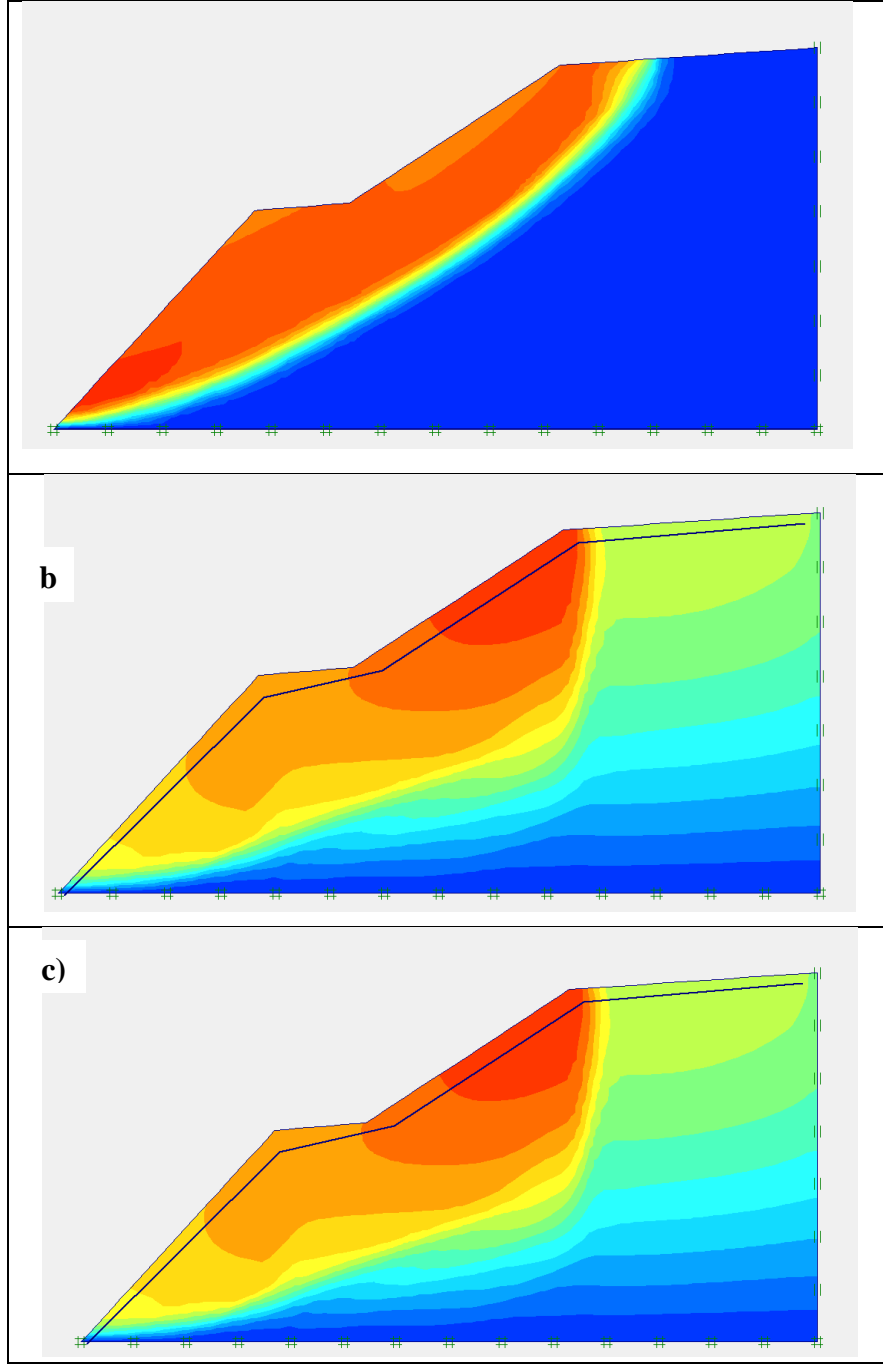
B-B' kesiti üzerinde gerçekleştirilen analizlerde tüm koşullarda yeterli güvenlik sayıları elde edilmiştir (Tablo 6). Plaxis programında yapılan analizlerde statik kuru koşulda şevdeki zorlanmanın üst kısımda yüzeysel olarak oluştuğu, statik yeraltı suyu koşulunda ise şevdeki zorlanmaların önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Dinamik koşulda ise kayma yüzeyi derinleşmiştir. Slide programında yapılan analizlerde statik kuru ve yeraltı suyu koşullarında şevdeki zorlanmaların istinat duvarı çevresinde yüzeysel olarak oluştuğu, dinamik koşulda ise kayma eğrisinin derinleştiği görülmektedir. (Şekil 9-10).



Şekil 6. İnceleme alanındaki B-B' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) ve c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

Figure 6. Slope stability analysis of the B-B' section in the study area under the condition of a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).





**Şekil 7.** İnceleme alanındaki B-B' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

*Figure 7. Slope stability analysis of the B-B' section in the study area, taking into account the a) static dry, b)static groundwater c)dynamic (seismic) droundwatersu conditions performed in the Plaxis program*

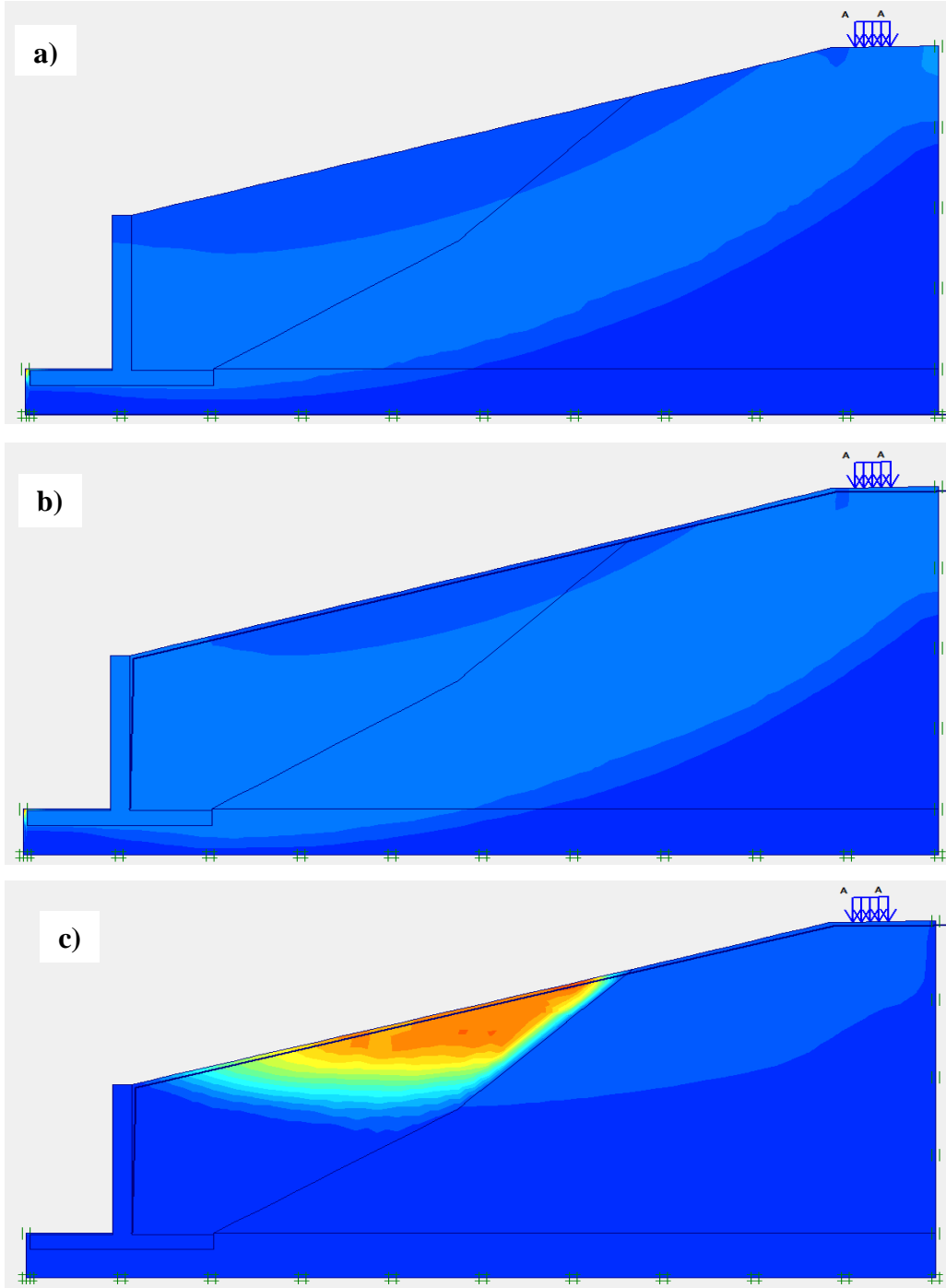
**Tablo 6.** İstinat duvarı ile iyileştirilen A-A' ve B-B' kesitleri için statik, yeraltı suyu ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik sayıları*Table 6. Safety numbers obtained in static, groundwater and dynamic conditions for sections A-A' and B-B' improved with retaining wall*

Kesit Program	A-A' KESİTİ		B-B' KESİTİ	
	Slide	Plaxis	Slide	Plaxis
Statik Kuru Koşullar	2,847	2,619	2,202	2,644
Statik Yeraltısuyu Koşulu	2,352	1,964	1,837	1,966
Dinamik Yeraltısuyu Koşulu	1,294	1,087	1,123	1,080

## SONUÇLAR

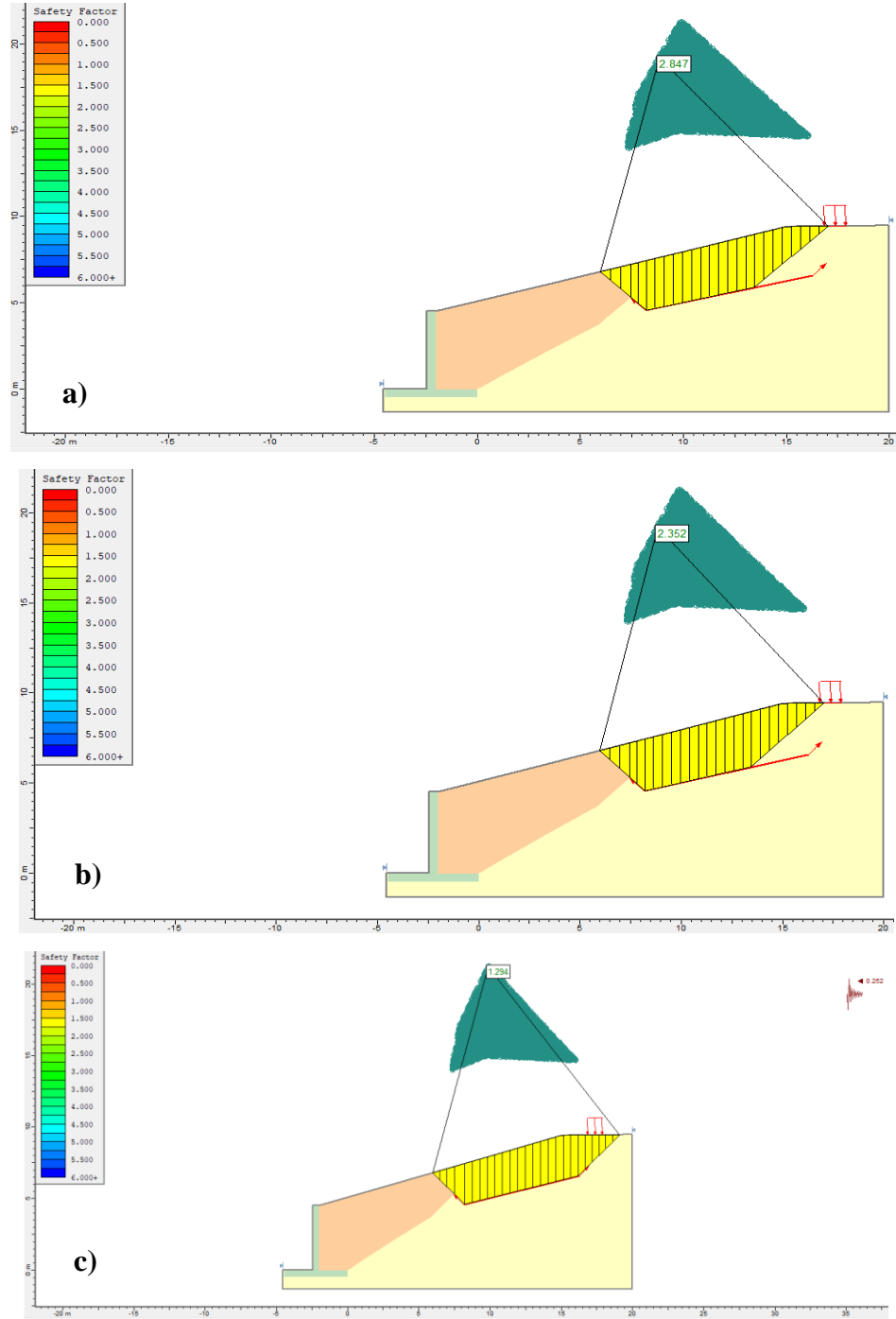
İnceleme alanında kumtaşı ve kiltası ardalanmasından oluşan Orta Miyosen yaşlı Karataş formasyonuna ait birimler ile formasyon içerisinde havza kenarlarında yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalari ve göçme (slump) çökelleri gözlenmiştir. Bu birimler içerisinde açılan kazı şevlerinde meydana gelen kayma şeklindeki kütle hareketleri sonlu elemanlar ve limit denge yöntemini kullanarak analiz edilmiştir. Bu kazı şevlerinde oluşan duraysızlık mekanizmasının belirlenmesi amacıyla Slide-5 ve Plaxis 7.20 bilgisayar programı kullanılarak iki farklı kesit profili üzerinde şev duraylılık analizi yapılmıştır. Analizler kazı şevlerinin statik, yeraltı suyu ve deprem koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

A-A' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizlerde şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının  $GS > 1,50$  olması nedeniyle duraylı olduğu, ancak yeraltı suyu ve dinamik koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve tasarım değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. B-B' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizlerde şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının  $GS > 1,50$  olduğundan duraylı olduğu, ancak Slide programında yeraltı suyu koşulunda duraylı ve dinamik koşulda duraysız, Plaxis programında hem yeraltı suyu hem de dinamik koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve tasarım değişikliğine ihtiyacı olduğu belirlenmiştir.



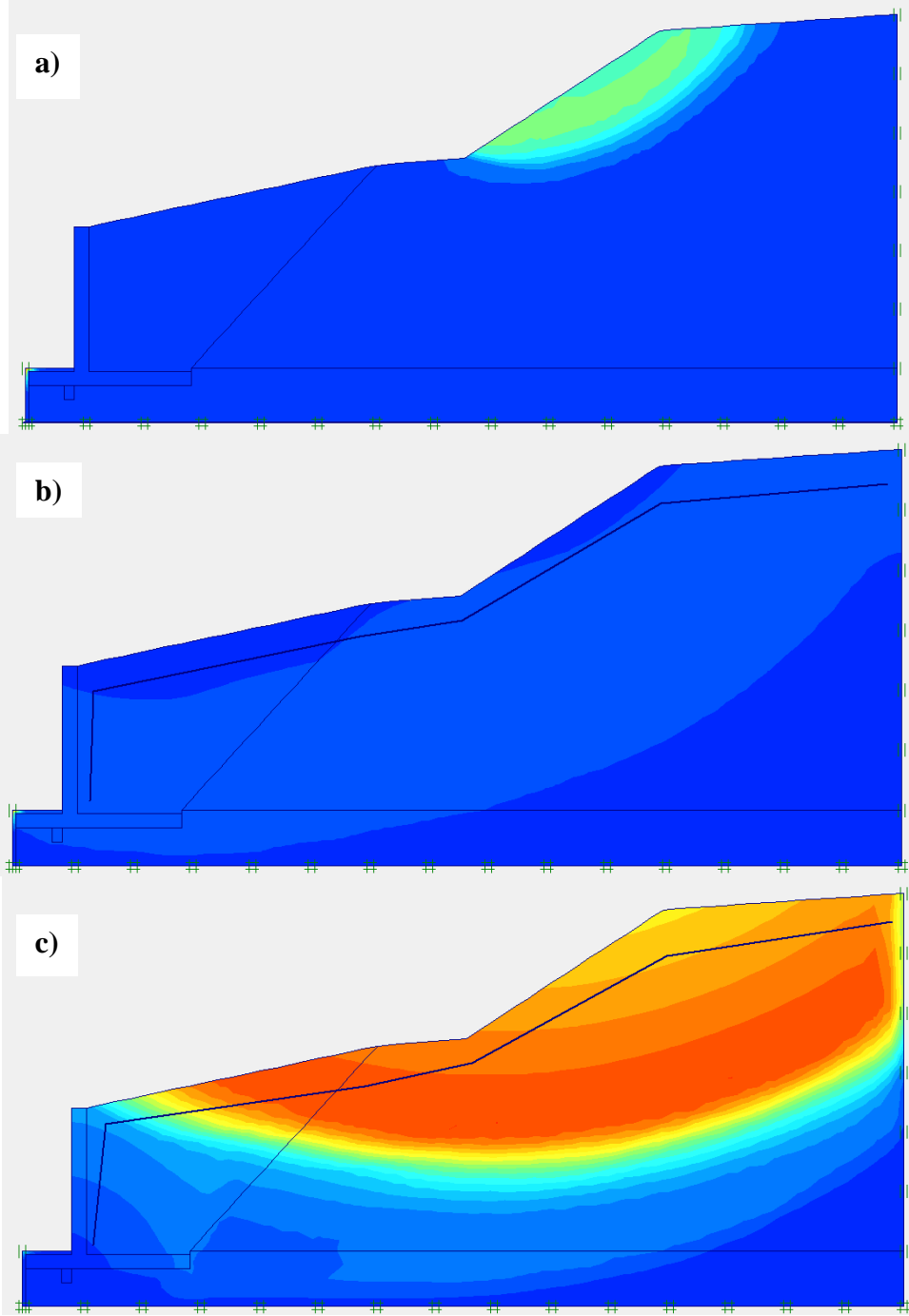
**Şekil 8.** İstinat Duvarı ile iyileştirilen A-A' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

*Figure 8. Slope stability analysis of the A-A' section improved with the Retaining Wall, taking into account the a) static dry, b) static groundwater and c) dynamic (seismic) groundwater in the Plaxis program*



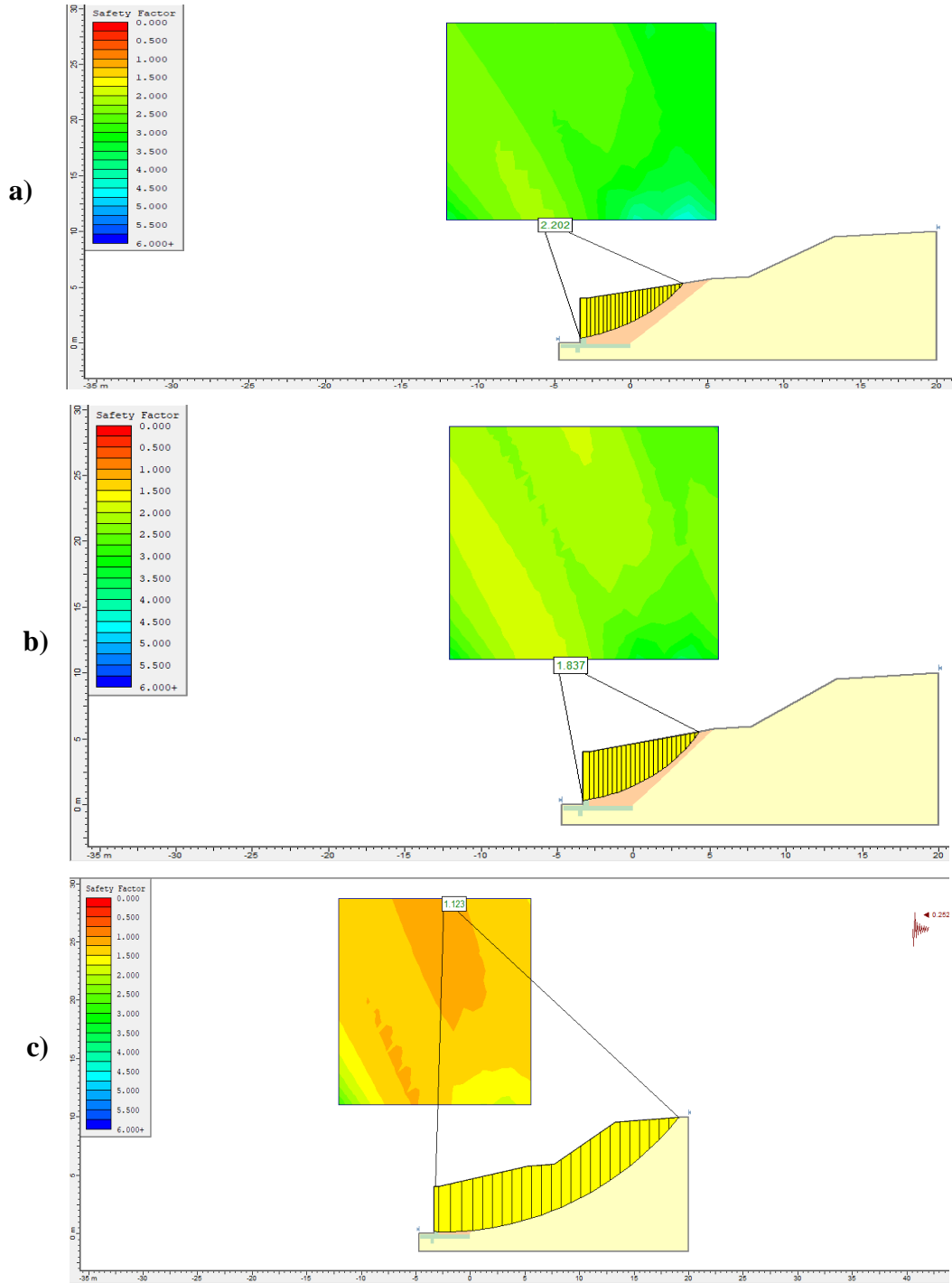
Şekil 9. İstinat Duvarı ile iyileştirilen A-A' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

Figure 9. Slope stability analysis of the A-A' section improved with the Retaining Wall, taking into account a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).



**Şekil 10.** İstinat Duvarı ile iyileştirilen B-B' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

*Figure 10. Slope stability analysis of the B-B' section improved with the Retaining Wall, taking into account the a) static dry, b) static groundwater and c) dynamic (seismic) groundwater in the Plaxis program*



**Şekil 11.** İstinat Duvarı ile iyileştirilen B-B' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

*Figure 11. Slope stability analysis of the B-B' section improved with the Retaining Wall, taking into account a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).*

Yapılan analizlerde yeraltı suyu ve dinamik koşullarda beklendiği gibi statik duruma göre daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır. Mevcut profillerle yapılan analizlerde hem Slide 5.v hem de Plaxis 7.2 programlarında genel olarak birbirine yakın güvenlik sayıları elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yönteminde modelleme aşamasında muhtemel kayma eğrisi program tarafından otomatik olarak oluşturulmakta, limit denge yönteminde ise kayma yüzeyinin sınırları kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Her iki yöntemle de elde edilen kayma yüzeylerinin birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen kesitler için gerçekleştirilen analizlerde, duraysızlık problemlerinin olduğu bu nedenle destek ve tasarım değişikliğine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. İyileştirme amaçlı istinat duvarı çözümü ele alınarak gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, geri dolgu parametreleri, betonarme imalat değerleri ve diğer parametreler Plaxis ve Slide programlarında aynı değerlerle modellenmiştir. Hem sonlu elemanlar hem de limit denge yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerde; statik, dinamik ve yeraltı suyu koşullarında şevin duraylılığının arttığı ve gerekli güvenlik sayısını sağladığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Akçakal Ö. 2009. Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve bir vaka analizi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Akçakal Ö., Durgunoğlu T., Şenol A., Ve Öztoprak S. 2010. Şev Stabilitesi Analizinde Geri Hesap Yöntemi Kullanılarak Bir Vaka Analizi: Göktürk Kayması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi 30 Eylül-1 Ekim, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul. 12s.
- Alemdağ, S. 2016. Toprak dolgulu barajlarda gövde duraylılığının limit denge ve sayısal analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi: Türkiye’den bir atık barajı örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 157-173. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.015>
- Bol E., Sert S., ve Özocak A. 2017. Kazıklı İksa Sistemi İle Şev Duraylılığının Sağlanması, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 5, 860–870.
- Brinkgreve RB 2002. Material models manual for Plaxis v8. Plaxis bv, Delft

- Büyükkağmıcı, C. Z., ve Işık, N. S. 2019. Şev Duraylılığı Analizlerinde Limit Denge Yöntemleri, Eurocode 7 Ve Bs 8006 Standartlarıyla Hesaplanan Başarı Oranlarının Karşılaştırılması", TÜBAV Bilim Dergisi, 12(2), 18-29.
- Cheng, Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B., 2007. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, Computers and Geotechnics, p.137-150
- Chen G., Li, C. and Fang, Q 2019. Slope Stabilization Using Back-analysis Method," In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 332, no. 2, p. 022058, IOP Publishing, 2019.
- Fırat S. ve Canik B. 2014. Şev İyileştirmelerinde Kullanılan Kazıklara Uygulanan Deprem Etkisi. Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt:17, Sayı : 1 (Özel Sayı), s.31-34,
- Gül, M., 2004. Evolution of Turbidite System in the Kahraman Maras Basin, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 354 s. (Yayınlanmamıs).
- Hammouri, N. A., Malkawi, A. I. H. and Yamin, M. M. A. 2008. "Stability Analysis of Slopes Using the Finite Element Method and Limiting Equilibrium Approach", Bulletin of Engineering Geology: 67:471–478.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980a. Underground Excavation in Rock. London, Institution of Mining and Metallurgy 527 pp.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980b, Empirical Strength Criterion for Rock Masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), 1013-1035.
- Hoek, E., Kaiser, P. K. and Baeden, W. F., 1995, Support of Underground Excavation in Hard Rock. Rotterdam, Balkema 214.
- Hoek, E.; Brown, E.T., 1997, Practical estimates or rock mass strength. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr, Vol. 34, No. 8, pp. 1165–1186.
- Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M., 1998, Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses: The Case of the



- Athens Schist formation. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57, 151-160.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corcum, B., 2002, Hoek-Brown Failure Criterion:2002 edition. Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting, Toronto, Canada, 1-6.
- Hoek E, Diederichs M.S., 2006, Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 43: 203–215.
- Hoek, E., & Martin, C. D. 2014. Fracture initiation and propagation in intact rock—a review. J Rock Mech Geotech Eng 6: 287–300.
- Hoek E and Brown E. T. 2018. The Hoek-Brown failure criterion and GSI e 2018 edition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 11. 445-463.
- ISRM 2007, Basic geotechnical description of rock masses, international society of rock mechanics commission on the classification of rock masses Int J Rock Mech Mining Sci Geomech Abstract18:55–110
- Karadağ M. B ., Evirgen B., Tuncay M. 2019. Çiftlikköy İlçesi Gençlik Caddesindeki Heyelanın Vaka Analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2019) 640-649.
- Kim, J., Salgado, R. and Lee, J. 2002, “Stability Analysis of Complex Soil Slopes Using Limit Analysis”. J. Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE 128-7:546–557.
- Liu, S.Y., Shao, L.T., Li, H.J., 2015. Slope stability analysis using the limit equilibrium method and two finite element methods
- Marinos, P.; Hoek, E., 2001, Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bull Eng Geol Environ, Vol. 61, pp. 85– 92.
- Natur O. 2018. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri Ve Bir Vaka Analizi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 160s. (Yayınlanmamış).

- Pehlivan M. 2008. Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. 112s. (Yayınlanmamış)
- Pınarlık M., Öztürk Kardoğan P. S., Kılıç Demircan R. 2017. Şev Stabilitesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi İle İrdelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(3), 675 – 684.
- Ün B., ve Yıldız A.. 2021. Şev Stabilitesi Probleminin Geri Analizle Çözümü: Örnek Bir Vaka. Academic Platform Journal of Engineering and Science 9-1, 174-181, 2021
- Sonmez, H.; Ulusay, R., 2002, A discussion on the Hoek–Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, Vol. 26, pp. 77–99.
- Smith, M.J. 1993. “Soil Mechanics”, 4th Ed., Longman Scientific & Technical, Essex, UK
- Taşkıran T., Yavuz V. S., Keskin M. S. 2015. Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi*. Cilt 6, Sayı 1, 1-8.
- Tekin A. 2011. Sonlu elemanlar ve limit denge yöntemleri ile şev stabilitesi analizi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tokgözoğlu K. 2014. Anamur-Kaledran Devlet Karayolu inşaatında açılan derin yarmaların şev stabilitesi açısından değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- TS 8853 1991. Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde, Retrieved from [www.tse.org.tr](http://www.tse.org.tr)
- TS 1900-1 (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 99s.
- TS 1900-2 (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 68s.

Ulusay, R. ve Gökçeoğlu, C., 1997, The modified block punch index test. Canadian Geotechnical Journal, 34, 991-1001.

Rockscience inc., 2017, ROCLAB Rock mass strength analysis using the generalized Hoek-Brown failure criterion, Toronto, available at <http://www.rockscience.com>.

Slide, *Bilgisayar Programı*, Rocscience Inc, 2004.

R. B. J. Brinkgreve, E. Engin ve W. M.Swolfs, *PLAXIS 2D AE Manual*, A.A.Balkema, 2014.