

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Demiryolu Projeleri Yarmalarında Şev Stabilitesi Değerlendirmeleri: Örnek Bir Uygulama

Slope Stability Assessments in Railway Projects Cuts: A Case Study

Buğrahan Açıkgöz*, Nihat Sinan Işık

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Geliş / Received: 11.06.2024

Kabul / Accepted: 28.06.2024

*Sorumlu Yazar: Buğrahan Açıkgöz bugrahn42@gmail.com

ÖZ: Demiryolu projelerinde güzergâhın tabii zemin kotundan farklı seviyede ilerlemesi yarma ve dolgu ihtiyacını doğurur. Her iki durumda da oluşturulan şevlerin stabilitesinin sağlanması çok önemlidir. Şev stabilitesini sağlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arazinin karakteristik özellikleri, teknik uygunluk ve maliyet gibi yönlerden farklılık göstermektedir. Bu çalışma kapsamında Ankara, Afyonkarahisar, Uşak, Manisa ve İzmir gibi deprem tehlikesi yüksek bölgelerden geçen Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren projesi güzergâhında bulunan bir yarma kesiti ele alınmıştır. Bölgeye ait olan eğimli arazinin analizi için statik yükler altında, limit denge yöntemlerinin çözümleri kullanılmış ve güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra deprem durumunda yarma şevlerinde oluşması beklenen deformasyonlar Newmark yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Analizlerde limit denge yöntemleri ile çözüm yapan Slide programı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen yarma kesitinde şev açısının düşürülmesi ile yeterli güvenliğin sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Şev, Stabilite, Demiryolu, Yarma, Vaka Analizi.

ABSTRACT: In railway projects, the route progressing at a level different from the natural ground level creates the need for cutting and filling. In both cases, it is very important to ensure the stability of the created slopes. Various methods have been developed to ensure slope stability. These methods differ in terms of characteristics of the land, technical suitability and cost. Within the scope of this study, a cut section on the route of the Ankara-İzmir High Speed Train project, which passes through regions with high earthquake risk such as Ankara, Afyonkarahisar, Uşak, Manisa and İzmir, was discussed. For the analysis of the sloping land of the region, solutions of limit equilibrium methods were used under static loads and safety coefficients were calculated. Then, the deformations expected to occur in the cut slopes in the event of an earthquake were determined using the Newmark method. Slide program, which provides solutions with limit equilibrium methods, was used in the analysis. It was observed that sufficient safety was provided by reducing the slope angle in the cut section examined within the scope of the study.

Keywords: Slope, Stability, Railway, Cuts, Case Study.

1. GİRİŞ

İnsanlığın var olduğu ilk dönemlerden beri barınma, sığınma, yiyecek bulma ve tehlikelerden korunma gibi ihtiyaçlar bir yerin yaşam alanı olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Günümüz dünyasında artan nüfus, gelişen teknoloji ve imkânlar ile barınma ve ulaşım ihtiyacı eski dönemlerdeki gibi sadece elverişli ortamlarda değil

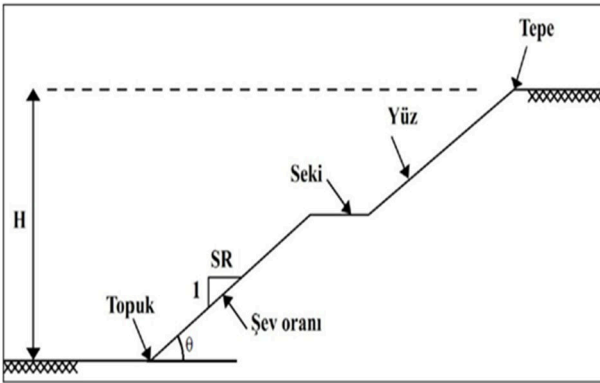
müdahaleye ihtiyaç duyulan elverişsiz ortamlarda da kendine yer bulmuştur. Bu çerçevede çeşitli nedenlerle doğada doğal olarak bulunan ve sonradan insan eli ile yapılan yarma ve dolgular beraberinde çözülmesi gereken mühendislik sorunları ortaya çıkarmıştır. Şev stabilitesi bu sorunların başında gelmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ve laboratuvar imkânlarının artması ile zemin parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametrelere uygun mühendislik yaklaşımlarının

geliştirilmesiyle bu problemin çözümü daha kolay hale gelmiştir.

2. ŞEV VE ŞEV STABİLİTESİ

Doğada kendiliğinden oluşmuş veya doğal zeminin farklı amaçlar için eğimli bir şekle getirilmesiyle meydana gelmiş bölgelere şev adı verilir. Şev tanımlaması aynı zamanda eğimli yüzey olarak da kullanılmaktadır. Şev açısı şevin yüzeyle yaptığı açıyı, şev eğimi ise bu açının tanjantını ifade etmektedir [1].

Şevler tanımlanırken çeşitli terimler kullanılmaktadır. Şevin düz tabii zemini kestiği noktalara şev tepesi ve şev topuğu; şevin tepesi ile topuğu arasındaki yükselti farkına şev yüksekliği; şev tepesi ve topuğu arasındaki yüzeye şev yüzeyi; şev yüzeyi üzerinde oluşturulan düzlük kısımlara palye (seki) ve şevin dikliğine şev oranı adı verilmektedir. Şekil 1'de şevlere ait terminoloji şekil üzerinde gösterilmiştir [2].



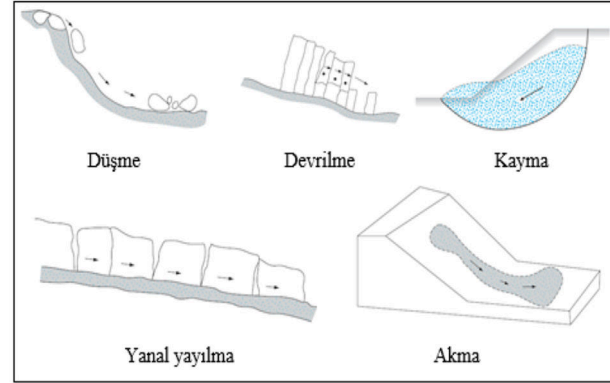
Şekil 1: Şev tanımlamasında kullanılan terminoloji [3].

Şevler, kimi zaman doğal sebeplerden kimi zaman da dışarıdan etkilerle stabilitesini kaybederek hareket edebilmektedir. Bu hareket türleri harekete geçen çeşitli malzeme ve zemin cinsi, kayma mukavemeti parametreleri, zemindeki su içeriği, kayan kütlelerin boyutu ve hızı gibi çeşitli parametreler çerçevesinde sınıflandırılmıştır [4]. 1996 yılında Cruden ve Varnes tarafından yapılan bir çalışmadan bu kayma hareketleri 5 ana kategoriye ayrılmıştır [5]:

- Düşme: Zemin veya kaya parçalarının şev yüzeyinden aşağı düşmesi suretiyle meydana gelen göçmedir.
- Devrilme: Şev üzerinde bulunan bir kütlelerin belirli bir eksen doğrultusunda ileri yönlü yer değiştirmesidir.

- Yana Yayılma: Özellikle sismik etkiler altında meydana gelen sıvılaşmaya bağlı olarak şevlerin yatay yönde yer değiştirmesidir.
- Akma: Zemin kütlelerinin viskoz sıvı gibi aşağı yönde hareketidir.
- Kayma: Bir kayma düzlemi üzerinde zemin kütlelerinin aşağı yönde hareketidir.

Şekil 2'de bu kayma hareketlerinin şematik gösterimi sunulmuştur.



Şekil 2: Şevlerde göçme tipleri [4].

Şevlerin stabilitesini etkileyen ve duraysızlığa sebep olan birçok etken bulunmaktadır. Doğada suni veya doğal olarak hâlihazırda bulunan veya inşa edilmesi planlanan şevleri istikrarlı hale getirmek için çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamalar şevlerin zemin dayanımını artırmak amacıyla yapısal olmayan veya yapısal yöntemler yardımıyla gerçekleştirilir. Şevler üzerinde bulunan yükleri azaltmak, şevlerin payandalanması, şev drenajı, bitkilendirme ve yapısal iyileştirme ile şevlerin stabiliteyi artırılmaya çalışılır [1].

Şevlerin yüksekliği ve eğim açısı gibi fiziksel durumları, şevin taşıdığı yükün büyüklüğü ve konumu, zemin birimlerinin özellikleri ve davranışları ile şevin kaymasını önleyici yapıların durumu şevlerin bütünsel stabilitesi üzerinde etkilidir [6].

2.1 Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri

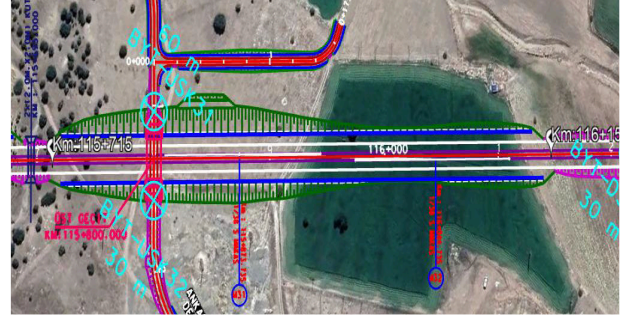
Günümüzde yaşam alanlarının genişlemesi ile birlikte doğal ortamda bulunan şevlerde veya insan eliyle yapılmış şevlerde karşılaşılan stabilite problemleri ile baş etme ihtiyacı artmıştır. Geoteknik mühendisliğinde önemli bir yer eden şev stabilitesi zemin ve kaya mekaniğini iyi anlamak ve bu alandaki gelişmeleri yakından takip etme gereksinimi doğurmaktadır. Şev stabilitesi analizlerinin doğru sonuçlar vermesi için

modellerin doğru oluşturulması önem arz etmektedir. Yer altı koşulları, zeminin karakteristiği ve yapı üzerine gelecek yükler doğru şekilde seçilip modele tanımlanmalıdır. Bunun yanında analiz sonuçlarını doğru değerlendirmek ve uygulanabilirliğini artırmak adına kabul edilebilir güvenlik sayısı ve risk faktörlerini optimum belirlemek önemlidir. Mevcut şevlerin stabilitesi değerlendirilirken de çevre koşullarının ve zemin parametrelerinin mümkün mertebe güncel durumunun belirlenmesi ve bu doğrultuda analizlerin gerçekleştirilmesi azami öneme sahiptir. Şev stabilitesi analizlerinin temel amaçlarının başında farklı doğal koşullarda ve yükleme şartlarında bulunan şevlerin analiz edilmesi, statik ve dinamik yüklerin şevlerdeki etkilerinin saptanması, şevlere ait parametrelerin belirlenmesi ve bu parametre değişikliklerinin şev üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, şevlere ait kayma mekanizmalarının araştırılması ve şevlerin iyileştirilmesine dair yöntemlerin geliştirilmesi sayılabilir [5].

Hem gelişen teknolojinin yardımı hem de yeni projeler kapsamında tasarımı gerçekleşen yarma ve dolgu sayılarının artması şev stabilitesi problemlerini çözmek için analitik yöntemler geliştirilmesi ihtiyacı doğurmuştur [7]. Doğal olarak veya suni olarak oluşturulmuş şevlerin analiz yöntemlerinde her ne kadar bazı farklar olsa da temelde şev stabilitesi analizleri şevin kritik kayma yüzeyinde bulunan kayma kütesinin analiz edilmesi olarak tanımlanabilir [8]. Genel çerçevede şev stabilitesi analiz yöntemleri şevin durağan durumunu analiz etmek için kullanılan limit denge analiz yöntemleri ve şevin dinamik yükler altındaki durumunu analiz etmek için kullanılan dinamik analiz yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır [1]. Bununla beraber bir başka ayırım ise şevlerde hesaplanan güvenlik sayılarının kesin olduğunu varsayan limit denge analizleri ve sonlu elemanlar analizleri gibi deterministik yaklaşımlar ile hem zemin özelliklerinin belirsizliği hem de hesaplamalarda karşılaşılabilecek belirsizliklerin güvenlik sayılarına olasılık teorileri çerçevesinde incelendiği Monte Carlo Simülasyonu ve Taylor Serisi Yöntemi gibi olasılıksal yaklaşımlar olarak ayırım yapılmaktadır [9].

3. VAKA ANALİZİ

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bünyesinde yapımı devam eden yüksek hızlı tren projelerinden Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Projesi güzergâhu Bayat bölgesi Km:115+715-116+150 arasında bulunan yaklaşık 450 metre uzunluğunda bir yarma kesiti şev stabilitesi açısından incelenmiştir. Şekil 3'de yarma kesitine ait plan gösterimi sunulmuştur.



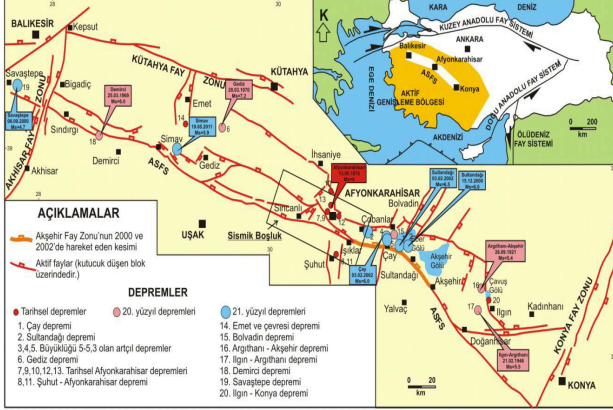
Şekil 3: Yarma kesiti plan gösterimi.

Proje inceleme alanını özetle kuvars şist, mikaşist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan İhsaniye formasyonu olarak adlandırılan birimlerden, başlıca metaçakıtaşı, şist ve rekritalize kireçtaşı ardalanmasından oluşan ve adını Konya-İlgın güneyinde yer alan Eldeş köyünden alan birimlerden, başlıca alacalı renkli şistler, metakumtaşı, metasilttaşı ve metaçakıtaşı birimlerinden oluşan Kıyır formasyonundan, başlıca kristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve metasilttaşlarından oluşan ve Gökçeyayla formasyonu olarak adlandırılan birimlerden, başlıca kirli sarı renkli kireçtaşı, kristalize kireçtaşı, şist, metasilttaşı ardalanmasından oluşan Paşadağ üyesi biriminden, başlıca dolomit, kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşan Karacaçal Tepe üyesi birimlerinden ve akarsu çökelleri şeklinde gözlemlenen pekleşmemiş çakıl, kum ve siltlerden oluşan Alüvyon birimlerinden oluşmaktadır.

Afyonkarahisar ve çevresini kaplayan bölge Ege Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin arasında yer almaktadır. Bu bölgede Ege Bölgesi'nin genişleyen tektoniğinin etkisinde farklı zamanlarda ve büyüklüklerde depremler görülmüştür. Afyon ve çevresine ait fay zonlarının ve aktif fay hatlarının gösterildiği bölgeye ait sismotektonik harita Şekil 3'de verilmiştir.

Afyonkarahisar ve çevresini kapsayan bölge Ege Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin arasında yer almaktadır. Bu bölgede Ege Bölgesi'nin genişleyen

tektoniğinin etkisinde farklı zamanlarda ve büyüklüklerde depremlere görülmüştür. Afyon ve çevresine ait fay zonlarının ve aktif fay hatlarının gösterildiği bölgeye ait sismotektonik harita Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Afyon ve çevresine ait sismotektonik harita [10].

Söz konusu yarma kesiti Afyon ve çevresindeki aktif fay hatlarının bulunduğu ve depremselliği yüksek bir bölgede yer almaktadır. Analizlerde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ile güncellenen Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan elde edilen ivme değerleri ve deprem yer hareketi düzeylerinden DD-1 ve DD-2 performans limitlerine göre değerlendirilmiştir [11].

Bölgede yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen verilere göre idealize edilen zemin profili yüzeyden 7,5 metre derinliğe kadar tamamen dolomit birimi, 7,5-14,5 metre arası muhtemelen pekışmemiş-ayrışmış kiltası birim niteliğinde düşük plastisiteli kil ve 14,5-35,0 metre arasında ayrışmış dolomit birimleri şeklindedir.

Şev stabilite analizlerinde kullanılacak idealize zemin birimlerine ait parametre değerleri laboratuvar deney sonuçları ve SPT değerlerini esas alan ampirik eşitlikler birlikte kullanılarak seçilmiş ve Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Zemin birimlerine ait parametre değerleri.

Derinlik	Birim	$\gamma_d \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	SPT-N _{1,60}	PI	LL
0-7,5m	Ayrışmış Dolomit	23	75	-	NP
7,5-14,5m	Kil	19	15	19	39
14,5-35m	Ayrışmış Dolomit	23	75	-	NP

Tablo 2: Zemin birimlerine ait analizlerde kullanılacak kısa dönem ve uzun dönem parametreleri.

Derinlik	Birim	Parametre	
		Kısa Dönem	Uzun Dönem
0-7,5m	Ayrışmış Dolomit	$c'=1 \text{ kPa}$, $\varphi=43^\circ$	
7,5-14,5m	Kil	$c_u=80 \text{ kPa}$	$c'=8 \text{ kPa}$, $\varphi=29^\circ$
14,5-35m	Ayrışmış Dolomit	$c'=1 \text{ kPa}$, $\varphi=43^\circ$	

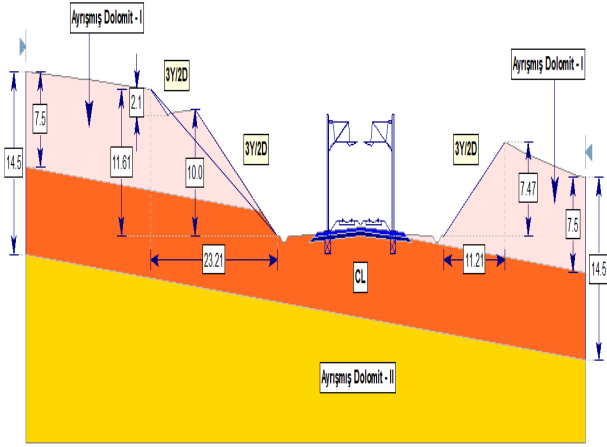
Çalışma kapsamında incelenen yarma şevinde karşılaşılan zemin birimleri düşük plastisiteli kil ve ayrışmış dolomit özelliği göstermektedir. Modelleme aşamasında zemin birimlerinin modellemesi için Mohr-Coulomb yenilme kriteri ve Limit denge analiz yöntemlerinden tüm kuvvet ve moment denge koşullarını sağlayan Morgenstern-Price metodu kullanılmıştır. Şev stabilite analizleri Slide programı ile yapılmıştır. Aşağıdaki Tablo 3'de statik ve dinamik durumlarda hedeflenen güvenlik katsayıları verilmiştir.

Tablo 3: Hedeflenen statik ve dinamik güvenlik katsayısı.

Analiz Durumları	Güvenlik Sayısı
Statik Durum	$\geq 1,50$
Deprem Durumu	$\geq 1,10$

Şevlerin tasarımı belirli kilometre aralığında yarma yüksekliğinin en fazla olduğu ve kritik kesit olan Km: 115+840 için analiz yapılmıştır. Öncelikle yarma şevleri 3Y/2D şev eğimli olarak ardından 2Y/1D eğimli olarak tasarlanmış ve güvenlik katsayıları kıyaslanmıştır. Analizlerde zemin birimlerinin davranışlarını değiştirdiği uzun dönem ve kısa dönem parametreleri ayrı ayrı değerlendirilmiş olup statik ve sismik durum yine farklı analiz edilmiştir. Sismik analizlerde kullanılacak deprem parametreleri "Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması" üzerinden ilgili bölge ve kilometre seçimi ile elde edilmiştir.

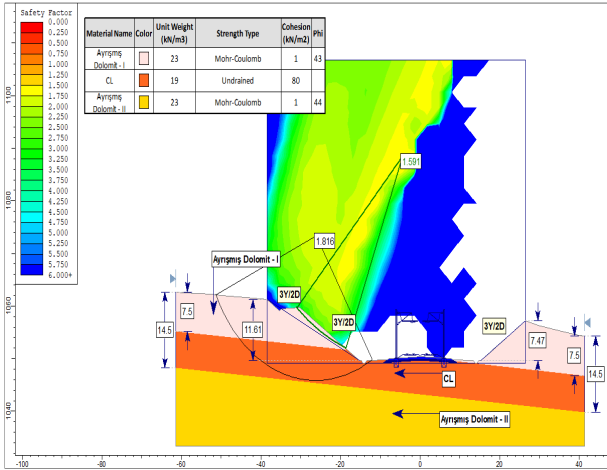
Şekil 5'de çalışma kapsamında incelenecek 3Y/2D eğimli yarma kesitinin Slide programında hazırlanan modeli verilmiştir.



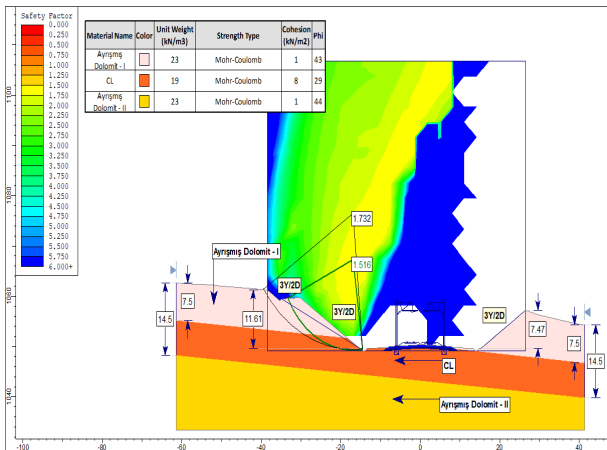
Şekil 5: 3Y/2D Yarma şevi analiz modeli.

Statik yüklerin yanında şevlere etki eden dinamik yüklerin sonucunda meydana gelecek etkiler ve şevlerin stabilitesi yarı-statik analiz yöntemi kullanarak hesaplanır.

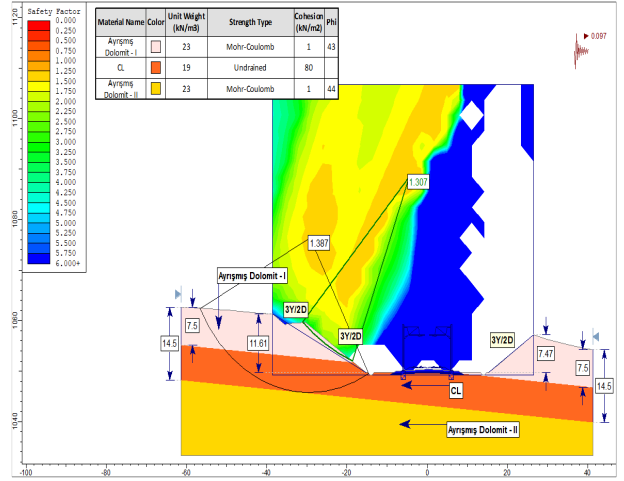
Şekil 6-11 arasında 3Y/2D şev eğimi için yapılmış analiz çıktıları uzun dönem/kısa dönem ve statik/sismik olarak verilmiştir.



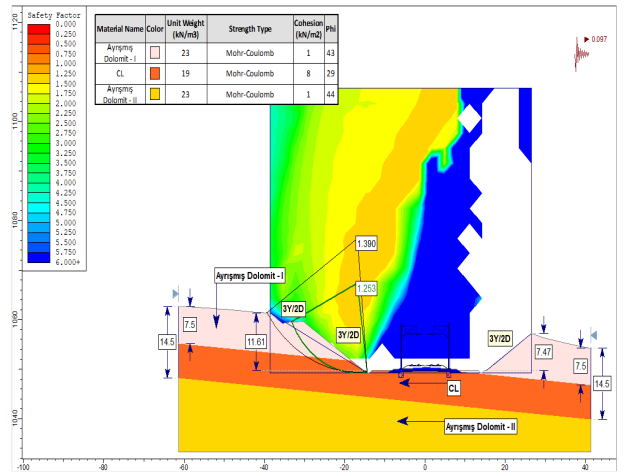
Şekil 6: Sol şev kısa dönem statik analiz sonucu.



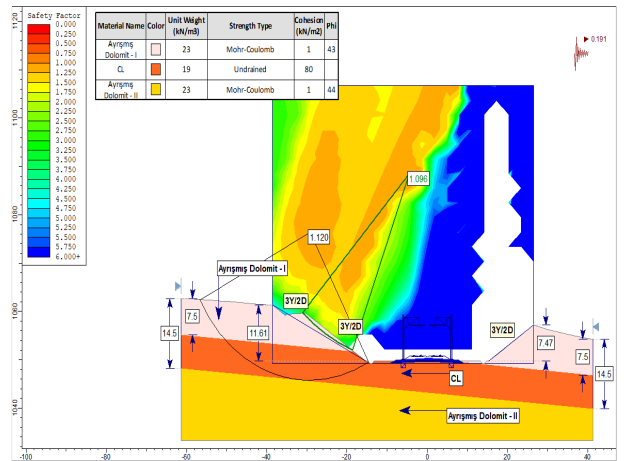
Şekil 7: Sol şev uzun dönem statik analiz sonucu.



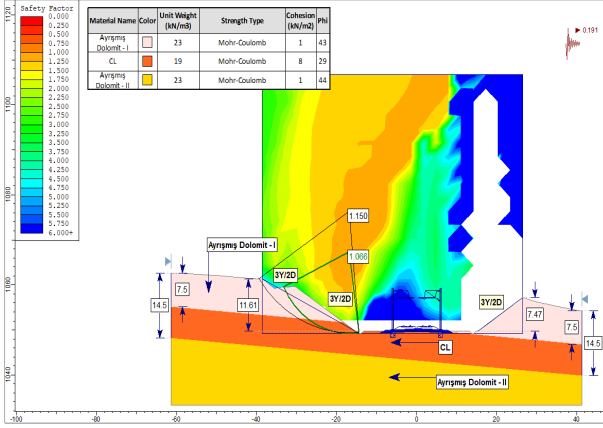
Şekil 8: Sol şev kısa dönem dinamik (DD-2) analiz sonucu.



Şekil 9: Sol şev uzun dönem dinamik (DD-2) analiz sonucu.



Şekil 10: Sol şev kısa dönem dinamik (DD-1) analiz sonucu.



Şekil 11: Sol şev uzun dönem dinamik (DD-1) analiz sonucu.

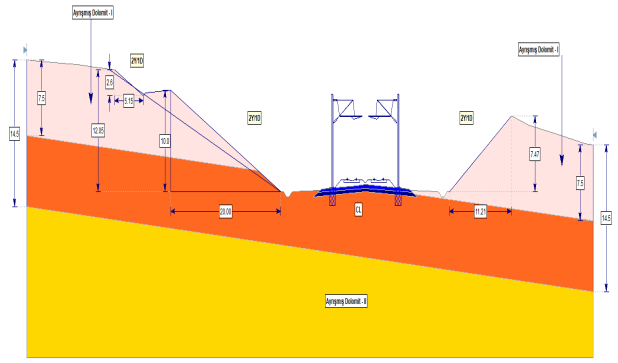
Şekil 6 ve 7’den görülen yarma kesiti sol şev statik kısa dönem ve uzun dönem analizi güvenlik sayısı ($1,591 > 1,300$ ve $1,516 > 1,500$) ve DD-2 deprem yer hareket düzeyindeki güvenlik sayısı ($1,307 > 1,100$ ve $1,253 > 1,100$) yeterli olmakla beraber aynı kesit için DD-1 deprem yer hareket düzeyindeki güvenlik sayısı ($1,096 < 1,100$ ve $1,066 < 1,100$) yeterli değildir. Analizlerin sonuçları Tablo 4’de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 4: Analizlerin sonuçları.

Şev	Kısa Dönem 3Y/2D		Uzun Dönem 3Y/2D	
	Statik Durum	Dinamik Durum	Statik Durum	Dinamik Durum
Yarma Kesiti	$1,591 > 1,30$	DD-2	$1,516 > 1,50$	DD-2
Sol Şev (3Y/2D)		$1,307 > 1,10$		$1,253 > 1,10$
		DD-1		DD-1
		$1,096 < 1,10$		$1,066 < 1,10$

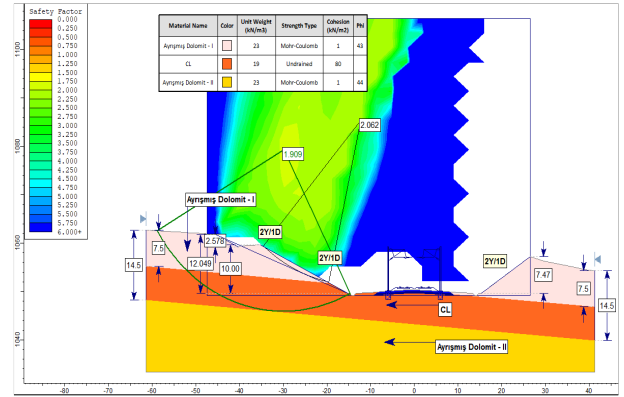
Tablo 4’de görüldüğü üzere “Deprem Etkisi Altında Karayolu ve Demiryolu Tünelleri ile Diğer Zemin Yapılarının Tasarımı İçin Esaslar (2020)” yönetmeliği esas alınarak 3Y/2D şev eğimi ile yapılan analizler yeterli güvenlik sayısını sağlamadığı için şev eğimi 2Y/1D olarak değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır.

Şekil 12’de çalışma kapsamında incelenecek 2Y/1D eğimli yarma kesitinin Slide programında hazırlanan modeli verilmiştir.

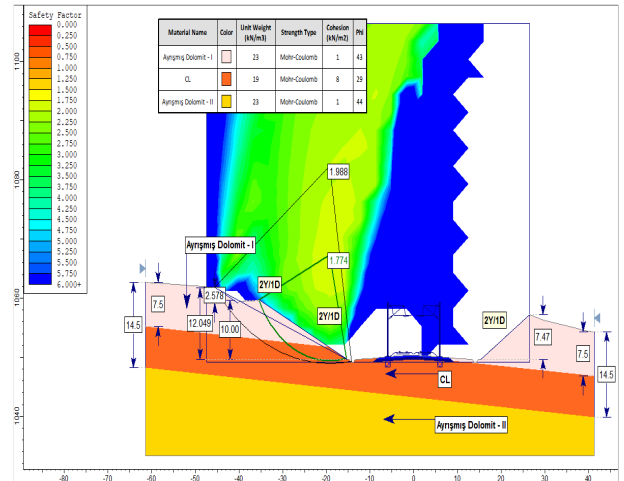


Şekil 12: 2Y/1D yarma şevi analiz modeli.

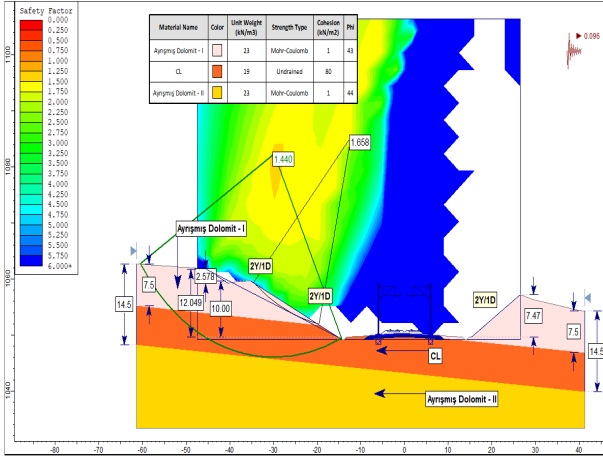
Şekil 13-18 arasında 2Y/1D şev eğimi için yapılmış analiz çıktıları uzun dönem/kısa dönem ve statik/sismik olarak verilmiştir.



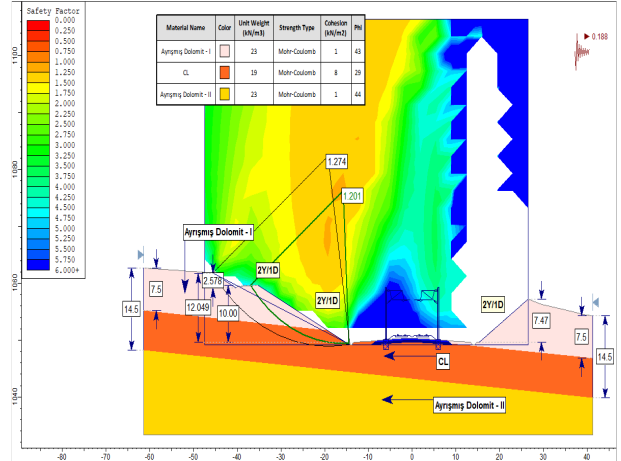
Şekil 13: Sol şev kısa dönem statik analiz sonuç.



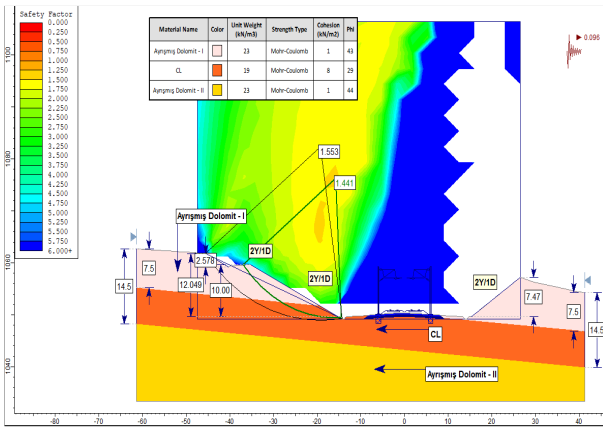
Şekil 14: Sol şev uzun dönem statik analiz sonucu.



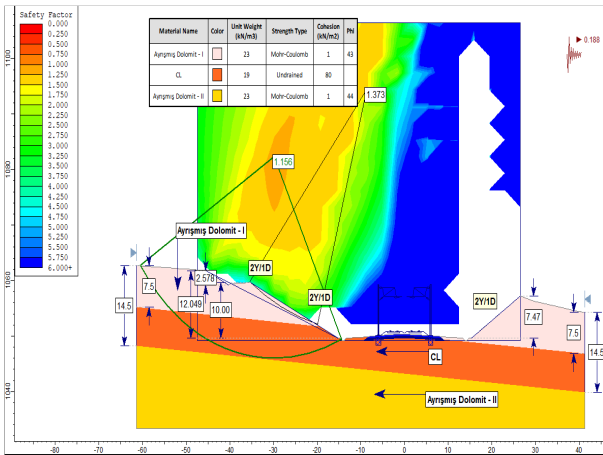
Şekil 15: Sol şev kısa dönem dinamik (DD-2) analiz sonucu.



Şekil 18: Sol şev uzun dönem dinamik (DD-1) analiz sonucu.



Şekil 16: Sol şev uzun dönem dinamik (DD-2) analiz sonucu.



Şekil 17: Sol şev kısa dönem dinamik (DD-1) analiz sonucu.

Elde edilen analiz sonuçları “Deprem Etkisi Altında Karayolu ve Demiryolu Tünelleri ile Diğer Zemin Yapılarının Tasarımı için Esaslar (2020) yönetmeliğine tanımlanan güvenlik sayılarını sağladığı için çalışma kapsamında incelenen yarma kesiti 2Y/1D olarak dizayn edilmiştir. Tablo 5’de analiz sonuçları toplu şekilde verilmiştir.

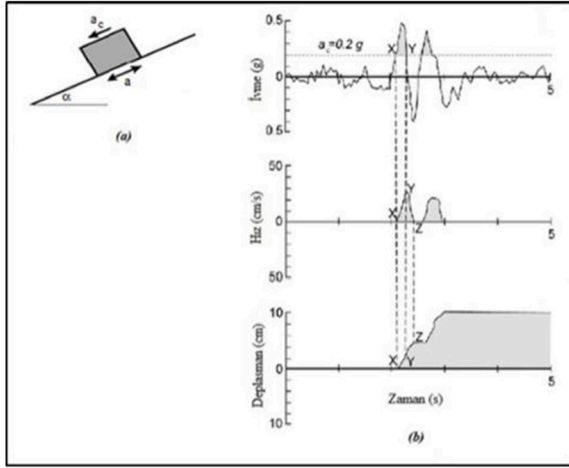
Tablo 5: Analiz sonuçları.

Şev	Kısa Dönem 2Y/1D		Uzun Dönem 2Y/1D	
	Statik Durum	Dinamik Durum	Statik Durum	Dinamik Durum
Yarma Kesiti	1,909>1,30	DD-2	1,774>1,50	DD-2
Sol Şev (2Y/1D)		1,440>1,10		1,441>1,10
		DD-1		DD-1
		1,156>1,10		1,201>1,10

Yarı-statik analiz yönteminde belirli bir güvenlik katsayısı kullanılmakla birlikte bu yöntem şevlerde oluşacak kalıcı deplasmanlar ile bilgi vermemektedir. Zemin deplasmanları hem üstyapı hem de altyapı için çok önemli olduğu için deplasman miktarının belirlenmesi çok önemlidir [12]. Newmark ise dinamik yükler etkisinde kalan şevlerin kalıcı deplasmanları ile alakalı fikir verebilecek bir model geliştirmiştir [13]. Bu yöntem şev deplasmanlarını analiz etmekte en sık kullanılan yöntemlerden biridir.

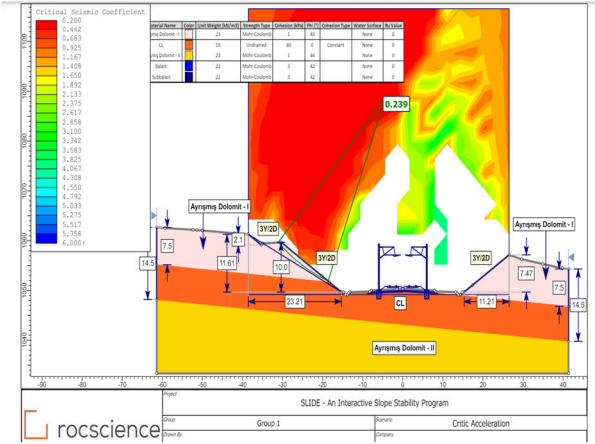
Bu metoda göre analiz edilen zeminin blok halinde kayan bir yapıda olduğu varsayılır ve bu bloğu kayma durumuna geçirecek bir kritik ivme (a_c) değeri olduğu kabul edilir. Kritik ivme değeri deprem ivme kaydı ile karşılaştırıldığında kritik ivme değerinin üstünde kalan ivme değerlerine maruz kalması durumunda şevde kayma olacağı, kritik ivme değerinin altında kalan kısımdaki ivme

değerlerinde ise kayma olmayacağı kabul edilmiştir. Bu yaklaşıma ait model Şekil 19'da verilmiştir.



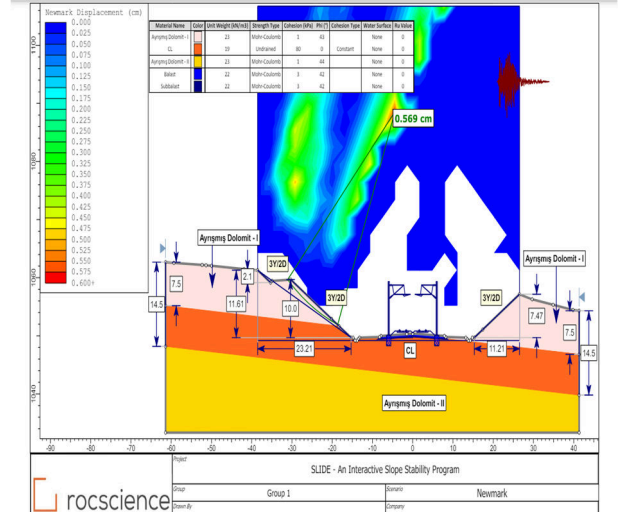
Şekil 19: Newmark kayan blok modeli ve Newmark analiz yaklaşımı [11].

Çalışma kapsamında incelenen yarma şevi Newmark metoduna göre analiz edilmiş olup analiz çıktıları depremsiz durum, depremlı durum, kritik ivme durumu ve deplasmanların elde edilmesi olarak Şekil 20-21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 20: Newmark yöntemi kritik ivme analizi.

Rathje ve Antonakos (2011), $T_s/T_m \geq 0,1$ koşulu için esnek kütle davranışının değerlendirilmesinin uygun olacağını ifade etmişlerdir [14]. Ayrıştırılmış analiz esasına dayalı olarak kütle kalıcı yer değiştirme tahmini için K_y : 0,239 değeri referansında elde edilen esnek kütle deplasman değeri 0,8 cm'dir. Elde edilen deplasman değerleri oldukça düşük olduğu için önerilen şev açıları depremlı durum için de uygundur.



Şekil 21: Newmark yöntemi kütle deplasman analizi.

4. SONUÇLARIN ANALİZİ

Çalışma kapsamında Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Projesi güzergâhında bulunan BYT-09 yarması incelenmiştir. Söz konusu yarma kesitinde açılmış 2 sondaj verisi kullanılarak idealize zemin profili çıkarılmış ve Slide 2D programında model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde zemin birimleri için Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılırken limit denge analiz yöntemlerinden Morgenstern-Price metodu tercih edilmiştir. Yapılan stabilite analizlerinde statik ve depremlı durum için güvenlik katsayıları sırası ile 1,5 ve 1,1 olarak belirlenmiştir.

İlk olarak bahse konu yarma kesiti 3Y/2D olmak üzere dizayn edilmiş ve yapılan denge analizleri sonucunda DD-1 deprem düzeyinde gerekli güvenlik sayısını sağlamadığı görülmüştür. Kısa dönem ve uzun dönem parametreleri kullanılarak yapılan analizlerde elde edilen 1,096 ve 1,066 değerleri DD-1 deprem hesaplarında limit değer olan 1,1 güvenlik sayısını sağlamamaktadır. Şev stabilite problemlerinde duraysızlığın önüne geçmek için şev açısını değiştirmek, şevi çeşitli yöntemlerle desteklemek gibi alternatifler vardır. Çalışma kapsamında incelenen yarma kesitinde şev açısı değiştirilerek 2Y/1D şevler oluşturulmuş ve tekrarlanan analizler sonucunda kısa dönem ve uzun dönem parametreleri kullanılarak yapılan analizlerde 1,156 ve 1,201 güvenlik sayıları ile yeterli güvenlik sayılarının sağlandığı görülmüştür. Şevlere gelen statik ve dinamik etkiler sonucunda güvenlik katsayısının elde edilmesinin yanında şevlerde kalıcı deformasyonların gözlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Newmark yönteminde dinamik yükler altında şevlerin maruz

kalacağı kalıcı deplasmanlar hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bahse konu yarma kesiti Newmark modelinde incelendiğinde güvenlik katsayılarının istenilen limitler içerisinde kaldığı ve kütle deplasman analizi sonucunda elde edilen değerlerin sınır değerinin içinde kaldığı görülmüştür. Yapılan çalışma şev açısının azaltmanın güvenlik katsayısına olumlu etkisini göstermiş olup çalışma kapsamında incelenen vaka diğer şev güçlendirme yöntemleri denenerek analiz edilip sonuçlar incelenebilir ve bulunan çözümler maliyet açısından karşılaştırılarak ekonomik çözüm aranabilir.

Yazar Katkısı: Buğrahan AÇIKGÖZ çalışmada literatür taraması, modellerin oluşturulması, analizlerin yapılması, yazım ve düzenleme noktasında; Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK çalışmada analiz sonuçlarının yorumlanması noktasında katkı sağlamıştır.

Teşekkür: Yazarlar Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü'ne çalışmaya olan destekleri için teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] A. Polat, "Şev Stabilitesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulaması ve Karşılaştırmalı Analiz," Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2019.
- [2] O. Natur, "Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri ve Bir Vaka Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2018.
- [3] D. P. Coduto, M. Mollamahmutoğlu, K. Kayabalı, "Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar", Gazi Kitabevi, 2006.
- [4] B. M. Das, "Principle of Geotechnical Engineering," Cengage Learning, Stamford, 2010.
- [5] B. Ün, "Şev Stabilitesi ve Şev Hareketlerine Karşı Alınacak Önlemler," Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2019.
- [6] B. Ün ve A. Yıldız, "Şev stabilitesi ve şev hareketlerine karşı alınacak önlemler,"

Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:38-1, ss.84-93, 2019.

- [7] C. Z. Büyükkağınacı, "Şev Stabilitesi Analizlerinde Kullanılan Farklı Tasarım Standartlarının Kıyaslanması," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [8] E. Öz, "Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları," Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007.
- [9] A. Rezaei, "Büyükçekmece Gölü Yakınında Gelişen Kütleli Bir Kayma Hareketinin Analizi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [10] A. Yıldız, İ. Dumlupınar, M. Bağcı, Y. Ulutürk, C. Başaran ve E. Erdoğan, "Afyonkarahisar ve çevresinin depremselliği," Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 12, sy. 2, s. 1, 2012.
- [11] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 18 Mart 2018.
- [12] A. Yiğit, "Newmark yöntemine göre zemin deplasmanının tahmin edilmesi", Politeknik Dergisi, c. 24, sy. 3, ss. 943-952, 2021.
- [13] M. Newmark, "Effects of earthquakes on dams and embankments," *Geotechnique*, vol. 15, no. 2, pp. 139-160, Jun. 1965.
- [14] E. M. Rathje and G. Antonakos, "A unified model for predicting earthquake-induced sliding displacements of rigid and flexible slopes," *Eng. Geol.*, vol. 122, no. 1-2, pp. 51-60, 2011.