

## ESNEK İSTİNAT YAPILARINDA STABİLİTE PROBLEMLERİ VE TASARIM ÖNERİLERİ: BİR VAKA ANALİZİ

### DESIGN RECOMMENDATIONS FOR MECHANICALLY STABILIZED EARTH (MSE) WALLS AGAINST STABILITY PROBLEMS: A CASE HISTORY

Tahir YILDIZ<sup>1</sup>, Hüseyin YILDIRIM<sup>2</sup>

#### ÖZET

1960'lı yıllardan beri pek çok projede uygulanan toprakarme (Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall) istinat yapıları yüksek depremselliğe sahip bölgelerde konvansiyonel istinat sistemlerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların taşıyıcı sisteminde kritik rol, iyi mühendislik özelliklerine sahip dolgu malzemesine ve tasarımda dikkate alınan nitelikli drenaj önlemlerine düşmektedir. Bu çalışma kapsamında Düzce-Zonguldak yolu üzerinde meydana gelen toprakarme duvar göçme olayının olası sebepleri saha gözlemleri ve tasarım kriterleri ışığında irdelenmiştir. Göçme mekanizmasının tariflenmesi için yapılara ilişkin literatür birikimi, saha gözlemleri ve olayın meydana geldiği bölgenin jeolojik, hidrolojik ve geoteknik koşulları mukayeseli olarak ele alınmıştır. Göçme bölgesinin rehabilitasyon çalışmaları yerinde incelenerek alınan önlemlerin uygunluğu ve benzer yapıların tasarımında toplanan bilgilerin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** dolgu, drenaj, göçme, tasarım, toprakarme

#### ABSTRACT

Mechanically Stabilized Earth (MSE) walls have been used in constructions for more than 50 years as an alternative of conventional retaining wall systems. MSE walls provide efficient solutions for projects by their good performance at seismic regions. The critical component of these system is selected fill to be used in the body and drainage precautions considered in design stage. In this study, the failure mechanism of a MSE wall placed in Düzce-Zonguldak highway is evaluated by design principles and site observations. The potential reasons for collapse are examined and a definition for failure mechanism is aimed to be presented based on literature, site observations and background of the location by its geological, hydrological and geotechnical conditions. The rehabilitation method of the collapsed section is evaluated and findings are presented

**Keywords:** backfill, design, drainage, failure, MSE Wall

#### 1. GİRİŞ

26 Mart 2021 tarihinde, Düzce-Zonguldak karayolunun Çiçekpınar kesiminde yer alan toprakarme duvarda bir kısmı göçme olayı meydana gelmiştir. Bu çalışmanın amacı meydana gelen göçmenin olası sebeplerini bölgenin hidrolojik, jeolojik ve geoteknik arka planıyla mukayeseli olarak araştırmak, göçme mekanizmasını

<sup>1</sup> Geo-Mühendislik Deoartmanı Müdür Yardımcısı, İnşaat Yük. Mühendisi - Assystem, [tyildiz@assystem.com](mailto:tyildiz@assystem.com) (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Müh. ABD., [yildirimh@itu.edu.tr](mailto:yildirimh@itu.edu.tr)

saha gözlemleri ve literatür yaklaşımlarıyla açıklamak, göçme sonrasında uygulanan rehabilitasyon çalışmasına ilişkin gözlemleri ve teknik detayları özetleyerek, bu vaka analizinden hareketle toprakarme istinat duvarlarının tasarım ve uygulama esaslarına yönelik ileride yapılacak projeler için katkıda bulunmaktadır.

## 2. YAPI VE LOKASYONA İLİŞKİN VERİLER

Söz konusu bölgenin drone vasıtasıyla alınan fotoğrafları ve videolar incelendiğinde, kuzey-güney doğrultusundaki yaklaşık 80 metre uzunluk boyunca duvarın tamamen yol gövdesinden ayrıldığı anlaşılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Göçen Duvar Hattı (Kuzey-Güney / Doğu-Batı)

İşbu toprakarme duvarın arazinin mevcut konumdan yol kotuna kadar yükseltilebilmesi için teşkil edildiği anlaşılmaktadır (TMMOB, 2021) 0. Ana göçme zonundaki kesit yüksekliği 12-13 m seviyesindedir.

Koerner & Koerner (2013), göçmeye maruz kalan donatılı toprak duvarları inceledikleri çalışmada, yapıların %86'sının imalatın tamamlanmasını takip eden 4 yıl içinde kalıcı deformasyona uğradığını raporlamıştır. İncelemeye esas yapının 2012 tarihinden beri hizmet vermekte olması, bu yapının göçme mekanizmasının literatüre girmiş yaklaşımlardan farklı olabileceği sonucuna işaret etmektedir.

## 3. GÖÇME MEKANİZMASINI TETİKLEYEN OLASI FAKTÖRLER

Benzer vakalara ait raporlanmış çalışmalar değerlendirildiğinde, olası göçme sebebinin tespiti için aşağıdaki faktörlerin ele alınması uygun düşmektedir

- Heyelan potansiyeli ve jeolojik özellikler
- Hidrolojik ve meteorolojik etmenler
- Literatüre dayalı tasarıma ilişkin hususlar: Dolgu özellikleri, drenaj detayları

Çalışma kapsamında yukarıda sıralanan etmenler interaktif kaynaklar, saha gözlemleri ve literatür bilgileri ışığında irdelenmiştir.

### 3.1. Heyelan Potansiyeli ve Jeolojik Yapı

Bölge jeolojisi ve heyelan potansiyeli MTA yer bilimlari harita görüntüleyici ve çizim editörü interaktif sistemi kullanılarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda duvar permo-triyas yaşlı karasal kırıntılı sedimenter birimlerde olduğu görülmektedir.

Bölgenin yakınında tespit edilmiş bir aktif veya pasif heyelan zonu yer almamaktadır.

### 3.2. Hidrolojik ve Meteorolojik Etmenler

Olay öncesindeki günlerde bölgenin yoğun yağış almış olması sebebiyle göçmenin hidrolojik ve meteorolojik etmenlerle meydana gelmiş olabileceği düşünülmüştür. Tarım ve Orman Bakanlığının interaktif taşkın yönetimi portalından inceleme sahasının havza koşulları kontrol edilmiştir (SYGM, 2023). Buna göre göçme bölgesinde aktif su yolları olduğu görülmektedir. (Şekil 2). Yolum doğusundaki su yolunun ucu, duvarda göçük sonrası meydana gelen dolgu akmasıyla (debris flow) aynı algnmanda yer almaktadır.



Şekil 2. İnceleme sahasına ait topografik veri ve SYGM taşkın web uygulama verisi (2023)

### 3.3. Literatüre Dayalı Tasarım Hususları

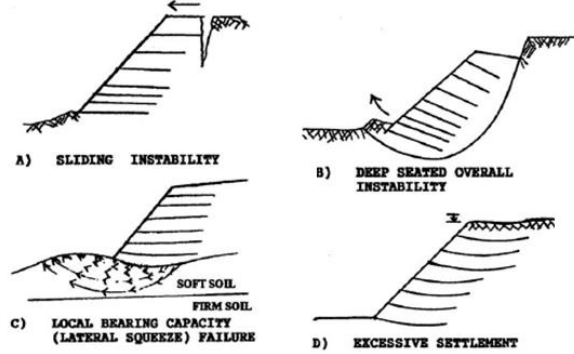
İngiliz (BS 8006), Fransız (NFP 94-270) ve FHWA kaynakları ilgili yapıların tasarımı için benzer koşullar önermektedir. Bu başlık altında temel tasarım kriterleri saha gözlemleri ile karşılaştırılacaktır.

#### Göçme Mekanizmaları

İlgili yönetmeliklerde göçme mekanizması için tariflenen 3 koşul aşağıdaki gibidir:

- İç stabilite problemi (Internal Stability): şerit kopması ve aderans yenilmesi
- Dış stabilite problemi (External Stability): Taşıma gücü ve taban kayması
- Genel stabilite problemi (Compound Stability): Tutucu kuvvetlerin devirici kuvvetlere yenilmesi durumu

Donatılı şevlerin göçme mekanizmaları için senaryolar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Donatılı şev göçme senaryoları (FHWA, 2009)

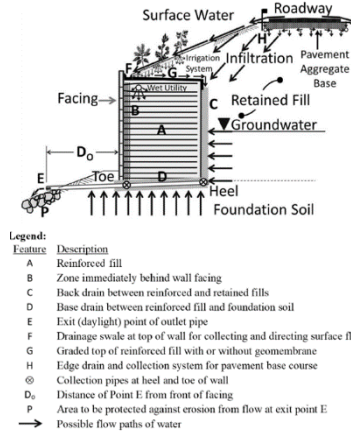
#### Dolgu Durumu

Toprakarme duvar sisteminin ana taşıyıcı yapı elemanları seçilmiş dolgu ve donatı şeritleridir. Donatı şeritlerinin belirli kalite standartlarına göre fabrika koşullarında üretildiği düşünülürse, taşıyıcı sistem performansında kritik rol dolgu malzemesine düşmektedir. Toprakarme yapılarının imalatında kullanılacak dolgularda ince dane oranı (200 nolu elekten küçük malzeme yüzdesi) %15 ile sınırlandırılmış olup, plastisite indisi için maksimum değeri 6% olarak belirtilmektedir. Bu kriterlerin yanında dolgu malzemesinin elektrokimyasal özelliklerine (pH, suda çözülmüş zararlı iyon miktarı, organik içerik vs.). Donatılı zemin gövdesinde kullanılacak dolgu malzemesinin yanında, şeritlerin gerisinde yer alacak geri dolgu (retained fill) malzemesiyle alakalı kısıtlayıcı bir kriter bulunmamaktadır. Bu bölgedeki dolgunun sistem stabilitesindeki rolü, duvar gövdesine etkiyen yatay toprak itkisinin hesabında kullanılmasından ibarettir.

#### Drenaj Durumu

Toprakarme yapılarına ilişkin drenaj önlemleri yapının misyonuna göre değişkenlik göstermekle beraber, temel prensip duvar gövdesindeki seçme dolgunun kendi kendine drene olabilen (self-draining) nitelikte

olmasından ötürü, temel drenaj önlemleri gövdeye giren yüzeysel suların sistemden hızlı bir şekilde uzaklaştırılması esasına dayanır. Yaygın olarak kullanılan platform tutucu nitelikteki yapıların tasarımında hidrostatik kuvvetler dikkate alınmamaktadır. Dolayısıyla drenaj tasarımı kritik önemde olup şematik olarak Şekil 4'te sunulmuştur.

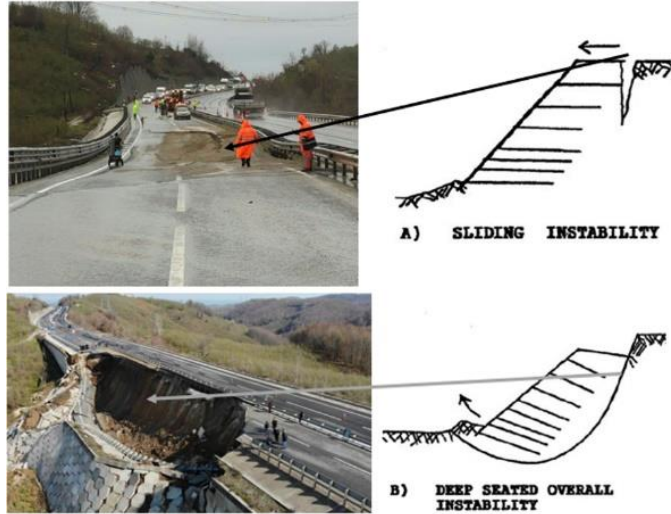


Şekil 4. Donatılı Duvarda Su Etkisi ve Drenaj Önlemleri (FHWA, 2021)

#### 4. GÖÇME SENARYOSU TAHMİNİ

Alınan fotoğraflarda donatılı gövdenin yekpare bir blok halinde vadiye doğru kaydığı görülmüştür. Dolayısıyla şerit kopması (pull out) ya da aderans yenilmesi tipi bir iç stabilite problemi beklenmemektedir. Göçme mekanizması TMMOB (2021) raporunda duvar tabanının altındaki kayma yüzeyinden gelişen “toptan göçme” olarak tahmin edilmiştir.

Göçmenin hemen öncesinde platformdan alınan resime göre, toprakarme dolgusunun sona erip geri dolgunun başladığı düşünülen kesimde bir çatlak meydana gelmiştir. Bu durum FHWA (2009)'da tanımlı “Sliding Instability” ve “Deep-Seated Overall Instability” durumlarıyla açıklanabilir. (Şekil 5).



Şekil 5. Göçme Mekanizması Tarifi

Sonuç olarak incelenen yapıda yol yüzeyindeki çekme çatlaklarıyla tetiklenen bir dış stabilite (external stability) problemi meydana gelmiş, dış stabilite problemini takiben toptan göçme (overall stability) gözlenmiştir. Dolayısıyla duvarın farklı yenilme mekanizmalarının birbirini takip ettiği kompleks bir göçmeye (Complex Failure) maruz kaldığı söylenebilir.

Göçme olayındaki olay örgüsü, çekme çatlakından gövdeye sızan suların duvar taban zemininde ve gövde içindeki taşıyıcı sistemde mukavemet kaybı yaratması, akabinde sistemden uzaklaşmayan suların yapıda ilave hidrostatik kuvvetler meydana getirmesi ve tasarımda göz önünde tutulmayan bu kuvvetlerin, hem gövdede hidrostatik basınca, hem de temel zemininde mukavemet kaybına sebep olarak göçmeyi tetiklemesi olarak tanımlanabilir.

## 5. GÖÇME ÖNCESİ DURUM VE REHABİLİTASYON ÇALIŞMASI

Koerner & Koerner (2013) tarafından göçen duvarlar üzerine yapılan çalışmalara göre ilgili vakaların %86'sının yapı servis süresinin ilk 4 yılında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Söz konusu yapının 9 yıl boyunca hizmet vermiş olması, Koerner & Koerner (2013) yaklaşımına göre bu göçmenin servis ömrü sınıflamasında %3'lük dilime girdiğini göstermektedir. Buradan çıkarılabilecek göçme mekanizmasının imalattan sonra kısa bir zaman diliminde bazı işaretler veriyor olmasıdır. Buradan hareketle göçme bölgesinin değişik tarihli uydu fotoğrafları ve cadde görüntüsü kontrol edilmiştir. Nichol & Wong (2006), uydu görüntülerinin ve uzaktan algılama sistemlerinin heyelan tespitinde kullanımı hızla yaygınlaşan bir uygulama olarak öne çıktığını raporlamıştır.

2014 Şubat ayı tarihli görüntü dikkatli incelendiğinde, duvar aksı üzerinde Düzce istikametinde 55 metre uzunluğunda bir siyah leke farkedilmiştir. Aynı yılın ekim ayında alınan cadde görüntüsünde, bu siyah lekenin, kaplama üzerinde gelişen bir çekme çatlağından kaynaklandığı farkedilmiştir. Bu bulgu, olayın yaşandığı tarihten neredeyse 7 yıl önce, imalatın 2 yıl sonrasında ortaya göçmeye ilişkin ilk işaret olarak ele alınabilir. (Şekil 6)



Şekil 6 – 2014 tarihli inceleme alanı fotoğrafları (GE)

### 4.1 Rehabilitasyon Çalışmaları

Bölgede yürütülen rehabilitasyon çalışmaları hakkında bilgi toplanması amacıyla 30.12.2022 tarihinde bir saha ziyareti yapılmıştır. Gözlemler neticesinde göçme sonrasında vadiye doğru meydana gelen kütle akışının (debris flow) yaşandığı bölgede yeni yapılan duvar önünde kaya blokaj uygulaması yapıldığı tespit edilmiş olup, duvar önü terasman ve topuk dolgusu geometrisinin, şartnamelerde yer alan önerilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Duvar dolgusu özellikleri ve duvar içi drenaj önlemlerine yönelik fikir edinilememiş olsa da, imalat performansı açısından yeni yapının yeterli kalitede olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7. Rehabilitasyon Çalışmaları

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, dünyada ve ülkemizde pek çok projede kullanılan toprakarme istinat yapılarının tasarımında dikkate alınması gereken hususlar, göçmeye maruz kalan esnek istinat yapısının vaka analizi özelinde açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında ilgili bölgenin hidrolojik, jeolojik, geoteknik yapısına istinaden, göçmeye maruz kalan yapıya ilişkin saha gözlemleri derlenmiş, buradan hareketle yapının tasarım kriterleri, uluslararası normlarla mukayeseli değerlendirilmiştir. Saha gözlemleri ve literatür bilgileri ışığında, göçme mekanizmasının tarifi ve göçmenin olası sebeplerine ilişkin tahminlere varılmıştır.

İncelenen yapıda yol yüzeyindeki çekme çatlağıyla tetiklenen bir dış stabilite (external stability) problemi meydana gelmiş, dış stabilite problemini takiben toptan göçme (overall stability) mekanizması gözlenmiştir. Bu yapıyı itibarıyla duvarın farklı yenilme mekanizmalarının birlikte görüldüğü, birbirini takip eden kompleks bir göçme davranışı (Complex Failure) gösterdiği söylenebilir.

Göçmenin sebebini araştırılması amacıyla göçen bölgenin olay öncesindeki durumu uydu fotoğraflarından takip edilmiştir. Bu takip sonrasında, göçme mekanizmasının geliştiği çekme çatlağının ilgili yapıda bundan 7 yıl önce ortaya çıkmaya başladığı anlaşılmıştır.

Göçme olayı öncesi ve sonrasındaki durum Bölüm 4'te sunulmuştur. Buna göre imalat kalitesinin kabul edilebilir mertebede olduğu tespit edilmiş, göçme safhasında yoğun toprak hareketinin gözlemlendiği bölgede kaya blokaj uygulaması yapıldığı gözlenmiştir.

Yaşanan bu olaydan hareketle, ilgili yapıların tasarımında "iyi dolgu, iyi drenaj" prensibinin esas alınması gerekliliği görülmüştür. Duvarın misyonuna göre hidrostatik koşulların belirlenmesi ve tasarımda dikkate alınması elzemdir. Farklı özellikte dolguların imalat performansları ve bu dolguların kullanılması durumunda tasarıma yönelik tavsiyelerin derlendiği FHWA-HIN-21-002: Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall Fills A Framework for Use of Local Available Sustainable Resources (LASR) dökümanı, göçme hadisesinin yaşanmasından 2 ay sonra yayınlanmıştır. Bu durum, yapılacak yeni projelerde benzer problemlerin yaşanmaması için, problemlerin güncel bir şekilde dökümente edilmesi ve alınan derslerin mevcut yönetmelik ve şartnamelere hızlı bir şekilde adapte edilmesinin önemini göstermektedir.

Dolayısıyla esnek istinat yapılarının tasarımında kullanılacak dolgu malzemesinin detaylı bir şekilde araştırılması, yapılara ilişkin oluşmuş literatürün sıkı bir şekilde takip edilmesi ve yeni tasarımlarda rehber olarak benimsenmesi çok önemlidir.

İmalat sonrasında ise jeolojik ve hidrolojik koşullar açısından riskli görülen, yüksek sismik aktivitenin etkin olduğu bölgelerde uygulanan projelerin servis ömrünün ilk 6 ayında uygun enstrümantasyon ile gözlenmesi, hem tasarım, hem imalat, hem de yapı davranışı konusunda çok faydalı bilgiler sunabilmekte, ayrıca olası problemlerin zamanında alınacak rehabilitasyon önlemleriyle kalıcı şekilde çözülebilmeye olanak sağlamaktadır. Problemlerli bölgesel koşullarda konvansiyonel sistemlere ekonomik ve inovatif bir çözüm olan donatılı toprak duvarlara ait teknik bilgi birikiminin, sürekli zenginleşen ve beslenen bir yapıda olduğu unutulmamalıdır. Doğru tasarım ve imalat şartlarının, ancak bu zenginleşen ve büyüyen bilgi birikiminin her projede gözden geçirilmesiyle sağlanabileceği unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

- TMMOB, 2021, Düzce Zonguldak Karayolunda (D-655 Karayolu Çiçekpınar Mevkii) Meydana Gelen Göçmeye İlişkin İnceleme ve Değerlendirme Raporu
- Koerner, R.M. and Koerner, G.R. (2013). "A Data Base, Statistics and Recommendations Regarding 171 Failed Geosynthetic Reinforced Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls," Geotextiles and Geomembranes, Vol. 40, pp. 20-27.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü – Taşkın Web Uygulaması -taskinyonetimiportal.tarimorman.gov.tr
- FHWA (2009). Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Report No. FHWA NHI-09-083, Authors: Berg, R. R., Christopher, B. R. and Samtani, N. C., Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- FHWA (2021). Mechanically Stabilized Earth (MSE) Wall Fills A Framework for Use of Local Available Sustainable Resources (LASR), Report No. FHWA-HIN-21-002, Authors: Samtani, C.N., Nowatzki E. A., Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- Nichol, Janet & Wong, Man. (2005). Detection and interpretation of landslides using satellite images. Land Degradation and Development, 16, 243-255. Land Degradation & Development. 16. 243 - 255. 10.1002/ldr.648.