

ESNEK İSTİNAT DUVARLARINDA YENİ BİR UYGULAMA TERRANAIL®

A NEW APPLICATION IN FLEXIBLE RETAINING WALLS TERRANAIL®

Erdem ÖZSU¹ Önder AKÇAKAL² Murat ÖZBATIR³ Turan DURGUNOĞLU⁴

ABSTRACT

The enlargement projects of inner city highways, caused a demand for innovation of a new system for the mechanically stabilized earth walls. TerraNail® is a composite system in which both the soil nailing and Reinforced Earth® systems are used together. By utilization of this system the required strip length for a regular Reinforced Earth Wall can be diminished significantly. The Reinforced Earth system is widely used in highway construction projects especially for, forming a new platform settling on a different level from its surroundings. In addition the system is used for adding new lanes to the existing highway or supplying the necessary connection lanes to the existing roads. When highway route passes through a steep cliff, required excavation quantity increases dramatically, as the Reinforced Earth wall base should be seated on the cliff. The earth-movement quantity also increases by the required embedment depth of the Reinforced Earth wall. By utilizing the TerraNail® system the required strip amounts and base width of the Reinforced Earth wall can be reduced significantly. (TerraNail, Reinforced Earth, Soil Nail, Retaining Wall)

ÖZET

Dünyada kent içi otoyolların genişletme projeleri, istinat yapılarında yeni bir sistemin geliştirilmesi ihtiyacını yaratmıştır. TerraNail® duvar sistemi toprakarme duvar ile zemin çivisinin bir arada kullanıldığı kompozit bir sistemdir. Bu duvar sisteminin kullanılması ile toprakarme projelerinde kullanılan şerit boyları, imalat için gereken kazı ve dolgu miktarları önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Toprakarme duvar sistemi özellikle karayolu uygulamalarında yeni bir yol platformu oluşturmak veya mevcut yola yeni şeritler veya yeni bağlantı yolları eklemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, yol güzergahının dik yamaçlardan geçtiği kesimlerde donatı şeritlerinin bulunduğu duvar dolgusunu yamaca oturtmak için büyük miktarlarda kazı yaparak basamak teşkil edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, duvar topuğunun stabilitesi için gereken minimum gömme derinliği, duvarın önünde yer alan

¹ İnş. Y. Müh., Reinforced Earth İnşaat Proje ve Tic. A.Ş.

² İnş. Y. Müh., Zemin Etüd ve Tasarım A.Ş.

³ İnş. Y. Müh., Reinforced Earth İnşaat Proje ve Tic. A.Ş.

⁴ Prof.Dr., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş.

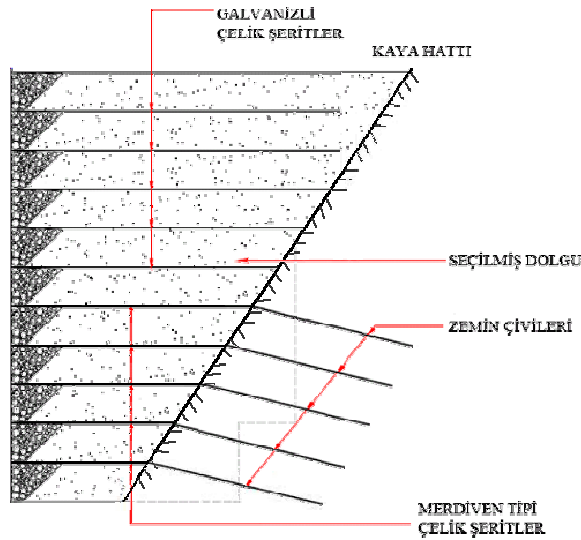
şevin açısıyla orantılı olduğu için, dik yamaçlarda ihtiyaç duyulan kazı miktarı artmaktadır. TerraNail® sistemi kullanılarak toprakarme duvar için tabanda açılması gereken basamak genişliği ve toprakarme duvarda kullanılacak şerit boyları önemli ölçüde azaltılabilmektedir. (TerraNail, Toprakarme Duvar, Zemin Çivisi, İstinat Duvarı)

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır otoyol projelerinde başarılı bir şekilde kullanılmakta olan Reinforced Earth® duvar sisteminin imalatı sırasında yamaçlarda büyük miktarlarda kazı yapılması gerektiği bilinmektedir. Dünyada kent içi otoyolların genişletme projeleri sırasında bu geçici kazıların yapılmasına engel olacak bir çok unsur ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle geçici kazıların azaltılması amacı ile istinat yapılarında yeni bir sistemin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. TerraNail® duvar sistemi toprakarme duvar ile zemin çivisinin bir arada kullanıldığı kompozit bir sistemdir. Toprakarme duvar inşa edilmeden önce zemin çivisi ile asgari miktarlarda kazı yapılması mümkündür ve bu sayede yer kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu duvar sisteminin kullanılması ile toprakarme projelerinde kullanılan şerit boyları, imalat için gereken kazı ve dolgu miktarları önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Toprakarme duvar sistemi özellikle karayolu uygulamalarında yeni bir yol platformu oluşturmak veya mevcut yola yeni şeritler veya yeni bağlantı yolları eklemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, yol güzergahının dik yamaçlardan geçtiği kesimlerde donatı şeritlerinin bulunduğu duvar dolgusunu yamaca oturtmak için, tasarlanan duvar yüksekliğinin en az yüzde yetmiş kadar ($0.7H$) kazı yaparak basamak teşkil etmek gerekmektedir. Ayrıca, duvar topuğunun stabilitesinde gereken minimum gömme derinliği, duvarın önünde yer alan şevin açısıyla orantılı olduğu için, dik yamaçlarda ihtiyaç duyulan kazı miktarı artmaktadır. TerraNail® sistemi kullanılarak toprakarme duvar için tabanda açılması gereken basamak genişliği ve toprakarme duvarda kullanılacak şerit boyları duvar yüksekliğinin yüzde otuzuna kadar ($0.3H$) (FHWA, 2006) düşürülebilmektedir. TerraNail® duvarların performansını değerlendirmek için FHWA'nın yaptığı arazi ve santrifüj model deneylerinde toprakarme duvar kısmında $0.25H$ gibi kısa donatı boyları bile yeterli stabilite sağlamıştır (FHWA, 2006).

TerraNail® duvar sisteminin tipik kesiti Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 TerraNail® duvar sisteminin tipik kesiti

2. TERRANAIL® SISTEMİNDE ZEMİN ÇİVİLERİNİN TASARIMI

TerraNail® sisteminde toprakarme duvar dolgusunun yer alacağı kısımda kazı aynasının ve üstte yer alan şevin stabilitesi uygun bir destekleme sistemi teşkil edilerek sağlanır. FHWA'de (2006) destekleme sistemi olarak öncelikle zemin çivisi önerilmekte olup aşağıdaki sistemlerin de kullanılabilceği bilgisi verilmektedir.

- Zemin Çivili Duvar
- Palplanş Duvar (ankrajlı-ankrajsız)
- Diyafram Duvar (ankrajlı-ankrajsız)
- Kesişen veya Teğet Kazıklı Duvar
- Berlin Duvarı

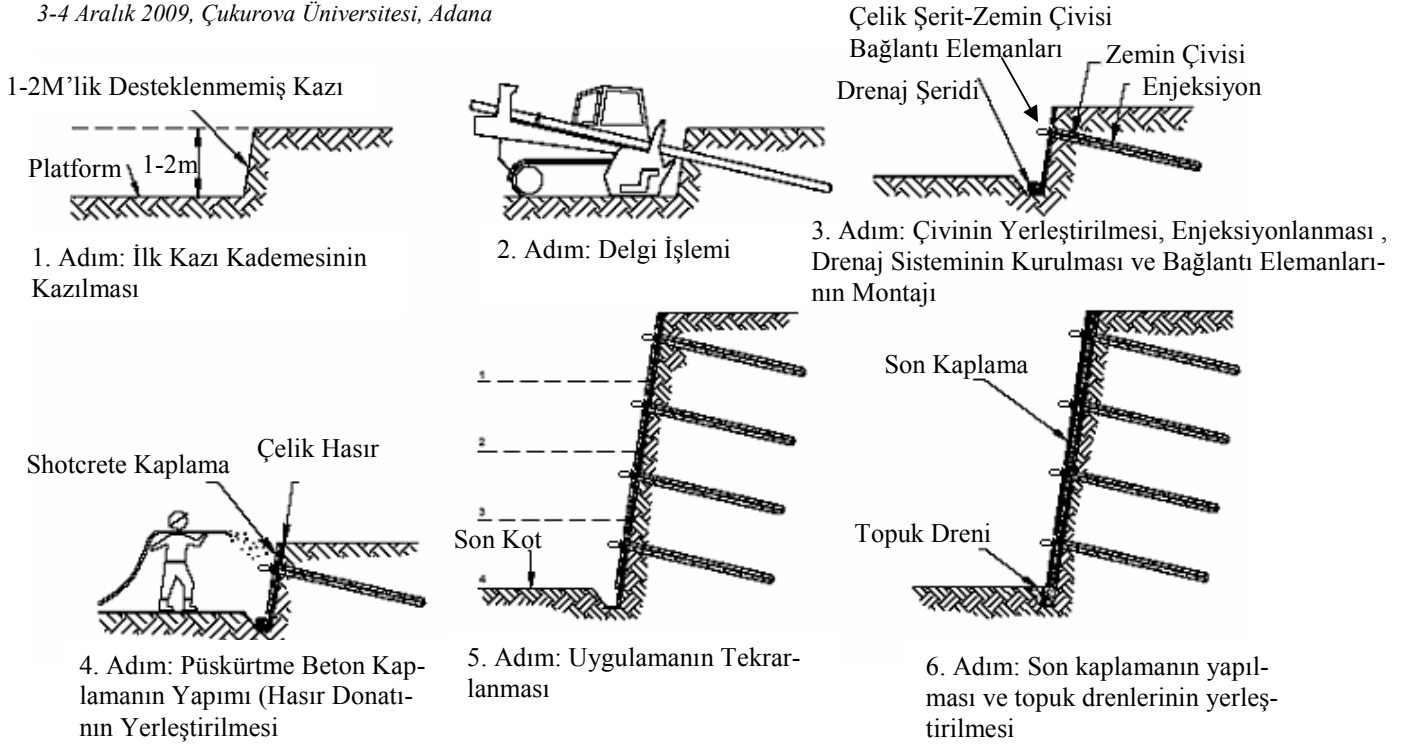
Bu yöntemler arasında zemin çivisi yöntemi, DONATILI ZEMİN duvarlarının inşa edildiği bölgelerde yaygın bir şekilde uygulanmasından dolayı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca zemin çivilerinin TerraNail® sisteminde toptan göçmeye karşı ortaya koyduğu efektif katkı bu yöntemi daha kullanışlı kılmaktadır. DONATILI ZEMİN duvarlarda şeritlerin toptan göçmeye karşı daha uzun yerleştirilmesi gerekirken, TerraNail® sisteminde yer alan zemin çivileri ile daha kısa şeritlerin uygulanmasına olanak sağlanmakta olup sistem daha ekonomik bir hale getirilebilmektedir. Ankraj delgisi yapılamayan yerlerde fore kazık gibi daha rijit yapılar ile geçici kazı yapılabileceği gibi, deplasmanların sınırlandırılması gereken önemli yapıların kenarındaki kesitlerde öngermeli ankrajlar kullanılabilir (FHWA, 2006).

Zemin çivili iksa sistemi, zemin içerisinde yatayla belirli bir açı yapacak şekilde teşkil edilmiş olan ve zeminde oluşacak deformasyonlar ile aktif duruma geçip üzerinde çekme kuvvetleri taşıyan elemanlardan oluşur. Çiviler zeminde açılan delikler içerisine yerleştirilir ve enjeksiyonlanır. Bu elemanlar çelik hasır ve püskürtme beton kaplama ile birbirlerine bağlanmaktadır.

Önce zemin çivili istinat duvarı ile geçici kazı yapılır daha sonra bu kazının önüne toprakarme duvar inşa edilir. Zemin çivisi imalatı ile geçici kazının yapılması ve bağlantı elemanlarının yerleştirilmesi Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir.

Zemin çivili duvarın uygulanabilmesi için yerel zemin koşullarının aşağıdaki kriterleri sağlaması gerekmektedir (FHWA,2006);

- Zeminin kademe kazısı yapıldıktan sonra yeterli bir süre (24-36 saat) kendini tutabilmesi gerekmektedir.
- Her kazı kademesinde ve nihai durumda zeminin yeterli taşıma kapasitesine sahip olması gerekmektedir.
- Projede geçerli deplasman kriterlerinin sağlanması için yeterli dayanım ve sıklığa sahip olması gerekmektedir.
- Yeraltı su seviyesinin kazı kotu altında ya da kazı kotu altına düşürülebilecek nitelikte olması gerekmektedir.



Şekil 2. Zemin Çivili Duvar Uygulamasının ve Bağlantı Elemanları Montajının Şematik Olarak Gösterilmesi.

Ayrıca zemin çivilerinin kalıcı olarak değerlendirilebilmeleri için aşağıdaki kriterler sağlanmalıdır (FHWA,2006);

- Agresif ve korozyona yol açabilecek zemin koşullarında muhakkak çivilerin epoksi ile kaplanması veya polietilen (HDPE) tüpler ile korunması gerekmektedir.
- Duvar arkasında hidrostatik basınçların oluşmaması için kalıcı drenaj önlemlerinin alınması gerekmektedir.
- Püskürtme betonun çivi, plaka ve somun gibi çelik elemanlarını korozyondan korumak için bu elemanları kaplayacak şekilde uygulanması gerekmektedir.

Bunlara ek olarak zemin çivisi dizaynında aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir;

- Çivilerin duvar yüksekliğinin minimum %70'i (0.7H) kadar içeriye uzatılması gerekmektedir.
- Her derinlikte zemin çivisi boyu (L_z) aşağıdaki bağıntıyı sağlamalıdır;

$$L_z \geq \frac{FS_{PO} S_h S_v \sigma_h}{Q}$$

Q: maksimum çivi sıyrılma kapasitesi

FS_{PO} : Çivilerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı (kalıcı yapılar için 1.35, kritik yapılar için 1.5 alınabilmektedir)

S_h, S_v : Sırası ile çivilerin yatayda ve düşeyde ara mesafeleri

σ_h : Çivi hizasında yatay basınç.

- Her derinlikte çivi çekme kapasitesinin (T_n) aşağıdaki bağıntıyı sağlamalıdır;

$$T_n \geq FS_t S_h S_v \sigma_h$$

FS_t: Çivilerin çekmeye karşı güvenlik katsayısı (1.80)

Zemin çivileri ile desteklenen şev daha dik kazılabildiğinden kazı dolgu miktarları büyük miktarlarda azalmaktadır. Buna ek olarak, yapılacak geçici kazılardan dolayı oluşacak yer kayıpları en aza indirilebilmektedir. Uygulanan zemin çivileri sayesinde özellikle eğimli arazilerde, duvarın toptan göçmesine karşı güvenlik sayısı artırılabilen ve daha güvenli bir proje yapılabilir.

3. TERRANAIL® SISTEMİNDE TOPRAKARME DUVAR KISMININ TASARIMI

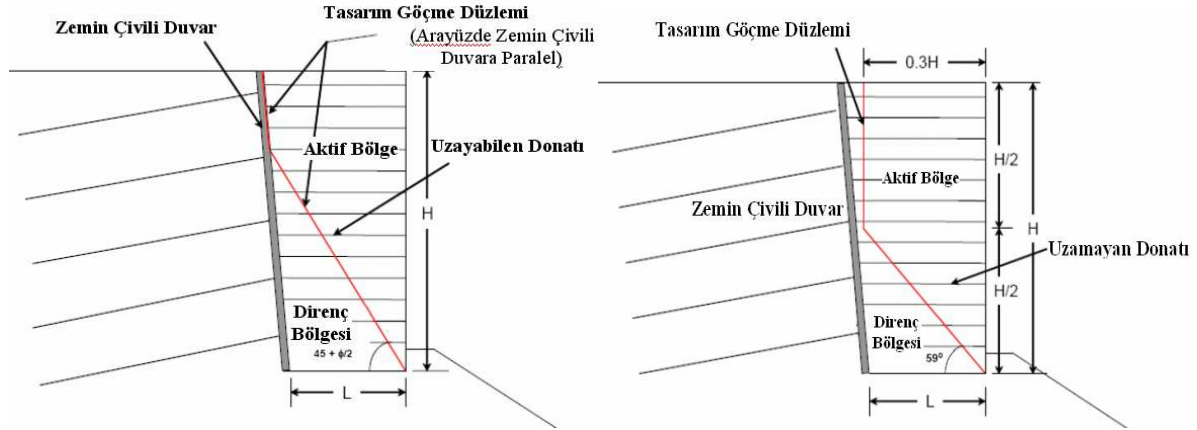
TerraNail® sisteminde toprakarme duvar tasarımı hem zemin çivisinin hem de toprakarme duvarın uzun dönemde sağladığı stabilite avantajları bir arada düşünülerek yapılmaktadır. TerraNail® duvarların dizaynı dört aşamada yapılmaktadır. İlk aşamada toprakarme duvarın iç stabilite analizi, donatı şeritlerinin seçilmiş dolgudan sıyrılması veya çekme kuvveti altında kopması durumları irdelenerek yapılır. Bu aşamada yapılan iç stabilite hesapları klasik toprakarme duvarlar için standartlarda belirtilen minimum şerit boyu kriterlerinden bağımsız olduğu düşünülmektedir. İkinci aşamada toprakarme duvar ile zemin çivisi ara yüzü boyunca dış stabilite kontrol edilir. Üçüncü aşamada toprakarme duvar taban zemini taşıma gücü ve oturma açısından kontrol edilir. Dördüncü aşamada ise kompozit TerraNail® duvarın, global stabilite analizi yapılarak zemin çivili duvar ile toprakarme duvarın bütün halde toptan göçmeye karşı kontrolü yapılır.

3.1. İç Stabiliteye Göre Tasarım

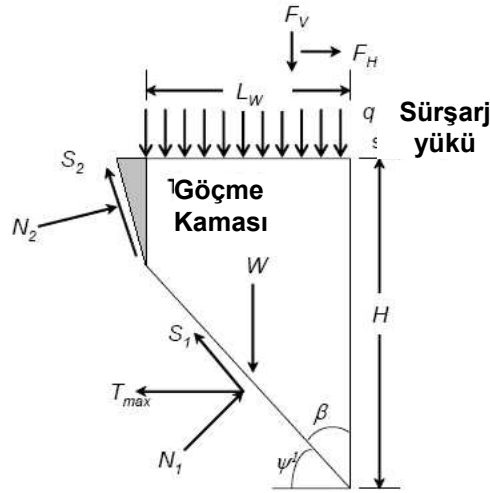
TerraNail® sisteminin toprakarme duvar kısmının iç stabiliteye göre tasarımında donatı şeritlerinin seçilmiş dolgudan sıyrılması veya çekme kuvveti altında kopması durumları irdelenir. İlk olarak kullanılacak donatı tipi belirlenir. Plastik (uzayabilen) veya çelik (uzamayan) donatı şeritlerinin kullanımına bağlı olarak aktif ve pasif bölgeleri birbirinden ayıran potansiyel göçme yüzeyleri duvar kesitinde farklı yerlerde oluşmaktadır. Donatılı zemin kütlelerinin içindeki potansiyel göçme yüzeyi Rankine'in aktif toprak basıncı teorisine göre belirlenmekte, toprakarme duvarın üst kesimlerinde gerideki destek duvarının yüzeyinde oluştuğu kabul edilmektedir (FHWA, 2006).

Şekil 3'de görüldüğü üzere, çelik şeritlerin kullanıldığı durumda potansiyel göçme yüzeyinin yatay eksen ile yaptığı açı 59° olarak kabul edilmektedir (FHWA, 2006). Plastik şeritlerin kullanılması durumunda bu açı 45+φ/2 olarak kullanılmaktadır. Burada φ seçilmiş dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısını belirtmektedir.

Potansiyel göçme yüzeyini belirledikten sonra donatı şeritlerinde kopmaya karşı tasarım, klasik toprakarme duvar tasarımına benzer şekilde yapılmaktadır. Donatı şerit seviyelerinin düzeydeki mesafeleri mümkün olduğunca az olarak tasarlanmalıdır. Seviyeler arası mesafenin az olması, sistemin iç stabilitesini artırmaktadır. Bir sonraki aşamada toprakarme duvar şeritlerinin toplam çekme kapasitesi Şekil 4'de verilen serbest cisim diyagramına göre hesaplanır.



Şekil 3 Donatı tipine göre iç stabilite hesaplarında kabul edilen potansiyel göçme yüzeylerinin yerleşimi (FHWA, 2006)



Şekil 4 Direnç bölgesinde ihtiyaç duyulan çekme kapasitesi hesabı için serbest cisim diyagramı (FHWA, 2006)

TerraNail® duvar sisteminde iç stabilitenin şeritlerde sıyrılmaya karşı tasarım hesabı klasik donatılı zemin duvarlara göre farklılık göstermektedir. Klasik toprakarme duvarlarda, donatı şeritleri göçme yüzeyinin, yani aktif bölgenin gerisindeki pasif kısma kadar uzanmakta, donatı şeritleri aktif bölgede ihtiyaç duyulan çekme kuvvetini pasif bölgedeki sürtünme kuvvetinden sağlamaktadır. TerraNail® duvarın toprakarme kısmında, alt kesimde yer alan donatı şeritleri, tüm aktif kamanın ağırlığından ve sürşarj yükünden doğan yatay çekme kuvvetini, göçme yüzeyinin gerisindeki direnç bölgesinden karşılamaktadır.

Aktif kamanın ağırlığı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

Burada H duvar yüksekliğini, γ toprakarme dolgusunun birim hacim ağırlığını, ψ şerit tipine göre göçme yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı (çelik şeritlerde 59°), L_w ise aktif kamanın maksimum uzunluğunu belirtmektedir (FHWA, 2006).

$$W = L_w H \gamma - \frac{1}{2} L_w^2 \tan \psi$$

Şekil 4'de yer alan S_1 ve N_1 ve T_{maks} kuvvetleri aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} N_1 &= W \sin \beta + qL_w \sin \beta + F_v \sin \beta + T_{maks} \cos \beta - F_H \cos \beta \\ S_1 &= W \cos \beta + qL_w \cos \beta + F_v \cos \beta - T_{maks} \sin \beta + F_H \sin \beta \end{aligned}$$

$$T_{maks} = \frac{H \cdot \tan \beta (\gamma H + 2q) + 2 \cdot F_v}{2 \cdot \tan(\phi' + \beta)}$$

T_{maks} kuvveti alt kesimdeki dirençli bölgedeki şeritler ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti ile karşılanmaktadır. Bu kuvvet aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır (FHWA, 2006).

$$L_{ei} = L - \frac{H - z}{\tan \psi}$$

Burada L_{ei} aderans boyunu, σ_{vi} donatı seviyesindeki düşey efektif gerilmeyi, F^* şeritlerin sıyırılma dayanım faktörünü, C donatıların efektif birim çevresini belirtmektedir. FS_p sıyırılmaya karşı güvenlik katsayısıdır (FHWA, 2006).

$$F_{PO} = \frac{1}{FS_p} \cdot F^* \sigma_{vi}' L_{ei} C \leq T_{allowable}$$

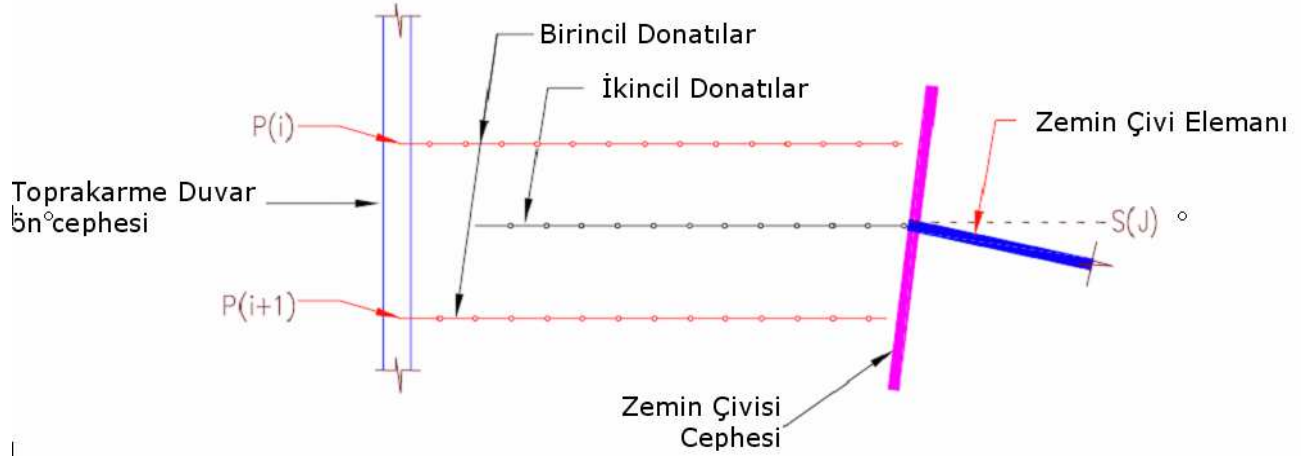
Alt kısımdaki şerit seviyelerindeki çekme kuvveti kapasiteleri toplamı belirli bir güvenlik sayısı hesaba katılarak göçme kamasındaki ihtiyaç duyulan toplam çekme kuvveti ile karşılaştırılır.

$$T_{maks} \leq \sum F_{PO}$$

TerraNail® sisteminde toprakarme duvar gövdesi sürtünme kuvvetini esas alan özel bir sistemle zemin çivilerine bağlanmaktadır (Şekil 5). İmalat esnasında toprakarme duvar dolgusu kademeler halinde yükselirken toprakarme yüzey panellerine bağlı donatı şeritlerine ek olarak zemin çivilerine bağlanan merdiven tipi şeritler de kullanılır. Yüksek aderanslı özel merdiven (Ladder) tipi şeritler zemin çivilerine yüksek çekme mukavemeti kapasitesi olan özel bağlantı elemanları ile bağlanmaktadır. Toprakarme duvar şeritlerinin de merdiven şeritlerinin de birer ucu seçilmiş dolguda serbest halde bulunmaktadır. Bu şeritler aktif kamamın içinde yer almazsa rağmen zemin çivilerine yük aktardığı için gerekli çekme kuvvetinin sadece alt kesimlerdeki dirençli bölgeden değil, üst ve orta kesimdeki merdiven şeritler yardımıyla zemin çivilerinden karşılanmasını sağlar.

Dolgu malzemesi ve üst yapıdan gelen ölü ve hareketli yükler toprakarme yüzey panellerinde, yatay toprak itkisi yaratır. Bu itkiler yüzey panellerine bağlı olan donatı şeritlerinin dolgunun ağırlığından dolayı şerit üzerinde oluşan sürtünme kuvveti ile karşılanmaktadır. Merdiven şeritler ise toprakarme yüzey panellerine bağlı olan donatı şeritlerindeki çekme kuvvetini dolgu ile arasında oluşan sürtünme vasıtası ile alarak bağlı bulunduğu zemin çivisine aktarır. Donatı şeritlerinde oluşan çekme kuvvetlerinin merdiven şeritlere aktarıldığı FLAC programı kullanılarak yapılan analizlerinde de görülmüştür (Tavakolian, R., Sankey, J., 2009). Sistemde kullanılan çiviler toprakarme duvar panellerinin, duvar yüksekliğinin en az yüzde yetmişine

kadar uzatılmaktadır (FHWA, 2006). Ayrıca, zemin çivileri boyutlandırılırken merdiven şeritlerinden gelen çekme kuvvetleri hesaba katılmaktadır.

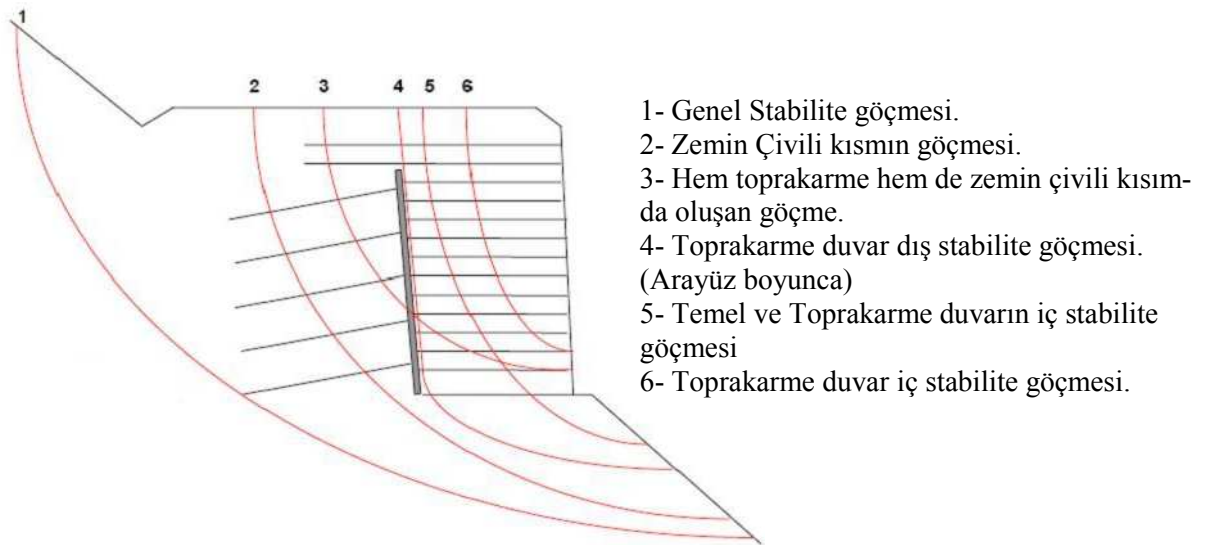


Şekil 5 TerraNail® merdiven şeritlerinin yerleşimi

3.2. Dış Stabiliteye Göre Tasarım

TerraNail® sisteminin dış stabiliteye göre tasarımında klasik toprakarme duvarlardan farklı olarak tabanda kayma ve topuk noktası etrafında devrilmeye karşı stabilite hesabı yapılmaktadır (FHWA, 2006). Dış stabilite kontrolünde taşıma gücü ve oturma analizleri yeterlidir. Sistemin zemin çivileri ile birlikte toplu olarak düşünülerek genel stabilitesinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

TerraNail® sisteminin tasarımında dikkate alınan potansiyel göçme modları Şekil 6'da verilmiştir (FHWA, 2006).



Şekil 6 TerraNail® potansiyel göçme modları (FHWA, 2006)

4. UYGULAMALARDAN ÖRNEKLER

TerraNail sistemi Güney Afrika ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bir kaç projede uygulanmıştır. Güney Afrika'da Reinforced Earth (Pty) Ltd tarafından uygulanmış olan Victoria Road projesinin uygulama aşamasını gösteren resim Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7 Victoria Road Projesi – Güney Afrika (Bergmann, T., Smith, A.C.S., 2007)

Benzer bir uygulama yine Güney Afrika'da yer alan Sishen Maden ocağında imal edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8 Sishen maden ocağı projesi – Güney Afrika (Freitag, N., Smith, A.C.S., 2007)

5. SONUÇ

TerraNail® sistemi konvansiyonel toprakarme duvar sistemine göre daha az kazı gerektirir. TerraNail® duvarlarda gereken seçilmiş dolgu malzemesi daha azdır, kullanılan donatı şeritleri daha kısadır. Sistemin sağladığı ekonominin yanı sıra teknik olarak sağladığı birçok avantajı vardır. Mevcut işleyen yolların genişletilmesi için yol trafiğe kapatılmadan ve kamulaştırma alanının dışına taşmadan mevcut şevin bulunduğu alanda yeni yolun imal edilmesine olanak verir. Ayrıca dik şevlerde klasik toprakarme duvar uygulanmasının toptan göçme güvenliğinin yetersiz olmasından dolayı uygulanmaması durumunda TerraNail® duvarda çivi boyları uzatılarak, ilave bir önlem almaksızın güvenli bir istinat yapısı teşkil edilebilir.

KAYNAKLAR

- AASHTO, 1996, “*Standard Specifications for Highway Bridges*”, Sixteenth Edition
- Bergmann, T., Smith, A.C.S., 2007, “*Design and construction of a composite nailed and mechanically stabilized embankment structure across a talus slope*”
- Freitag, N., Smith, A.C.S., 2007, “*An innovative connection between a nailed slope and an MSE structure : application at Sishen mine*”, RSA
- Morrison, K.F., Harrison, F.E., Collin, J.G., Dodds, A., Arndt, B., 2006, “*Shored Mechanically Stabilized Earth (SMSE) Wall Systems Design Guidelines*”, Publication No: FHWA CFL/TD-06-001, Federal Highway Administration
- Price, GV, Smith, ACS and Muhajer, A (2001). “*Innovative solution for a Kei Cutting problem.*” Proceedings of International Symposium on Earth Reinforcement, IS Kyushu, Japan 2001.
- Tavakolian, R., Sankey, J., 2009, “*Sandwich connection design for shored reinforced earth walls*”