

Metal şerit ve Geosentetik Donatı Kullanılarak Oluşturulan Donatılı Zemin (Toprakarme) Yapıların Spreadsheet Kullanarak Analizi

Devrim ALKAYA¹, Burak YEŞİL²

¹Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik ABD, Denizli

²Düzce Üniversitesi, DMYO Teknik Programlar, İnşaat Bölümü, Düzce
burakyasil06@hotmail.com - devrimalkaya@hotmail.com

Özet: Reinforced Earth veya Türkçe'de kullandığımız karşılığı ile Toprakarme, Donatılı Toprak, yada Donatılı Zemin Fransız mühendis Henri Vidal tarafından 1960'lı yıllarda bulunmuştur. Sistemin esası toprak ile donatının kullanımına ve bunlar arasındaki sürtünmenin ortaya çıkardığı kalıcı ve sağlam kompozit malzemeye dayanmaktadır. Farklı uygulamalar toprakarmenin, kargir ve betonarme duvarların dayanamayacağı nitelikteki toplam ve farklı oturmalara dayanabildiğini göstermiştir. Toprakarme yapıların projelendirilmesinde metal şerit donatı veya geosentetik donatı kullanılmaktadır. Donatı çeşidine göre projelendirmede farklılıklar bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan donatıya bağlı olarak tablolama programı yardımıyla projelendirmeyi kolaylaştıracak bilgisayar programları hazırlanmıştır. Program ile duvarda kullanılacak donatı miktarı ve en güvenilir duvar tipi belirlenebilecektir. Uygulama öncesi maliyet analizlerinin yapılması kolaylaşacaktır.

Anahtar Sözcükler: Donatılı zemin, toprakarme, metal şerit donatı, istinat yapısı

1. Giriş

Donatılı Zemin Fransız mühendis Henri Vidal tarafından 1960'lı yıllarda bulunmuştur. Donatılı zemin sistemi, toprak ile donatının kullanımına ve bunlar arasındaki sürtünmenin ortaya çıkardığı kalıcı ve sağlam kompozit malzemeye dayanmaktadır.

Donatılı zemin son 35 yılda dünyada 60'tan fazla ülkede 7700000 m²'den fazla yüzey alanına sahip 23500'ün üzerinde yapı olarak inşa edilmiş olup Türkiye'de de son yıllarda otoyollarda kullanılmaya başlanmıştır. Sistem önce dayanım yapıları olarak Fransa, ABD, Japonya ve İngiltere'de uygulanmıştır. Ardından köprü kenar ayakları, deniz ve nehir duvarları, kömür depolama yarıkları (eğimli duvarlar), dolgu takviyeleri ve yumuşak zeminlerdeki yapılar gelmiştir. Uygulamalarda donatılı zemin; kargir ve betonarme duvarların dayanamayacağı nitelikteki toplam ve farklı oturmalara dayanabildiğini göstermiştir. Tez kapsamında donatılı zeminin hesabında daha kolay çözümler sunmak için, bu kapsamda elektronik tablolama (spreadsheet) programı ile donatılı zemin hesap programı oluşturulmuştur. Böylelikle geoteknik mühendisliğinde projelendirme hesaplarının hatasız, hızlı ve pratik olarak yapılması amaçlanmıştır.

2. Donatılı Zemin Uygulamaları

Klasik istinat yapılarına göre daha ekonomik oluşu ve yapımının hızlı olmasının yanı sıra şehir içi geçişlerde estetik görüntünün ön plana çıkması ve taşıma kapasitesi düşük ve zayıf zeminlerde rahatlıkla kullanılabilmesi bu sistemin son yıllarda sıkça kullanımına sebep olmuştur.

Donatılı zemin (toprakarme), Türkiye'de ilk olarak 1988 yılında STFA/IMPREGILO ortak girişimince Adapazarı Arifiye'deki 69 nolu otoyol üstgeçidinin çok yumuşak zeminler üstüne oturan yaklaşım dolgusunun iki yanındaki 12 m yükseklikteki duvarları için kullanılmıştır.

İkinci donatılı zemin duvar uygulaması STFA/IMPREGILO ortaklığınca ikinci boğaz köprüsünün yaklaşım duvarları ile Çamlıca alt geçidi duvarlarında kullanılmıştır. Bayındır A.Ş.

tarafından yapımı bitirilmiş olan İzmir - Urla - Çeşme Otoyolu İzmir - Urla kesimi arasında inşa edilmiş olan bazı istinat duvarları mevcuttur.

Sivas - Yıldızeli - Hanlı devlet yolunda bulunan üst geçitlerde kullanılmıştır. Son yıllarda inşa edilen otoyollar ve pek çok karayollarında donatılı zemin tercih edilen bir uygulama olmuştur.

Dünyada görülen ilk donatılı zemin duvarlar 1967 yılından başlayarak Fransa, ABD, Japonya ve İngiltere'de inşa edilen istinat duvarları olmuştur. Bunları köprü kenar ayakları, deniz ve nehir duvarları, kömür deposu dayanma duvarları, dolgu payandaları ve zeminlerdeki donatılı zemin uygulamaları izlemiştir.

Başlıca donatılı zemin duvar uygulamaları arasında Fransa'da Nice Menton karayolu üzerinde inşa edilmiş bulunan 23 metre yüksekliğindeki Peyronner duvarı, Fransa'daki Dunkirk limanındaki cevher ve kömür yükleme tesisi, ABD'de California'daki 39 nolu karayolu ve Colorado Kayalık dağlarındaki Vail geçidinden aşan 70 numaralı devletlerarası karayolu üzerinde inşa edilmiş bulunan istinat duvarları, Kanada Quebec City'deki Henri Bourassa kavşağındaki istinat duvarları ve İspanya'da Bilbao Behobia otoyol üzerindeki istinat duvarları ile Hint körfezindeki Reunion adasında bulunan St. Denis sahil yolu üzerinde inşa edilmiş bulunan 11 m uzunluğundaki duvar sayılabilir [1].

2.1 Donatılı Zemin Sisteminin Avantajları

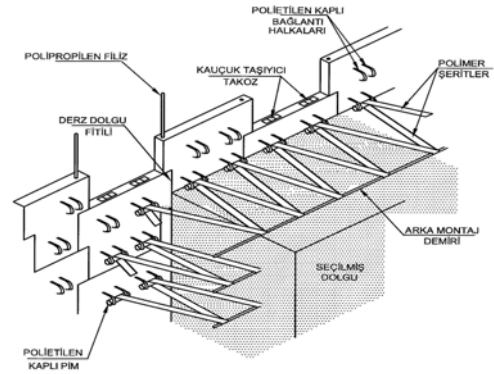
Alternatif inşaat mühendisliği malzemelerine nazaran, donatılı zeminin bazı avantajları vardır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir [1]; Esneklik (fleksibilite), donatılı zeminin doğrudan doğruya sıkıştırılabilir temel zeminleri üzerine inşa edilebilmesine imkan vermektedir.

Statik ve dinamik yüklere karşı yüksek mukavemet sağlar. Prefabrik yüzey ve donatı elemanları kullanımının getirdiği montaj kolaylığı sağlamaktadır. Prekast yüzey elemanlarının çok değişik mimari çözümlere uygunluğunun getirdiği düzgün yapı yüzeyi görünümü vardır.

İnşaat malzemesi ve süresinden tasarruf sağlar. Özellikle yüksek duvarlarda klasik sisteme nazaran düşük maliyetlidir. Depreme karşı klasik sisteme nazaran yüksek dayanıklılık sağlamaktadır. Zemin sistemi ile klasik sistemde yapılması pratik olmayan çok yüksek (40 metreye kadar) duvarların inşası mümkündür.

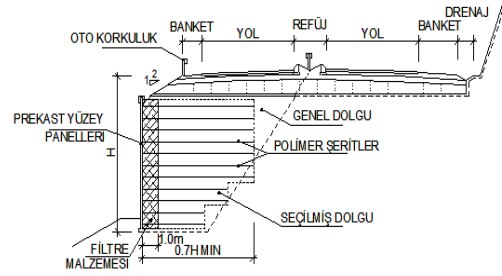
2.2 Donatılı Zemin İnşa Yöntemi

Donatılı zemin sisteminin iki ana elemanından biri olan donatılı zemin duvar panelleri, genellikle şantiyede prekast olarak dökülüp stoklanmakta ve işyerine nakledilmektedir. Panellerin dökümü için panel tiplerine bağlı olarak değişen tipte özel çelik kalıplar kullanılmaktadır. Bu şekilde dökülerek stoklanmış paneller, ankraj lamaları ve bağlantı elemanları ile birlikte nakledildikten sonra temel kazısı yapılmakta, grobetonu dökülmüş duvar tabanına projesine uygun olarak monte edilmektedir. Montaj işlemi bir sıra panelin yerleştirilmesi, ankraj lamalarının serilip panellere bağlanması, ankraj lamalarının üst dolgusunun yapılıp sıkıştırılmasından sonra ikinci sıra panellerin yerleştirilmesine başlanması şeklindedir. Polimer şeritli donatılı zemin sistemi dört ana ve diğer yardımcı elemanlardan oluşmaktadır [2] (Şekil 1)

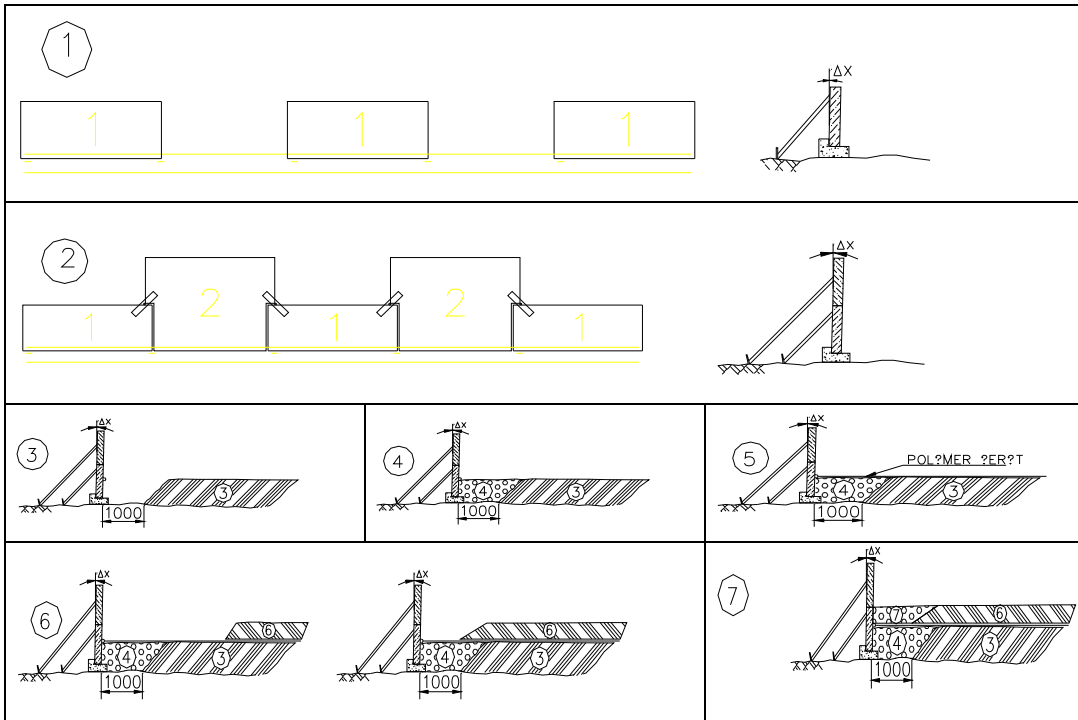


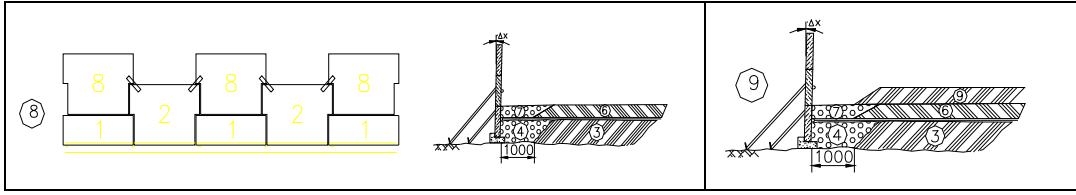
Şekil 1. Polimer şeritli donatılı zemin sistemi [3]

Köprü kenar ayaklarında, istinat duvarlarından farklı olarak tahliye yüklerinin donatılı zemin kütesine aktarılması amacıyla bir beton yastık dökülmektedir. Montaj işlemi genellikle 2 ton kaldırma kapasiteli 1 vinç, 1 dozer, 1 çekilir tip silindirik kısıtlı alanlardaki sıkıştırıcılar için 1 el silindirinden oluşan 4 - 6 kişilik bir ekip ile yapılabilmektedir. Donatılı zemin duvarın eğimli yüzeylerde yapılması durumunda stabilize analizine bağlı olarak alt kısımlardaki şeritleri kısaltmak mümkündür (Şekil 2). Şekil 3'de duvarın yapım aşamaları verilmektedir.



Şekil 2. Tipik donatılı zemin istinat duvarı kesiti [4].





Şekil 3. Donatılı zemin duvar yapım aşamaları [5].

2.3 Tasarım ve Hesap Esasları

Donatılı zemin sistemi basit bir yöntemle dayanmaktadır. Bu yöntemde, toprakla donatının birlikte kullanılması, bu iki malzeme arasında temas noktasında bir sürtünme yaratmaktadır. Bu yöntemde, çekme gerilmesi alamayan zeminde bu özelliğin sağladığı görülmektedir.

Malzemenin davranışının yeterli düzeyde anlaşılabilmesi için ilk yıllarda, yüzlerce deney ve servise konulmuş yapının performanslarının analiz edilmesi, gözlemlenmesi de dahil olmak üzere çok yoğun araştırmalar gerektirmiştir. Donatılı malzemenin davranışını kestirebilmek, mevcut bilgilerin birleştirilmesi, sınıflandırılması ve sürekli çekme basıncına maruz dolgu malzemelerinin ön stabilite değerlerinin bilinmesini gerektirmiştir.

Ancak inşaatta kullanılan dolgular oldukça farklı fiziksel, kimyasal ve elektrokimyasal özellikler gösterdiklerinden Vidal ve ekibi için yalnızca laboratuvar sonuçlarından hatta yıllarca çeşitli zemin tiplerinden alınmış arazi numunelerinden elde edilen sonuçları yeterli görmemiş, güvenli sonuçlara ulaşmak için uzun vadeli, planlı, sabırlı, ampirik yaklaşımlara dayalı araştırmalar yürütülmüştür. Bu konuda yapılan çalışmaları şu ana başlıklarda toplamak mümkündür [6];

Donatılı zemin mekaniği;

- Kitledeki gerilmelerin incelenmesi
- Zemin ve donatı arasındaki sürtünme ilişkileri

Donatının Mekanik ve Fiziksel Özellikleri;

- Kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri

Donatılı zemin kavramının ilk olarak açıklandığı yıllarda daneli dolgu malzemesinin içine yerleştirilen metal şeritlerin etkisiyle kohezyon özelliğini kazandığını öne sürülmüş ve bu etkinin kum daneleri ile şeritler arasındaki sürtünmeden kaynaklandığı gösterilmiştir. Daha sonraki gelişmeler donatı mekaniğinin, kitlenin iç ve dış stabilitesinin ayrı ayrı incelenmesi şeklinde olmuştur [7].

İç Stabilite: Donatı sıyrılma tahkiki ve donatı kopma tahkiki

Dış Stabilite: Kayma tahkiki, devrilme tahkiki, taşıma gücü tahkiki ve toptan göçme tahkiki

Tablo 1’de tasarımda kullanılan güvenlik sayıları verilmiştir.

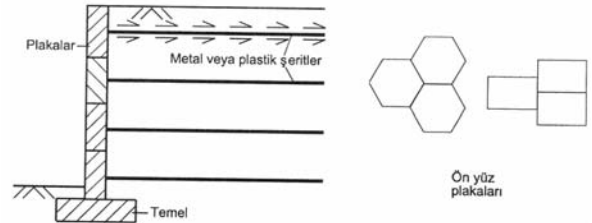
Tablo 1. Tasarımda kullanılacak güvenlik sayıları.

Güvenlik Sayıları	Statik	Dinamik
Kaymaya karşı	1.60	1.20
Devrilmeye karşı	2.00	1.50
Taşıma basıncı	2.00	1.50
Sıyrılmaya karşı	1.50	1.20
Duraylılık için	1.50	1.10

2.4 Donatılı Zeminin Temel Mekanizması

Granüler bir malzeme üzerindeki tek eksenli yükleme, sıkıştırılmış malzemelerde yanıl genişlemelere neden olur. Bu genişleme nedeniyle yanıl gerilme düşey gerilmenin yarısından fazladır [8].

Diğer taraftan, zeminin içine uzanma özelliği olmayan donatı elemanlarının yerleştirilmesiyle bu donatılar kendileriyle zemin arasındaki sürtünme yardımıyla yanıl gerilmeyi önleyece ve sistemin davranışı yanıl bir dayanma kuvveti veya yük, eleman üzerine etki yapıyor gibi olacaktır (Şekil 4) [9].



Şekil 4. Hazır plaklı, donatılı zemin duvarı [9].

Zemin elemanı üzerindeki bu yatay yük, pasif toprak basıncına eşittir. Zemin elemanlarının her biri eşit bir yatay basınç tarafından etkilenir. Bu nedenle düşey basınçlar arttıkça yatay tutucu basınçlar veya yatay kuvvetler doğru orantılı olarak artar. Böylece içsel sürtünme açısının herhangi bir değeri için, genelde granüler malzemelerde geçerli olmak üzere stres daresi bütün noktalarda kopma eğrisinin çok altında yer alır. Bu yüzden dengenin bozulması sadece zeminle donatı arasındaki sürtünmenin kaybı veya donatıların kopması nedeniyle meydana gelebilir [10].

2.5 Bir Donatılı Zemin Yapısında Gerilme Şartları

Donatılı zemin yapılarının tasarımında önemli hesaplardan biri, donatılar tarafından karşılanması gereken yanıl veya gerilme basınçlarının belirlenmesidir. Aşırı basınçlar donatıların gerilme kopmalarına ve yapının tümüyle göçmesine neden olabilir. Zemin ve donatılar arasındaki kayma direncine ilişkin hesaplar ise donatının zemin içindeki hareketi ile sadece basınçların yeni biçimde dağılması ve kütlenin yavaş deformasyonuna sebep olacağından daha az kritiktir.

Donatılı zemin yapılarına yerleştirilmiş ölçme cihazlarından edinilen bilgiler bu yapılardaki gerilmelerin değiştiğini ve bu nedenle örneğin tek bir toprak basıncı varsayımının kullanarak ve bunu arkadaki dolgunun itkisine göre gerektiği şekilde değiştirerek sürekli olarak doğru tahmin edilemeyeceğini göstermektedir.

2.6 Zemin ve Donatı Arasındaki Sürtünme İlişkileri

Bir donatılı zemin kütle içindeki yatay gerilmeler için uygun güvenlik değerleri karşılaştırıldıktan, en kesiti ve donatıların yatay - düşey aralıkları belirlendikten sonra projeci bu yatay yüklerin donatılara etkin ve düzenli biçimde aktarılacağından emin olmalıdır. Projeci aynı zamanda, tamamlanmış yapıdaki güvenlik payını, belli limitler arasında tahmin edebilmelidir.

Sürtünmeye ilişkin formüllerin kullanımında ait olduğu yapının geometrisinin yanı sıra görünür sürtünme katsayısının seçimi, etkili donatı boyunu ve toprak itkisinin bilinmesini gerektirir.

2.7 Görünür sürtünme katsayısı

Zemin ve donatı arasındaki kayma direnci, birden fazla ülkede birçok araştırmanın konusu olmuştur. Bu çalışmalar ilk bakışta çok karmaşık görünen ancak daha yakından incelendiğinde granüler malzemelerin kayma mukavemeti özelliklerine ve malzemeler arasındaki kayma sürtünmesine indirgenebilen bilgi sağlanmıştır. Bunlar [11];

- * Zemin ve donatı malzemesi arasındaki direkt kesme kutusu deneyi (model ve prototip ölçeğinde),
- * Donatı şeritlerinin donatılı zemin duvarlarında çekme deneyi (model, prototip ve tam ölçekteki yapılardan),
- * Dolgulardan donatı şeritlerinin çekme deneyi,
- * Model ölçeğindeki rijit hareketli duvarlardan donatı şeridi çekme deneyi,
- * Model ölçeğinde ve vibrasyon sırasında donatı şeridi çekme deneyidir.

Kullanılan bütün test yöntemlerinin içinde uygulamacı mühendisler açısından projelendirme parametrelerinin elde edilmesi için pratik olarak en uygun olanı direkt makaslama veya kayma makaslama deneyidir. Diğer deney yöntemleri daha hassas ve özel gereçler gerektirdiği ve daha gelişmiş ve pahalı deneylerden edinilecek bilgiler ilgili proje gerektirmediği veya sağlanacak ekonomi, masrafı karşılamayacağı için genelde istenmez. Bu nedenle projeci açısından direkt makaslama (kesme) deneyleri sonuçlarının güvenilir olarak kullanılabileceğini bilmek önemlidir.

Yüzey pürüzlülüğünün kayma makaslama direncine etkisinin olduğu kabul edilmiştir. Kayma makaslama direncini etkileyen faktörler en azından tanımsal yönden temel zemin mekaniği kuramı ile uyumludur. Bu nedenle yoğunluk, makaslama direnci, boşluk oranı ve gerilme durumu gerçek yapıların projelendirilmesinde kullanılacak genleşme etkisine göre düzeltilmiş maksimum basınç veya genleşmesiz kesmeye değerinin seçilmesi yönünden önemlidir. Donatı yüzeyinin niteliğinin hesaba katılması da, aynı şekilde önem taşımaktadır. Düz yüzeyli donatılarda, direkt kesme kutusu deneylerinde bulunan sürtünme katsayısı değerinin, kullanılacağı yapılardaki durumuna uygun şekilde gerilme şartlarındaki değeri seçilmelidir. Birçok durumda bu değer kalıntı kayma makaslama değerine ($\tan \phi$) eşit olabilmektedir.

2.8 Etkili Donatı Uzunluğu

Donatılı zemin yapılarındaki analizler bir yapının donatılarındaki maksimum çekme basınçlarının panellere bağlantı noktasında değil daha gerilerde olduğunu göstermiştir. Maksimum gerilme noktalarının birleştirilmesi ile yapı içinde iki bölge oluşur. Aktif veya çeken bölgede zeminden donatıya gelen makaslama (kesme) kuvvetleri dış

yüzey panellerine doğru, pasif veya direnen bölgede makaslama kuvvetleri donatının serbest ucuna doğru yönlendirilir. Bu aktif zonun sınırı yapının tipi, temel zeminin durumu ve uygulanan yüklerin yeri ve şiddetine göre değişir.

2.9 Projelendirme Yöntemleri

Projelendirme yöntemini yeterli doğruluk ve güven içinde donatı yüzey alanına göre formüllendirmek mümkündür. En az % 90 standart proktor yoğunluğuna sıkıştırılmış granüler dolgular ve sırtlı donatılar için şekilde gösterilen f değerlerinin kullanılması uygulama verileriyle de desteklenebilir. Ancak serbest basınç deneyinden elde edilmiş ve genleşme etkisine göre düzeltilmiş maksimum basınç değerleri de ($f^* = \tan \phi$) kullanılabilir. Genleşmesiz zeminler için direkt makaslama (kesme) değeri ($f^* = \tan \tau$) hem düz hem de sırtlı donatılar için kullanılmalıdır. Projelendirmede uygun emniyet faktörleri seçilmelidir.

2.10 Donatılı Zemin Yapımında Kullanılacak Malzemenin Seçimi

Donatılı zemin yapılarında kullanılacak dolgu topraklarının seçimini etkileyen üç ana etken aşağıdaki şekilde sıralanabilir [12].

- 1)Yapının uzun süreli stabilitesi
- 2)Yapım sırasındaki kısa süreli stabilitesi
- 3)Dolgu malzemesinin fizikokimyasal özellikleri

Makaslama sırasında hacimsel genişlemeye uyacak şekilde sıkıştırılmış topraklar donatılı zemin yapıları için en uygun olanıdır. Özellikle bu malzemelerin drenajlarının iyi olması halinde her tabakaya dolgu yerleştirildiğinde donatı şeridi ve dolgu malzemesi arasındaki etkili normal basınç yayılımı hemen gerçekleşecek ve kesme mukavemetindeki artış, düşey yüklemenin gerisinde kalmayacaktır.

Donatılı zemin yapılarındaki normal yüklem şartlarında granüler malzemeler elastik malzemeler gibi davranırlar. Bu nedenle, çalışma basınçlarına göre projelendirilmiş yapılarda iç sıkışmalar veya oturmalar beklenmemelidir. İnce taneli malzemeler donatılı zemin yapıları için tam olarak uygun değildir. Genelde drenaj yetenekleri düşüktür ve etkili basınç yayılımı hemen meydana gelmez. Böylece yavaşlatılmış yapım hızı veya yapım sırasında kabul edilemeyecek kadar düşük güvenlik faktörü uygulamayı gerektirecektir.

Donatılı zemin yapımında kullanılacak dolgu malzemesi için ülkemizdeki uygulamalarda BS-8006 (1995)'e uygun olan aşağıdaki dane dağılımı kullanılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Elekten geçen.

BS Eleği	% Geçen
250mm	100
75mm	75
10mm	10
75 mikron	0 - 15

2.11 Şartname

Donatılı toprak yapımında kullanılacak dolgu malzemesinin gradasyonu şu şekilde olmalıdır [13]; BS Eleğinde; 250mm eleğinde % 100, 75mm eleğinde % 75, 10mm eleğinde % 10, 75 mikron eleğinde % 0 - 15 olmalıdır.

2.12 Toprağa Gömülen Metal Donatıların Duraylılığı

Donatılı Toprak yapıları 75 ile 100 yıllık hizmet ömürleri için projelendirilirler. Donatı kalınlıkları, çevre şartlarına ve taşıyacağı yüklere göre, 3 ile 9 mm arasında değişen metal şeritler kullanılmaktadır. Bu nedenle yapısal elemanların paslanma gibi inkar edilemeyen ve görüntüye göre önceden tahmin edilemeyen şekilde gelişen bir olaya direnmesi için nasıl boyutlandırılması gerektiği önemli bir husustur.

Güvenlik payının ne olacağı, tahminler doğru değilse sonuçların ne olacağı gibi problemlere cevap verebilmek için önce paslanmanın mekanizması üstünde düşünmek, teorik çalışmalara bakmak ve mevcut gerçek verileri incelenmek gerekmektedir. Örneğin, gömülü bir metal boru, eğer derinlemesine paslanma cıdarı delerse, sıvı ve basınç kaybı olacağı için görev yapamaz hale gelecektir.

Buna karşılık şerit veya levha tipinde benzer noktasal paslanma, gerilmeye direnen enkesiti azaltma yönünden az etkili olacaktır. Bu yüzden aynı tip paslanma etkisi ile metal boru kullanılamaz hale gelirken şerit görev yapabilir halde olabilecektir. Donatılı Toprak yapılarının ömrü açısından paslanma olayına incelendiğinde, paslanma başlıca elektrokimyasal bir olay olduğu anlaşılmaktadır. Ancak başlangıç paslanması ve uzun süreli paslanmayı etkileyen çok sayıda iç ilişki faktörleri, özellikle zaman içinde parametrelerin bir çoğunun değişeceği de göz önüne alınırsa, hizmet ömrü ve paslanmanın incelenmesini, sonuçları kesin olmayan bir çalışma haline getirir. Sonuçlar yönünden mümkün olan alt ve üst limitleri belirlemek ve kabul edilebilir bir emniyet faktörü sağlamak için iyi bir mühendislik yargısı uygulamak gerekir.

2.13 Toprakarme Duvarı Oluşturan Kısımlar

Tesviye betonu yaklaşık 15 cm kalınlığında ve 30 cm genişliğinde yerinde dökme donatısız betondan oluşur. Panelleri yerleştirmeye başlarken gereken düzgün yüzeyi sağlar.

Prekast beton yüzey paneller genellikle 4 ayrı biçimde üretilir.

- Tam paneller duvarın büyük bir kısmında kullanılır. Panelin arka yüzündeki donatı bağlantı uçları, panelin yerleştirileceği derinliğe bağlı olarak değişebilmektedir.
- Yarım paneller genellikle ilk sırada kullanılır. Duvar yüksekliğine bağlı olarak en üst sırada da kullanılabilir.
- Trapezoidal paneller duvar üstünde oluşturulması istenen eğime ve şekle göre üretilen özel panellerdir.
- Kesilmiş, bükülmüş, eğim verilmiş kullanıldığı yapı tipine bağlı şekillendirilmiş panellerdir.

Derz dolgu malzemeleri, yatay derzlerde 1.25 m uzunluğunda monlor levhalar, düşey derzlerde ise köpük veya filtre bezidir.

Sırtlı donatı şeritleri 40 mm veya 60 mm genişlikte ve projeye uygun uzunluklarda kullanılmaktadır. Şeritler galvanize edilmiş ve panel arkalarındaki bağlantı uçlarına vidalanacak

şekilde projelendirilmiştir. Şeritleri panellere bağlamak için 12 mm çapında somun ve civatalar kullanılır.

Dolgu malzemesi aşağıdaki gradasyona uymalı veya üniformluk katsayısı >2 ($Cu=D60/D10$) olmalıdır. Dolgu malzemesinde, 200 nolu (75 μ m) elekten geçen miktar % 15'ten fazla ise ek deneylere (hidrometre ve direk kesme) bağlı olarak kullanılmalıdır.

2.14 Yapım Tekniği

Toprakarme yapılarda panellerin yerleştirilmesi, yapının görünüşünü etkileyen nedenlerin basında gelir. Bu yüzden birinci sıra panellerin yerleştirilmesi ve geri dolgusunun yapılması büyük önem taşır. Bu aşamada gösterilen özen yapının devamının problemsiz ve süratli yapılmasını sağlar.

Paneller üst kenarlarında yer alan iki göze takılan kaldırma halkaları ile kaldırılır. Bir alttaki panele kaldırma esnasında çarpılmaması için tahta bloklar kullanılmalıdır. Paneller yerleştirilirken yanlarındaki filiz demiri, aşağıdaki panelde bulunan tüp şeklindeki boşluğa girer. Bir panel yerine indirildikten sonra aynı sırada yer alan en yakın panele olan uzaklığı aralama çubuğuyla ayarlanır. Aynı sırada bir sonraki panel yerleştirilirken, çubuk yerinde bırakılır ve diğer bir çubukla mesafe ayarlanır.

Doğrultu kontrolü yapılırken, tesviye betonu üstüne çizilen kontrol çizgisiyle ilk sıra panellerin doğrusalılığı veya diğer sıralardaki panellerin bir alttakine doğrusalılığı kontrol edilir. Kontrol sırasında dolgu tarafında (arka yüz) levye kullanılabilir.

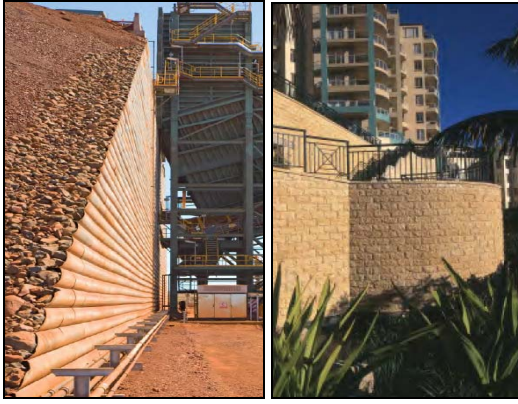
Yatay doğrultu kontrolü, yapının genel görünüşü ve derzlerin muntazam oluşması için önemlidir. Her imal edilen panelin kabarcıklı düzeçle yataylığı kontrol edildikten sonra diğerleri ile aynı hizada olup olmadığına bakılır. Tesviye betonu eğimli ise panellerde aynı eğimle yerleştirilmelidir. Bunun için düzeğin bir uçunda pim kullanılır. Panel kontrol edildikten sonra aynı sıradakilerle aynı eğimde olup olmadığına bakılır. Düzeltmeler yapılması gerektiğinde ilk sırada takozlar kullanılabilir veya derz dolgu malzemelerinin kalınlıkları ayarlanabilir. Her bir ayarlamadan sonra, paneller arasındaki yatay mesafenin kontrolü yapılmalıdır.

İmalat sırasında panellere, geri dolgu ve sıkıştırma esnasında oluşabilecek dışa doğru itmeyi kompanse etmek için içe düşey eğim verilmelidir. Verilen eğim düzeçle ayarlanabilir. Gerekli eğimi vermek için yatay kısa derzlere takozlar itilir. Takozlar üstünde üç sıra panel imalatı yapıldıktan sonra alınmalıdır. Aksi takdirde çıkarılmaları zorlaşır.

Verilecek eğim geri dolgu malzemesine, sıkıştırma gerekliliklerine, makinelere ve donatı şeritlerinin uzunluklarına göre değişebilir. Genellikle 1 m'de 0.8 cm ile 1 cm olacak şekilde eğim verilir, ilk sıradaki geri dolgu sırasında panellerin ne kadar hareket ettiği saptanarak, düşey doğrultuyu sağlamak için gerekli eğim ayarlanabilir. İmalat sırasında, çekül kullanılmak suretiyle duvarın genel düşey doğrultusu kontrol edilmelidir.

2.15 Toprakarme Uygulamaları

Ülkemizde ve dünyada günümüze kadar birçok donatılı zemin uygulaması yapılmıştır.



Şekil 5. Donatılı toprak uygulamaları 1 [14]: (a) Bir beton fabrikasında. (b) Kademeli istinat



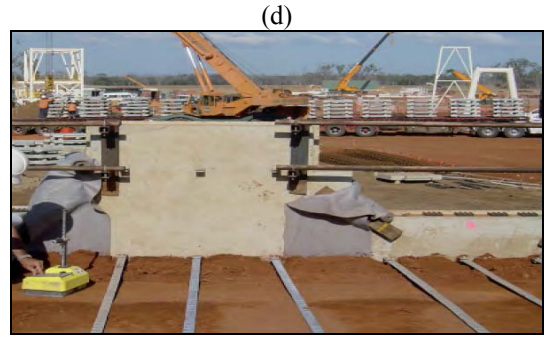
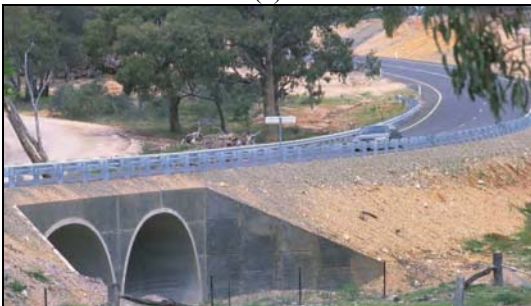
(a)



(b)



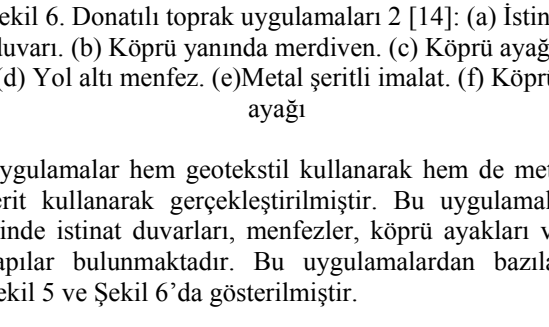
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 6. Donatılı toprak uygulamaları 2 [14]: (a) İstinat duvarı. (b) Köprü yanında merdiven. (c) Köprü ayağı. (d) Yol altı menfez. (e) Metal şeritli imalat. (f) Köprü ayağı

Uygulamalar hem geotekstil kullanarak hem de metal şerit kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar içinde istinat duvarları, menfezler, köprü ayakları vb. yapılar bulunmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

2.16 Donatılı Zemin Hesap Programı

Tez kapsamında hazırlanan programla hesapların daha hızlı, kolay ve pratik yapılması amaçlanmıştır. Programın oluşturulmasında elektronik tablolama kullanılmıştır.

Donatılı zemin uygulamalarında kullanılan malzemeye göre yapılan hesaplar da değişmektedir. Hazırlanan tablolama programında metal şerit ve geotekstil (jeotekstil) kullanarak iki farklı analiz yapılabilmektedir.

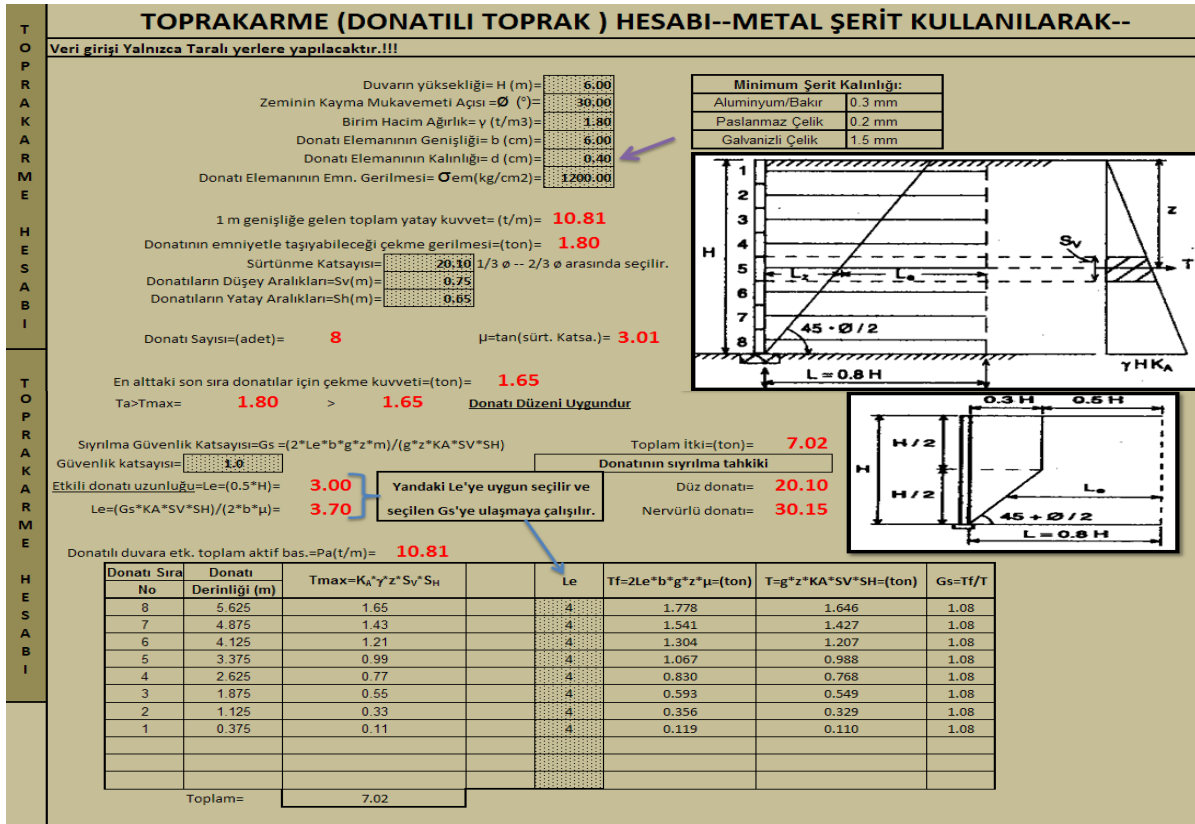
3. Metal şeritli donatılı zemin hesap programı

Programda Rankine metodu, Kumbasar ve Kip (1999) da önerilen hesap metodu kullanılmıştır [15]. Metal şerit kullanarak analizlerin yapılabilmesi için; zemin özellikleri (birim hacim ağırlık, kayma mukavemeti gibi veriler programa girdi olarak verilmelidir. Ayrıca donatı elemanının özellikleri (genişliği, kalınlığı, emniyet gerilmesi), duvar yüksekliği, sürtünme katsayısı, donatıların düşey ve yatay aralıkları, güvenlik katsayısı değerleri girilerek gerekli tahkikler yapılabilmektedir (Şekil 7).

Programda, donatı sıyrılma tahkiki, donatı düzeninin uygunluğu gibi tahkikleri yapılabilmektedir. Açıklayıcı olması açısından hesapta kullanılan formüller programda her hesap adımında gösterilmiştir. Burada, hesaplanan basınç transferinde etkili donatının uzunluğu katsayısına yakın bir değer tablodan girilerek

seçilen güvenlik katsayısına ulaşması sağlanmaktadır. Eğer yaklaşım yapılamıyorsa hesabın yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Duvar yüksekliği, donatı aralıkları, donatı mesafeleri gibi değerler değiştirilerek uygun sonuç bulunabilmektedir.

Hesaplarda program yalnızca taralı hücelere veri girişine imkân vermektedir. Bulunan değerler ilgili birimlerde gösterilmektedir. Bu sayede sonuçların daha açıklayıcı olması amaçlanmıştır.



Şekil 7. Elektronik tablolarla donatılı zemin hesap programı (metal şerit).

Metal şeritle yapılan donatılı zemin hesaplarında kullanılan iç ve dış stabilite formülleri aşağıda verilmiştir. (Denklem 1 – 12).

$$T_{maks} = K_a \gamma z S_v S_H \quad (1) \quad \text{Düz donatı} = 0.67 \phi \quad (11)$$

$$T_f = 2leb\gamma z \mu \quad (2) \quad \text{Nervürlü donatı} = 1.5 \mu \quad (12)$$

$$T = K_a \gamma z S_v S_H \quad (3)$$

Birim boyaya gelen yatay kuvvet(t/m)

$$= \frac{\gamma h^2 (\cos \phi)^2}{2(1 + (\sin \phi)^2)} \quad (4)$$

$$T_a = \frac{\sigma_{em} b (d - 0.15)}{1000} \quad (5)$$

$$= \frac{H}{S_v} \quad (6)$$

Donatı adedi

$$tg\left(\frac{1}{3}\right)\phi \leq \mu \leq tg\left(\frac{2}{3}\right)\phi \quad (7)$$

$$l_e = 0.5H \quad (8)$$

$$G_s = \frac{T_f}{T} \quad (9)$$

$$l_e = \frac{G_s K_a S_v S_H}{2b\mu} \quad (10)$$

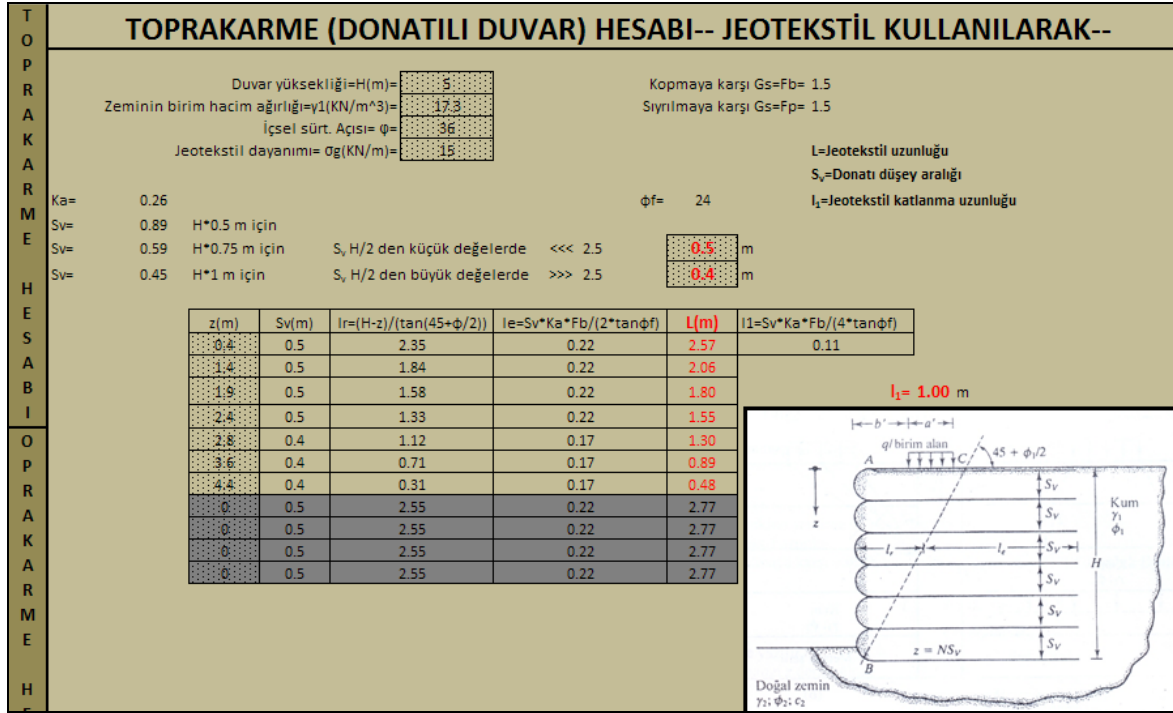
4. Geosentetik kullanılarak donatılı zemin hesap programı

Geosentetik kullanarak analizlerin yapılabilmesi için; özellikleri (birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı) verileri programa girdi olarak verilmelidir. Ayrıca donatı elemanının özellikleri (genişliği, kalınlığı, emniyet gerilmesi), duvar yüksekliği, geotekstil malzeme dayanımı, donatıların düşey aralıkları H, 0.75 H ve 0.5 H değerleri ve H/2 değerine göre belirlenmekte, kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı değerleri girilerek gerekli tahkikler yapılabilmektedir (Şekil 8).

Programda, geotekstil katlanma uzunluğu, girilen derinlikler ve geotekstil aralığına göre geotekstil uzunluğu gibi tahkikleri yapılabilmektedir. Açıklayıcı olması açısından hesapta kullanılan formüller programda her hesap adımında gösterilmiştir. Hesaplarda geotekstil aralıkları duvar yüksekliğinin 0.5 H, 0.75 H, H değerlerine göre programdan bakılarak H/2 değerinden küçük veya büyük olma durumuna

dikkat edilerek girdi olarak programa verilmesi, dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir.

Program yalnızca taralı hücelere veri girişine imkân vermektedir. Bulunan değerler ilgili birimlerde gösterilmektedir. Bu sayede sonuçlar daha açıklayıcı olması amaçlanmıştır.



Şekil 8. Elektronik tablolu ile donatılı zemin hesap programı (jeotekstil).

Geotekstil kullanılarak donatılı zemin hesaplarında kullanılan formülleri aşağıda verilmiştir. (Denklem 13 - 19).

$$K_a = \left(\tan 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2 \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} 0.5H \text{ için,} \\ z < \frac{H}{2} \\ z > \frac{H}{2} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} S_v = \frac{\sigma_g}{0.5\gamma H K_a F_b} \\ 0.75H \text{ için,} \\ S_v = \frac{\sigma_g}{0.75\gamma H K_a F_b} \\ H \text{ için,} \\ S_v = \frac{\sigma_g}{\gamma H K_a F_b} \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$\phi_f = \frac{2}{3}\phi \quad (15)$$

$$l_r = \frac{H - z}{\tan 45 + \frac{\phi}{2}} \quad (16)$$

$$l_e = \frac{S_v K_a F_b}{2 \tan \phi_f} \quad (17)$$

$$L = l_r + l_e \quad (18)$$

$$l_1 = \frac{S_v K_a F_p}{4 \tan \phi_f} > 1 \quad \text{ise} \quad l_1 = l_1 \quad (19)$$

$$l_1 = \frac{S_v K_a F_p}{4 \tan \phi_f} < 1 \quad \text{ise} \quad l_1 = 1$$

5. Sonuçlar

Donatılı Toprak sistemi, bütün diğer sistemler gibi uygun şartların varolduğu hallerde ekonomik, estetik ve güvenli yapıların ortaya çıkarılması için son derece elverişlidir. Ancak bunu yaparken sistemin gerek projelendirme esaslarına uymak gerekse malzemelere ilişkin özellik ve şartlara tamamen uymak zorunludur. Hazırlanan bilgisayar programları ile tasarımın güvenilir ve hızlı yapılması amaçlanmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Alkaya D. ve Çobanoğlu, İ., "Toprakarme (donatılı zemin) yapılar" Denizli İMO Bülten - İnceleme Araştırma, sayı. 54, Denizli. (2007)
- [2] Price D.I. ve Özçelik H., "Polimer şeritli donatılı zemin duvarda yapılan ölçümler" Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 5. Ulusal Kongresi, II.Cilt, pp. 498-509. (1994)
- [3] TS-7994, "Zemin dayanma yapıları; sınıflandırma, özellikleri ve projelendirme esasları" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1990)
- [4] Özçelik H., "Polimer şeritli donatılı zemin duvar uygulamaları ve avantajları" IMO Geoteknik Sempozyumu, Adana, pp. 53-66 (2005)
- [5] Özçelik H., "Donatılı zemin duvar tasarımı ve uygulamaları" İsmet Ordemir'i Anma Sempozyumu, ODTÜ, Ankara (2006)
- [6] Alkaya D. and Yeşil B., "Spreadsheet Kullanılarak Toprakarme Yapıların Tasarımı" Zemin Mekaniği ve

Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi, 30 Eylül - 1 Ekim, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul (2010)

[7] Bowles J.E., "Foundation analysis and design" 4th edition, McGraw-Hill, pp. 530-544. (1988)

[8] Vidal H., "The principle of reinforced earth" Transportation Research Board Business Office, no. 282, pp. 1-16. (1969)

[9] Uzuner B.A., "Temel zemin mekaniği, Derya kitabevi, pp. 369-400, Trabzon. 2007.

[10] Brady K.C., "Performance of a reinforced earth bridge abutment at camarthen" TRRL Department of Transport Report III (1987)

[11] RES (Reinforced Earth Structures), "Recommendations and rules of the art" French 2nd edition, Ministry of Transport, France (1980)

[12] Wasti Y. ve Özçelik H., "Donatılı zemin duvarlar ve bir uygulama: yamaç ve şevlerin stabilitesi" Dayanma Yapıları Semineri, Cilt-1, DSİ, Ankara (1987)

[13] BS-8006 (British Standarts), "Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills" British Standard, England (1995)

[14] Reinforces Technology, "The reinforced earth company" Level 2, 20 George Street Hornsby NSW 2077, Australia (2007)

[15] Kumbasar V. ve Kip F., "Zemin mekaniği problemleri" Çağlayan kitabevi, İstanbul (1999)