

İSTİNAT DUVARI VE TEMEL ALTI DOLGULARININ GEOGRİDLE GÜÇLENDİRİLMESİ VAK'A ANALİZLERİ

CASE STUDIES ON STRENGTHENING OF RETAINING WALL BACKFILLS AND FOUNDATION SOILS WITH GEOGRIDS

**Hakan ÖZÇELİK¹, Ülkü KÜÇÜKKAYALAR², Satuğ KÜÇÜKKAYALAR³
Defne KÜÇÜKKAYALAR⁴**

ÖZET

Zeminde ve dolguda kayma kuvvetlerinden kaynaklı stabilite problemlerini önlemek için, güçlendirme amaçlı geogridler zemin ve dolgu arasına, yer düzlemine paralel olacak şekilde yerleştirilir. Zeminlerin aksine, geogridler çekme direncine sahiptir. Yüklerin eşit olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilme kuvvetlerine direnerek, çekme direncini ve kopmadan önce zeminin deformasyon kabiliyetini artırarak, zemin kütlelerinin güçlendirilmesini sağlarlar. Geogridler ile yapılan güçlendirme neticesinde zeminin taşıma gücü de artmaktadır. Geogridlerin yaratmış olduğu bu avantaj, Bursa'daki muhtelif sanayi yapılarının inşaatında kullanılarak ekonomik çözümler üretilmiş ve zaman tasarrufu sağlanmıştır. Bu vaka analizlerinde, mevcut istinat duvarlarının arkasındaki dolgunun bohçalama yöntemi kullanılarak geogridler ile güçlendirilmesi; temel zemininde, geogridli dolgu radye oluşturularak zemin taşıma gücünün artırılması anlatılmaktadır. Diğer taraftan, olası farklı oturmalar engellenerek, betonarme radye temel kalınlığı ve duvar kesit genişlikleri azaltılmıştır. Bildiride geogrid ile güçlendirilmiş dolguların tasarım prensipleri, yapım, yöntem ve detayları ile avantajları paylaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: geogridler, geogrid donatılı dolgu radyeler, geogrid donatılı bohçalama duvarlar

ABSTRACT

To prevent stability problems caused by shear forces in the soil and embankment, geogrids are placed between the soil and fills, parallel to the ground plane, for strengthening purposes. Unlike soils, geogrids have tensile strength. By spreading the loads evenly over a large area and resisting the resulting tensile forces, they provide strengthening of the soil mass by increasing the tensile strength and deformation ability of the soil before rupture. As a result of strengthening with geogrids, the bearing capacity of the soil also increases. This advantage of geogrids has been utilized in the construction of various industrial structures in Bursa, providing economic solutions and saving time. In these case studies, reinforcing the backfill behind the existing retaining walls with geogrids using the wrap around method and increasing the bearing capacity of the soil by forming

¹ (İnş. Yük. Müh. , Promer Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş., hozcelik@promerengineering.com.tr)

² İnş. Müh., Ka Yapı Prekast San. Tic. A.Ş., ulku@kayapi.com

³ İnş. Müh., Ka Yapı Prekast San. Tic. A.Ş., satug@kayapi.com

⁴ Yük. Mim., Ka Yapı Prekast San. Tic. A.Ş., defnekkayalar@gmail.com

a geogrid reinforced raft below the footings were explained. This paper presents, the design principles, construction methods, details and advantages of using geogrid reinforced fills.

Key words: geogrids, geogrid reinforced soil rafts, geogrid-reinforced wrap around walls

1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarihin en eski dönemlerinden beri, kerpiç ve çamur tuğlaları saman, çubuk ve dallar ile güçlendirerek barınma amaçlı yaptığı basit kulübelere güçlendirerek dış etkinlerden kendisini korumaktaydı. 16. ve 17. yüzyıllarda Fransız mühendisler bentleri sopalar ile güçlendirmekteydi. Su setlerini dallar ile takviye etmeyi Çinliler binli yılların sonlarından itibaren yapmaktaydılar. Toprak erozyonunu önlemek için evrensel olarak çok farklı güçlendirme yöntemleri yıllardır kullanılmaktaydı (Özçelik, 2013).

İnsanoğlu, yüzyıllardır farklı yöntemler kullanarak güçlendirdiği toprağı, kili, dolguyu, 70'li yıllardan itibaren, bu sefer geosentetik malzemeler kullanarak güçlendirmeye ve bunları aynı zamanda birer mühendislik yapısı olarak kullanmaya başladı.

Geosentetik, polimerik malzemedir üretilmiş, dolgu, kaya, toprak veya geoteknikle ilgili bir malzemeyle birlikte, bir inşaat mühendisliği projesinde, yapısında ya da sisteminde kullanılan düzlemsel bir üründür (ASTM, 1997). Geogridler, donatılardır için kullanılan, düzenli bir yapıda çekmeye çalışan elemanlardan oluşan ve etrafındaki dolgu ile kenetlenmesi için yeterli gözenek açıklığına sahip geosentetiklerdir (Özçelik, 2015).

2. İSTİNAT DUVARI DOLGULARININ GEOGRİDLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Donatılı zemin istinat yapıları 60lı yılların ortasında Fransız Henri Vidal tarafından metal şeritler kullanılarak geliştirilmiştir (Özçelik, 2013). Bu tip istinat yapılarında, betonarmede olduğu gibi, dolguda oluşan çekme gerilmeleri, şeritler ile dolgu arasında oluşan sürtünme ile zemine iletilerek, yüzeyde kullanılan kaplama elemanına gelen toprak basıncı etkisinin azaltılması prensibine dayanmaktadır. 70li yılların başlarından itibaren, geosentetik malzemeler, donatılı zemin duvarlarda donatı elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Özçelik, 2015).

2.1. Kavram

Bir istinat yapısı, arkasındaki dolgu ve üzerine gelecek yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Önceden yapılmış olan bir istinat yapısının üzerine, tasarım aşamasında öngörülmemiş yüklerin gelmesi söz konusu olduğunda, en basit çözüm, mevcut duvarın yıkılarak yeni yüklerle göre tasarlanarak yeniden yapılmasıdır. Ancak bazı durumlarda, mevcut duvarın yıkılarak yeniden yapılması mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda en pratik ve ekonomik çözüm, mevcut istinat yapısının arkasındaki dolgunun kazılarak boşaltılması ve yeni yüklerle göre tasarlanarak dolgunun, geogridler bohçalanarak yeniden yapılmasıdır.

2.2. Tasarım Kriterleri

Geosentetik donatılı bohçalama duvarların tasarımı, donatılı zemin istinat duvarlarının tasarım yöntemiyle aynı olup, iç ve dış stabilite analizlerinden oluşmaktadır. Dış stabilite analizinde klasik dayanma yapılarında yapılan tahkikler (tabanda kayma, devrilme, taşıma gücü ve duraylılık) aynen uygulanmaktadır. İç stabilite analizinde ise donatı elemanının uzunluğu ve yoğunluğunu belirleyen donatının kopması ve donatının dolgu içinden sıyrılıp çıkması tahkikleri yapılmaktadır (Miller, 2016; Rimoldi, 2016).

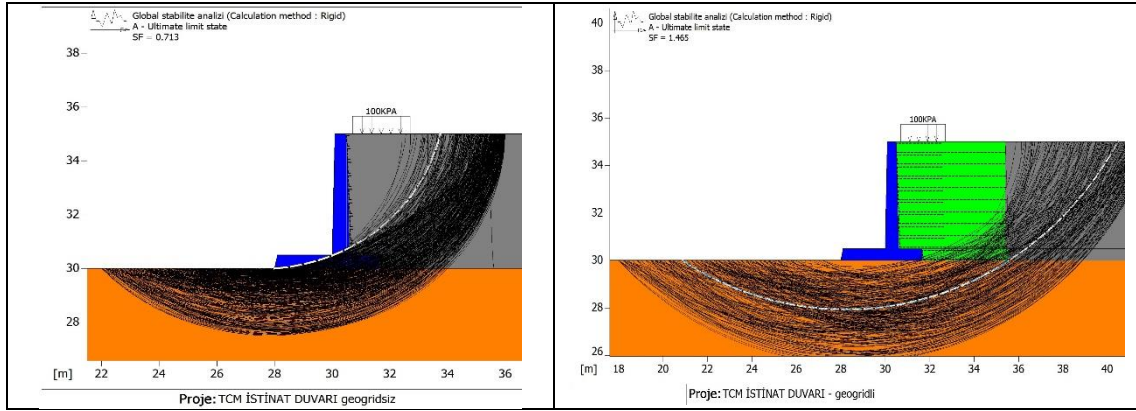
2.3. Vak'a Analizleri

TCM

Kayapa Organize Sanayi Bölgesinde, aralarında yaklaşık 5m kot farkı bulunan komşu iki parsel arasına, düşük kot tarafındaki parselden bir istinat duvarı inşa edilmiştir. Yüksek kota yapılacak fabrika binasının temelleri bu istinat duvarının arkasına gelmektedir. İstinat duvarının önüne yapılmış olan sundurma, duvarın yıkılıp yeni yüklerle göre tasarlanıp yeniden yapılmasını mümkün kılmamaktadır.

Ekonomik bir çözüm olarak, istinat duvarının arkasındaki dolgunun, yeni fabrikanın temel yüklerini ve kendi zati ağırlığını taşıyacak şekilde tasarlanarak geogrid ile donatılarak bohçalanmış şekilde yapılmasına karar verilmiştir.

Temelden gelecek olan yük 100kPA olarak hesaplanmış ve mevcut duvar arkasındaki dolgu üzerine 2m genişlikte etkiyecek şekilde BS8006'ya (2010), göre depremli ($a/g=0.40$) durum için, bir stabilite analizi yapılmıştır. Analiz sonunda $GS=0.713$ bulunmuştur. Aynı kesitte bu sefer de geogridli şekilde depremli ($a/g=0.40$) durum için stabilite analizi yapılmış ve $GS=1.465$ bulunmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. TCM istinat duvarı geogridli ve geogridsiz stabilite analiz sonuçları

2012 yılında gerçekleşen projede, öncelikle, mevcut duvarın arkasındaki dolgu, hesaplanan geogrid uzunluğu kadar kazılarak çıkarılmış, gerekli drenaj önlemleri alınmıştır. 25cm kalınlığında tabakalar halinde alttemel dolgu malzemesi serilip sıkıştırılırken, 80kN nihai kopma mukavemetinde geogridler düşey aralığı 50cm olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 2).

Dolgu işlemi tamamlandıktan sonra, istinat duvarı üzerinden ölçümler alınmış ve yeni fabrika inşaatının muhtelif aşamalarında, bu ölçümler tekrarlanarak istinat duvarında herhangi olumsuz bir durumun olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 2. Mevcut istinat duvarı arkasının geogrid ile güçlendirilme aşamaları

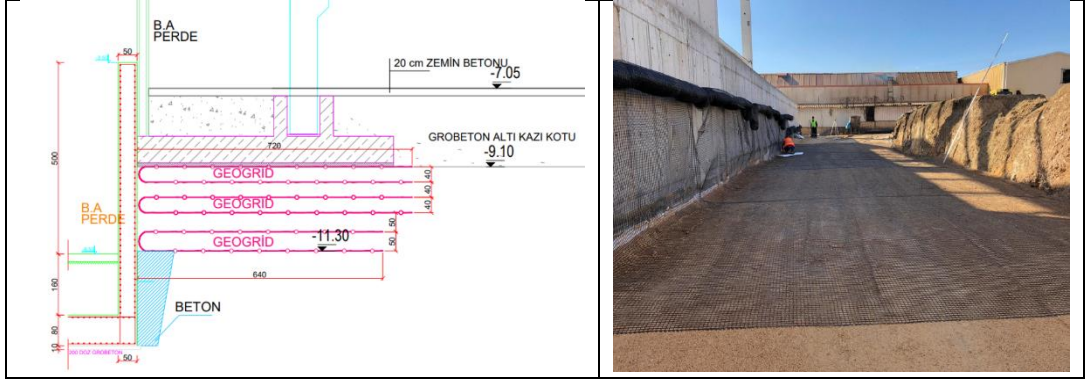
FOCUS

Nilüfer Organize Sanayi bölgesinde, 2020 yılında, benzer şekilde, mevcut bir istinat duvarı arkasındaki kot farkından dolayı yeni yapılacak fabrikanın temelleri yaklaşık 2.50m yüksekliğindeki bir dolgunun üzerine oturması gerekmekteydi. Temelleri tabii zemine oturarak inşaatı gerçekleştirmek biraz maliyetli olmaktaydı. Prefabrik kolonların girdiği, 7.2m genişliğindeki soketli sürekli temeller, düşey aralığı 50cm olan 150kN nihai kopma mukavemetindeki iki sıra geogrid ile, düşey aralığı 40cm olan 100kN nihai kopma mukavemetindeki dört sıra geogridle güçlendirilmiş dolgu üzerine oturmuştur (Şekil 3). Bu şekilde hem komşu parseldeki betonarme duvara gerek dolgu ve gerekse yeni fabrikanın temellerinden bir yük gelmesi önlenmiş, hem de temel altında oluşabilecek olası farklı oturmaların önüne geçilmiştir.

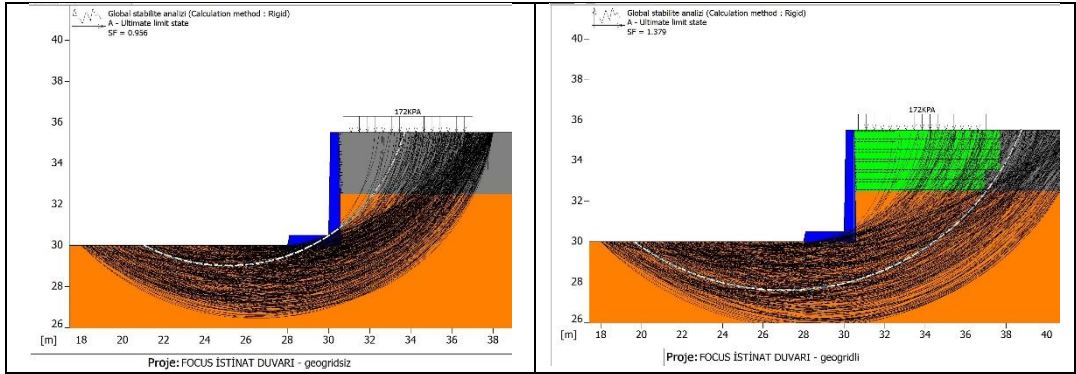
Focus istinat duvarında temel genişliği 6.40m ve temelin zemine ileteceği yük 172kPA olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'te verilen kesit için geogridsiz olarak depremli ($a/g=0.40$) durum için yapılan stabilite analizinde

İstinat Duvarı ve Temel Altı Dolgularının Geogridle Güçlendirilmesi Vak'a Analizleri

GS=0.956 bulunmuştur. Aynı kesitte bu sefer de geogridli şekilde depremlili ($a/g=0.40$) durum için stabilite analizi yapılmış ve GS=1.379 bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 3. Focus projesinin enkesiti ile geogrid uygulaması



Şekil 4. Focus projesi istinat duvarı geogridli ve geogridsiz stabilite analiz sonuçları

Ada Koltuk

İnegöl İlçesi 2. Organize Sanayi Bölgesinde yer alan Ada Koltuk fabrikasının istinat duvarları Double Wall adı verilen prefabrik betonarme çift cidarlı panel istinat duvarı sistemi ile yapılmıştır. Bu istinat duvarının geri dolgu yapılırken, dolgu tabakaları arasında geogridler yerleştirilerek (Şekil 5), dolgu güçlendirilmiştir, (Özçelik vd., 2022). Bu projeye ait hesap detayları Özçelik vd. (2022), bildirisinde verilmiştir. Geogridli dolgu ile toprak basıncı itkisi karşılandığından, Double Wall kesitleri 20cm azaltılarak ekonomi sağlanmıştır.



Şekil 5. Ada Koltuk projesinde prefabrik Double Wall duvar modülleri ve geogrid uygulaması, (Özçelik vd., 2022)

3. TEMEL ALTI DOLGULARININ GEOGRİDLE GÜÇLENDİRİLMESİ

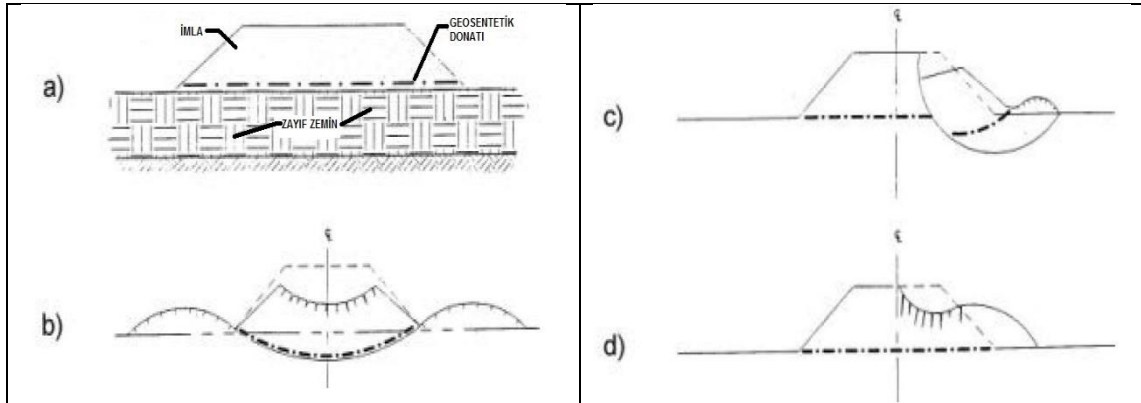
Zayıf zeminler üzerine inşa edilen dolguların stabilitesi, zemin kayma direncine ve zemin taşıma kapasitesine bağlıdır. Zeminde ve dolguda kayma kuvvetlerinden kaynaklı stabilite problemlerini önlemek için, güçlendirme amaçlı geogridler zemin ve dolgu arasına, yer düzlemine paralel olacak şekilde yerleştirilerek stabilite problemi engellenmiş olur. Geogridler ile yapılan güçlendirme neticesinde zeminin taşıma gücü de artmaktadır.

3.1. Kavram

Taşıma gücü nispeten düşük zeminler üzerinde yer alan donatılandırılmış dolguların gerek tasarımı gerekse imalatı zorlu bir geoteknik problemdir. Oturmaların belirtilen toleranslardan fazla olması ve stabilite problemlerinin yaşanacağına öngörülmesi durumunda zeminde iyileştirme yapılması kaçınılmazdır. Geleneksel zemin iyileştirme yöntemleri, ön yükleme/düşey drenler, derin karıştırma, hafif dolgular, yumuşak zeminin seçilmiş dolgu ile değiştirilmesi, donatısız (plastik) kazıklar vb. olup, detayları Holtz (1989), ve Holtz vd. (2001), tarafından açıklanmaktadır. Günümüzde geosentetikler de uygulanabilir bir alternatif zemin güçlendirme yöntemi olarak görülmektedir (Özçelik, 2015). Bazı durumlarda, en ekonomik çözüm, geleneksel bir yöntem ile geosentetik donatının bileşimi de olabilmektedir.

3.2. Tasarım Kriterleri

Donatılandırılmış dolguların tasarımı da, yumuşak zeminler üzerinde yer alan normal dolgularda olduğu gibi göçmeye karşı gerekli güvenlik sayılarının sağlanması prensibine dayanmaktadır. Şekil 6, donatılandırılmış dolgulardaki olası üç tip göçmeyi göstermektedir (Holtz, 2001). Bir bütün olarak dolgunun taşıma kapasitesi, dönme göçmesinin önlenmesi için dolgunun kenarında geosentetik donatı mukavemetini ve yanal genişlemenin önlenmesi için de, dolgunun tabanında donatı ile dolgu arasındaki kesme kuvveti direncinin yeterli olması gerekmektedir. Dizayn yöntemlerine ilişkin detaylar Holtz (1989), Holtz (1990) ve Bonaparte vd. (1987), tarafından verilmiştir.



Şekil 6. Donatılandırılmış Dolgularda Göçmeler a) Tasarım Konsepti; b) Taşıma Gücü Göçmesi; c) Dönme Göçmesi; d) Yanal Genişleme Göçmesi (Holtz, 2001)

3.3. Vak'a Analizleri

CETTO

Bursa Merkez ilçesinde 2013 yılında gerçekleşen projede, zeminde taşıma gücü için gerekli güvenlik sayısı sağlanamamıştır. Gerekli temel kazısından sonra tabanda ayırıcı amaçlı örgüsüz bir geotekstil serilmiştir. Üzerine 27cm granüler dolgu yapıldıktan sonra, yine 27cm aralıkla, üç sıra çift yönlü (40x40kN) ekstrude geogrid ile yapılan granüler dolgu güçlendirilmiştir. Temel altında oluşturulan bu donatılı dolgu radye üzerine, 50cm kalınlığında betonarme radye temel imal edilmiştir. Yeterli taşıma gücü sağlanması durumunda kullanılacak olan radye temel kalınlığı 70cm olarak hesaplanmış, yapılan temel altı donatılı dolgu radye kalınlığını 20cm azaltmıştır. Bu proje için yapılan geogridli ve geogridsiz stabilite analizlerinde, sırasıyla $GS=0.883$ ve $GS=1.289$ olarak hesaplanmıştır.

4.SONUÇLAR

- Geogridler ile prefabrik modüler istinat duvarlarındaki (Double Wall), geri dolgunun güçlendirilmesi durumunda, duvara gelen toprak basıncı itkisi azaldığından, duvar kesit genişliği azaltılarak ekonomi sağlanmaktadır.
- Geogrid ile güçlendirilmiş temel altı dolguları sayesinde taşıma gücü artmaktadır.
- Güçlendirilmiş dolgu üzerine oturan yapılarda olası farklı oturma problemleri ortadan kalkmakta, betonarme radye kalınlığı azaltılarak ekonomi sağlanmaktadır.
- Alternatif yöntemlere göre daha hızlı ve pratik bir yapım yöntemi ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Özçelik, H. (2013), "Esnek ve Rijit Yüzey Elemanlı Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Uygulamaları", Prof. İsmet Ordemir'i Anma Toplantısı ve 7.ODTÜ Geoteknik Mühendisliği Sempozyumu, ODTÜ, Ankara
- ASTM (1997), Annual Books of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, Soil and Rocks; Geosynthetics, Volume 4.09 (II).
- Özçelik, H. (2015), "Geosentetikler Kullanılarak Zayıf Zeminlerin, Dolguların ve Şevlerin İyileştirilmesi, Tasarımı ve Uygulamaları", 6. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Miller, S. M. (2016), "Combining geosynthetics to construct steep vegetated slopes and walls." Land and Water, 60(6), 31–38.
- Rimoldi, P. (2016), "Geotextiles used in reinforcing walls, berms, and slopes," in Geotextiles: From design to applications, ed. by R. M. Koerner. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- BS 8006-1:2010 "Code of Practice for Strengthened / Reinforced and Other Fills", British Standards Institution
- Özçelik, H., Küçükayalar, Ü., Küçükayalar, S. ve Korkmaz, M. (2022), "Prefabrik Betonarme Çift Cidarlı (Double Wall) İstinat Duvarı Geri Dolgusunun Geogridle Güçlendirilmesi Vak'a Analizi", 8. Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Holtz, R. D. (1989), "Treatment of Problem Foundations for Highway Embankments", Synthesis of Highway Practice 147, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, 72
- Holtz, R. D., Shang, J. Q. and Bergado, D.T. (2001), "Soil Improvement", Chapter 15 in Geotechnical and Geoenvironmental Handbook, R. K. Rowe, Editor, Kluwer Academic Publishers, 429-462
- Holtz, R.D. (2001), "Geosynthetics for Soil Reinforcement", The Ninth Spencer J. Buchanan Lecture, College Station Hilton, 810 University Drive, College Station, TX77840
- Holtz, R. D. (1990), "Design and Construction of Geosynthetically Reinforced Embankments on Very Soft Soils", State of the Art Paper, Session 5, Performance of Reinforced Soil Structures, Proceedings of the International Reinforced Soil Conference, British Geotechnical Society, Glasgow, Scotland, A. McGown, K. Yeo, and K. Z. Andrawes, editors, Th. Telford (London), 391- 402
- Bonaparte, R., Holtz, R.D. and Giroud, J.P. (1987), "Soil Reinforcement Design Using Geotextiles and Geogrids, in Geotextile Testing and the Design Engineer", ASTM, Special Technical Publication 952, J. E. Fluet, Editor, American Society for Testing and Materials, 69-116