

GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI (GEODUVAR) BİR ŞARTNAME TASLAĞI

Erol GÜLER¹

ABSTRACT

Geosynthetic Reinforced Retaining structures called Geoduvvar (Geowall) in Turkey are being used more frequently in the last years. Their superior engineering behavior, esthetic appearance and their economic advantage indicate that the use will even become more frequent in the future. Although the use of this technique is increasing there is no specification in Turkey controlling the design and construction of such walls. The purpose of this paper is to lay the foundations of such a specification and to guide the engineering community until a commonly accepted specification is provided.

ÖZET

Geosentetik Donatılı İstinad Duvarı (Geoduvvar) inşaatları dünyadaki uygulamalara paralel olarak ülkemizde de hızla yaygınlaşmaktadır. Üstün mühendislik davranışları, estetik avantajları ve bu üstünlüklerine rağmen diğer tüm alternatif istinad duvarı metodlarına göre daha ekonomik oluşu göz önünde bulundurulursa bu tip duvarların kullanımı giderek daha da yaygınlaşacaktır. Ancak ülkemizde henüz Geoduvvar tasarımı ve imalatına yönelik herhangi bir şartname bulunmamaktadır. İşte bu çalışma ileride oluşturulacak bir şartnamenin altyapısını oluşturmak amacı ile ve genel kabul gören bir şartname oluşturuluncaya kadar yol gösterici bir rehber olarak kullanılabilir.

1. GİRİŞ

İlk Geoduvvar 1997 yılında Altunizade’de Limak İnşaat tarafından yapılmakta olan Altunizade – Ümraniye bağlantı yolu kapsamında inşa edilmiştir. Bu ilk geoduvvar inşaatı bu teknolojinin Türkiye’ye kazandırılmasında önemli bir adım olmuştur. Bu tebliğin yazarı bu ilk duvarın tasarım ve inşasında aktif rol oynamış ve bu teknolojiyi ülkemize kazandırmıştır. Daha sonra bu teknoloji ile Türkiye’nin pek çok yerinde gerek Karayolları ve diğer kamu kuruluşları ve gerekse pek çok özel sektör projesinde geoduvvar inşaatları gerçekleştirilmiştir.

Metal çubuk veya polimer şerit ve beton panellerle inşa edilen donatılı zemin istinat yapıları ile ilgili bir şartname Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesinde yer almıştır. Ancak geosentetik donatılı istinat duvarları ile ilgili ülkemizde kullanılan herhangi bir şartname bulunmamaktadır. Bu tip duvarların hızla yaygınlaştığı göz önünde tutulduğunda

¹ Prof. Dr. , Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, eguler@boun.edu.tr

yapılacak gelişigüzel tasarım ve uygulamaların sisteme zarar vereceği açıktır. Örneğin Tayvan'da da bu tip duvarlar herhangi bir şartname olmaksızın imal edilmeye başlanılmış ve fiyat rekabeti dolayısı ile teknik gereklilikler zamanla göz ardı edilmeye başlanılarak emniyetsiz tasarım ve imalatlar yapılmaya başlanılmıştır. Bunun sonucu olarak Tayvan'da inşa edilen bu tip duvarlarda sorunlar yaşanmaya başlanılmıştır. Uluslararası literatürde bu göçükleri inceleyen bilimsel makaleler bu göçüklerin tamamen bilinen geoteknik kurallarının tasarım ve inşaat aşamasında takip edilmemiş olmasının bu göçüklere yol açtığı sonucuna varmıştır (Ling et. al., 2001).

Estetik görünümünün üstünlüğü ve diğer tüm alternatif istinat yapılarından daha ekonomik olması sebebi ile geodüvar imalatının ileride daha da artması beklenilmektedir. Bu sebeple ülkemizde, ülkemiz koşulları ve inşaat pratiklerini de göz önüne alan bir şartnamenin olmayışı, bazı problemlere yol açabilir. İşte bu çalışmada bir şartname taslağı hazırlanarak bir boşluk doldurulmaya çalışılmıştır. Yaygın kabul gören bir şartname hazırlanıncaya kadar bu şartname taslağı kullanılabileceği gibi daha ileride hazırlanacak şartnameye de bir altlık oluşturacaktır.

2. GEODÜVAR İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER

2.1. Ön Cephe Elemanları

Geodüvarlarda kullanılacak ön cephe elemanları herhangi Standard bir şekilde olması gerekmez. Bu elemanların başlıca iki fonksiyonları vardır: (a) ön cepheden toprağın dökülerek zamanla dolgunun boşalmasının engellenmesi (b) ön cephede estetik bir görüntü oluşturulması. Kullanılacak ön cephe elemanlarının ağırlık ve boyutları ve diğer mekanik özellikleri tasarımda göz önüne alınmak şartı ile bir önem taşımamaktadır. Ancak kullanılacak bu ön cephe elemanlarının duvar ömrü boyunca atmosfer şartlarına maruz kalacakları göz önünde tutulursa bu elemanların durabilite özelliklerinin büyük önem taşıdığı görülecektir. Dolayısı ile Geosentetik Donatılı İstinat duvarlarında kullanılacak ön cephe elemanlarının durabilitesinin mutlaka irdelenmesi gereklidir.

Geodüvarların ön cephe elemanı olarak yaygın şekilde beton bloklar kullanılmaktadır. Bu blokların sağlaması gereken özellikleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Beton Blok Ön Cephe Elemanları Özellikleri

Özellik	Değer
Blok Yapımında kullanılan Beton Sınıfı	BS30
Bloğun Minimum Basınç Dayanımı (net alan)	16 Mpa
Su Emme (ağırlıkça):	% 6 - % 8
Bloklar Arası Minimum Sürtünme Direnci, C_f (Bağlayıcı kullanmaksızın)	0,5

2.2. Geosentetik Donatı

Geodüvarların en büyük özelliği bunlarda donatı olarak metal veya polimer şeritler değil bütün sathı kaplayan geosentetik donatılar kullanılmasıdır. Bu özellik hem noktasal zayıflıkların sebep olabileceği problemleri minimuma indirmekte hem de sürtünme yüzeyini arttırmaktadır. Bir diğer ancak çok önemli avantaj da, donatının sürekli olması dolayısı ile ön cephe elemanları ile donatının bağlantısının sürtünme ile sağlanabilmesi ve noktasal

bağlantıya gerek duyulmamasıdır. Noktasal bağlantı yukarıda değinildiği gibi bağlantıda bir sorun yaşanması durumunda riski arttırmaktadır. En önemli unsur ise noktasal ön cephe elemanı ile donatının bağlantısında demir eleman kullanılması olmaktadır. Bu tip demir elemanlar her ne kadar korozyona karşı korunmakta ise de dünya üzerinde yapılan araştırmalar zamanla bu elemanlarda korozyon sebebi ile problemler yaşandığını ve ön cephe elemanlarının zemin çivileri ile yerlerine sabitlenme zorunda kaldıklarını göstermektedir (FHWA Soil Nailing Report, 1993).

Geosentetik donatı olarak bu tip duvarlarda üç tip ürün kullanılmaktadır: (a) örgülü geotekstiller, (b) geogridler ve (c) donatılandırılmış örgüsüz geotekstiller. Dünyada ve ülkemizde daha yaygın olarak kullanılan donatı çeşitleri örgülü geotekstil ve geogridler olduğundan bu tebliğde sadece bunların özellikleri verilecektir.

2.2.1 Örgülü Geotekstiller

Örgülü Geotekstil Donatının sağlaması gereken özellikler Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo2. Geotekstil Donatı

Özellik	Değer
Üretim Yöntemi	Örgülü
Minimum birim alan ağırlığı (DIN-EN-965)	190 g/m ²
Minimum çekme mukavemeti (DIN-EN-ISO 10319)	40 kN/m
Örgü yönünde % 5 deformasyon altında minimum çekme kuvveti (DIN-EN-ISO 10319)	18 kN/m
Maksimum çekme kuvveti altında çözgü ve örgü yönünde maksimum deformasyon (DIN-EN-ISO 10319)	% 22
Minimum CBR Statik Delme Deneyi (DIN-EN-ISO 12236)	4 kN
Dinamik Delme Deneyi'nde maksimum delme çapı (DIN-EN-918)	12 mm
Minimum permeabilite (EN ISO 11058)	1×10 ⁻³ m/s
Maksimum Karakteristik Açıklık Büyüklüğü O ₉₀ (EN ISO 12956)	250 micron
500 saat sonunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum ultraviyole dayanımı (ASTM-D-43 55)	% 80
Mikrobiyolojik degradasyona sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12225)	% 80

2.2.2 Geogridler

Geogrid yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polyester (PET) iplikçiklerinden imal edilmiş olmalıdır. Polyester iplikçiklerden yapılmış geogridler koruyucu bir tabaka ile kaplanmış olmalıdır. Her iki polimer için tasarım çekme dayanımının belirlenmesinde polimer yapılarına uygun olacak kriş azaltma katsayıları kullanılmalıdır. Geogrid donatının sağlaması gereken özellikler Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo3. Geogrid Donatı

Özellik	Değer
Minimum çekem dayanımı, her iki doğrultuda (EN ISO 10319)	40 kN/m
Kopmadaki minimum uzama, her iki doğrultuda (EN ISO 10319)	% 10
Atmosfer koşullarında degradasyona sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12224)	% 85
Asit ve Alkali (H ₂ SO ₄ , Ca(OH) ₂) ortamlarda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 14030)	% 99
Mikrobiyolojik degradasyona sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12225)	% 95
Hidroliz sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12447)	% 99

2.3. Dolgu

Dolgu; yarmalardan, sanat yapıları için yapılan kazılardan veya ariyetten alınan uygun malzeme ile aşağıda belirtilen şartlarda, projelerde gösterilen enkesitler ve kotlarda dolgu yapımını içerir. Donatılı bölgede kullanılacak dolgu karayolu seddesi yapımına uygun olan herhangi bir malzeme olabilir. Burada en önemli kriter dolgu malzemesinin kolayca sıkışabilir olması ve bilinen kurallara uygun bir şekilde sıkıştırılmış olmasıdır. İyi bir sıkıştırma yapılabilir bir dolgu malzemesi seçilmesi de önem taşımaktadır, çünkü sıkıştırılması zor bir malzeme ile arazi koşullarında üniform ve sağlıklı bir dolgu teşkili çok zordur.

Kullanılacak dolgunun özellikleri donatının örgülü geotekstil veya geogrid olmasına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Dolgu imalinde kullanılacak malzemenin, kullanılacak donatı geosentetiğine bağlı olarak Tablo 4 ve Tablo 5'de verilen granülometriye sahip olması uygun olacaktır. Her halde maksimum dane çapı serilen toprak tabakası kalınlığının yarısından fazla olmamalıdır.

Tablo 4. Donatılı Dolgu Granülometri Dağılımı (Geotekstil Donatı)

Elek No. veya Çap	Geçen
50 mm	% 75 - % 100
20 mm	% 50 - % 100
No.4	% 20 - % 95
No.40	0 - % 85
No.200	0 - % 50

Tablo 5. Donatılı Dolgu Granülometri Dağılımı (Geogrid Donatı)

Elek No. veya Çap	Geçen
100 mm	% 75 - % 100
No.4	% 20 - % 100
No.40	0 - % 60
No.200	0 - % 35

Dolgu yapımında kullanılacak malzeme içerisinde;

- a) bitkisel toprak,
- b) ağaç, çalı, kök ve benzeri organik maddeler,
- c) kömür, kömür tozu dahil yanması söz konusu olan malzeme,
- d) bataklık veya suyla doymuş hale gelmiş killi marnlı zeminler,
- e) süprüntü, enkaz gibi artık maddeler,
- f) suyla kolayca ufalanarak oturmaları neden olacak malzeme,
- g) karlı, buzlu ve donmuş topraklar,
- h) ağırlıkça %20'den fazla jips

bulunmayacaktır. Dolgu malzemesi yukarıda verilen granülometrileri sağlamanın yanı sıra Tablo 6'da verilen şartları da sağlayacaktır.

Tablo 6. Dolgu Malzemesi Özellikleri (TS 1900, AASHTO T-89)

Özellik	Değer
Likit Limit (TS 1900, AASHTO T-89)	≤ 50
Plastisite İndeksi (PI)	≤ 20
Maksimum kuru birim ağırlık (Standart Proktor)	$\geq 17 \text{ kN/m}^3$

3. GEODUVAR TASARIMI

Geoduvvar tasarımı mutlaka konusunda uzman ve tercihan geoteknik konusunda mastır derecesine sahip bir inşaat mühendisi tarafından yapılmalıdır. Tasarımda statik durum için ve deprem durumu için yapılması gereken analizler aşağıda ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1. Statik Tasarım

Geoduvvar tasarımındaki donatı hesabı (donatı adedi, sıklığı, uzunluğu) yani duvarın iç stabilitesi ve dış stabilitesi Amerikan Karayolları FHWA-SA-96-071 "Mechanically Stabilized Earth Walls Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines" ve/veya NCMA (1997) yöntemine göre analiz edilmelidir. İç stabilite analizi esas olarak üç unsuru içermelidir: (a) Donatıların çekme dayanımının iç stabilite açısından gerekli dayanıma sahip olduklarının gösterilmesi, (b) Donatı boylarının potansiyel kayma yüzeyinin arkasına geçen boyunun sıyrılmaya karşı yeterli dayanım sağlayacak boyda olduğunun gösterilmesi, (c) Kayma tahkiklerinin sağlandığının gösterilmesi. İç stabilite tahkiklerine ilave olarak donatılı bölgeyi üniform kabul ederek klasik istinat duvarlarında olduğu gibi devrilme, kayma, taşıma gücü ve toptan göçme tahkikleri de gerçekleştirilmiştir. Üçüncü grup tahkik de ön cephe elemanların stabilitelerinin tahkikidir. Ön cephe elemanlarının kayma ve devrilmeye karşı güvenlikleri her blok seviyesi için ayrı ayrı gerçekleştirilmelidir. Yapılan iç stabilite analizleri, dış stabilite analizleri ve toptan göçme analizlerine ilave olarak birleşik göçme analizleri de gerçekleştirilmelidir. Bütün bu analizler sonucunda geosentetik donatı uzunlukları ve yerleştirme sıklığı belirlenmelidir.

Hesaplarda bulunan değerler her ne olursa olsun Tablo 7'de verilen kısıtlara uyulmalıdır.

Tablo 7. Geoduvar Tasarımı İle İlgili Kısıtlar

Özellik	Değer
Maksimum Düşey Donatı Aralığı	0.40 m
Minimum Donatı Ankraj Boyu	1.00 m
Minimum (Ön cephe elemanı genişliği/ön cephe elemanı Yüksekliği)	1

3.2. Deprem Tasarımı

Artık yaygın olarak bilindiği gibi donatılı zemin istinat duvarlarının en büyük özelliklerinden birisi de alternatif istinat duvarlarına kıyasla deprem yükleri altında çok daha başarılı bir davranış sergilemesidir. Bu güne kadar ölçülmüş en büyük deprem ivmelerinin yaşandığı Kobe depreminde geosentetik donatılı duvarların çok başarılı bir sınav vermiştir. Geoduvar'ların deprem yükleri altındaki davranışları pek çok araştırmaya konu olmuş ve günümüze kadar yapılmış olan bu araştırmalar Eylül 2006 tarihinde düzenlenen 8. Uluslararası Geosentetikler Konferansında "Keynote Lecture" (davetli kilit konuşma) kapsamında özetlenmiştir (Koseki et.al. 2006).

Geoduvarların deprem yükleri altındaki analizi de statik durumundaki analizlere paralel şekilde yapılmalıdır. Burada da Amerikan Karayolları FHWA-SA-96-071 "Mechanically Stabilized Earth Walls Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines" da önerilen yöntemler kullanılmalıdır. Deprem ivmelerinin seçilmesinde Bayındırlık ve İskân Bakanlığınca hazırlanmış olan deprem afetine maruz yapılarla ilgili şartnamenin ilgili maddeleri kullanılmalıdır.

İnşa edilecek geoduvarın kritik bir yapı olması durumunda proje müellifi mühendis, yukarıda belirtilen limit denge durumu analizi ile elde edilen güvenlik sayılarının tahkikinin yanı sıra deformasyon hesapları yapılmasını da öngörebilir.

4. GEODUVAR İNŞAATI

4.1. Taban Betonu

Beton blokların tam yatay olmasını temin etmek amacıyla blokların altına 20-40 cm kalınlığında 40 cm genişliğinde bir düzleme betonu imal edilecektir. Beton bloklar bu beton taban üzerine ortalanarak yerleştirilmelidir.

4.2. Geosentetiklerin Serilmesi

Geotekstil donatının ek kalınlık yapmaması için geosentetik donatıda bindirme yapılmayacaktır. Esasen donatı sadece duvara dik yönde çalıştığından bir bindirme yapılması da gerekmemektedir. Ancak donatılar arasında boşluk kalmamasına ve ek yerlerinde geotekstil donatının birbirine tam yanaştırılmasına özen gösterilmelidir. Serilen geosentetik donatıların pot yapmasının engellenmesi ve satha tam düzgün olarak serilmesinin temin edilmesi gerekmektedir.

Geosentetik donatı üzerinde hiç bir zaman doğrudan iş makineleri veya kamyonların dolaşmasına izin verilmemelidir. Bu tip iş makineleri ve kamyonlar ancak geosentetik donatı üzerine minimum 20 cm toprak tabakası serildikten sonra bu toprak üzerinde dolaşabilirler.

4.3. Dolgunu Sıkıştırılması

Donatılı dolgu alanına dolgu malzemesi maksimum 30 cm yükseklikte uygulanmalıdır. Sahada kullanılacak dolgudan alınan numuneler üzerinde maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası değerleri belirlenmelidir. Dolgu sahada ASTM D698 standartlarına göre % 95 Standard Proctor Sıkılığı (veya % 90 Modifiye Proctor Sıkılığı) değerine kadar sıkıştırılmalıdır. Geodüvar ön cephe arkasındaki 0.50 m'lik bölgede ağır silindirler kullanılmamalı, bu bölge el kompaksiyon makinaları ile sıkıştırılmalıdır. Donatılı zemin bölgesinde arka dolgu mümkün olduğunca seviyelendirilmeli ve düzgün bir yüz sağlanmalıdır. Bu işlemler geotekstil/geogrid malzemenin düzgün serilebilmesi için gereklidir.

4.4 Drenaj

Bilindiği gibi drenaj önlemleri her istinat duvarının en önemli unsurlarından birisidir. Alınacak drenaj önlemleri özellikle doğal zeminden gelecek dolguyu ıslatma riskini minimuma indirmelidir. Benzer şekilde temel zemininin ıslanmasına yol açabilecek sular da drene edilmelidir. Son olarak ön cephe elemanlarının arkasında drenaj önlemi alınmalıdır. Teşkil edilecek tüm drenajlar bilinen mühendislik kurallarına göre teşkil edilmeli ve uygun şekilde deşarjı sağlanmalıdır.

5. SONUÇLAR

Ülkemizde inşası hızla yaygınlaşan geodüvarlarda yanlış tasarım veya inşaat yöntemleri yüzünden bazı problemler yaşanması mühendislik, estetik ve ekonomik açıdan üstün olan bu sistemin daha da yaygınlaşmasını engelleyebilir. Bu bakımdan inşa edilecek geodüvarların tasarım ve imalatını konusunda uzman firmalarca yapılmasının sağlanması ve yukarıda verilen teknik koşullara mutlaka uyulması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- FHWA Soil Nailing Report (1993) "FHWA Tour for Geotechnology – Soil Nailing"
<http://www.bts.gov/ntl/DOCS/scangeo.html>
- FHWA-SA-96-071 "Mechanically Stabilized Earth Walls Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines"
- Koseki, J., Bathurst, R.J., Güler, E., Kuwano, J., Maugeri, M., (2006) "Seismic Stability of Reinforced Soil Walls" Proc. Of 8th International Geosynthetics Conference. Vol.1 pp 51-77
- Ling, H.I., Leshchinsky, D. and Chou, N.S. (2001) "Post-earthquake investigation on several geosynthetic-reinforced soil retaining walls and slopes during the Ji-Ji earthquake of Taiwan", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.21, No.1-2, pp.297-313
- NCMA (1977) "Design Manual for Segmental Retaining Walls" National Concrete Masonry Association