

**GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT  
DUVARLARININ SİSMİK TASARIMI HAKKINDA  
BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Y. Müh. Begüm DEMİREZEN**

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK  
MÜHENDİSLİĞİ**

**OCAK 2005**

**GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT  
DUVARLARININ SİSMİK TASARIMI HAKKINDA  
BİR İNCELEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Begüm DEMİREZEN  
501011553**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004  
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2005**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Tuğrul ÖZKAN  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Melike ALTAN (İ.T.Ü)  
Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY (İ.T.Ü)**

**OCAK 2005**

## **ÖNSÖZ**

Tezimin ilk safhalarından itibaren beni yönlendiren, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve beni destekleyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Tuğrul ÖZKAN' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca bana büyük destek veren, gösterdiği sabır ve iyi niyetiyle her zaman yanımda olan Sayın Murat SEYHAN' a teşekkür ederim.

Onlardan uzakta geçirdiğim bunca yılda benim bugünlere gelmemde şüphesiz tek dayanağım olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2005

İnş. Müh. Begüm DEMİREZEN

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı	1
<b>2. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI NEDİR?</b>	<b>2</b>
2.1. Tanım	2
2.2. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Yapısal Bileşenleri	3
2.2.1. Geotekstilller	3
2.2.1.1. Geotekstil Malzemeye Genel Bir Bakış	3
2.2.1.2. Geotekstillerin Malzeme Özellikleri	7
2.2.1.3. Geotekstillerin Sınıflandırılması	8
2.2.1.4. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri	12
2.2.1.5. Geotekstilllerle Tasarım	18
2.2.2. Üniter Beton Blok Elemanlar	21
2.2.3. Arka Dolgu Malzemesi	22
<b>3. İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK YÜKLEME ALTINDA GENEL DAVRANIŞI</b>	<b>23</b>
3.1. İstinat Duvarı Türleri	23
3.2. İstinat Duvarlarında Göçme Türleri	24
3.3. İstinat Duvarları Üzerindeki Statik Basınçlar	25
3.3.1. Rankine Teorisi	26
3.3.2. Coulomb Teorisi	29
3.4. İstinat Duvarlarının Dinamik Tepkisi	33
3.5. İstinat Duvarları Üzerindeki Sismik Basınçlar	34
3.5.1. Esneyen Duvarlar	34
3.5.1.1. Mononobe-Okabe Yöntemi	34
3.5.1.2. Steedman-Zeng Yöntemi	38
3.5.2. Esnemeyen Duvarlar	41

<b>4. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK TASARIMI</b>	<b>44</b>
4.1. Bohçalama Yöntemi İçin Sismik Tasarım	44
4.2. Üniter Beton Blok Elemanlarla Teşkil Edilen Kaplama Duvarı İçin Sismik Tasarım	47
4.2.1. Dış Stabilite Hesapları	50
4.2.1.1. Kayma Göçmesi	54
4.2.1.2. Devrilme Göçmesi	55
4.2.1.3. Taşıma Gücü	57
4.2.2. İç Stabilite Hesapları	59
4.2.2.1. Geosentetik Donatı Yükleri	59
4.2.2.2. Donatının Aşırı Gerilmesi Durumu	61
4.2.2.3. Ankraj Donatıları	62
4.2.2.4. İçsel Kayma	64
4.2.3. Kaplama Duvarı Stabilitesi	66
4.2.3.1. Arayüz Kayması	66
4.2.3.2. Bağlantı Göçmesi	68
4.2.3.3. Lokal Devrilme	69
4.2.3.4. Üst Kaplama Devrilmesi	69
<b>5. İSTİNAT YAPILARININ MALİYET ANALİZİ</b>	<b>70</b>
5.1. Betonarme Konsol İstinat Duvarı Analizi	73
5.2. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Analizi	78
5.3. Maliyet Analizleri	89
5.3.1. Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Maliyet Analizi	89
5.3.2. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Maliyet Analizi	89
<b>6. SONUÇLAR</b>	<b>90</b>
<b>EKLER</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>119</b>

## **KISALTMALAR**

<b>AAHSTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>ABYYHY</b>	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing Materials
<b>CBR</b>	: California Bearing Ratio
<b>CFG</b>	: Comité Français des Géosynthétiques
<b>DMSRW</b>	: Design Manual for Segmental Retainig Walls
<b>EDENA</b>	: European Disposables and Non-Woven Association
<b>FHWA</b>	: Federal Higway Administration
<b>MSE</b>	: Mechanically Stabilized Earth
<b>NCMA</b>	: National Concrete Masonry Association
<b>M-O</b>	: Mononobe – Okabe
<b>SPT</b>	: Standart Proctor Test
<b>TS</b>	: Türk Standartları

## TABLO LİSTESİ

		<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1	Geosentetik Malzemelerin Uygulama Alanları	6
Tablo 2.2	Geosentetiklerin Kullanım Yerine Göre Farklı Özelliklerinin Önemi	7
Tablo 2.3	Polimer grubu özelliklerinin karşılaştırılması	9
Tablo 2.4	Fransa Geotekstil Komitesinin geotekstil sınıflandırması	10
Tablo 2.5	Geotekstilli çözüm alternatifinin değerlendirilmesi ve geotekstil seçimi aşamaları	19
Tablo 3.1	Arayüzey sürtünme açısının tipik değerleri.	31
Tablo 4.1	Geotekstil Emniyet Faktörleri	47
Tablo 4.2	Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Tasarımında Tavsiye Edilen Minimum Güvenlik Katsayıları	50
Tablo 5.1	Dolgu İstinat Yapılarının Karşılaştırılması	71
Tablo 5.2	Yarma İstinat Yapılarının Karşılaştırılması	72
Tablo 5.3	Betonarme Konsol İstinat Duvarı Program Girdileri	74
Tablo 5.4	Yüksekliklere göre betonarme konsol duvar boyutları	78
Tablo 5.5	Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Metrajı	78
Tablo 5.6	Yapı Blokların Özellikleri	80
Tablo 5.7	Genel Girdiler	80
Tablo 5.8	Zemin Girdileri	80
Tablo 5.9	Beton Blok Elemanlara (Yapı Blok) Ait Girdiler	81
Tablo 5.10	Geosentetik/Geotekstil Malzeme Özelliklerine Ait Girdiler	81
Tablo 5.12	Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Metrajı	84
Tablo 5.13	Duvar Yüksekliklerine Göre Geosentetik Donatı Boyları	88
Tablo 6.1	Sadece Dolgu Uygulamasında Maliyet Karşılaştırılması	90
Tablo 6.2	Yarma-Dolgu Uygulamasında (Çakıllı) Maliyet Karşılaştırılması	91
Tablo 6.3	Yarma-Dolgu Uygulamasında (Çakılsız) Maliyet Karşılaştırılması	92

## ŞEKİL LİSTESİ

		<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 2.1	Geotekstil malzemenin üretim aşamaları	8
Şekil 2.2	Örgüsüz geotekstil üretimi aşamaları	11
Şekil 2.3	Doku oluşturulmasında kullanılan teknikler	11
Şekil 2.4	Farklı tür geotekstillerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması	13
Şekil 2.5	Çeşitli cins ipliklerin yük uzama davranışları	14
Şekil 2.6	Farklı yöntemlerle üretilmiş, polipropilenden imal edilmiş geotekstillerin çekme deneyi davranışları. Numuneler 200mm x 100mm boyutundadır.	14
Şekil 2.7	Geotekstillerin sünme ve gerilme boşalması davranışlarının şematik diyagramları a) Sünme deneyi düzeneği ve genelleştirilmiş davranış eğrileri b) Gerilme boşalması düzeneği ve genelleştirilmiş davranış eğrileri	16
Şekil 2.8	Zemin içindeki geotekstil malzemeye gelen gerilme dağılımı	18
Şekil 2.9	Çeşitli Üniter Beton Blok Elemanları	22
Şekil 3.1	Zemin tutma yapılarının en çok rastlanan çeşitleri	24
Şekil 3.2	Ağırlık türü bir istinat duvarında tipik göçme mekanizmaları: (a) kayma (düz) göçmesi; (b) dönme göçmesi, (c) toplam duraysızlık türü göçme	25
Şekil 3.3	Arka dolgularda sürtünme ve kohezyonlu dayanımın değişik kombinasyonlarında minimum Rankine aktif zemin basınç dağılımları: (a) sürtünme direnci, kohezyon sıfır; (b) kohezyonlu zemin, sürtünme direnci sıfır; (c) sürtünme ve kohezyon direnci bir arada	28
Şekil 3.4	Arka dolgularda sürtünme ve kohezyonlu dayanımın değişik kombinasyonlarında minimum Rankine pasif zemin basınç dağılımları: (a) sürtünme direnci, kohezyon sıfır; (b) kohezyonlu zemin, sürtünme direnci sıfır; (c) sürtünme ve kohezyon direnci bir arada	30
Şekil 3.5	(a) Düzlemsel arka dolgu yüzeyi, göçme yüzeyi ve duvar ile sınırlanmış üçgen aktif kama; (b) aktif Coulomb kaması için kuvvet poligonu	30



Şekil 3.6	(a) Düzlemsel arka dolgu yüzeyi, göçme yüzeyi ve duvar ile sınırlanmış üçgen pasif kama; (b) aktif Coulomb kaması için kuvvet poligonu	32
Şekil 3.7	(a) Mononobe-Okabe analizinde aktif kama üzerine etkiyen kuvvetler; (b) aktif kama üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesini gösteren kuvvet poligonu	35
Şekil 3.8	(a) Mononobe-Okabe analizinde pasif kama üzerine etkiyen kuvvetleri (b) pasif kama üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesini gösteren kuvvet poligonu	37
Şekil 3.9	Steedman-Zeng yöntemi için duvar geometrisi ve notasyon	39
Şekil 3.10	$k_h$ ve $H/\lambda = 0.3$ kabul ederek, M-O ve Steedman-Zeng yöntemleri için normalize edilmiş basınç dağılımlarının karşılaştırılması.	41
Şekil 3.11	$k_h = 0.2$ için maksimum dönmede dinamik itkinin yeri	41
Şekil 3.12	Esnemeyen duvarlar üzerindeki basınçların analizi için duvar geometrisi ve notasyon	42
Şekil 3.13	Değişik geometriler ve zeminin Poisson değerleri için boyutsuz itki faktörü	43
Şekil 3.14	Değişik geometriler ve zeminin Poisson değerleri için boyutsuz moment faktörü	43
Şekil 4.1	Dolgu üzerindeki yüklerden ötürü oluşan gerilmeler	45
Şekil 4.2	Geotekstil Donatılı İstinat Duvarlarında Gerilmeler	46
Şekil 4.3	Geosentetik Donatılı İstinat duvarlarında (a, b, c) Dış, (d, e, f) İç ve (g, h, i, j) Kaplama Duvarı Göçme Durumları	49
Şekil 4.4	Dinamik toprak basıncının yatay bileşeni	51
Şekil 4.5	Geosentetik donatılı istinat duvarlarında dış stabilite hesaplarında kullanılan geometri ve kuvvetler	51
Şekil 4.6	Geosentetik donatılı istinat duvarlarının dış stabilite hesaplarında devrilme göçmesi için tanımlanan karşı koyucu momentler	56
Şekil 4.7	Taşıma gücü faktörleri	58
Şekil 4.8	Geosentetik donatılı istinat duvarlarının donatı yükleri hesabında kullanılan geometri ve kuvvetler	59
Şekil 4.9	Geosentetik donatılı istinat duvarlarının donatılarının ankraj kapasitesi hesabında kullanılan geometri ve kuvvetler	62
Şekil 4.10	Geosentetik donatılı istinat duvarlarının donatı tabakalarının içsel kayma hesabında kullanılan geometri ve kuvvetler	65
Şekil 4.11	Geosentetik donatılı istinat duvarlarının kaplama duvarlarında meydana gelen içsel kayma ve devrilmenin hesaplanması için gerekli geometri ve kuvvetler	67

Şekil 5.1 (a)	7,60 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı Geometrisi	75
Şekil 5.1 (b)	5,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı Geometrisi	76
Şekil 5.1 (c)	3,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı Geometrisi	77
Şekil 5.2	Standart Yapı Blok Türleri	80
Şekil 5.3	7,60 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Geometrisi	85
Şekil 5.4	5,13 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Geometrisi	86
Şekil 5.5	3,04 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Geometrisi	87

## SEMBOL LİSTESİ

$B'_f$	: Eşdeğer taban genişliği hesabı
$C_{ds}$	: Direkt kayma katsayısı
$e$	: Temel eksantrikliği
$k_h$	: Yatay eşdeğer deprem katsayısı
$k_v$	: Dikey eşdeğer deprem katsayısı
$K_A$	: Statik aktif toprak basıncı katsayısı
$K_{AE}$	: Dinamik aktif toprak basıncı katsayısı
$\Delta K_{dyn}$	: Dinamik aktif toprak basıncı katsayısı artımı
$\Delta K_{dynH}$	: Dinamik aktif toprak basıncı katsayısı artımının yatay bileşeni
$L_{min}$	: Minimum donatı boyu
$P_{AH}$	: Statik toprak kuvvetinin yatay bileşeni
$P_{AEH}$	: Dinamik toprak kuvvetinin yatay bileşeni
$\Delta P_{dyn}$	: Dinamik toprak kuvveti artımı
$\Delta P_{dynH}$	: Dinamik toprak kuvveti artımının yatay bileşeni
$P_{IR}$	: Donatılı zeminin yatay atalet kuvveti
$S_{vi}$	: Faydalı alan
$T_{a(dyn)}$	: Sismik yükleme için emniyetli çekme kuvveti (yükü)
$W_i$	: Kaplama duvarının arkasından, duvar yüzünden $L_{min}$ boyu ötesine kadar uzanan; sabit H yükseklikli donatılı bölgelerin toplam ağırlığı
$W_\beta$	: Duvarın üst kaplama bölgesi (H) üstünde kalan şeve ait zeminin duvara etkidiği ek ağırlık
$W_w$	: Kaplama duvarının toplam ağırlığı
$W_r$	: Donatılı bölgenin toplam ağırlığı
$\alpha_{AE}$	: Rankine kayma kaması açısı

## GELENEKSEL BETONARME İSTİNAT DUVARINA ALTERNATİF OLARAK GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARI

### ÖZET

Son yıllarda altyapı projelerinde sıkça kullanılmaya başlanan geotekstil malzemelerin donatı özelliği sayesinde dik dolgu istinat duvarları inşa edilebilmektedir. Bu tip istinat yapılarının genel adı olan “Geosentetik Donatılı İstinat Duvarları” ile pek çok geoteknik probleme ekonomik, hızlı ve estetik çözümler sunulabilmektedir.

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının temel yapısal bileşenleri olan geotekstil malzeme, arka dolgu, kompozit ön yüz kaplama elemanları ve kompaksiyona yardımcı makine ekipmanları yardımıyla, geleneksel istinat yapılarına oranla daha iyi çözümler sunan bu istinat duvarları ülkemizde 1997’ den bu yana kullanılmaktadır ve kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada geosentetik donatılı istinat duvarlarının sismik yükleme altında davranışı “Mononobe-Okabe Yöntemi” ile modellenmiş ve dizayn metodolojisi oluşturulmuştur. Hesaplar duvarların temel iki inşa metodu olan “Bohçalama Metodu” ve “Kaplama Kolonu Metodu” için ayrı ayrı anlatılmıştır. Hesap metodolojisi ile geleneksel istinat duvarı türü olan betonarme duvarlarla aynı yüksekliklerde maliyetler karşılaştırılmıştır.

İstinat duvarlarının sismik tasarımında kullanılan yaygın bir yaklaşımda önce deprem sarsıntısıyla ortaya çıkan yükler hesaplanmakta ve sonra da duvarın bu yüklere karşı koyabilmesi güvence altına alınmaktadır. Depremler sırasında istinat duvarları üzerindeki gerçek yük son derece karmaşık olduğundan, sismik basınçlar genellikle basitleştirilmiş yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Geosentetik donatılı istinat duvarları da “Esneyen Duvarlar” sınıfına dahildir. Bu durumda esneyen duvarlar üzerine etkiyen aktif basınçlar genellikle sismik şev stabilite analizi için tanımlanan ve psödo-statik bir yöntem olan “Mononobe-Okabe Yöntemi” ile hesaplanmıştır. Bu hesaplar sonucu boyutlandırılan geosentetik donatılı duvarların maliyet analizi Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri ve Karayolları Genel Müdürlüğü Şartnamesi’ ndeki ilgili poz no’ lar kullanılarak yapılmıştır. Benzer maliyet analizi betonarme konsol duvarlar için de yapılmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

# **GEOSYNTHETIC REINFORCED RETAINING WALLS AS AN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL REINFORCED CONCRETE WALLS**

## **SUMMARY**

Vertical filled retaining walls can be built by the reinforcement feature of geosynthetics that have been often used by infra-structural projects in recent years. Economic, fast and aesthetic solutions are submitted to many geotechnical problems by this type of retaining structures generally referred as “Geosynthetic Reinforced Retaining Walls”.

By the help of geotextile material, back fill, composite front facing units and machinery equipment used for compaction which are basic structural components of geosynthetic reinforced retaining walls where better solutions can be made when considered to conventional retaining walls, these walls have been used in our country since 1997 and have an increasing demand in use.

In this study the behaviour of geosynthetic reinforced retaining walls under seismic loading is modelled with “Mononobe-Okabe Method” and design methodology is created. Design is made separately for both two of the construction method of this walls which are “Reinforced Embankment Method” and “Facing Column Method”. Cost is compared using the methodology with the concrete reinforced retaining walls, a type of conventional retaining wall, at the same height.

In a general approach used for seismic design of geosynthetic reinforced retaining walls, loads caused by earthquake shaking are calculated and then the deffence of the wall against these loads have been warranted. It’ s because real loads on the retaining walls during earthquakes are very complex, seismic earth pressures have been often calculated by using simplified methods.

Geosynthetic reinforced retaining walls are also classified as “Flexible Walls”. For that matter active earth pressures acting on flexible walls are calculated with “Mononobe-Okabe Method” which is generally referred for seismic slope stability analysis and is a pseudo-static method. The cost analysis of the dimensioned geosynthetic reinforced retaining walls upon these calculations has been done by using the related code numbers in Unit Cost Analysis of Ministry of Public Works and Highway General Directorate Specification. Same cost analysis also has been done for reinforced concrete cantilever walls and results of the analysis have been utilized.

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı *Geosentetik Donatılı İstinat Duvarları* olarak bilinen günümüzde estetik açıdan duvar ön yüzü görünümü daha güzel olan, ister beton bloklarla ister bohçalama metoduyla dik dolgu duvarları olarak inşa edilen duvarların sismik tasarım esaslarını göstermek ve geleneksel betonarme duvarlarla maliyet açısından bir karşılaştırma yapmaktır. *Geosentetik Donatılı İstinat Duvarları*, inşaat sektöründe özellikle zemin firmalarınca daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Tezde kullanılan sismik tasarım esasları, Amerika'da bu tip yapıların tasarımı için hazırlanmış NCMA (National Concrete Masonry Association) şartnamesinden alınmıştır. Sismik tasarım aşağıda sıralanan temel hesaplamaları içermektedir:

- Dış Stabilite Hesabı
- İç Stabilite Hesabı
- Kaplama Duvarı Hesabı

Bohçalama metodunda ilk iki hesaplama yeterlidir. Kaplama duvarı hesabı üniter beton bloklular sistemler için yapılır.

NCMA şartnamesi, kendi içinde FHWA (Federal Highway Administration), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ve ASTM (American Society for Testing and Materials) şartnamelerine referans vermektedir.

Tezde geosentetik donatılı istinat duvarının sismik tasarımı için NCMA'nın tercih edilmesinin tek sebebi sadece istinat yapılarını inceleyen bu kurumun konu hakkındaki ilk ciddi çalışmaları yönetmesi ve tecrübesidir.

## 2. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI NEDİR?

### 2.1. Tanım

National Concrete Masonry Association (NCMA)'a ait geosentetik donatılı istinat duvarları için yazılmış dizayn şartnamesinde belirtildiği üzere geosentetik donatılı istinat duvarı, geosentetik donatı malzemesi ile yatay katmanların ister bohçalama ister üniter beton blok elemanlarla donatılı zemin elde edecek şekilde teşkil edilmesi sonucu oluşmuş mekanik olarak stabilize edilebilen bileşik duvar sistemi olarak tanımlanmaktadır. Mekanik olarak stabilize edilebilmesi, donatılı zemin bölgesinin mekanik araçlar yardımıyla standartlarca belirlenen standart proktor ve modifiye proktor değerlerine kadar sıkıştırılmasıdır. Bu değerlere tezin ilerleyen bölümlerinde yer verilecektir. Bileşik duvar sisteminden kasıt; geosentetik donatılı istinat duvarlarının gerek deneysel olarak arazide inşa edilen modellemelerinde gerek tasarım hesap aşamasında hem ağırlık hem de konsol duvar gibi davranış gösterdiğinin kabul edilmesidir.

Genellikle şev stabilizasyonu çerçevesine dahil edilen geosentetik donatılı istinat duvarlarının en temel özelliği dolguda dik ön yüzey teşkil edebilmesidir. Bu özellik, ülkemizde Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından ilk olarak 1997'de geosentetik donatılı istinat duvarlarının köprü yaklaşım abatmanlarında kullanıldığında, özel inşaat sektörünün de dikkatini çekmesine yol açmıştır. Bu özellik dışında geotekstil ile yapılacak istinat duvarının yapım kolaylığı ve çabukluğu nedeniyle ayrıca tercih edilmesine sebep olmuştur. Geotekstil donatı yardımıyla belli yüksekliklerde dolgu malzemesinin bohçalanması ile istinat duvarı (veya dik dolgu şevi) stabil olarak yapılabilmektedir. Bohçalama ile inşa edildiği gibi farklı ve daha estetik görünümlü olan üniter beton bloklarla kaplama duvarı oluşturarak da geosentetik donatılı istinat duvarı inşa edilebilmektedir. Şevin ekonomik veya mümkün olmadığı hallerde istinat duvarlarının yapımı zorunlu ise bu tür durumlarda uygun bir istinat sistemi seçilmesi zorunludur. Ülkemizde en yaygın istinat sistemi betonarme istinat duvarlarıdır. Ancak betonarme istinat duvarl

maliyet, süre, kamulaştırma vb. nedenlerden dolayı ekonomik veya teknik olarak uygun olmadığı hallerde geosentetikler ile dik dolgu şevlerinin yapımı daha uygun olabilmektedir. Ayrıca geosentetikler ile yapılan dik dolgu şevlerinin fleksibilitesi nedeniyle klasik istinat duvarlarına nazaran daha ekonomik olabilmekte ve zayıf temel ve/veya şev durumunda ise teknik açıdan daha iyi bir çözüm sağlayabilmektedir. Günümüzde geosentetik donatılı istinat duvarları, inşaat sektöründe özellikle altyapı firmalarınca daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

## **2.2. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Yapısal Bileşenleri**

İstinat duvarlarının yapısal bileşenleri, mevcut istinat duvarının inşa edilebilmesi için gerekli tüm malzeme, teknik ekip, ekipman ve proje olarak tanımlanabilir. Geosentetik donatılı istinat duvarları temel olarak aşağıda sıralanan yapısal bileşenlere sahiptir:

- 1- Proje esaslarına göre tanımlanmış geosentetik donatı
- 2- Üniter beton blok elemanlar
- 3- Proje esaslarına göre tanımlanmış arka dolgu malzemesi
- 5- Konkrase (stabilize) malzeme [Drenaj Agregası]
- 4- Beton yastık
- 6- Kompaktör, silindir, JCB (Kepçeli traktör) vb. kompaksiyona yardımcı inşaat makina ekipmanları

### **2.2.1. Geotekstiller**

#### **2.2.1.1. Geotekstil Malzemeye Genel Bir Bakış**

ASTM (American Society of Testing Materials) standartlarında geotekstil, insan yapısı bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile kullanılan geçirimli bir tekstil ürünü olarak tanımlanmaktadır[7].

Geoteknik yapılar daneli malzemelerden meydana gelirler ve çoğu zaman büyük kütlelerde tabakalar içerirler. Bu sebeple erozyon, oturma, deprem gibi etkilerle geoteknik yapılarda süreksizlikler oluşabilir. Geotekstil kullanılması durumunda ise



tabakaların ve yüzeylerin korunması sağlanabilir. Yine geoteknik yapılar esnek ve farklı oturmalara maruz kalan yapılardır. Bu yüzden geoteknik yapılarda kullanılan malzemeler de esnek olmalıdır. Geotekstillerin boyutsuz ve esnek olmaları geoteknik yapılarda kullanımlarını da kolaylaştırır.

Geotekstillerin ilk kullanım alanı erozyon kontrolü ve granüler zemin filtrelerine alternatif drenaj uygulamaları olmuştur. Geotekstiller 1950'lerin başından bu yana inşaat sektöründe altyapı malzemesi olarak kullanılmaktadır [7].

Geotekstil kullanımı proje tasarımcılarına kolay çözümler sağlamaktadır. Geotekstil kullanımında kalite kontrolü kolaylaşır. Yerleştirme, hava koşullarından büyük ölçüde bağımsız olup kullanılan malzeme fabrikasyon olduğu için özellikleri üniform ve güvenilir olmaktadır. Geotekstil malzemenin hassasiyet gösterdiği güneş ışınlarına açıkta bir hafta kadar maruz kalması malzemenin ufalanarak özelliğini yitirmesine neden olur. Bu sorunu gidermek için dünyaca ünlü geotekstil üreticileri UV filtrasyonu sağlayacak yöntemler geliştirmişlerdir. Böylece ambalajından çıkarılmadan açıkta güneş ışınlarına maruz kalan geotekstil malzeme uzun süre (yaklaşık 1 ay) özelliğini koruyabilmektedir. Bu durum da proje tasarımcılarının altyapı uygulamalarında geotekstilleri tercih etmelerini sağlamıştır.

Geotekstillerin faydaları müteahhit ve işveren tarafından hızla kavranmış ve uygulamalarda hayata geçirilmiştir. Geotekstil serilmesi granüler filtre kullanımından çok daha kolay bir çözüm olduğundan filtrasyon maksadıyla geotekstil kullanımıyla zamandan ve maliyetten kazanılmıştır. Hafriyat maliyetini de düşürmekle beraber tonlarca malzeme yerine birkaç top geotekstil kullanılması taşıma ve uygulama masraflarını da azaltmaktadır.

Geotekstilin imal edildiği ilk hammadde olarak bilinen sentetik fiber, PVC (polivinil klorür)'dir. 1930 yılında ABD'de naylon hammaddesinden fiber üretilirken 1954 yılında İtalya'da polipropilenden üretilmiştir. 1960'ların ortasından itibaren örgüsüz dokumalar fabrikasyon olarak üretilmiştir. Hollanda'da yaşanan çok ciddi sel felaketlerinin önlenmesi için geliştirilen Delta Projesi'nde 1980'lerin ortalarına kadar on milyon m<sup>2</sup>'den fazla geotekstil kullanıldı. Delta Projesi geotekstillerin kullanım teknolojileri hakkında ilginç bir örnek teşkil etmektedir [2].

1970'lerin başında Fransa'nın Biddim kentinde, iğneleme (needle-punched) yoluyla üretilmiş, devamlı lifli (continuous filament) örgüsüz dokumaların farklı

uygulamaları gerçekleştirildi. Kaplamasız yolların güçlendirilmesinde, demiryollarında balast altında, toprak dolgu barajlarda ve istinat duvarlarında geotekstil kullanıldı. Bu uygulamalarda geotekstilin esas olarak ayırma, güçlendirme ve geotekstilin kendi yüzeyi içinden sıvı iletimi fonksiyonlarından yararlandı. Günümüzde bilinen 200'den fazla çeşit geotekstil ve benzeri ürün imal edilmekte olup 1990 yılında bir milyar m<sup>2</sup> geotekstil geoteknik uygulamalarında kullanılmıştır. Geotekstillerin temel işlevleri koruma, ayırma, filtrasyon, drenaj ve güçlendirmedir. Bu noktada ayrıntılı bir çalışma FHWA tarafından yapılmış ve genel olarak farklı altyapı uygulamalarında bu fonksiyonların hangilerine yer verilebileceği özetlemiştir (Tablo 2.1) [7].

Dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanmasının ardından geotekstiller hakkında gerek akademisyenlerin gerekse inşaat ve geoteknik mühendislerinin de talepleri doğrultusunda birçok konferans düzenlenmiştir. Bunlardan en önemlileri; 1977'de Paris'te (Proc. 1st Conf. Use of Fabrics in Geotechnics), 1982'de Las Vegas (Proc. 2nd Conf. Use of Fabrics in Geotechnics, Industrial Fabrics Assoc.), 1986'da (Proc. 3rd Int. Conf. Geotextiles), 1990'da Lahey'de, son olarak da 1990'da Singapur'da gerçekleşmiştir. Ayrıca geotekstillere ilgili çalışmalar yapan kuruluşların üye oldukları uluslararası bir organizasyon olan IGS (International Geotextile Society) 1983'de kurulmuştur [1].

Ülkemizde Amerika ve Avrupa ülkelerine nazaran daha yeni sayılabilecek geotekstil teknolojisinin altyapı uygulamalarında özellikle geosentetik donatılı istinat duvarlarında kullanımıyla ilgili şartnameler ve kullanılan deney yöntemleri tatmin edici değildir. Çoğu durumda kullanıcılar üretici firmaların verdikleri bilgilerle yetinmekte, yabancı ülkelerde geliştirilmiş yöntemlerin aktarılması için de çaba sarfedilmesi gerekmektedir. Bu duruma bir derece ışık tutabilecek bir şartname çalışması tezin ilerleyen bölümlerinde örnek olarak verilecektir.

Tablo 2.1 Geosentetik Malzemelerin Uygulama Alanları [18]

ANA AMAÇ	UYGULAMA YERİ	TALİ AMAÇ(LAR)
<b>Filtrasyon</b>	Yüzeyaltı drenajı	S, D
	Dren borusunun kaplanması	S, D, K
	Temel tabakası drenajı	S, D
	Don koruması	S, D, T
	Ulaşım yapılarının drenajı	S, D
	Yüksek dolgular	D
	Silt kapanı	S
	İstinat yapıları drenajı	S, D
<b>Drenaj</b>	Dolgu koruması (dere, göl, deniz)	S, D
	İstinat yapıları	S, F
	Düşey drenler	S, F
<b>Takviye (Güçlendirme)</b>	Yatay drenler	T
	Kaplama takviye tabakası	-
	Yol, demir yolu ve havaalanı alt temel takviyesi	F
<b>Seperasyon (Ayırtman)</b>	Dolgu takviyesi	D
	Yük dağıtma	S
	Kaplamasız yollar	F, D, T
	Kaplamalı yollar (yeni veya rehabilitasyon)	F, D, T
	Demiryolları (yeni veya rehabilitasyon)	T, D, K
	Ön yükleme (stabilizasyon)	F, D, T
<b>İzolasyon (Su Bariyeri)</b>	Dolgu	F, D, T
	Kaplamalı veya kaplamasız park sahaları	F, D, T
	Deniz veya kıyı koruması	F, D, K
	Asfalt takviye tabakası	-
	Yüzeysel drenaj, kanal, hendek vb. Kaplama	-
<b>Koruma</b>	Sızma perdesi	-
	Tünel izolasyonu	-
	Şişebilir zeminler	-
<b>Koruma</b>	Geomembran yatağı	D
	Erozyon kontrolü	İ

F : Filtrasyon, D : Drenaj, T : Takviye, S : Seperasyon, İ : İzolasyon, K : Koruma

Geotekstillerin altyapı elemanı olarak yaygın kullanımı, tasarım metodlarının da gün geçtikçe gelişmesine yol açmıştır. Geotekstilin davranışında mekanik özellikleri kadar bulunduğu ortamla ilişkisi de tasarım metodlarının geliştirilmesinde etkilidir. Geotekstil malzemenin bulunduğu yerlerde genellikle hidrostatik ya da başka mekanik etkilerle oluşmuş ve yoğunlaşma potansiyeline sahip bir gerilme yüzeyi bulunur. Geosentetiklerin farklı özelliklerinin önem derecesi aşağıda Tablo 2.2’de verilmiştir[18].

Tablo 2.2 Geosentetiklerin Kullanım Yerine Göre Farklı Özelliklerinin Önemi

Kullanım Yeri	AMAÇ				DURABİLİTE				FİZİKSEL			MEKANİK				DİĞER		
	Drenaj	Filtrasyon	Ayırıtma	Takviye	Kimyasal	Isıl	UV	Biyolojik	Kalınlık	Geçirgenlik	Tıkanma	Çekme	Yırtılma	Delinme	Patlama	Esneklik	Aderans	Aşınma
Ağır trafikli yol	1	1	3	3	-	-	1	3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	1
Hafif trafikli yol	1	1	3	1	-	-	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Zemin	1	1	3	2	-	-	1	2	1	2	2	2	3	3	2	2	2	1
Depolama sahası	2	1	3	1	1-3	1-3	1-3	2	1	2	2	3	2	2	2	1	1	1
Sıkışabilir zemin	2	2	3	2	-	-	1	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3
Demiryolu	3	2	3	1	1-3	-	1	2	3	1	3	2	3	3	3	2	2	-
Drenaj (Hendek)	2	3	2	-	1	-	1	3	3	3	3	1	2	2	1	3	-	-
Düşey drenaj	3	3	-	-	-	-	1	2	3	3	3	2	1	1	1	2	-	-
Erozyon kontrol	1	3	2	2	1	-	3	3	1	3	3	3	3	3	2	3	3	3
Spor sahaları	2	2	3	-	-	-	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	-	-
Geçirimsiz tabaka	3	2	3	2-3	1-3	1-3	1-3	3	3	-	3	3	2	2	3	3	-	-
Esnek kaplama	-	-	3	3	3	3	1	2	2	-	-	2	-	-	-	2	3	-

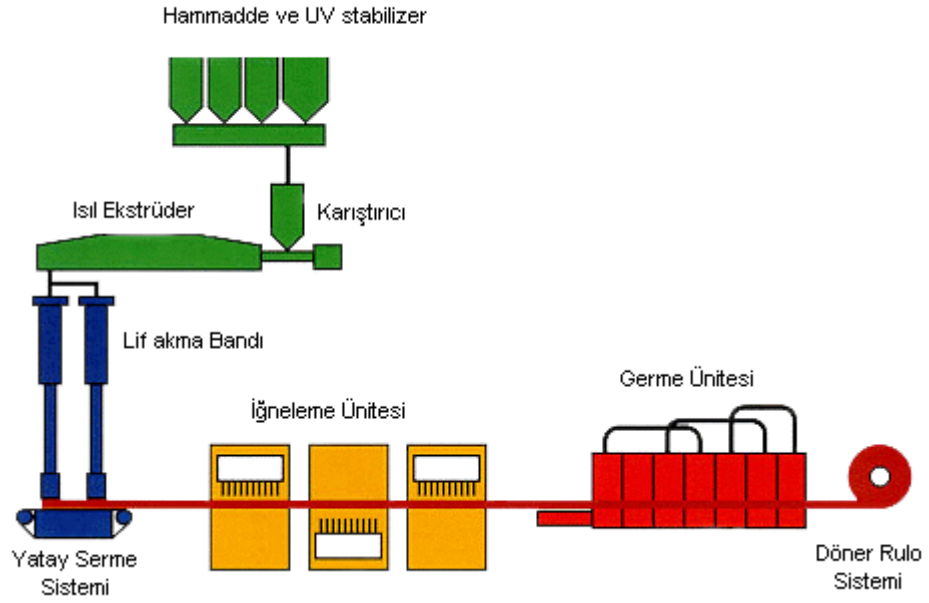
1 : Çok önemli değil 2 : Önemli 3 : Çok önemli

Geotekstillere özellikle 1970'lerden sonra uygulama sahasının hızla gelişmesi ve uluslararası bir standarda kavuşturulma çabaları akademisyen ve mühendislerin işbirliğinde yürütülmüşse de mevcut deney yöntemleri yetersiz kaldığından inşaat projelerinin yürütülmesinde uygulamacıların ve tasarımcıların tecrübeleri devreye girmek durumunda kalmıştır. Teknolojinin geç tanınması iletişimsizlik ve yetersiz bilgilendirilmenin sonucudur. Geotekstil hammaddesi, sentetik polimerler de yeterince tanınmamaktadır. Klasik inşaat malzemelerinin üzerinde yüzyıllardır yapılan incelemeler bu malzemelerin doğasını daha iyi anlamamıza yardımcı olmuştur. Yeni teknoloji sayılan geotekstiller hakkında bugün teknik olarak, hem uygulamada, hem de tasarımda yaklaşık yarım yüzyıllık bir birikim oluşmuştur. Geotekstil türlerinin teknik özelliklerinin bir arada sunulduğu teknik kimlik kartları sayesinde proje tasarımcıları, tasarıma en uygun tipi seçmekte zorlanmamaktadırlar [8].

### 2.2.1.2. Geotekstillere Malzeme Özellikleri

Geotekstilin yapısına bakıldığında karşımıza iki ana eleman olarak fiber (filament) ve iplik çıkar. Fiber denilince bükülebilirliğe ve inceliğe sahip, yüksek boy/kalınlık oranıyla karakterize edilen malzeme anlaşılmaktadır. İplik ise belirli uzunluğa sahip küçük kesit alanlı, bükülmüş ya da bükülmemiş fiberlerin montajlanmış ve geotekstil üretimine hazırlanmış halidir [4].

Fiber üretimi için granüler haldeki polimer hammaddesi önce eritilir, sonra pompalar yardımıyla çok sayıda deliklere sahip püskürtme memesine doğru iletilir. Buradan bobinlere sarılarak çıkan fiberler, germe ya da ısıl işleme tabi tutulurken, çapları düşer ve molekülleri daha düzenli bir hal alıp dayanımları artar. Buradan sonra da fiberler eğilerek iplik elde edilir (Şekil 2.1) [3].



Şekil 2.1 Geotekstil malzemenin üretim aşamaları

Fiber üretiminde kullanılan hammaddeler genel tüketim miktarlarına göre şöyle sıralanmaktadır:

- Polipropilen (yaklaşık %65)
- Polyester (yaklaşık %32)
- Poliamid (yaklaşık %2 )
- Polietilen (yaklaşık %1 )

Bu malzemelerin temel özellikleri Tablo 2.3'de karşılaştırılmıştır.

### 2.2.1.3. Geotekstillerin Sınıflandırılması

Geotekstillere çeşitli yöntemler kullanılarak sınıflandırılabilirler. Bunların başlıcaları; yapım tekniğine göre, polimer bileşimine göre, ağırlığa göre, mühendislik fonksiyonlarına göre sınıflandırma gibi yöntemlerdir. Yapım tekniğine göre

sınıflandırmada genel olarak iki ana sınıf vardır: örgülü (Woven) ve örgüsüz (Nonwoven) ürünler. Bu gruplar da kendi aralarında yapıldıkları ipliğin ve fiberin türüne göre alt gruplara ayrılırlar. Örgülü tipleri belirli bir geometrik yaklaşımla tek filamentli, çok filamentli, şerit esaslı, kesikli film tipi gibi ayırmak mümkünken, örgüsüz ürünler sınıflandırılırken fiberlerin bağlanma doğaları esas alınarak, ısı, kimyasal ya da mekanik birleştirmeli olarak ayrılırlar. Bu parametreleri içeren bir sınıflandırma örneği olarak CFG'ninki (Fransa Geotekstil Komitesi) verilmiştir (Tablo 2.4) [3].

Tablo 2.3 Polimer grubu özelliklerinin karşılaştırılması [2]

<b>POLYMER GRUBU</b>		<b>Polyester</b>	<b>Poliamid</b>	<b>Polipropilen</b>	<b>Polietilen</b>
<b>ÖZELLİKLERİ</b>					
Dayanım		<b>Xxx</b>	<b>Xx</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Elastisite Modülü		<b>Xxx</b>	<b>Xx</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Kopmadan Uzama		<b>x</b>	<b>Xx</b>	<b>Xxx</b>	<b>Xxx</b>
Sünme		<b>x</b>	<b>Xx</b>	<b>Xxx</b>	<b>Xxx</b>
Birim Ağırlık		<b>xxx</b>	<b>Xx</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Maliyet		<b>xxx</b>	<b>Xx</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>ÇEVRE ŞARTLARINA DAYANIM</b>					
U.V. Işığ	Stabilize	<b>xxx</b>	<b>Xx</b>	<b>Xxx</b>	<b>Xxx</b>
	Stabilize Edilmemiş	<b>xxx</b>	<b>Xx</b>	<b>Xx</b>	<b>x</b>
Alkali		<b>x</b>	<b>Xxx</b>	<b>Xxx</b>	<b>xxx</b>
Mikro organizma vs.		<b>xx</b>	<b>Xx</b>	<b>Xx</b>	<b>xxx</b>
Fuel oil		<b>xx</b>	<b>Xx</b>	<b>X</b>	<b>x</b>
Deterjan		<b>xxx</b>	<b>Xxx</b>	<b>Xxx</b>	<b>xxx</b>

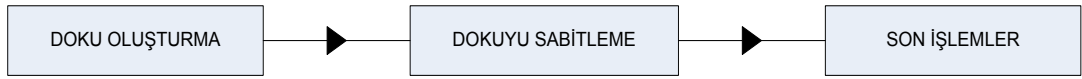
**xxx:** Yüksek    **xx:** Orta    **x:** Düşük

Tablo 2.4 Fransa Geotekstil Komitesinin geotekstil sınıflandırması [3]

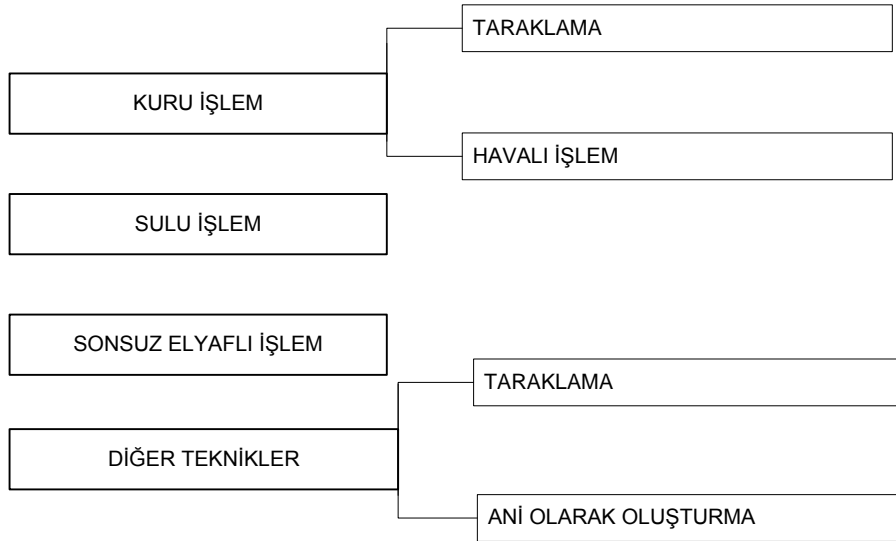
KATEGORİ	ÖRGÜLÜ (WOVEN)	ÜRÜNÜN YAPILIŞ TARZI
A1	Yuvarlak tek filamentler, D=100-1000 mikron	Çeşitli üniform düzenlemelerle iki grup ipliğin keşiştirilmesi
A2	Yuvarlak kesiksiz çok filamentli, D=10-25 mikron	
A3	Kesikli film bantları	
A4	Çok filamentli, liflendirilmiş bükümlü şeritler	
A5	A1 ve A4 ün birleşimi (Boyuna veya enine ipliklerde)	
	<b>ÖRGÜSÜZ (NONWOVEN)</b>	
	Isı (Termal) Bağlı	Ergime yoluyla birarada tutulmuş fiber veya filamentlerin rastgele dizilişleriylekeçe türü ürün
B1	Tek bileşenli düşük ergime noktalı fiberlerin bağlanması ile oluşturulmuş	
B2	İki bileşenli düşük ergime noktalı fiberlerin eritilerek	
C1	Kimyasal bağlı (resin bonded)	Karıştırma ve/veya yapıştırma işlemiyle
D1	İğne delikli (Needle- Punched)	Karıştırılıp birbirine dolaştırılarak bir arada tutturulmuş keçemsi malzeme
D2	Daha yoğun yapı için ısıtılarak D1'in sıkıştırılmasıyla elde edilen benzeri ürün	
D3	D1 benzeri ürünün modüllerini artırmak amacıyla çift eksenle çekip gerdirilmiş şekli	
	<b>DİKİŞLİ – DÜĞÜM BAĞLI (STITCH-BONDED)</b>	
E1	Yalnızca gelişigüzel elyaftan yapılmış	Belirli durumlar için taranmış elyaf formasyonu ile beraber örme ve dikmenin kombinasyonu olarak oluşturulmuş
E2	Gelişigüzel elyaf ve boyuna iplikten yapılmış	
E3	Elyaf ve boyuna-enine iplikten yapılmış	
	<b>DÜĞÜMLÜ ÖRGÜ (KNITTED)</b>	
F1	Birbiri sıra, ürünün enine istikametinde ilmekli örgü yapılarak tek iplikten üretilen atkı örgülü malzeme	İpliklerin bir arada ilmik yapılarak elde edildiği ürün
F2	İlmik eksenine paralel olarak sıralanan örgü ile çoklu ipliklerden elde edilmiş zincirli malzeme	
	<b>BİRLEŞİK MALZEMELER (KOMPOZİT)</b>	
G1	Örgülü veya örgüsüz alt tabaka üzerinde keçemsi iğne delikli ürün	Yukarıdaki yöntemlerin karışımı ile ilave teknikler kullanılarak yapılan ürün.
G2	Yapıştırıcı laminasyon (haddeleme) yoluyla örgülü veya örgüsüz plastik elek tipi ürünün bileşimi	
G3	Enine veya boyuna veya her iki yönde kıvrımsız filamentli örgüsüz ürünün güçlendirilmesi	
G4	Haddeden çekilmiş plastik gömlekle kaplanmış paralel filamentlerden oluşmuş dokumadan yapılmış kaba örgülü formasyon, sepet örgü benzeri	

Geotekstillerin dünya pazarındaki asıl gelişmeleri örgüsüz geotekstillerin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Örgüsüz geotekstiller, EDENA (European Disposables and Nonwoven Association) kriterlerine göre “mekanik, kimyasal veya fiziksel yöntemlerle ürünleri birbirlerine tutturulmuş, tek yönlü ya da gelişigüzel dizilmiş elyaflardan imal edilmiş, tabaka, ağ ya da keçe” olarak tanımlanmıştır.

Örgüsüz geotekstillerin kalitelerini etkileyen ana unsurlar, hammaddenin cinsi (elyafın cinsi) ve üretim tekniğidir. Örgüsüz geotekstillerin üretimlerinde kullanılan elyafa göre kesik elyafli üretim ve sonsuz elyafli üretim olarak ikiye ayrılır. Üretim tekniğini belirleyen üç ana faktör; üretim maliyeti, talebin miktarı ve kullanıcının istediği özelliklerdir. Örgüsüz geotekstil üretimi üç aşamada gerçekleşir. (Şekil 2.2). Doku oluşturulması için ilk yapılması gereken elyaflardan bir harman oluşturmaktır. Harman oluşturulurken kullanılan elyafın boyu, kalınlığı, kıvrımı ve kimyasal yapısı göz önüne alınır. Bu aşama son üründen beklenen özellikler bakımından çok önemlidir. Kullanılan farklı teknikler Şekil 2.3’te görülmektedir [21].



Şekil 2.2 Örgüsüz geotekstil üretimi aşamaları



Şekil 2.3 Doku oluşturulmasında kullanılan teknikler

Sonsuz elyafli üretim tekniğinde (continuous filament technique) polimerin ele alınmasından son ürüne kadar olan aşama tek seferde gerçekleşir. Bu üretimin aşamaları Şekil 2.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Sonsuz elyafli işlem hariç, diğer yöntemlerle oluşturulan dokuların çekme dayanımları artırılarak güçlendirilmeleri



için kimyasal, ısıl ya da mekanik işleme tabi tutulurlar. En çok kullanılan ve en eski yöntem olan mekanik yöntemin diğer adı iğne ile delmedir (needlepunched process). Örgüsüz geotekstil malzemenin uluslararası ve ülkemizdeki rulo genişliği genellikle 2-6 m arasında değişmektedir. Bazı ondalık genişlikler de mevcuttur (2,4 m gibi). Genişlik, geotekstilin ek yerlerindeki bindirme payı kayıpları açısından önemlidir.

Örgülü geotekstiller iki yönde kesintisiz iplik içeren, genellikle yüksek çekme mukavemeti istenildiğinde kullanılan geotekstil türüdür. Bu özelliği ile düşük uzamalarda yüksek mukavemetler elde edilebilir. Her iki yönde dokunmuş olması nedeniyle malzeme önemli ölçüde diagonal mukavemet gösterir. Örgülü geotekstiller geleneksel dokuma tezgahlarında üretilirler. Bir dizi boyuna eleman (atkı) ve bir dizi boyuna eleman (çözgü) kullanılarak dokuma üretilir. Kullanılan ipliğin hammaddesine ve tipine göre farklı tipte geotekstiller elde edilebilir. Geotekstillerin de içerisinde bulunduğu endüstriyel dokumalarda örme işlemi öncelikle boyuna ipliklerin uzun istikamette uygun deliklerden geçirilmesiyle başlar. Kısa istikamette yerleştirilmiş olan taraklar hareket boyuna iplikleri yukarı ve aşağı yönde aralarlar. Aynı anda mekiğin, kısa doğrultuda bir ipliği bu aradan geçirmesini sağlarlar. Sonra taraklar ters istikamette hareket ederlerken mekik de ters yönde başka bir iplikle geçer. Taraklar tekrar aynı hareketi yaparlar ve bu işlem bir döngü şeklinde devam eder. Bu işlemin sonunda geotekstil dokuma tezgahında bir rulo şeklinde sarılır. Ortalama genişlik 3-5 m arasında değişmektedir. Daha büyük genişlikler istenilmesi durumunda fabrika ya da yerinde ek yapılır. Fabrikada yapılan ek dikim geotekstil genişliğinden tasarruf sağlar. Şantiyede yapılan eklerde serbest bindirmeler için en az 30 cm genişlik gerekmektedir [8].

#### **2.2.1.4. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri**

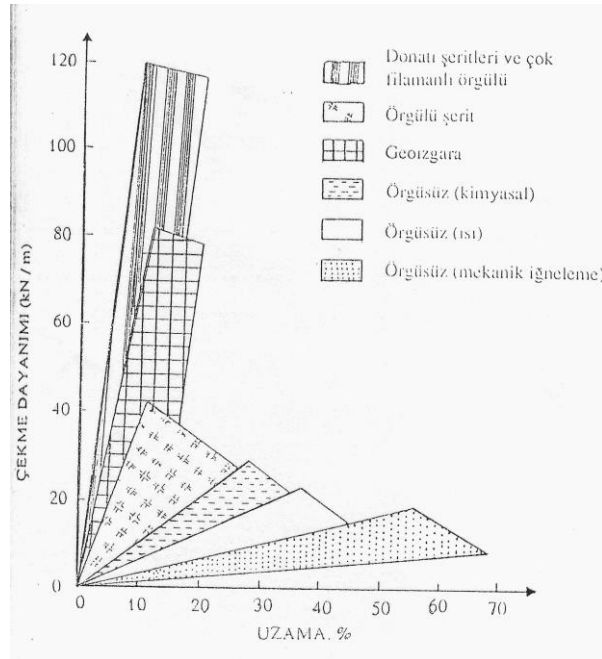
Geotekstilin yük ve deformasyon arasındaki ilişkileri mekanik özellikler olarak tanımlanmaktadır. Yük, geotekstil düzleminde etki edebileceği gibi geotekstil düzlemine dik olarak da etki edebilir. Geotekstilin kendi düzleminde sıkışma kuvvetine karşı direnci zayıftır. Bunun nedeni geotekstili oluşturan elemanlar olan elyafın yada ipliğin kolayca eğilip bükülebilmesidir. Serilme sırasında meydana gelen konsantre yükler veya darbeler sebebiyle geotekstilin bozulmaması gereklidir. Aşınma, yırtılma, parçalanma, güneş ışınları, sıcaklık, kimyevi yada biyolojik atıklar gibi etkilere geotekstilin dayanım göstermesi istenir. Geotekstile etki eden

kuvvetlerin üniform dağılıp dağılmadığı önemlidir. Yükün üniform etki etmemesi deformasyonlara yol açacak gerilme yığılmaları oluşturabilir.

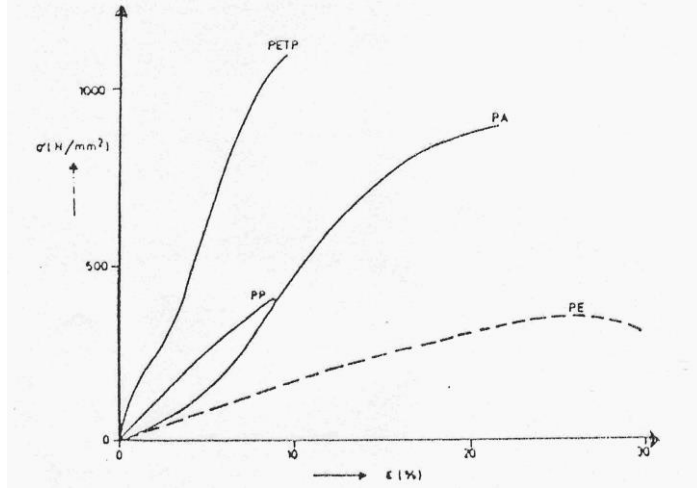
Örgülü geotekstillerin mekanik özellikleri fiber yapısına, ipliklerin çapına ve üretim biçimine bağlıdır. Şekil 2.4'te farklı tekniklerle üretilmiş geotekstillerin çekme dayanımları karşılaştırılmaktadır. Örgülü geotekstillerin gerilme-deformasyon ilişkileri, ipliklerin cinsine ve ipliklerin geotekstili nasıl bir işlemle oluşturduğuna bağlıdır. Şekil 2.5'te bazı polimer ipliklerinin yük -uzama davranışı verilmiştir.

Örgüsüz geotekstiller, örgülü geotekstillere oranla daha izotrop olmalarına rağmen bu tür geotekstillerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde yöne bağlı değişimler görülmüştür [5].

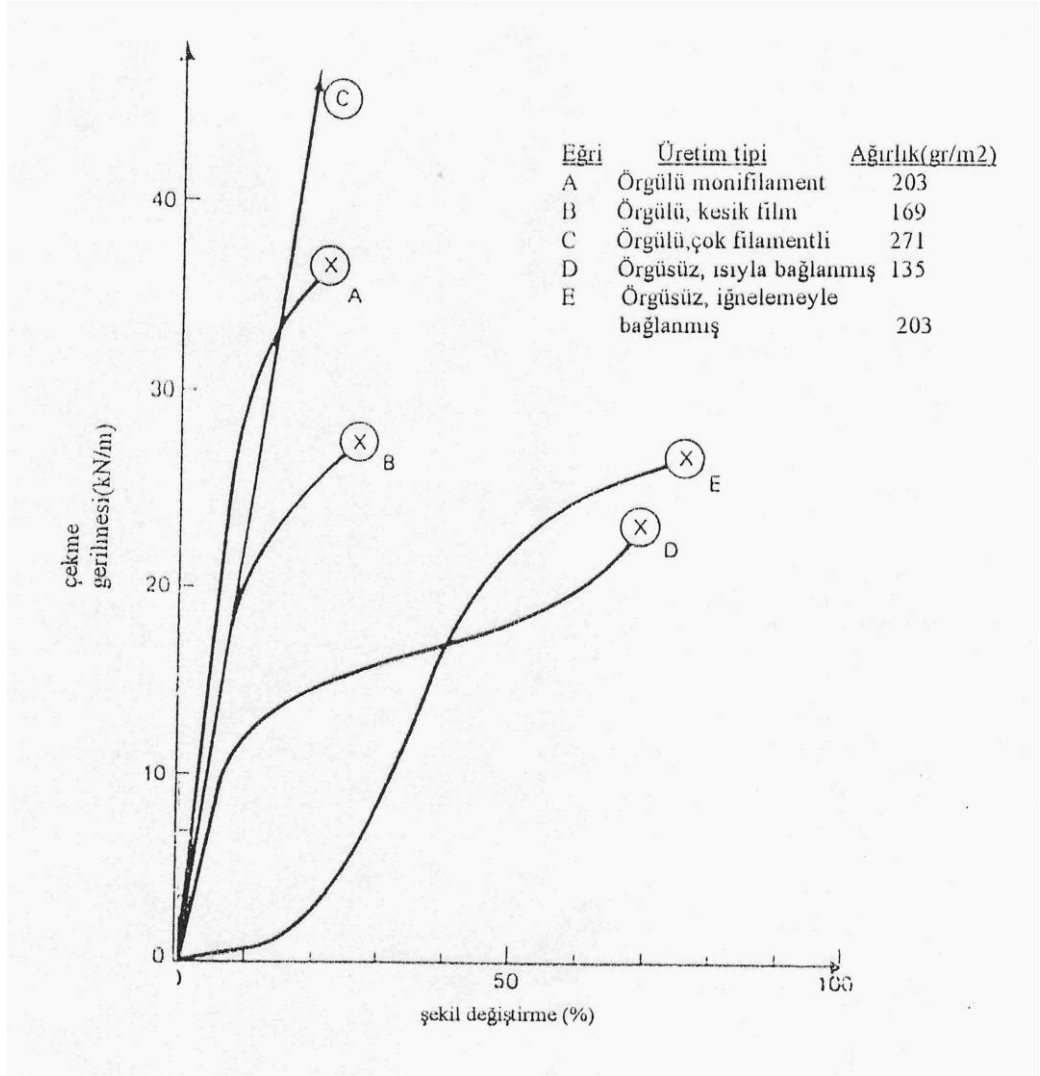
Aynı tip polimer kullanılmasına rağmen, üretim tekniği ve fiberlerin birbirlerine bağlanma prosesleri geotekstilin özelliklerini etkiler. Şekil 2.6'da polipropilenden üretilmiş örgülü mono filament (A), örgülü kesik film (B), örgülü çok filamentli (C), örgüsüz ısıyla bağlı(D), örgüsüz iğnelemeyle bağlı (E) geotekstillerin geniş numuneli çekme dayanımı deney sonuçları verilmiştir .



Şekil 2.4 Farklı tür geotekstillerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması [2]



Şekil 2.5 Çeşitli cins ipliklerin yük uzama davranışları [2].



Şekil 2.6 Farklı yöntemlerle üretilmiş, polipropilenden imal edilmiş geotekstillerin çekme deneyi davranışları. Numuneler 200mm x 100mm boyutundadır [11].

Görüldüğü gibi A,B ve C daha büyük gerilmelere dayanırken, daha küçük uzamalar göstermektedirler. E ve D'nin davranışları ise bunun tersidir. Örgüsüz tip geotekstillerin davranışları fiberlerin birbirlerine bağlanma tekniğine göre değişmektedir. Isıyla bağlanmış geotekstil daha büyük çekme dayanımı, iğnelemeyle üretilen ise daha büyük şekil değiştirmeler göstermektedir [10]. Çekme testiyle elde edilen bu eğriler genel anlamda incelenmelidir. Sonuçlarda uygulama hızı, deney sıcaklık, rutubet gibi etkiler değişiklikler oluşturabilir. Örgüsüz tip geotekstillerde fiberler bütün yönlerde gelişigüzel yerleşirler. Fiberlerin yerleşmeleri, ısıyla bağlı geotekstillerde düzlemsel olarak, iğnelemeyle üretilmiş geotekstillerde ise üç boyutta olur.

Geotekstillerde sünme, hesaplara sünme redüksiyon katsayısı olarak dahil edilse de genellikle istenmeyen bir davranıştır. Kısa süreli laboratuvar deneylerinin uzun süreli arazi davranışını temsil edip edemeyeceği tartışılırken bu konuda araştırmacılar tarafından bazı deney yöntemleri geliştirilmiştir. Geotekstilin sünme davranışıyla ilgili ilk inceleme 1982 yılında Shrestha ve Bell tarafından yapılmıştır. Polimer malzemelerin gerilme-deformasyon ilişkisi zamana bağlıdır. Geotekstilin sabit bir yük altında belirli bir süre kalarak deformasyonlar göstermesine sünme denir. Bu uzun süreli davranış için geçen süreye de bozulma süresi denir [5].

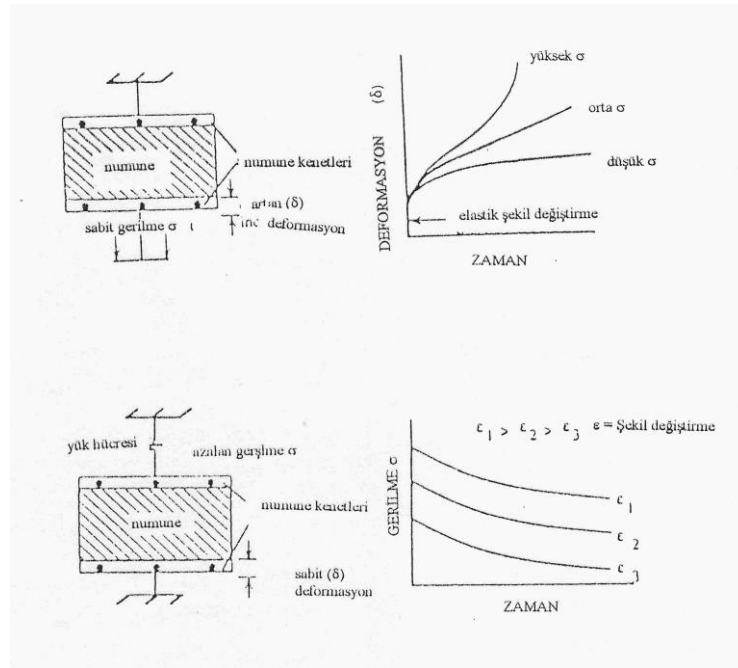
Geotekstil malzemenin gösterdiği bir başka davranış ise gerilme boşalmasıdır. Gerilme boşalması, deneylerde görülen kopma uzamasından daha küçük sabit bir uzama değeri altında, şekil değiştirme sabit kalırken gerilmede görülen azalmanın sürekli olması ve nihayetinde gerilmenin sıfırlanmasıdır. Bu konuda ilk çalışmalar polyester ve polipropilenden imal edilmiş geotekstillere üzerinde, 1986 yılında Greenwood ve Myles tarafından yapılmıştır. Sünme ve gerilme boşalması arasındaki fark Şekil 2.7'de verilmiştir.

Pek çok geotekstil uygulamasında sünme ve gerilme boşalması arasında kompleks bir ilişki vardır. Bu ilişkiyi açıklamaya yönelik ilk yaklaşım 1974'de Nielsen tarafından önerilmiştir [11].

$$\left( \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_0} \right)_{\text{sünme}} = k \left( \frac{\sigma_0}{\sigma(t)} \right)_{\text{GerilmeBoşalması}} \quad (2.1)$$

$k$  : Sabit

- $\varepsilon(t)$  : t anındaki şekil değiştirme (Sünme için sabit gerilme altında)
- $\varepsilon_0$  : Başlangıç anındaki şekil değiştirme (Sünme için sabit gerilme altında)
- $\sigma(t)$  : t anındaki gerilme (Gerilme boşalması için sabit şekil değiştirme altında)
- $\sigma_0$  : Başlangıç anındaki gerilme (Gerilme boşalması için sabit şekil değiştirme altında)



Şekil 2.7 Geotekstillerin sünme ve gerilme boşalması davranışlarının şematik diyagramları a) Sünme deneyi düzeneği ve genelleştirilmiş davranış eğrileri b) Gerilme boşalması düzeneği ve genelleştirilmiş davranış eğrileri [6].

Eşitlikten çıkarılacak yorum; bir geosentetik malzemedeki sabit gerilme altında artan sünmelerle karşılaşıyorsa aynı malzemedeki sabit şekil değiştirme altında büyük gerilme boşalmaları da görülebileceğidir. Viskoelastik davranışın bileşenleri olan ani ve zamana bağlı şekil değiştirme davranışlarından faydalanılarak oluşturulmuş diğer bir yaklaşımın sonuç ifadeleri ise şu şekilde verilmektedir [17]:

Sünme için;

$$\varepsilon(t) = \sigma \left( \frac{1}{E} + \frac{1}{\eta} \right) \quad (2.2)$$

Gerilme boşalması için ;

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-(E/\eta)t} \quad (2.3)$$

$\varepsilon(t)$  : t anındaki şekil değiştirme

$\sigma$  : Sabit gerilme

$E$  : Malzemenin elastisite modülü

$\eta$  : Malzemenin viskozitesi

$\sigma(t)$  : t anındaki gerilme

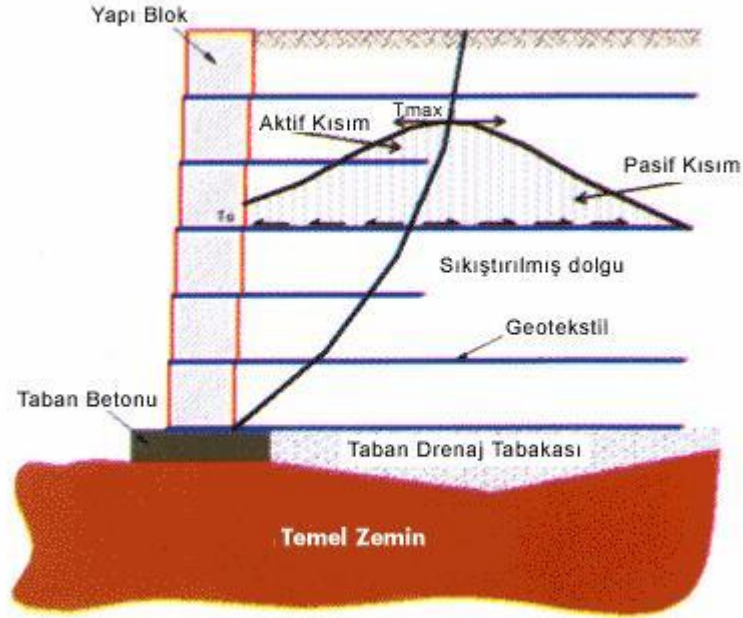
$\sigma_0$  :Başlangıç anındaki gerilme

Eşitliklerde yer alan  $E$  yada  $\eta$  değerleri sünme deneyinden tespit edilirse, gerilme boşalması teorik olarak hesaplanabilmektedir. Ancak sünme-deformasyon ilişkisini kuran farklı hesaplamalarda da görülmüştür ki sünme miktarı hakkında doğrudan bir sonuç elde etmek güçtür.

Geotekstillerin sünme davranışlarıyla ilgili sınırlı miktarda da olsa yapılmış çalışmalar mevcut olmasına rağmen gerilme boşalmasıyla ilgili literatürde yer alan çalışmalar çok daha azdır. Gerilme boşalmasıyla ilgili yapılan teorik yaklaşımlara Koerner' in çalışmaları örnek verilebilir. İki veya daha fazla gerilmenin ayrı ayrı uygulanması durumunda, bunlardan doğacak şekil değiştirmelerin lineer olarak toplanabileceği ve tersinin de doğru olduğu prensibi sünme ve gerilme boşalması viskoelastik ilişkisine uyarlanmıştır. Geotekstilin sünme davranışını hammadde çeşidi, imalat biçimi, yükleme derecesi sıcaklık ve zaman etkilemektedir. Geotekstile etki eden kuvvetlerde servis ömrü boyunca değişmeler olabilmektedir. şantiye özel koşulları altında zeminde etkiyecek kuvvetlerin mertebesi doğru tahmin edilmelidir. Geotekstile lokal olarak dikkate değer yüklemelere sebep olacak etkilerin zemin içindeki dağılımının önceden tespit edilmesi zordur. Yerleştirme sırasında olabilecek bozulmaların belirsizliği dikkate alınmalıdır. Geotekstil malzemeye zemin içinde gelen gerilme dağılımı Şekil 2.8'de görülmektedir [19].

Polimerler, sünmeye karşı duyarlılıklarına göre sıralanacak olursa; en az polyester, sonra poliamid, sonra polipropilen ve en çok duyarlılıkta polietilen denilebilir. 10-100 yıl gibi sürelerde başlangıçtaki çekme dayanımına göre, polyester için %50,

poliamid için %40, polietilen ve polipropilen için %25'in altına kadar düşme görülebilmektedir [1].



Şekil 2.8 Zemin içindeki geotekstil malzemeye gelen gerilme dağılımı

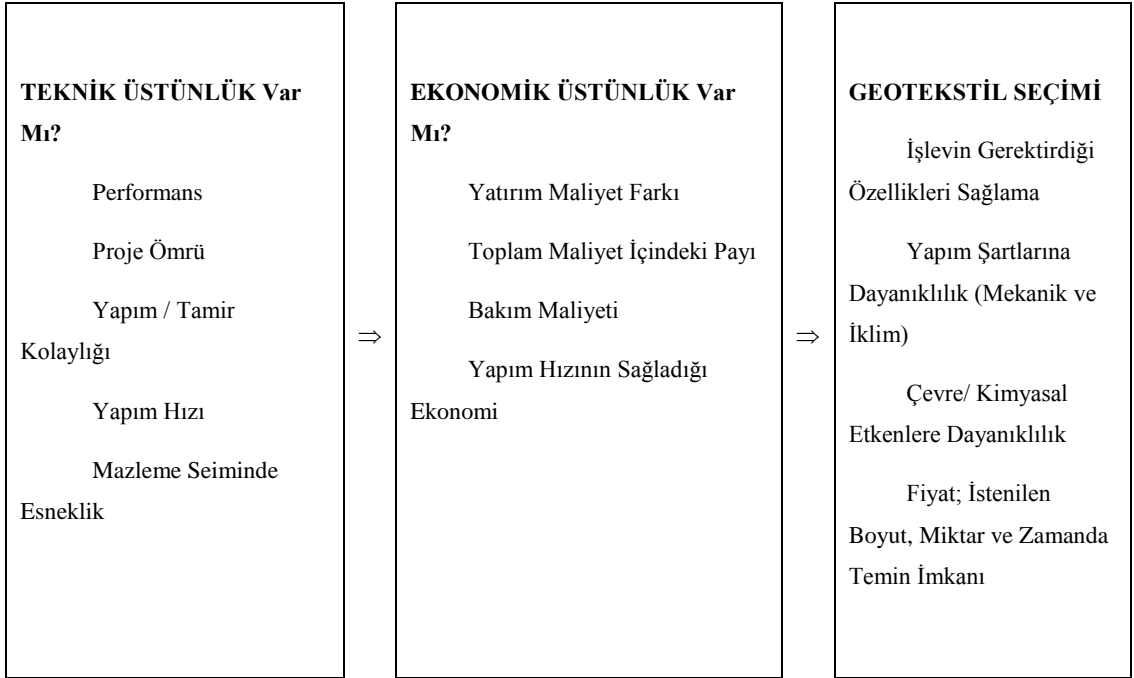
### 2.2.1.5. Geotekstillerle Tasarım

Ülkemizdeki inşaat sektörü her yeniliğe açık olmakla beraber bu yeni teknolojilerin uygulamada hayata geçirilmesi uzun zaman almaktadır. Geleneksel yöntemlere bağlılığın fazla olduğu bir piyasada geotekstiller hızla büyüyen ve her geçen gün gelişen bir pazara sahiptirler. Geotekstillerin çok farklı seçeneklerle kullanılma olasılığı olduğu gibi, aynı zamanda çok fazla sayıda geotekstil arasından seçim yapma şansı vardır. Uygulama sahalarının çok çeşitli olması, buna karşılık kullanılabilir geotekstil tiplerinin sayıca fazla olması özel tasarım yöntemlerinin ve tasarımı oluşturacak bilgi altyapısının önemini artırmaktadır. Bir tasarımda kullanılabilir yöntemler ve çeşitli kombinasyonları Tablo 2.5'te verilmiştir. Tabloda geotekstilin çözüm alternatifinin değerlendirilmesi ve uygun geotekstilin seçimi için Wasti tarafından özetlenen yaklaşım verilmiştir.

Maliyet ve uygunluğa göre tasarım oldukça basit çözüm sağlayan bir yöntemdir. Geotekstil kullanılarak gerçekleştirilen tasarım toplam maliyeti, geotekstille

kaplanacak alana bölünür. Böylece maksimum birim alan için yapılabilecek harcama bulunmuş olur. Sonra bulunan rakam üst sınır kabul edilerek, bu birim maliyetin altında kalmak kaydıyla, teknik olarak söz konusu uygulamada kullanılabilir bir geotekstil seçilir.

Tablo 2.5 Geotekstilli çözüm alternatifinin değerlendirilmesi ve geotekstil seçimi aşamaları [20].



Belirli standartlara göre yapılan tasarımda geotekstilden uygulama esnasında beklenen fonksiyonlar ve bu fonksiyonlar için önceden belirlenmiş kritik değerler listelenir. Belirli bir kritik değerın altında kalmak kaydıyla, geotekstillerin teknik özellikleri incelenip en uygunu seçilir. Farklı kuruluşlar farklı standartlar oluşturduklarından belirli standartlara göre tasarımda dikkat edilmesi gereken önemli nokta şudur: Standart değer olarak, genellikle, dokumadan gelen minimum değer belirtilir. Oysa, geotekstil üreticilerinin kataloglarında, belirli sayıda yapılan deneyler içinden en çok tekrarlanan sonucu malzeme değeri olarak belirtmekte, bu ise tasarımda yanıltıcı olabilmektedir. Geotekstil kataloglarında yer alması gereken değer, çok sayıda tekrar edilen değerler sonucunda %95 olasılıkla güvenli bölgede kalacak değer olmalıdır [2]. Eğer geotekstil üreticisi en çok tekrarlanan ortalama değeri katalogunda veriyorsa, ortalama değerlerin en küçüğünü bulmak için, bu değer belirli bir güvenlik sayısıyla küçültülmelidir.

Geotekstilden uygulama için beklenen esas fonksiyon belirlenir. Bu fonksiyonu sayısal olarak ifade eden, geotekstille tasarımda kullanılacak bir beklenen değer



vardır. Seçilen geotekstilin aynı özelliğini ifade eden uygun değer, beklenen değere bölünerek bir güvenlik sayısı elde edilir. Güvenlik sayısı birden istenildiği kadar büyükse, seçilen geotekstilin uygun olduğu anlamına gelir.

$$FS = \frac{Uygun}{Beklenen} \quad (2.4)$$

*FS* : Güvenlik Katsayısı (Factor of Safety)

*Uygun* : Gerçek durumu modelleyen laboratuvar deneyi sonucu

*Beklenen* : Gerçek durumu modelleyen bir tasarıma dayanan değer

Teknik olarak uygun ve ekonomik bir tercih uygulamada sırasıyla şu aşamalar izlenerek yapılabilir: geotekstilin içinde bulunduğu malzeme sistemi her yönüyle göz önüne alınarak durumun kritikliğine göre bir minimum güvenlik katsayısına karar verilir. Bu fonksiyonu ifade eden sayısal değer, belirli bir güvenlikle, seçilen geotekstilden beklenen değeri ifade eder. Diğer taraftan seçilmiş olan geotekstili kullanarak yapılan deneylere göre elde edilen uygun değer tespit edilir. Geotekstilin belirli bir özelliğine ait uygun değer ile beklenen değer oranlanarak bir güvenlik katsayısı elde edilir. Bu güvenlik katsayısı yeterli bulunursa, aynı geotekstilin diğer özelliklerinin de bir kritik durum oluşturup oluşturmadığına bakılır. Çoğu geotekstil uygulamasında uygun değer olarak direkt deney sonuçlarını almak gerçekçi olmayabilir. Laboratuvar deney koşulları ideal koşullar olduğundan, bu sonuçlar oldukça büyük kalabilir. Kullanım amacına göre tasarım yönteminde belirlenen güvenlik katsayısı, laboratuvar koşullarını araziye modifiye etmeye çalışır. Ancak deney numunelerinin sayısının ve ölçüsünün araziye temsil etmede yetersiz kalması, uzun süreli sünme davranışının tespitindeki güçlük, arazi koşullarında geotekstile etkiyecek özel kimyasalların önceden belirlenememesi, boşluk suyu basıncındaki ve toplam gerilmelerdeki değişikliklerin önceden belirlenememesi gibi etkenler laboratuvar deneylerinin, yerindeki durumu tespitindeki hassasiyeti azaltmaktadır. Bu durumda daha büyük güvenlik katsayıları kullanımına gidilebilmekle birlikte, Koerner tarafından bir ön güvenlik katsayısı ile laboratuvar sonuçlarının uygun değerlere dönüştürülmesi önerilmiştir [11].

Kullanım amacına göre tasarımda laboratuvar deney sonuçları büyük değerler olup, bunların uygun değerlere dönüştürülmesi için , arazide etki edecek farklı durumları

temsil eden güvenlik katsayıları ile küçültülmelidir. Bu şekilde geotekstil kullanıldığı arazinin özel koşulları oluşturan etkenler ayrı ayrı gözönüne alınmış olur.

$$T_{uygun} = T_{büyük} \left( \frac{1}{FS_{YK} \cdot FS_S \cdot FS_{KB} \cdot FS_{BB}} \right) \quad (2.5)$$

$T_{uygun}$  : Belirli bir geotekstil için mücade edilen çekme dayanımı

$T_{büyük}$  : Belirli bir geotekstil için çekme dayanımı deneyinin sonucu

$FS_{YK}$  : Yerleştirme kusurlarını temsil eden güvenlik sayısı

$FS_S$  : Sünme kusurlarını temsil eden güvenlik sayısı

$FS_{KB}$  : Kimyasal bozulmayı temsil eden güvenlik sayısı

$FS_{BB}$  : Biyolojik bozulmayı temsil eden güvenlik sayısı

Tablo 2.6'da üstteki eşitlik için Koerner'in önerdiği kısmi güvenlik sayıları verilmiştir.

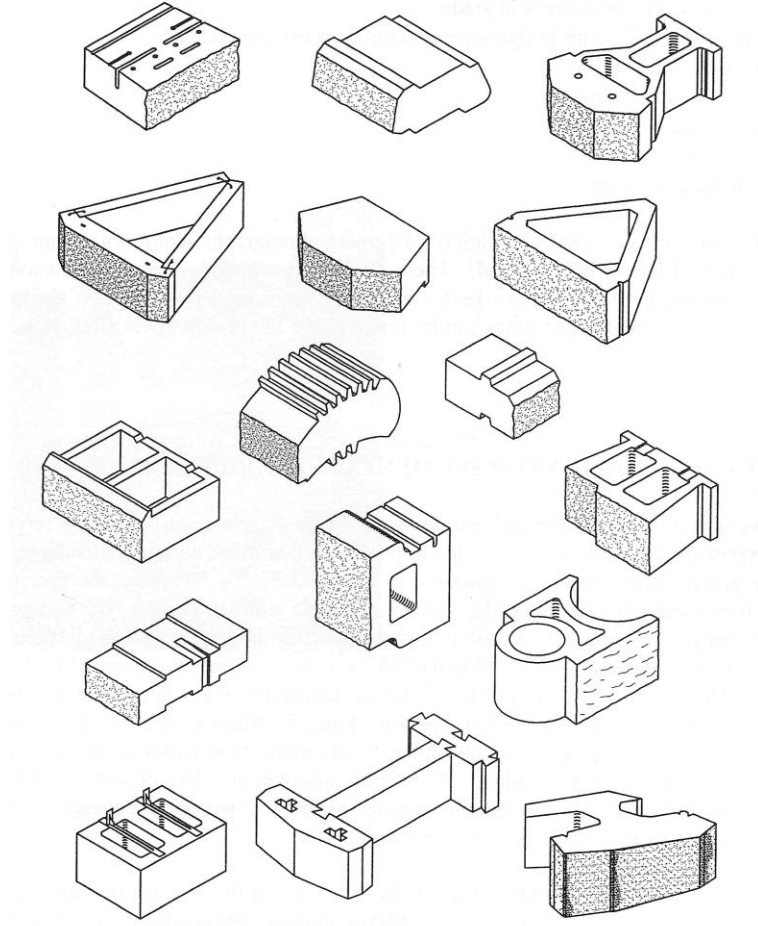
Tablo 2.6 Önerilen Güvenlik Katsayıları [15]

Çeşitli Kısmi Güvenlik Katsayıları				
<u>Uygulama Sahası</u>	<u>Yerleştirme Kusurları</u>	<u>Sünme</u>	<u>Kimyasal Bozulma</u>	<u>Biyolojik Bozulma</u>
Ayırma	1.1 – 2.5	1.0 – 1.2	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2
Kaplamasız Yollarda	1.1 – 2.0	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2
Duvarlarda	1.1 – 2.0	2.0 – 4.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
Dolgularda	1.1 – 2.0	2.0 – 3.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
Şev Stabilizasyonlarında	1.1 – 2.0	2.0 – 4.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
Kaldırımlarda Serilmesi	1.1 – 1.5	1.0 – 1.2	1.0 – 1.5	1.0 – 1.1
Demiryollarında	1.5 – 3.0	1.0 – 1.5	1.5 – 2.0	1.0 – 1.2
Esnek Yapılarda	1.1 – 1.5	1.5 – 3.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.1
Çamur Tutucu	1.1 – 1.5	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.1

### 2.2.2. Üniter Beton Blok Elemanlar

Üniter beton blok elemanlar, TS 19 “Portland Çimentoları” standardında belirtilen çimento, su ve agregadan muhtevi makine imalatı en az BS25 beton sınıfına mahsup beton blok elemanlar olarak tanımlanabilir. Şekil 2.9 inşaat sektöründe sıklıkla

kullanılan beton blok elemanların bazılarını göstermektedir.



Şekil 2.9 Çeşitli Üniter Beton Blok Elemanları [16]

### 2.2.3. Arka Dolgu Malzemesi

Arka dolgu malzemesi “Karayolları Fenni Şartnamesi”nde belirtilen türde sıkıştırılabilen stabilize inşaat dolgu malzemesi olarak tanımlanabilir. “Karayolları Fenni Şartnamesi”nde belirtilen kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- |    |            |                                 |
|----|------------|---------------------------------|
| a) | 75% - 100% | 50 mm’lik elekten geçen malzeme |
| b) | 75% - 100% | 20 mm’lik elekten geçen malzeme |
| c) | 20% - 100% | No.4 elekten geçen malzeme      |
| d) | 0% - 60%   | No.40 elekten geçen malzeme     |
| e) | 0% - 35%   | No.200 elekten geçen malzeme    |

### **3. İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK YÜKLEME ALTINDA GENEL DAVRANIŞI**

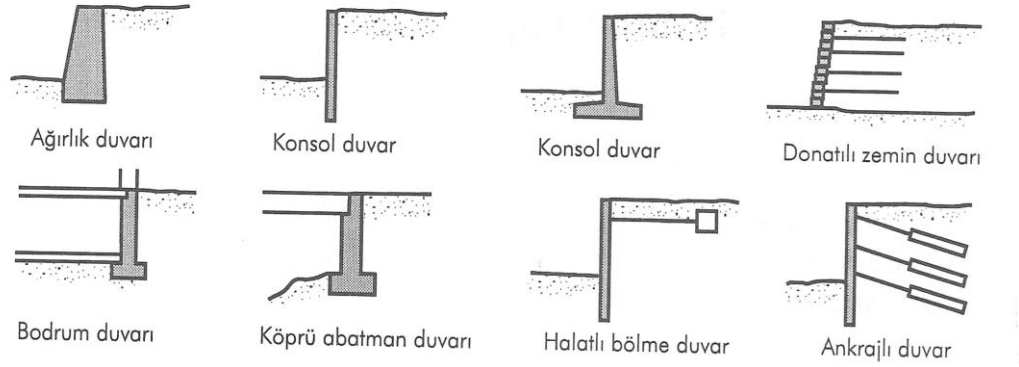
Depremlerin istinat yapılarında kalıcı deformasyonlar meydana getirdiği bilinmektedir. Bazı örneklerde bu deformasyonlar ihmal edilebilir düzeyde kalmış; bazı istinat yapıları ise depremler sırasında yıkılmak suretiyle ağır fiziksel ve ekonomik kayıplara neden olmuştur. Bu bölümde, istinat yapılarının depremler sırasındaki davranışı ele alınmış ve tezde kullanılan istinat duvar türlerinin sismik tasarımında kullanılan yaklaşımlar sunulmuştur [9].

#### **3.1. İstinat Duvarı Türleri**

Zemini yerinde tutma işlemi geoteknik mühendisliğindeki en eski problemlerden biridir. Zemin mekaniğinin en erken ve en önemli bazı ilkeleri istinat duvarlarının akılcı bir şekilde tasarımı sırasında geliştirilmiştir. Zemini yerinde tutma konusunda çok değişik yöntemler geliştirilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Son yıllardaki metal, polimer ve geotekstil türü güçlendirme araçlarının geliştirilmesiyle, zemin tutma sistemlerinin mekanik olarak stabilize edilmesi konusunda çok sayıda yeni yöntem ortaya çıkmıştır [9].

İstinat duvarları genellikle göreceli kütle, esneklik ve ankraj şartlarına göre sınıflandırılmaktadır. Ağırılık duvarları (Şekil 3.1) istinat duvarlarının en eski ve en basit şeklidir. Ağırılık duvarları eğilmeyecek kadar kalın ve rijittir. Bunlardaki hareket, rijit gövde kayması ve/veya dönmesi şeklinde olmaktadır. Bileşik duvar sistemlerinin ızgaralı duvar (crib wall) ve mekanik olarak stabilize edilmiş duvar gibi bazı türleri, ancak çok az eğilmeye izin verecek kadar kalındır ve sonuçta (iç stabilitenin de uygun şekilde dikkate alınmasıyla) ağırılık duvarları olarak inşa edilirler. Eğilebilmesinin yanında kayabilen ve dönebilen konsol duvarlar yanal zemin basınçlarına esnek dayanımları ile karşı koyarlar. Gerçek yanal zemin basıncının bir konsol duvar üzerindeki dağılımı, hem duvarın hem de zeminin göreceli rijitliğinden ve deformasyonundan etkilenmektedir. Kuşaklı duvarlar, bazı hareket türlerine dışarıdaki kuşak elemanları sayesinde karşı koymaktadır. Bodrum

duvarları ve köprü abatman duvarları durumunda; duvarların tepe kısmının yatay yöndeki hareketleri, destekledikleri yapı tarafından kısıtlanabilir. Ankrajlı duvarlar (tieback walls) ve halatlı bölme duvarlar yatay hareketlere duvarın arkasındaki zemin içine yerleştirilmiş ankrajlarla karşı koyarlar. Kuşaklı bir duvarda farklı noktalarda yerleştirilmiş yatay destekler, eğilme momentlerini nispeten esnek yapısal kesitlerin kullanılmasına izin verecek derecede azaltır.



Şekil 3.1 Zemin tutma yapılarının en çok rastlanan çeşitleri [9].

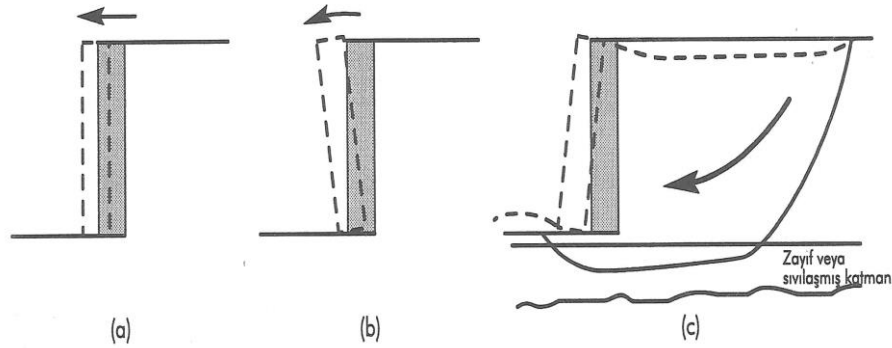
### 3.2. İstinat Duvarlarında Göçme Türleri

İstinat duvarlarının tasarımında "göçmeyi" tanımlamak ve duvarların nasıl göçebileceğini bilmek gerekir. Statik şartlar altında istinat duvarları üzerine etkiyen kuvvetler, duvarın kütesinden ileri gelen cisim kuvvetleri, zemin basınçları ve kuşaklarla iletilen kuvvetlerde olduğu gibi dış kuvvetlerdir. Uygun şekilde tasarlanmış bir istinat duvarı, zeminin kayma dayanımına erişen kayma gerilmelerinin oluşmasına izin vermeden bu kuvvetlerin dengesini sağlar. Ancak, bir deprem sırasındaki atalet kuvvetleri ve zemin dayanımındaki değişimler dengeyi bozabilir ve duvarda kalıcı deformasyona neden olabilir. Bu deformasyonlar aşırı boyutta olduğu zaman kayma, eğilme, bükülme veya başka mekanizma şeklinde göçme gelişir. Deformasyonun hangi düzeyinin aşırı olduğu sorusu birçok faktöre bağlıdır ve sahaya özgü şartlarda cevaplandırılabilir.

Ağırlık duvarları genellikle kayma ve/veya dönme veya toplam duraysızlık gibi rijit gövde mekanizmalarıyla göçmektedir. Yatay kuvvet dengesi sağlanmadığı zaman (yani; duvarın arkasındaki yanal basınçlar duvarın tabanındaki kayma direncinden daha büyük itki oluşturduğu zaman) kayma oluşur. Dönme türü göçmeler genellikle

moment dengesinin sağlanmadığı durumlarda oluşur. Duvarın tabanında meydana gelen taşıma göçmeleri de çoğu zaman birlikte gelişir. Ağırlık duvarları bunların arkasındaki ve altındaki zeminin toplam duraysızlığından dolayı da zarar görebilir [17]. Böyle göçmeler, duvarı çevreleyen şev stabilite göçmeleri olarak değerlendirilebilir. Izgaralı duvarlar, sandık duvarlar (bin walls) ve mekanik olarak stabilize edilmiş duvar gibi bileşik duvar sistemleri aynı şekillerde göçebilir veya değişik duvar elemanlarının kesilme, sıyırılma veya çekme göçmesini içeren çok sayıdaki içsel mekanizma ile göçebilir.

Konsol duvarlar da ağırlık duvarlarının maruz kaldığı göçme mekanizmalarının aynısına ve ayrıca esnek göçme mekanizmalarına maruz kalırlar. Konsol duvarlardaki zemin basınçları ve eğilme momentleri duvar-zemin sisteminin geometrisine, rijitliğine ve dayanımına bağlıdır (Şekil 3.2a, b; tipik duvar için basınç ve moment diyagramları). Denge için gerekli eğilme momentlerinin, duvarın eğilme dayanımını aşması halinde eğilme göçmesi gelişebilir (Şekil 3.2c). Duvarın kendisinin yapısal sünekliği, eğilme göçmesi ile oluşan deformasyonun düzeyini etkileyebilir.



Şekil 3.2 Ağırlık türü bir istinat duvarında tipik göçme mekanizmaları: (a) kayma (düz) göçmesi; (b) dönme göçmesi, (c) toplam duraysızlık türü göçme [9].

### 3.3. İstinat Duvarları Üzerindeki Statik Basınçlar

İstinat duvarlarının sismik davranışı, deprem sarsıntısı sırasında gelişen toplam yanal zemin basınçlarına bağlıdır. Bu toplam basınçlar, depremden önce mevcut olan statik gravite basınçları ve depremin neden olduğu geçici dinamik basınçların ikisini de kapsar. Bir duvarın tepkisi bunların her ikisinden de etkilendiğinden, tezde kullanılan istinat duvar türlerine etkiyen statik zemin basınçlarının kısa bir özeti sunulmuştur.

İstinat duvarları üzerindeki statik zemin basınçları duvar ve zemin hareketleri tarafından çok fazla etkilenir. Aktif zemin basınçları duvarın kendi arkasındaki zeminden uzaklaşması sırasında gelişir ve zeminde uzama şeklinde yanal birim deformasyon oluşturur.

Duvar hareketinin, arkasındaki zeminin dayanımının tamamını mobilize etmeye yeterli düzeyde olması halinde, duvar üzerinde minimum aktif zemin basıncı etkir. Minimum aktif zemin basınçlarının gelişimi için duvarın çok az miktarda hareket etmesi gerektiğinden (kohezyonsuz arka dolgu malzemelerindeki genel durum), serbest duruşlu istinat duvarları genellikle minimum aktif zemin basınçlarına göre tasarlanmaktadır. Ankraj duvarlar, halatlı bölme duvarlar, bodrum duvarları ve köprü abatmanları gibi yanal duvar hareketinin kısıtlandığı yerlerde statik zemin basınçları minimum aktif basınçtan büyük olabilir. Pasif zemin basınçları istinat duvarı zemine doğru hareket ederken gelişir ve zeminde sıkışma şeklinde yanal birim deformasyona neden olur. Zemin dayanımı tamamen mobilize edildiğinde, maksimum pasif zemin basınçları duvar üzerine etkir. Serbest duruşlu çoğu istinat duvarlarının stabilitesi duvarın bir tarafında etkiyen aktif basınçlar ile diğer tarafında etkiyen pasif basınçların arasındaki dengeye bağlıdır.

İstinat duvarları üzerine etkiyen gerçek kuvvetler ve deformasyonlar, statik şartlar altında bile karmaşık zemin-yapı etkileşimi problemi oluşturur. Deformasyonlar çok ender durumlarda tasarımda doğrudan göz önüne alınır. Bu konudaki tipik yaklaşım, bir duvar üzerine etkiyen kuvvetlerin hesaplanması ve sonra da kabul edilebilir düzeyde küçük deformasyonlar oluşacak şekilde yüksek güvenlik katsayısında bu kuvvetlere karşı koyacak şekilde duvarın tasarlanmasıdır. İstinat duvarları üzerine etkiyen statik yükleri değerlendirme konusunda çok sayıda basitleştirilmiş yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılanları aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmıştır.

### **3.3.1. Rankine Teorisi**

Rankine (1857) minimum aktif ve maksimum pasif zemin basınçlarını hesaplamada en basit yöntemi geliştirmiştir. Rankine, bir istinat duvarının arkasındaki zeminin (arka dolgu zemin) gerilme şartları ve dayanım zarfı hakkında varsayımlarda bulunarak, yanal zemin basıncı problemini tanımlanabilir hale getirmiş ve istinat duvarları üzerine etkiyen statik basınçları doğrudan hesaplamıştır. Rankine,

minimum aktif şartlarda istinat duvarının arkasındaki basıncı,

$$P_A = K_A \sigma'_v - 2c\sqrt{K_A} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade etmiştir. Burada,  $K_A$  : minimum aktif zemin basınç katsayısı,  $\sigma'_v$  :ilgi konusu noktadaki düşey efektif gerilme ve  $c$  : zeminin kohezyonudur. Asal gerilme düzlemleri düşey ve yatay olduğu zaman (yatay bir arka dolguyu tutan düz bir düşey duvar durumunda olduğu gibi), minimum aktif zemin basınç katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir [18]:

$$K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.2)$$

Yatay ile  $\beta$  açısı yapan kohezyonsuz arka dolgu durumunda  $K_A$  'yı hesaplamada  $\beta \leq \phi$  için sonsuz şev çözümleri kullanılabilir:

$$K_A = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (3.3)$$

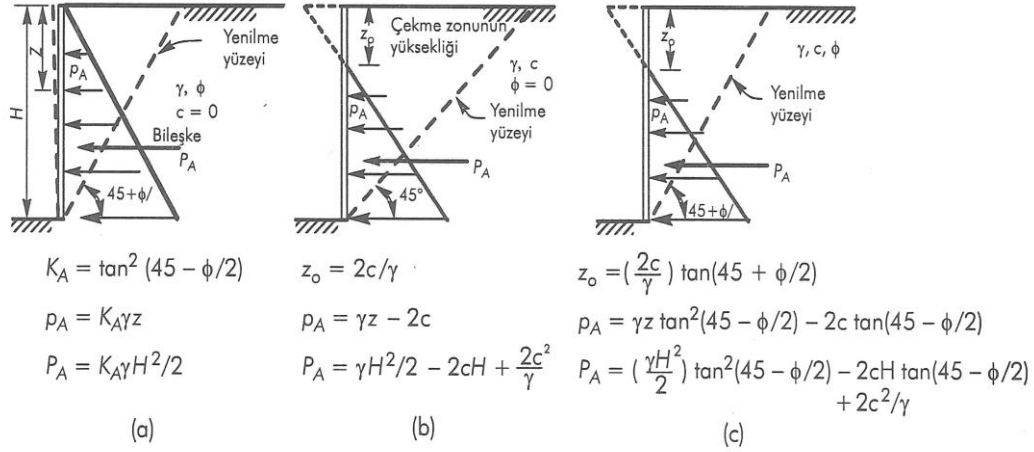
[ $\beta = 0$  olduğu zaman (3.3) eşitliği (3.2) eşitliğine eşdeğerdir]. (3.1) eşitliğiyle işaret edildiği gibi, duvarın arkasındaki basınç dağılımı, arka dolgu zemin dayanımının sürtünme ve kohezyon bileşenlerinin göreceli büyüklüklerine bağlıdır (Şekil 3.3). Kohezyonun varlığı duvarın üst kesimi ile arka dolgu arasında çekme gerilmelerinin gelişeceğini işaret etse de, çekme gerilmeleri arazideki gerçek şartlarda gelişmemektedir. Kohezyonlu zeminlerin krip, gerilme rahatlaması ve düşük permeabilite özellikleri, bunların istinat yapılarında dolgu malzemesi olarak kullanılmasını elverişsiz yapar ve mümkün olduğunda bu tür malzemelerin kullanımından kaçınılır. Kuru, homojen, kohezyonsuz dolgularda Rankine teorisi arka dolgu yüzeyine paralel yönelimli üçgen bir basınç dağılımı verir. Aktif zemin basınç bileşkesi  $P_A$  'nın etkidiği nokta, yüksekliği  $H$  olan duvarın tabanından  $H/3$ kadar yukarıdadır (Şekil 3.3a) ve büyüklüğü de aşağıdaki bağıntıda verildiği gibidir:

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2 \quad (3.4)$$



Maksimum pasif şartlarda Rankine teorisi duvar basınçlarını aşağıdaki şekilde ifade eder:

$$P_p = K_p \sigma'_v + 2c\sqrt{K_p} \quad (3.5)$$



Şekil 3.3 Arka dolgularda sürtünme ve kohezyonlu dayanımın değişik kombinasyonlarında minimum Rankine aktif zemin basınç dağılımları: (a) sürtünme direnci, kohezyon sıfır; (b) kohezyonlu zemin, sürtünme direnci sıfır; (c) sürtünme ve kohezyon direnci bir arada [12].

Burada,  $K_p$ : maksimum pasif zemin basınç katsayısıdır. Yatay arka dolguları tutan düz yüzeyli düşey duvarlarda,

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (3.6)$$

ve yatayla  $\beta$  açısı yapan arka dolgular için,

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (3.7)$$

şeklindedir. Değişik arka dolgu dayanım karakteristiklerine ait pasif basınç dağılımları Şekil 3.4'te görülmektedir. Kuru, homojen arka dolgu için Rankine teorisi arka dolgu yüzeyine paralel yönelimli üçgen bir pasif basınç dağılımı verir. Pasif zemin basınç bileşkesi veya pasif itki  $P_p$ 'nin etki ettiği nokta, yüksekliği  $H$  olan duvarın tabanından  $H/3$  kadar yukarıdadır (Şekil 3.4a) ve büyüklüğü de aşağıdaki bağıntıda verildiği gibidir:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (3.8)$$

İstinat duvarının arkasındaki dolguda suyun varlığı efektif gerilmeleri ve dolayısıyla da duvar üzerine etkiyen yanal zemin basıncını etkiler. Sudan kaynaklanan hidrostatik basınç, duvar tasarımında yanal zemin basıncına eklenmelidir. Doymun bir arka dolguyu tutan bir duvar üzerindeki toplam yatay itki kuru duvarı tutan duvar üzerindeki kıyasla önemli ölçüde büyük olduğundan, arka dolgunun drenajının sağlanması istinat duvarı tasarımının önemli bir bölümüdür.

### 3.3.2. Coulomb Teorisi

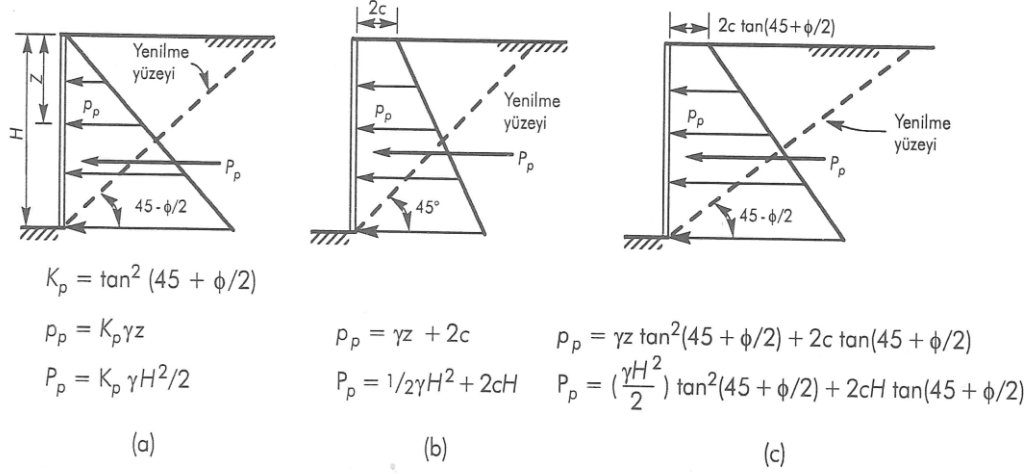
İstinat yapıları üzerindeki yatay zemin basıncı problemini ilk çalışan Coulomb (1776)'dur. Bir istinat duvarının arkasına etkiyen kuvvetin düzlemsel bir göçme yüzeyi üzerindeki zemin kamasının ağırlığından ileri geldiğini varsayan Coulomb, minimum aktif ve maksimum pasif şartların her ikisinde de duvara etkiyen zemin itkisinin büyüklüğünü belirlemede kuvvet dengesini kullanmıştır. Problemin tanımsız olmasından dolayı, kritik kayma yüzeyini (yani, en büyük aktif itkiyi veya en küçük pasif itkiyi veren yüzeyi) tespit etmek için çok sayıda potansiyel göçme yüzeyi analiz edilmelidir [9].

Minimum aktif zemin basıncı şartlarında, geometrisi Şekil 3.5a'da verilen bir duvar üzerindeki aktif itki kuvvet dengesinden (Şekil 3.5b) elde edilir. Kritik göçme yüzeyi için bir istinat duvarı üzerine etkiyen aktif itki,

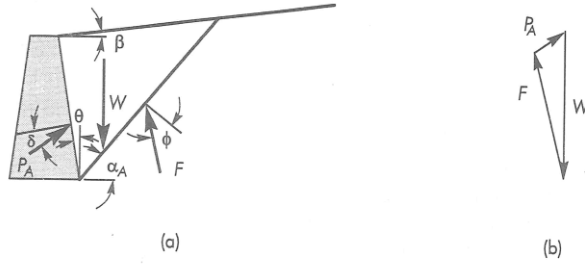
$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2 \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \theta) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2} \quad (3.10)$$



Şekil 3.4 Arka dolgularda sürtünme ve kohezyonlu dayanımın değişik kombinasyonlarında minimum Rankine pasif zemin basınç dağılımları: (a) sürtünme direnci, kohezyon sıfır; (b) kohezyonlu zemin, sürtünme direnci sıfır; (c) sürtünme ve kohezyon direnci bir arada [12].



Şekil 3.5 (a) Düzlemsel arka dolgu yüzeyi, göçme yüzeyi ve duvar ile sınırlanmış üçgen aktif kama; (b) aktif Coulomb kaması için kuvvet poligonu [13].

Kritik göçme yüzeyi  $P_A$ 'ya en büyük değeri veren yüzeydir.  $\delta$  duvar ile zemin arayüzeyinin sürtünme açısı (Tablo 3.1) ve  $\beta$  ile  $\theta$  da Şekil 3.5a'da gösterildiği gibidir. Kritik göçme yüzeyinin yatayla yaptığı açı,

$$\alpha_A = \phi + \tan^{-1} \left[ \frac{\tan(\phi - \beta) + C_1}{C_2} \right] \quad (3.11)$$

olup, bağıntıdaki  $C_1$  ile  $C_2$ 'nin açılımı aşağıdaki gibidir:

$$C_1 = \sqrt{\tan(\phi - \beta) [\tan(\phi - \beta) + \cot(\phi - \theta)] [1 + \tan(\delta + \theta) \cot(\phi - \theta)]}$$

$$C_2 = 1 + \{ \tan(\delta + \theta) [\tan(\phi - \beta) + \cot(\phi - \theta)] \}$$

Tablo 3.1 Arayüzey sürtünme açısının tipik değerleri [13].

	Arayüz Malzemeleri	Arayüzey Sürtünme Açısı
<b>Masif beton ile</b>	temiz, sağlam kaya	25
	temiz çakıl; çakıl-kum karışımları; iri kum	29-31
	temiz, ince-orta kum; siltli orta-iri kum; siltli veya killi çakıl	24-29
	temiz, ince kum; sitli veya killi ince-orta kum	19-24
	ince kumlu silt; plastik olmayan silt	17-19
	orta sert ve sert kil; siltli kil	17-19
<b>Kalıp beton ile:</b>	temiz çakıl; çakıl-kum karışımı; iyi derecelenmiş kaya dolgu	22-26
	temiz kum; siltli kum-çakıl karışımı; tek boyuttan oluşan sert kaya dolgu	17-22
	siltli kum; çakıl; silt veya kil ile karışık kum	17
	ince kumlu silt; plastik olmayan silt	14
<b>Çelik palplanj ile:</b>	temiz çakıl; çakıl-kum karışımı; iyi derecelenmiş kaya dolgu	22
	temiz kum; siltli kum çakıl karışımı; tek boyuttan oluşan sert kaya dolgu	17
	siltli kum; çakıl; silt veya kil ile karışık kum	14
	ince kumlu silt; <u>plastik olmayan silt</u>	11

Coulomb teorisi aktif basıncın dağılımını doğrudan hesaplamamaktadır. Fakat, yüzey yükü içermeyen doğrusal arka dolgu yüzeylerinde üçgen şeklinde olduğu gösterilebilir. Böyle durumlarda  $P_A$ 'nın etkideği nokta, yüksekliği  $H$  olan duvarın tabanından  $H/3$ kadar yukarıdadır.

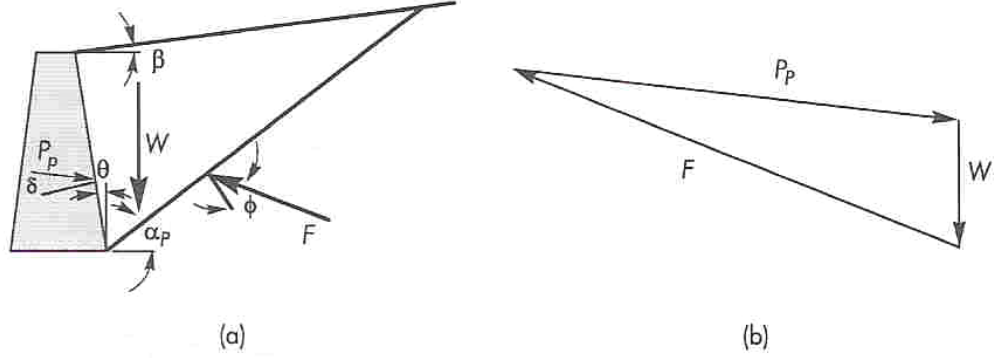
Coulomb teorisine göre, kohezyonsuz arka dolgularda maksimum pasif şartlar için (Şekil 3.6) pasif itki :

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (3.12)$$

bağıntısından bulunur.

Burada,

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta - \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\delta - \theta) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2} \quad (3.13)$$



Şekil 3.6 (a) Düzlemsel arka dolgu yüzeyi, göçme yüzeyi ve duvar ile sınırlanmış üçgen pasif kama; (b) aktif Coulomb kaması için kuvvet poligonu. Kritik göçme yüzeyi  $P_p$ 'ye en büyük değeri veren yüzeydir.

Maksimum pasif zemin basıncı şartlarında kritik göçme yüzeyinin yatayla yaptığı açı,

$$\alpha_p = -\phi + \tan^{-1} \left[ \frac{\tan(\phi + \beta) + C_3}{C_4} \right] \quad (3.14)$$

olup, bağıntıdaki  $C_3$  ile  $C_4$ 'ün açılımı aşağıdaki gibidir:

$$C_3 = \sqrt{\tan(\phi + \beta) [\tan(\phi + \beta) + \cot(\phi + \theta)] [1 + \tan(\delta - \theta) \cot(\phi + \theta)]}$$

$$C_4 = 1 + \{ \tan(\delta - \theta) [\tan(\phi + \beta) + \cot(\phi + \theta)] \}$$

Rankine teorisinden farklı olarak, Coulomb teorisi ile düzensiz eğimli arka dolgu durumunda; arka dolgu yüzeyi üzerinde nokta yükler bulunması durumunda ve sızma kuvvetlerinin olduğu durumlarda duvar üzerine gelen zemin itkilerini kestirebilmek mümkündür. Potansiyel göçme düzlemi üzerindeki zemini serbest bir cisim olarak göz önüne almak ve nokta yüklerden, sınır su basınçlarından vb.

kaynaklardan gelen kuvvetleri de hesaplamaya dahil etmek suretiyle, bileşke itkinin büyüklüğü ( $P_A$  veya  $P_p$ ) kolaylıkla hesaplanabilir.

### 3.4. İstinat Duvarlarının Dinamik Tepkisi

En basit türdeki bir istinat duvarının bile dinamik tepkisi oldukça karmaşıktır. Duvar basınçları ve hareketleri; duvarın altındaki zeminin tepkisine, arka dolgunun tepkisine, duvarın kendisinin ataletsel ve eğilme tepkisine ve girdi hareketlerin özelliklerine bağlıdır. Duvar tepkisinin arazide ölçülmesine dair çok sayıda örnek bulunmadığından, istinat duvarlarının dinamik davranışını anlama konusundaki bilgilerin çoğu model deneylerinden ve sayısal analizlerden sağlanmıştır. Büyük çoğunluğu ağırlık duvarlarını ilgilendiren bu deney ve analizlerden aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

1. Duvarlar kayma ve/veya dönme şeklinde hareket edebilir. Kayma ve dönmenin göreceli miktarı duvarın tasarımına bağlıdır. Bazı duvarlarda bunlardan biri veya diğeri egemen hareket şekli iken bazı duvarlarda ikisi birden gelişebilir [17].
2. Dinamik duvar basınçlarının büyüklüğü duvar hareketinin türünden (örnek; kayma, taban etrafında dönme, veya tepe etrafında dönme gibi) etkilenir.
3. Bir duvar üzerine etkiyen maksimum zemin itkisi, duvar arka dolguya doğru kaydığı veya döndüğü zaman (yani, duvar üzerindeki atalet kuvveti arka dolguya doğru yöneldiği zaman) gelişir. Minimum zemin itkisi de duvar arka dolgudan uzaklaşırken oluşur.
4. Duvarın arkasındaki zemin basıncı dağılımının şekli, duvar hareket ederken değişir. Bu nedenle, zemin itkisinin uygulanma noktası da duvarın arka yüzeyi boyunca yukarı ve aşağı kayar. Duvar arka dolguya doğru hareket ettiğinde, zemin itkisinin konumu en yüksektedir ve dışarı doğru hareket ettiğinde ise en alçaktadır [7].
5. Dinamik duvar basınçları duvarın ve arka dolgunun dinamik tepkisinden etkilenir ve duvar arka dolgu sisteminin doğal frekansı civarında önemli derecede artabilir. Duvar-arka dolgu sisteminin doğal frekansı civarında kalıcı deformasyonlar da artar. Dinamik tepki etkileri duvarın farklı

kesimlerinin faz dışına sapmasına da neden olur. Bu etki özellikle arka dolgu zeminlerinin temel zemini ile birlikte faz dışına çıktığı zaman temel zemine nüfuz eden duvarlarda önemli olabilir [7].

6. Kuvvetli sarsıntı sona erdiğinde duvar üzerindeki rezidüel basınçlar artmış olarak kalır [17].

Bu karmaşık ve birbiriyle etkileşen olaylardan ve zemin özelliklerindeki karakteristik değişimler şeklindeki belirsizliklerden dolayı, istinat duvarlarının sismik tepkisini her yönüyle doğru bir şekilde analiz etmek şu anda mümkün gözükmemektedir. Sonuç olarak, istinat duvarlarının sismik tasarımında en çok tercih edilen yöntemler zemin, yapı ve girdi hareket konusunda değişik varsayımlarda bulunan basitleştirilmiş modellerdir. Tezde yer alan istinat duvarlarından geosentetik donatılı istinat duvarının sismik tasarımında kullanılan “Mononobe-Okabe Yöntemi” ayrıntılı olarak ilerleyen bölümde verilmiştir. Betonarme konsol duvarın sismik tasarımında TS 500’de yer alan depremler durumu hesaplarından faydalanılmıştır.

### **3.5. İstinat Duvarları Üzerindeki Sismik Basınçlar**

İstinat duvarlarının sismik tasarımında kullanılan yaygın bir yaklaşımda önce deprem sarsıntısıyla ortaya çıkan yükler hesaplanmakta ve sonra da duvarın bu yüklere karşı koyabilmesi güvence altına alınmaktadır. Depremler sırasında istinat duvarları üzerindeki gerçek yük son derece karmaşık olduğundan, istinat duvarları üzerindeki sismik basınçlar genellikle basitleştirilmiş yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Geosentetik donatılı istinat duvarları esneyen duvarlar kategorisinde değerlendirilmiştir.

#### **3.5.1. Esneyen Duvarlar**

Minimum aktif ve/veya maksimum pasif zemin basınçları geliştirecek kadar hareket edebilen istinat duvarlarına esneyen duvarlar denir. Esneyen duvarlar üzerine etkiyen aktif basınçlar genellikle sismik şev stabilite analizi için tanımlanan çoğu özelliği paylaşan psödo-statik yöntemlerle hesaplanmaktadır [9].

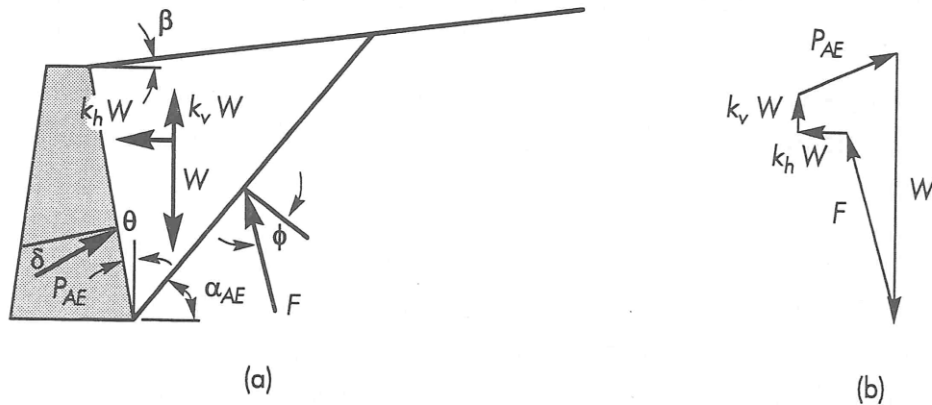
##### **3.5.1.1. Mononobe-Okabe Yöntemi**

Mononobe-Okabe (M-O) yöntemi olarak bilinen ve istinat yapıları üzerindeki sismik zemin basınçlarının psödo-statik analizini yapan popüler yöntemin temelleri Okabe

(1926) ile Mononobe ve Matsuo (1929) tarafından atılmıştır. M-O yöntemi, psödo-statik şartlardaki statik Coulomb teorisinin genişletilmiş bir şeklidir. M-O analizinde Coulomb aktif (veya pasif) kamasına psödo-statik ivmeler uygulanır. Sonra da, kamanın kuvvet dengesinden psödo-statik zemin itkisi elde edilir.

**Aktif Zemin Basıncı Şartları:** Kuru, kohezyonsuz bir arka dolgudaki bir aktif kama üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 3.7a'da gösterilmiştir. Statik şartlardaki kuvvetlere (Şekil 3.5) ek olarak, kama üzerinde ve büyüklükleri de kamanın kütlesi ile  $a_h = k_h g$  ve  $a_v = k_v g$  psödo-statik ivmeleri arasındaki ilişkiye dayalı yatay ve düşey psödo-statik kuvvetler söz konusudur. Toplam aktif itki, statik şartlar için geliştirilene benzer tarzda ifade edilebilir:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma H^2 (1 - k_v) \quad (3.15)$$



Şekil 3.7 (a) Mononobe-Okabe analizinde aktif kama üzerine etkiyen kuvvetler; (b) aktif kama üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesini gösteren kuvvet poligonu [13].

Bağıntıdaki dinamik aktif zemin basıncı  $K_{AE}$  'nin açılımı aşağıdaki gibidir:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \lambda)}{\cos \lambda \cos^2 \theta \cos(\delta + \theta + \lambda) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta - \lambda)}{\cos(\delta + \theta + \lambda) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2} \quad (3.16)$$

Burada,  $\phi - \beta \geq \lambda / 2$  ve  $\lambda = \tan^{-1}[k_h / (1 - k_v)]$  'dir. Statik şartlardaki kritik göçme düzleminin daha düz olan buradaki kritik göçme düzleminin yatay la yaptığı açı aşağıdaki gibidir [17]:



$$\alpha_{AE} = \phi - \lambda + \tan^{-1} \left[ \frac{-\tan(\phi - \lambda - \beta) + C_{1E}}{C_{2E}} \right] \quad (3.17)$$

Burada,

$$C_{1E} = \sqrt{\tan(\phi - \lambda - \beta) [\tan(\phi - \lambda - \beta) + \cot(\phi - \lambda - \theta)] [1 + \tan(\delta - \lambda + \theta) \cot(\phi - \lambda - \theta)]}$$

$$C_{2E} = 1 + \{\tan(\delta + \lambda + \theta) [\tan(\phi - \lambda - \beta) + \cot(\phi - \lambda - \theta)]\}$$

M-O analizi, toplam aktif itkinin etkidiği noktanın  $H$  yüksekliğindeki duvarın tabanından  $H/3$  kadar yukarıda olduğunu dolaylı olarak işaret etse de, deneysel bulgular bu kuvvetin etkidiği noktanın dinamik yükleme şartlarında daha yüksekte olduğunu göstermektedir. Toplam aktif itki  $P_{AE}$  [(3.15) eşitliği] statik bileşen  $P_A$  [(3.9) eşitliği] ve dinamik bileşen  $\Delta P_{AE}$  olarak iki kısma ayrılabilir:

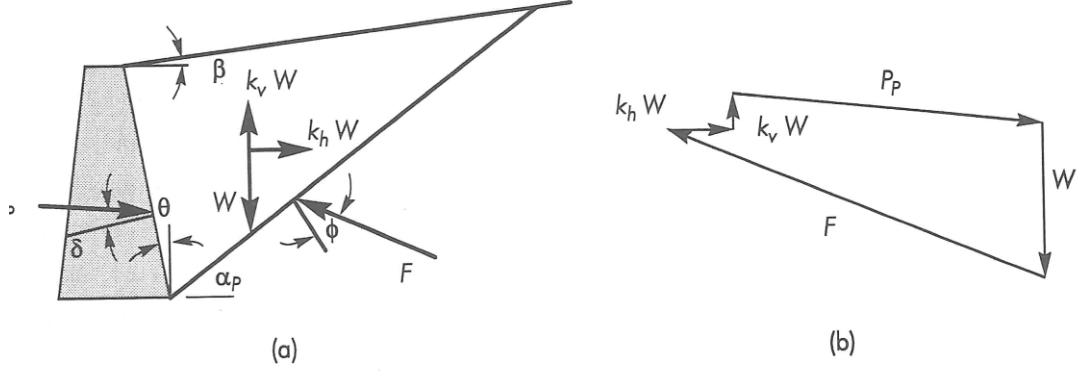
$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{AE} \quad (3.18)$$

Statik bileşenin duvar tabanından  $H/3$  kadar yukarısında etkidiği bilinmektedir. Seed ve Whitman (1970) dinamik bileşenin etkidiği nokta olarak yaklaşık  $0,6H$  yüksekliğini önermiştir [17]. Buna göre aktif itkinin etkidiği noktanın duvar tabanından yüksekliği,

$$h = \frac{P_A H / 3 + \Delta P_{AE} (0,6H)}{P_{AE}} \quad (3.19)$$

olacaktır.  $h$ 'ın değeri  $P_A$  ve  $P_{AE}$  nin göreceli büyüklüklerine bağlıdır. Çoğunlukla duvar yüksekliğinin orta seviyesine yakın bir noktaya kadar çıkmaktadır. M-O analizleri;  $k_v$  değerinin  $k_h$ ın yarısı ile üçte ikisi arasında olduğu zaman,  $P_{AE}$  yi % 10'dan daha az oranda etkilediğini göstermektedir. Tipik duvar tasarımlarında  $P_{AE}$  'yi hesaplamak için M-O yöntemi kullanıldığı zaman düşey ivmelerin ihmal edilebileceği sonucuna varmıştır [17].

**Pasif Zemin Basınç Katsayıları:** Kuru, kohezyonsuz bir arka dolguyu tutan bir duvar üzerindeki toplam pasif itki (Şekil 3.8) aşağıdaki gibi ifade edilir:



Şekil 3.8 (a) Mononobe-Okabe analizinde pasif kama üzerine etkiyen kuvvetleri (b) pasif kama üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesini gösteren kuvvet poligonu [13].

$$P_{PE} = \frac{1}{2} K_{PE} \gamma H^2 (1 - k_v) \quad (3.20)$$

Buradaki dinamik pasif zemin basınç katsayısı  $K_{PE}$  aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi + \theta - \lambda)}{\cos \lambda \cos^2 \theta \cos(\delta - \theta + \lambda) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + \beta - \lambda)}{\cos(\delta - \theta + \lambda) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2} \quad (3.21)$$

M-O pasif şartlarındaki kritik göçme yüzeyinin yatayla yaptığı açı,

$$\alpha_{PE} = \lambda - \phi + \tan^{-1} \left[ \frac{\tan(\phi - \lambda + \beta) + C_{3E}}{C_{3E}} \right] \quad (3.22)$$

olup; burada,

$$C_{3E} = \sqrt{\tan(\phi + \beta - \lambda) [\tan(\phi + \beta - \lambda) + \cot(\phi + \theta - \lambda)] [1 + \tan(\delta + \lambda - \theta) \cot(\phi + \theta - \lambda)]}$$

$$C_{4E} = 1 + \{ \tan(\delta + \lambda - \theta) [\tan(\phi + \beta - \lambda) + \cot(\phi + \theta - \lambda)] \}$$

Toplam pasif itki de statik ve dinamik bileşenlere ayrılabilir.

$$P_{PE} = P_P + \Delta P_{PE} \quad (3.23)$$

Buradaki  $P_{PE}$  ve  $P_P$  sırayla (3.20) ve (3.12) eşitliklerinden hesaplanır. Dinamik bileşenlerin statik bileşenlerin tersi yönde etkidiğine ve bu şekilde mevcut pasif

direnci azalttığına dikkat ediniz [9].

Kavramsal olarak oldukça basit olsa da, M-O analizi istinat duvarlarına etkiyen deprem kaynaklı yükleri hesaplamada büyük kolaylık sağlamaktadır. Pozitif bir yatay ivme katsayısı, toplam aktif itkinin statik aktif itkiyi aşmasına ve toplam pasif itkinin de statik pasif itkiden küçük olmasına neden olur. Belirli bir duvarın stabilitesi genellikle aktif itkideki bir artıştan ve/veya pasif itkideki düşüşten dolayı azaldığından, M-O yöntemi depremden önce etkin olan statik yüklerden daha kritik olan sismik yükler verir. Yayılı ve nokta şeklindeki yüzey yüklerinin ve düzensiz arka dolgu yüzeyinin etkileri, aktif veya pasif kamanın serbest cisim diyagramını değiştirmek suretiyle kolaylıkla hesaba katılabilir. Böyle durumlarda (3.16) ve (3.21) eşitlikleri geçerli değildir. Toplam itkiler çok sayıdaki potansiyel göçme düzlemlerinin analizinden elde edilmelidir.

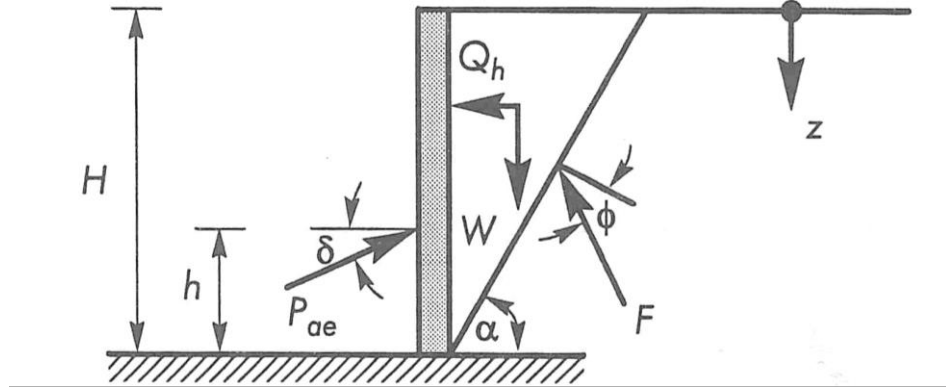
Psödo-statik şev stabilite analizi durumlarında olduğu gibi, uygun bir psödo-statik katsayının belirlenmesi zordur ve bu analiz depremler sırasında önemli ölçüde dayanım kaybına uğrayan zeminler (örnek, sıvılaştırılabilir zeminler) için elverişli değildir. Statik şartlarda Coulomb teorisinde olduğu gibi, M-O analizi özellikle  $\delta > \phi/2$  durumunda gerçek toplam pasif itkiyi olduğundan küçük vermektedir. Bu nedenlerden dolayı, M-O yöntemi dikkatlice kullanılmalı ve yorumlanmalıdır.

### 3.5.1.2. Steedman-Zeng Yöntemi

Bir psödo-statik analiz yöntemi olarak M-O yöntemi deprem yükünün dinamik karakterini çok uygun bir şekilde hesaba katmaktadır. Ancak, belirli dinamik tepki özelliklerini nispeten daha basit bir şekilde hesaba katmak da mümkündür. Bir istinat duvarı arkasındaki dolguda faz farkı ve büyütme etkileri, sismik zemin basınçlarının basit psödo-statik analizi kullanılarak hesaba katılabilir [17].

Şekil 3.9'da gösterilen sabit tabanlı konsol duvarı göz önüne alınır. Tabanın, genliği  $a_h$  olan bir harmonik yatay ivmeye maruz kalması halinde, duvarın tepesinden  $z$  derinliğindeki ivme aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$a(z,t) = a_h \sin \left[ \omega \left( t - \frac{H-z}{v_s} \right) \right] \quad (3.24)$$



Şekil 3.9 Steedman-Zeng yöntemi için duvar geometrisi ve notasyon [14].

Sismik duvar basınçlarının yatayla  $\alpha$  açısı yapan üçgen kama içindeki zeminden kaynaklandığı varsayılırsa,  $z$  derinliğinde katmanının ince elemanının kütlesi,

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} \left( \frac{H-z}{\tan \alpha} dz \right) \quad (3.25)$$

olur. Burada  $\gamma$ , arka dolgunun birim ağırlığıdır. Buradan, duvar üzerine etkileyen toplam atalet kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Q_h(t) = \int_0^H m(z) a(z,t) dz = \frac{\lambda \gamma a_h}{4\pi^2 g \tan \alpha} [2\pi H \cos \omega \zeta + \lambda (\sin \omega \zeta - \sin \omega t)] \quad (3.26)$$

Burada,  $\lambda = 2\pi / v_s \omega$ : düşey olarak yayılan kesme dalgasının dalga boyu ve  $\zeta = t - H / v_s$ 'dir. Rijit bir kama şeklindeki özel durum için limit,

$$\lim_{v_s \rightarrow \infty} (Q_h)_{\max} = \frac{\gamma H^2 a_h}{2g \tan \alpha} = \frac{a_h}{g} W = k_h W \quad (3.27)$$

Burada elde edilen sonuç M-O yönteminde varsayılan psödo-statik kuvvete eşdeğerdir. Toplam (statik ve dinamik) zemin itkisi, kama üzerindeki kuvvetleri bileşenlerine ayırmak suretiyle elde edilebilir:

$$P_{AE} = \frac{Q_h(t) \cos(\alpha - \phi) + W \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \quad (3.28)$$

Toplam zemin etkisinin türevi alınarak da toplam zemin basıncı dağılımı bulunur:

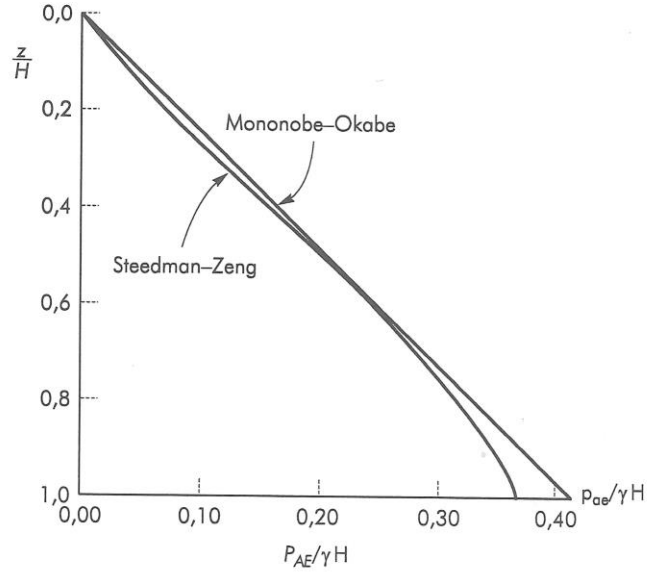
$$P_{AE} = \frac{\partial P_{AE}(t)}{\partial z} = \frac{\gamma z}{\tan \alpha} \frac{\sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} + \frac{k_h \gamma z}{\tan \alpha} \frac{\cos(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \sin \left[ \omega \left( t - \frac{z}{v_s} \right) \right] \quad (3.29)$$

(3-29) eşitliğinde derinlikle birlikte doğrusal olarak artan ve zamanla değişmeyen ilk terim, duvar üzerine etkiyen statik zemin basıncını temsil eder. Bileşke statik itki, duvarın tabanından  $h_s = H/3$  kadar yukarıda bir noktada statik zemin basınç teorilerine uygun şekilde etkir. ikinci terim de dinamik zemin basıncını temsil eder.  $H/\lambda$  oranına bağlı bir şekil ile derinliğin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olarak artar. Doğrusal olmayan dinamik basıncın tipik bir örneği Şekil 3.10'da görülmektedir. Dinamik basınç derinlikle birlikte doğrusal olmayan şekilde arttığından, dinamik itkinin pozisyonu,

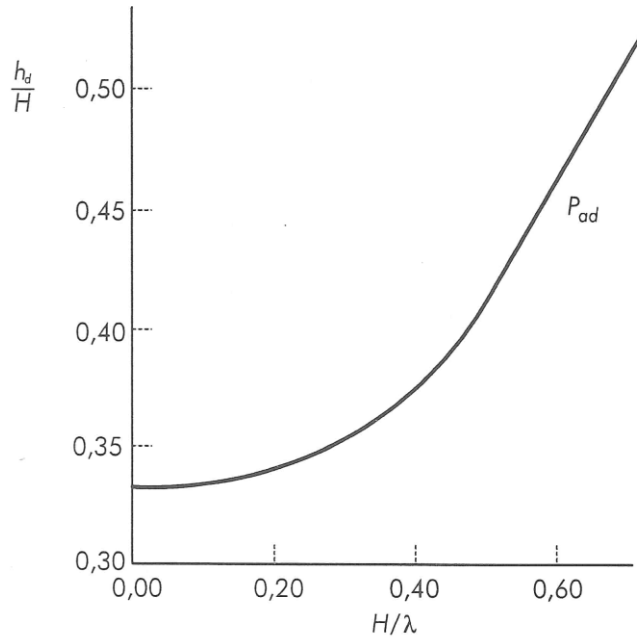
$$h_d = H - \frac{2\pi^2 H^2 \cos \omega \zeta + 2\pi \lambda H \sin \omega \zeta - \lambda^2 (\cos \omega \zeta - \cos \omega t)}{2\pi H \cos \omega \zeta + \pi \lambda (\sin \omega \zeta - \sin \omega t)} \quad (3.30)$$

bağıntısına göre değişir. Çok düşük frekanslı hareketler (arka dolgu fazda hareket edecek şekilde küçük  $H/\lambda$ ) için dinamik etkinin etki noktası  $h_d = H/3$ 'tedir. Yüksek frekanslı hareketlerde etki noktası Şekil 3.11'de işaret edildiği gibi daha yukarı hareket eder.

Steedman ve Zeng (1990) değişik rijitliklerdeki arka dolguların zemin itkilerinin, psödo-statik analizlerde arka dolgunun kesme dalgası hızlarının kullanıldığı zaman elde edilenlere yakın olduğunu bulmuştur.  $a_h$  [(3.24) eşitliğindeki sabit yerine] derinliğin bir fonksiyonu olarak ifade etmek ve (3.26) integral eşitliğini tekrarlamak suretiyle, arka dolgu büyütme etkileri hesaba katılabilir. Arka dolgu büyütmesinin duvar üzerine etkiyen yükleri ve bileşke zemin itkisinin yüksekliğini arttıracığına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.10  $k_h$  ve  $H/\lambda = 0.3$  kabul ederek, M-O ve Steedman-Zeng yöntemleri için normalize edilmiş basınç dağılımlarının karşılaştırılması (Steedman ve Zeng, 1990'dan) [17].



Şekil 3.11  $k_h = 0.2$  için maksimum dönme momenti anında dinamik itkinin yeri [17].

### 3.5.2. Esnemeyen Duvarlar

Kaya üzerine inşa edilmiş masif ağırlık duvarları veya tabanında ve tepesinde kuşaklanmış bodrum duvarları gibi bazı istinat yapıları, arka dolgunun kayma

dayanımını mobilize etmeye yetecek kadar hareket etmezler. Sonuçta, minimum aktif veya maksimum pasif zemin basınçlarının sınırlayıcı şartları geliştirilemez.

Wood (1973) rijit bir tabana tutturulmuş iki rijit duvar arasına hapsolmuş homojen, doğrusal elastik zeminin (Şekil 3.12) tepkisini incelemiştir. İki duvarın birbirinden uzak olduğu varsayılırsa, bir duvar üzerindeki basınçlar diğeri üzerindeki basınçtan kuvvetlice etkilenmeyecektir. Wood düşük frekanslı hareketlerde [yani, kuşatılmamış arka dolgunun esas frekansının yarısındaki hareketlerde  $f_o = v_s / 4H$  dinamik büyütmenin ihmal edilebilir olduğunu göstermiştir. çoğu pratik problemlerin içinde yer aldığı bu frekanslar aralığında, duvar basınçları zeminin tümüne uygulanan üniform, sabit yatay ivme örneğindeki elastik çözümden elde edilebilir. Wood (1973) düz, rijit duvarlar için dinamik itkiyi ve (duvarın tabanına göre) dinamik dönme momentini aşağıdaki gibi ifade etmiştir [18]:

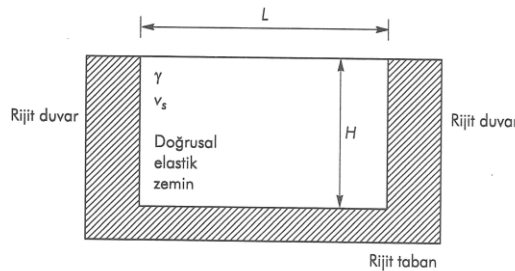
$$\Delta P_{eq} = \gamma H^2 \frac{a_h}{g} F_p \quad (3.31)$$

$$\Delta M_{eq} = \gamma H^3 \frac{a_h}{g} F_m \quad (3.32)$$

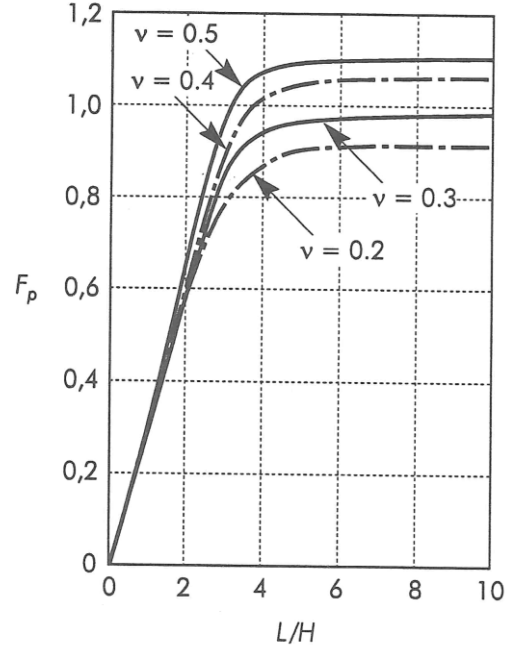
Burada,  $a_h$  harmonik taban ivmesinin genliği ve  $F_p$  ile  $F_m$  de sırayla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilen boyutsuz dinamik itki ve moment faktörleridir. Dinamik itkinin etki noktası duvarın tabanından,

$$h_{eq} = \frac{\Delta M_{eq}}{\Delta P_{eq}} \quad (3.33)$$

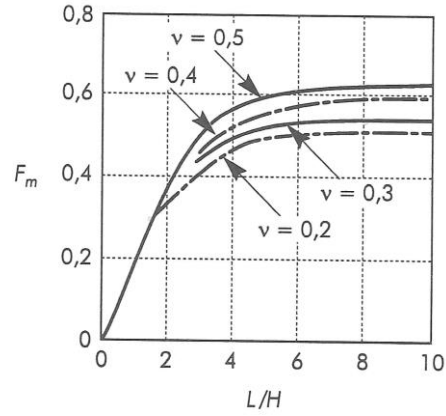
kadar yukarıda ve tipik olarak  $h_{eq} \approx 0,63H$ 'dir.



Şekil 3.12 Esnemeyen duvarlar üzerindeki basınçların analizi için duvar geometrisi ve notasyon [14].



Şekil 3.13 Değişik geometriler ve zeminin Poisson değerleri için boyutsuz itki faktörü [14].



Şekil 3.14 Değişik geometriler ve zeminin Poisson değerleri için boyutsuz moment faktörü [14].



## 4. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK TASARIMI

### 4.1. Bohçalama Yöntemi İçin Sismik Tasarım

Geotekstil ile yapılacak istinat duvarının yapım kolaylığı, çabukluğu ve en önemlisi dik olarak da yapılabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi geotekstiller belli yüksekliklerde dolgu malzemesinin bohçalanması ile istinat duvarı (veya dik dolgu şevi) stabil olarak yapılabilir. Şevin ekonomik veya mümkün olmadığı hallerde istinat duvarlarının yapımı zorunlu ise yol yapımında kullanılabilir. Ancak istinat duvarlarının maliyet, süre, kamulaştırma vb. nedenlerden dolayı ekonomik veya teknik olarak uygun olmadığı hallerde geosentetikler ile dik dolgu şevlerinin yapımı daha uygun olabilmektedir. Ayrıca geosentetikler ile yapılan dik dolgu şevlerinin fleksibilitesi nedeniyle klasik istinat duvarlarına nazaran daha ekonomik olabilmekte ve zayıf temel ve/veya şev durumunda ise teknik açıdan daha iyi bir çözüm sağlayabilmektedir. Özellikle düşük standartlı yollarda (köy yolları, orman yolları, vb.) daha ekonomik olduğundan , dolayı tercih edilebilmektedir.

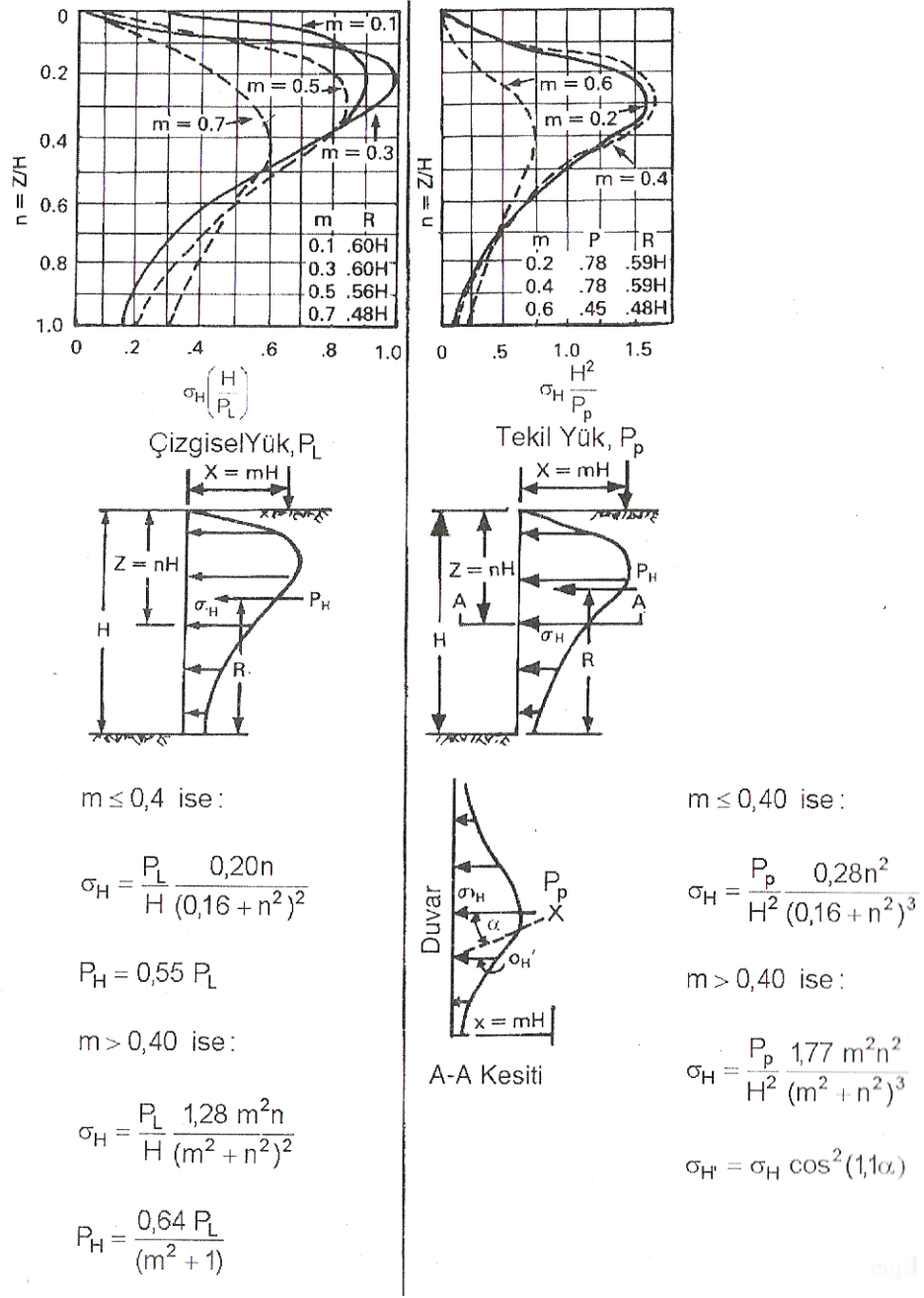
Geotekstil ile yapılan istinat duvarına etkiyen yatay basınç gerilmeleri:

- a) Dolgudan dolayı yatay basınç gerilmesi  $\sigma_d = K_a \gamma_d H$   
b) Sürşarjdan dolayı yatay basınç gerilmesi  $\sigma_q = K_a q = K_a (\gamma_q D)$   
c) Tekil yükten dolayı yatay basınç gerilmesi  $\sigma_p$

olarak göz önüne alınmalıdır.  $\sigma_d$  ve  $\sigma_q$  basınçları doğrudan hesaplanabilirken  $\sigma_p$  basıncı Şekil 4.1 ile hesaplanmalıdır. Toplam yatay basınç  $\sigma_h$ ,  $\sigma_h = \sigma_d + \sigma_q + \sigma_p$  olarak bulunur. Yatay kuvvetler ise

$$P_d = 0,5 K_a \gamma_d H^2 ,$$

$P_q = K_a q H$  olarak,  $P_p$  ise Şekil 4.1 ile hesaplanmalıdır. Geotekstil tabaka kalınlığı ( $S_v$ ) (4.1) ile hesaplanır [18].



Şekil 4.1 Dolgu üzerindeki yüklerden ötürü istinat duvarında oluşan gerilmeler

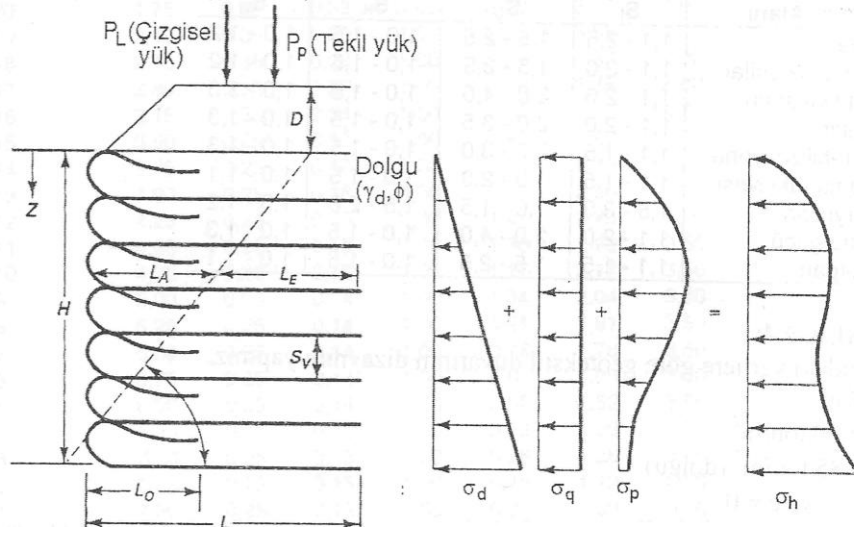
$$S_v = T_{müs} / \sigma_h F_s \quad (4.1)$$

Burada;

$T_{müs}$  : Geotekstilin müsaade edilir çekme mukavemeti ( $T_{müs} = T_{nih} / S_G$ )

$S_G$  : Geotekstilin global emniyet faktörü ( $S_G = S_I + S_C + S_K + S_B$ ), Tablo.4.1' den

$S_F$  : Emniyet faktörü (1,3 ~ 1,5)



Şekil. 4.2 Geotekstil Donatılı İstinat Duvarlarında Gerilmeler [18]

Kullanılacak geotekstil malzemenin uzunluğu ( $L$ ) formül (4.2) ile bulunur

$$L = L_A + L_E = (H - z) \tan(45 - \phi / 2) + \frac{S_v \sigma_h S_F}{2(c + \gamma z \tan \delta)} \quad (4.2)$$

Burada;

$L_A$  : Ankraj bölgesi dışındaki geosentetik malzemenin uzunluğu

$L_E$  : Ankraj bölgesindeki geosentetik malzemenin uzunluğu (minimum 1m)

$c$  : Dolgunun kohezyonu (granüler malzeme kullanıldığında  $c = 0$ )

$\gamma$  : Dolgunun yoğunluğu

$\delta$  : Dolgu ile geotekstil arasındaki kayma direnci açısı ( $\tan \delta \approx 2/3 \tan \phi$ )

Bohçalama uzunluğu ( $L_0$ ) minimum 1m olmak üzere formül (4.3) ile bulunur.

$$L_0 = \frac{S_v \sigma_h F_s}{4(c + \gamma z \tan \delta)} = \frac{T_{\max} F_s}{\gamma S_v \tan \delta} \quad (4.3)$$

Tabaka kalınlığı ( $S_v$ ) formül (4.4) ile hesaplanabilir:

$$S_v = \frac{T_{\max}}{0,65 K_a (1,5 q_s + \gamma H)} \quad (4.4)$$

Burada;

$T_{\max}$  : Geotekstilde oluşan çekme kuvveti

$q_s$  : Sürşarj

$\gamma$  : Dolgu yoğunluğu

$H$  : Duvar yüksekliği

Geotekstil donatılı istinat duvarının iç stabilite tahkiklerinden sonra devrilme kayma ve taban göçmesi gibi dış stabilite tahkikleri klasik istinat duvarlarında olduğu gibi yapılmalıdır.

Tablo 4.1 Geotekstil Emniyet Faktörleri [10]

Kullanım Alanı	$S_I$	$S_C$	$S_K$	$S_B$
Ayırma	1,1-2,5	1,5-2,5	1,0-1,5	1,0-1,2
Kaplamasız yollar	1,1-2,0	1,5-2,5	1,0-1,5	1,0-1,2
İstinat Duvarları	1,1-2,0	2,0-4,0	1,0-1,5	1,0-1,3
Dolgular	1,1-2,0	2,0-3,5	1,0-1,5	1,0-1,3
Şev stabilizasyonu	1,1-1,5	2,0-3,0	1,0-1,5	1,0-1,3
Kaplama takviyesi	1,1-1,5	1,0-2,0	1,0-1,5	1,0-1,1
Demiryolları	1,5-3,0	1,0-1,5	1,5-2,0	1,0-1,2
Taşıma gücü	1,1-2,0	2,0-4,0	1,0-1,5	1,0-1,3
Silt Kapanı	1,1-1,5	1,5-2,5	1,0-1,5	1,0-1,1

#### 4.2. Üniter Beton Blok Elemanlarla Teşkil Edilen Kaplama Duvarı İçin Sismik Tasarım

Sismik ve statik yükleme koşulları altındaki geosentetik donatılı istinat duvarı sistemlerinin stabilite analizleri bohçalama metodunda iç ve dış, kaplama duvarı metodunda ek olarak dış yüzeyde oluşturulan kaplama duvarı göçme durumlarına karşı ayrıca güvenlik faktörü hesaplarını da içermektedir. (Şekil 4.3)

Dış stabilite hesapları, donatılı zemini ve kaplama duvarını monolitik ağırlık duvarı yapıları olarak kabul eder. Taban kayması, topuk etrafında devrilmesi ve taşıma gücü

kaybına karşı güvenlik faktörünün değerlendirmesi, geleneksel betonarme ağırlık duvarı yapılarına benzerdir.

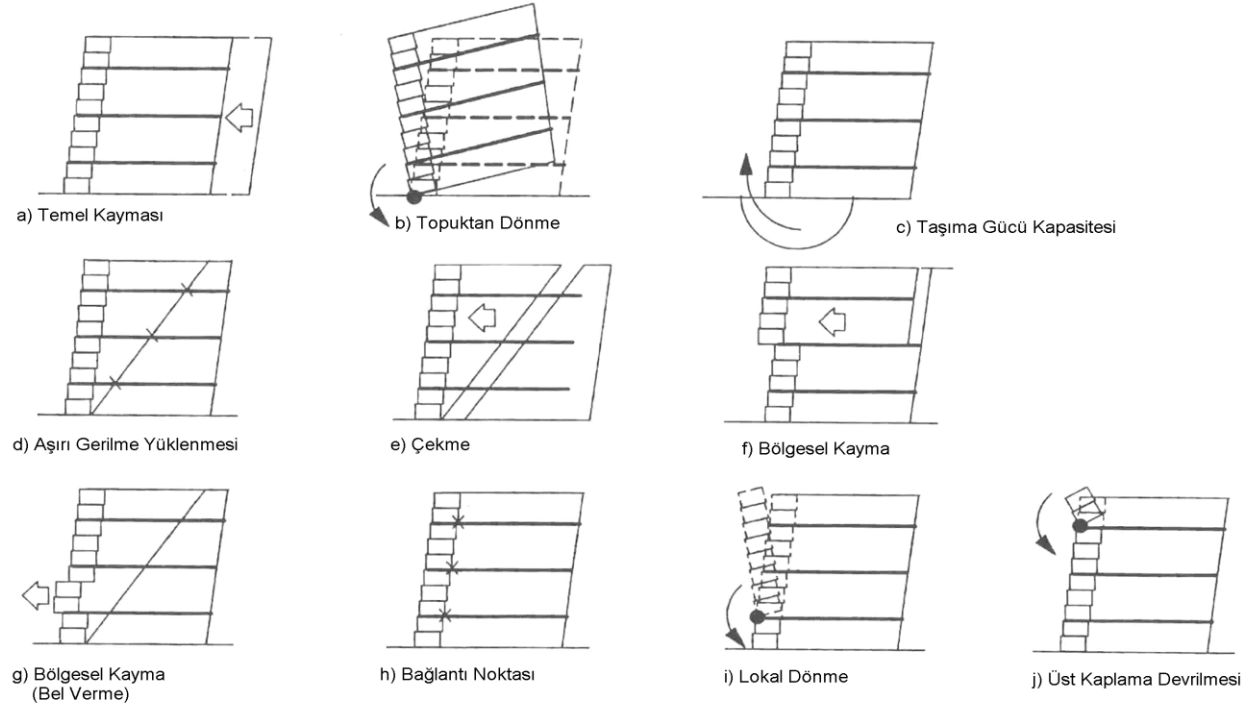
Geosentetik donatılı zemin duvarların iç stabilite analizleri, donatı uygulanmış zemin bölgesinin yapısal güvenilirliğinin; donatı uygulanmış bölgedeki donatının aşırı gerilmesine, ankraj bölgesindeki geosentetik donatı tabakasının yerinden çıkmasına ve donatı tabakasının boyunca içsel kaymasına karşı korunması için yapılmaktadır.

Kaplama stabilite analizleri kaplama duvarının duvarın topuk bölgesi üstündeki tüm kotlarda, tüm kaplama ünitelerinin ve donatı tabakaları arası birleşimlerinin aşırı gerilmelere sahip olmadığı göz önünde alındığında stabil olduğunun sağlanması için yapılmaktadır [15].

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının statik ve sismik tasarımı için gerekli minimum güvenlik katsayıları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Genelde, AASHTO/FHWA’nın uyguladığı örneklerde sismik tasarım için tavsiye edilen minimum güvenlik katsayısının statik yükleme yapılmış binalar için kullanılması tavsiye edilen güvenlik katsayısının %75’i olarak alındığı görülmüştür.

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının basınç gerilmeleri, sıvılaşma ve temel zemininin sıkışmasından dolayı oluşan potansiyel oturmalarından bu kitapta bahsedilmemiştir. Ayrı olarak yapılan temelden kaynaklı deformasyon hesapları tasarımcı tarafından talep edilebilir. Ayrıca, kaplama duvarını tabanının altında ve ötesindeki zeminin hacmi kapsayan zemin stabilitesi de bu kitapta yer bulmamıştır. Şev stabilitesi için yazılan bazı bilgisayar programlarında, donatı tabakalarının stabilizasyon etkisi ve sismik kaynaklı yer ivmelerinin destabilizasyon etkileri birlikte göz önüne alınmaktadır [16].



Şekil 4.3 Geosentetik Donatılı İstinat duvarlarında (a, b, c) Dış, (d, e, f) İç ve (g, h, i, j) Kaplama Duvarı Göçme Durumları [16]

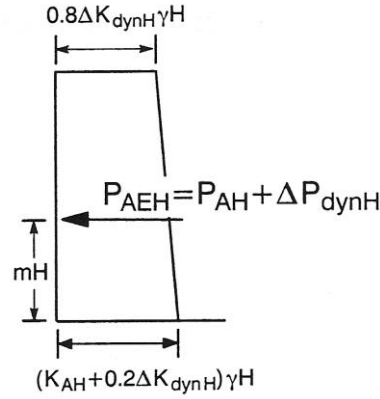
Tablo 4.2 Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Tasarımında Tavsiye Edilen Minimum Güvenlik Katsayıları [16]

Göçme Durumu		Statik	Sismik
a) Taban Kayması	$FS_{sl}$	1.5	1.1
b) Devrilme	$FS_{ot}$	1.5*	1.1
c) Taşıma Gücü	$FS_{bc}$	2.0	1.5
d) Genel Stabilite	$FS_{gl}$	1.3 – 1.5	1.1
e) Aşırı Çekme Gerilmesi	$FS_{os}$	1.0	1.0
f) Sıyırılma	$FS_{po}$	1.5	1.1
g) İçsel Kayma	$FS_{si}$	1.5	1.1
h) Kayma (bel verme)	$FS_{sc}$	1.5	1.1
i) Bağlantı Noktası	$FS_{cs}$	1.5	1.1
j) Lokal Devrilme**	$FS_{otl}$	1.5	1.1
k) Üst Kaplama Devrilmesi	$FS_{otc}$	1.5	1.1

#### 4.2.1. Dış Stabilite Hesapları

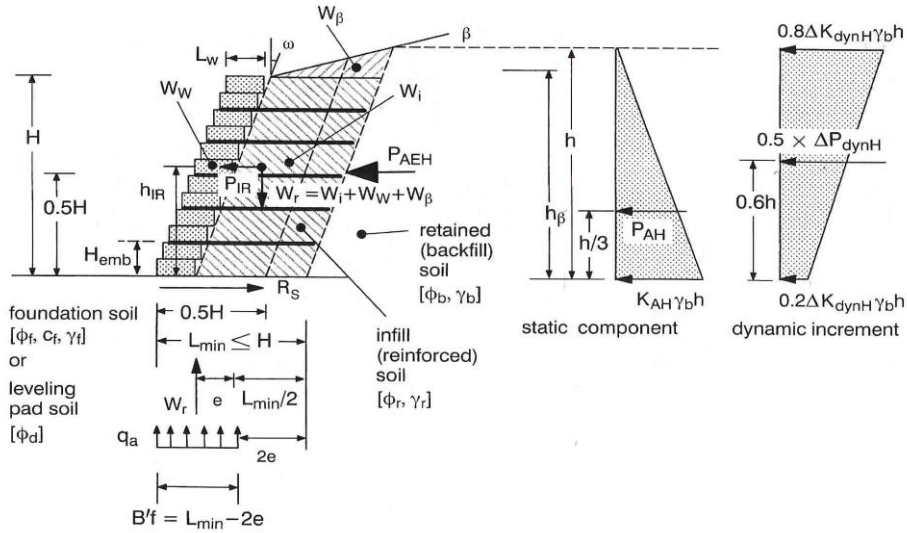
Dış stabilite hesaplamaları, geleneksel ağırlık istinat duvarı hesaplamaları ile benzerlikler göstermekte sadece ağırlık kütlesi; kaplama duvarı ve donatılı zemin bölgesi tarafından şekillenmiş kompozit kütle olarak alınmaktadır. Kaplama duvarı özellikle alçak geosentetik donatılı duvarlarının sismik tasarımında ağırlık kütlelerinin önemli kısmını oluşturur. Bu durum, sismik bir olay anında ek atalet kuvvetlerinin oluşturur. Kısaca, bu tezde, ağırlık kütlesi donatılı kütle veya donatılı bölge olarak tanımlanacaktır.

Şekil 4.4'te gösterilen dinamik toprak basınç dağılımı, destabilizasyon kuvvetlerinin diğer bir şekilde geleneksel terimlerle yapının temel yüzeyi boyunca kayma, toprak etrafında dönme ve temel zemininin taşıma gücü kaybına karşı bulunan güvenlik katsayısının hesabı için kullanılmaktadır.  $k_h=A_0/2$  denklemi, tüm dış stabilite hesaplamalarında kullanılan yatay eşdeğer deprem katsayısı  $k_h$  değerinin bulunması için kullanılmaktadır (örn:  $k_h=k_h(dış)$ ).



Şekil 4.4 Dinamik toprak basıncının yatay bileşeni [16]

Programda dinamik toprak basıncı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik uyarınca *parabolik* olarak değiştirilmiştir.



Şekil 4.5 Geosentetik donatılı istinat duvarlarında dış stabilite hesaplarında kullanılan geometri ve kuvvetler [16]

Toprak basınç ve kuvvet hesaplarında maksimum içsel sürtünme açısı  $\phi = \phi_b$  olarak alınmaktadır. Yatay kuvvet bileşenleri  $P_{AH}$  ve  $\Delta P_{dynH}$  donatılı zemin bölgesi ve



iksalanmış zemin arası arayüzey sürtünmesini tüm katkısını kabul etmektedir. (mesela:  $\delta = \phi$  ( $\phi \leq \phi_r$  ve  $\phi \leq \phi_b$ ))

Dış stabilite hesaplamalarında kullanılan basitleştirilmiş geometrik şekiller ve gövde kuvvetleri Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Burada:

$W_i =$  Kaplama duvarının arkasından, duvar yüzünden  $L_{min}$  boyu ötesine kadar uzanan; sabit H yükseklikli donatılı bölgelerin toplam ağırlığı

$W_\beta =$  Duvarın üst kaplama bölgesi (H) üstünde kalan şev ait zeminin duvara etkidiği ek ağırlık

$W_w =$  Kaplama duvarının toplam ağırlığı

Bathrust ve Cai (1995) tarafından yapılan parametrik analizlerin sonuçları, sonsuz şev durumu için  $\beta$  duvar üst kotu şev açısının artmasının, dış göçme koşullarına karşı bulunan güvenlik katsayılarının hızlıca azalmasına yol açtığını ve makul yer ivmesi değerlerinde bile gerçekçi sonuçlar vermediğini göstermiştir. Bu sonuç, M-O metodu ile bulunan zemin kuvvetlerinin formülizasyonunun bir kısmında ve geosentetik donatılı duvarların tasarım ve analizinde rutin olarak kullanılan zemin mukavemet parametrelerinin tahmin edilmesi için gereklidir. Tasarım kılavuzunda belirtilen ampirik kuralın yarattığı bu problemin önüne geçilmesi için duvarın geometrisinden ve donatı uzunluğundan bağımsız olmak üzere donatılmış bölgenin maksimum uzunluğu  $L_{min}$ , (Şekil 4.5) duvar yüksekliği  $H$  ile sınırlanmaktadır. Böylece,  $L_{min} \leq H$  olmaktadır. Bu yaklaşım, toprakarme istinat duvarlarının tasarımı için yukarıda verilen nedenlerden dolayı Reinforced Earth Company (RECO 1990) tarafından sahiplenilmiştir.

Donatılı bölgenin toplam ağırlığı şu şekilde tayin edilmiştir:

$$W_r = W_w + W_i + W_\beta \quad (4.5)$$

Toplam ağırlık  $W_r$ , taban kayma göçmesi, devrilme ve taşıma gücü güvenlik katsayısı hesaplarında karşı koyucu etkilerin hesaplarında kullanılmaktadır.  $W_i$  ve  $W_\beta$  ise aşağıdaki formüller yardımıyla bulunmaktadır.

$$W_i = (L_{min} - L_w) \cdot H \cdot \gamma_r \quad (4.6)$$

$$W_{\beta} = \frac{1}{2} \cdot (L_{\min} - L_w)^2 \cdot \left( \frac{\tan \beta}{1 - \tan \beta \cdot \tan \omega} \right) \quad (4.7)$$

Şekil 4.5’de belirtilen  $P_{IR}$  donatılı zeminlerin yatay atalet kuvvetleri olup dış stabilite güvenlik katsayısı hesaplamalarında kullanılmaktadır. Kuzey Amerika’da  $P_{IR} < k_h W_r$  koşulunu sağlamak üzere daha makul tasarım sonuçları verecek değişik stratejiler geliştirilmiştir (Balthrust ve Alfaro 1996). Bu stratejilerin ana düşüncesi donatılı zemin kütlelerine ve iksalanmış (arka dolgu) zemine etkiyen yatay atalet kuvvetlerinin sismik bir olay anında en yüksek değerlere ulaşamayacağını tahmin edilmesidir.

Burada kullanılan metod AASHTO/FHWA yaklaşımını kullanmaktadır. Bu yaklaşım yatay atalet kuvvetinin, kaplama duvarı ve duvar yüzeyinden  $0.5H$  ötesine uzanan bölgedeki donatılı zemin bölgesinden oluşan eşdeğer kütleyle bağlı olduğunu göstermektedir [16]. Genel yaklaşım Şekil 4.5’te gösterilmiş olup herhangi bir sonsuz arka dolgu şev koşullarında kullanılmaktadır. (örn.  $\beta \geq 0$ ). Buradaki  $P_{IR}$  atalet kuvveti:

$$P_{IR} = k_h (dis)(W_w + W'_i + W'_\beta) \quad (4.8)$$

Burada azaltılmış  $W'_i$  ve  $W'_\beta$  değerleri (4.6) ve (4.7) de  $L_{\min}=0.5H$  kullanılarak bulunan değerlerdir. Böylece:

$$W'_i = (0.5H - L_w) \cdot H \cdot \gamma_r \quad (4.9)$$

$$W'_\beta = \frac{1}{2} \cdot (0.5H - L_w)^2 \cdot \left( \frac{\tan \beta}{1 - \tan \beta \cdot \tan \omega} \right) \quad (4.10)$$

Dinamik yer kuvveti  $P_{AE}$  minimum donatı boyu  $L_{\min}$  ve yükseklik  $h$  ile tanımlanan donatılı kütle arkasına uygulanır ve  $h$  şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$h = H + (L_{\min} - L_w) \cdot \left( \frac{\tan \beta}{1 - \tan \beta \cdot \tan \omega} \right) \quad (4.11)$$

Duvar üst kotu şev açısının yatay olduğu durumlarda ( $\beta = 0$ ) anlaşıldığı üzere sistem geometrisi  $h=H$  olmaktadır.

Donatılı zemin arkasında kalan  $h$  derinliğinin üzerine etki eden dinamik toprak kuvvetinin yatay bileşeni olan  $P_{AEH}$  ise şu şekilde bulunmaktadır.

$$P_{AEH} = P_{AH} + 0.5 \cdot \Delta P_{dynH}$$

$$P_{AEH} = \frac{K_{AH} \gamma_b h^2}{2} + 0.5 \cdot \frac{K_{dynH} \gamma_b h^2}{2} \quad (4.12)$$

Şu özellikle bilinmelidir ki sadece  $h$  yüksekliği üzerinde etkide bulunan  $\Delta P_{dynH}$  dinamik toprak kuvvetinin %50 artışı, stabilite hesaplarında göz önüne alınmaktadır.

Arka dolgu dinamik zemin kuvveti artışı  $\Delta P_{dynH}$  uygulamaları AASHTO/FHWA uygulamalarında değişiklik göstermektedir. AASHTO/FHWA, dinamik zemin kuvveti artışı  $\Delta P_{dynH}$ 'yi duvar yüzeyinden  $0.5H$  arkasında kesikli çizgilerle belirlenen atalet bölgesinin arkasına uygulamaktadır (Şekil 4.5). Eğimli arka dolgularda bu tezde bahsedilen method çok yeterli olmamakla beraber, uygulama hesaplamaları için oldukça kolaylık sağlamaktadır. Eğim olmayan arka dolgularda ise dinamik yük artışının uygulama bölgesinde bir değişiklik olmamaktadır. Fakat, AASHTO/FHWA şartnameleri donatılı bölge ile arka dolgu arasındaki yüzey sürtünme açısının duvarın üst kaplama kısmı üzerindeki sabit eğimin açısı ile aynı büyüklükte olduğunu belirtmektedirler (örn:  $\delta = \beta$ ). Fakat şev açısı ile yüzey sürtünme açısının birleşimini savunan bir görüş bulunmamaktadır. Bu kitapta bulunan dış stabilite hesaplamalarında toprak basıncı büyüklüklerinin AASHTO/FHWA'da belirtilen koşullardan düşük olacaktır  $\delta = \phi \geq \beta$ . Bununla beraber AASHTO/FHWA  $\omega \leq 10^\circ$  olduğu koşullarda  $\omega = 0$  alınacağını belirtmiş ve bu durum daha yüksek zemin gerilmelerine ve geosentetik donatılı istinat duvarları için daha konzervatif statik ve sismik tasarımlara yol açmaktadır. Bu tezde ele alınan Coulomb ve M-O zemin gerilmeleri teorileri NCMA'de anlatılan statik yüklerle yüklenmiş yapıların tasarım ve analizi ile sismik yüklerle yüklenmiş geosentetik donatılı istinat yapılarının metodolojisi ile bir bağ kurmaktadır [15].

#### 4.2.1.1. Kayma Göçmesi

Kayma göçmesi için donatılı kütlelerin en alt noktasındaki (örn: kaplama birimi ve donatılı zemin bölgesinin en alt noktası) güvenlik katsayısı  $F_{sl}$  şu şekilde belirtilmiştir:

$$FS_{sl} = \left( \frac{R_s}{P_{IR} + P_{AH} + 0.5 \cdot \Delta P_{dynH}} \right) \quad (4.13)$$

$$FS_{sl} = \left( \frac{R_s}{P_{IR} + P_{AH} + 0.5 \cdot \Delta P_{dynH}} \right) \quad (4.14)$$

Kayma göçmesine karşı gelen tutucu kuvvet:  $R_s$

a) Donatılı zemin veya drenaj dolgusunun kontrol ettiği durumlarda:

$$R_s = C_{ds} \cdot W_r \cdot \tan \phi \quad (4.15)$$

Burada  $\phi$ ,  $\phi_d$  veya  $\phi_r$  değerleri arasında minimum olan değer olarak kullanılmaktadır.

b) Temelin kontrol ettiği durumlarda ise:

$$R_s = C_{ds} \cdot (c_f \cdot L_{\min} + W_r \cdot \tan \phi_f) \quad (4.16)$$

Burada  $C_{ds}$  değeri, direkt kayma katsayısıdır. Zemin ve zemin arayüzlerinde bu değer 1 olarak kabul edilebilir. Donatılı zemin bölgesinin tabanına bir geosentetik donatı katmanının yerleştirilmesi halinde  $C_{ds} < 1$  durumu uygun olmaktadır.

Bulunan güvenlik katsayısı 1.1 'den düşük olmamalıdır. (Tablo 4.2)

#### 4.2.1.2.Devrilme Göçmesi

Kaplama duvarının topuk bölgesi çevresinde devrilmesine karşı güvenlik katsayısı, devirmeye karşı momentin devrilme yönündeki momente oranı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$FS_{ot} = \frac{M_r}{M_o} \quad (4.17)$$

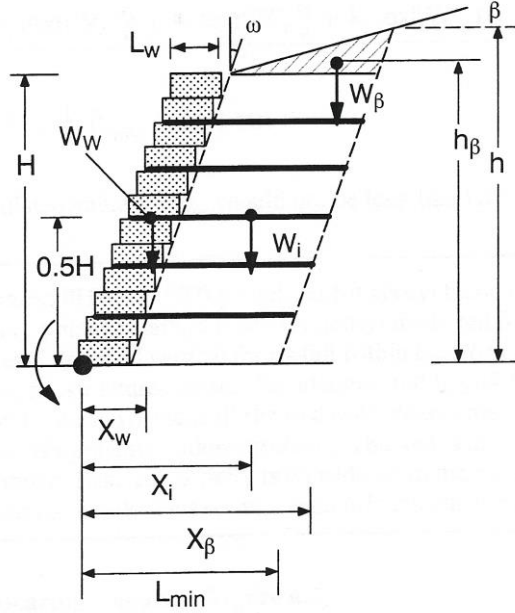
Devrilmeye karşı tutucu moment ise şu şekilde hesaplanır:

$$M_r = W_w \cdot X_w + W_i \cdot X_i + W_\beta \cdot X_\beta \quad (4.18)$$

Burada  $X_w$  tüm kaplama duvarının ağırlık merkezinin duvarın topuk kısmına yatay uzaklığı olup  $X_h = 0.5[(N_h - 1)H_w \tan \omega] + L_g$  ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde,

$N_w$  kaplama duvarını oluşturan toplam üniter blok sayısı,  $N_h$  ise mafsalsal yüksekliğine giren üniter blok sayısı olmaktadır.

Şekil 4.6'da görülen moment kolu büyüklükleri  $X_i$  ve  $X_b$  ise şu formüller yardımı ile bulunur:



Şekil 4.6 Geosentetik donatılı istinat duvarlarının dış stabilite hesaplarında devrilme göçmesi için tanımlanan karşı koyucu momentler [16]

$$X_i = \frac{L_{\min} + L_w + H \tan \omega}{2} \quad (4.19)$$

$$X_\beta = H \tan \omega + \frac{1}{3}(L_w + 2L_{\min}) \quad (4.20)$$

Devirme yönündeki moment ise şu formül ile bulunur:

$$M_o = P_{IR} \cdot h_{IR} + P_{AH} \cdot \frac{h}{3} + 0.5 \cdot \Delta P_{dynH} \cdot 0.6h \quad (4.21)$$

Burada,

$$h_{IR} = \frac{k_h(dis) \cdot W_w \cdot 0.5H + k_h(dis) \cdot W'_i \cdot 0.5H + k_h(dis) \cdot W'_\beta h_\beta}{P_{IR}} \quad (4.22)$$

$$h_{\beta} = H + \frac{1}{3} \cdot (L_{\min} - L_w) \tan \beta \quad (4.23)$$

Bulunan güvenlik katsayısı 1.1 'den düşük olmamalıdır. (Tablo 4.2)

Geosentetik donatılı istinat duvarları için FHWA (1997) tarafından yayımlanan kaynaklar devrilme göçmesini ihmal eder ve potansiyel göçme durumundan saymazlar ancak zemin üzerine inşa edilecek istinat yapıları için bileşke dikey kuvvetlerin donatılı zemin kütlelerinin taban merkezinden itibaren  $L_{\min}/6$  sınırı içinde, kaya üzerine inşa edilecek istinat yapıları için  $L_{\min}/4$  sınırı içinde kalmasını şart koşmaktadır. DMSRW statik yüklemeye tabi istinat duvarlarının topuk noktasından devrilme göçmesini potansiyel göçme mekanizmasına dahil eder fakat taban eksantrisite kriterini ihmal eder. Taban eksantrisitesi sadece taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı hesaplarında karşımıza çıkmaktadır. Bu tezde sismik tasarım DMSRW ile uyumludur [16].

#### 4.2.1.3. Taşıma Gücü

Statik yüklemeye tabi geosentetik donatılı istinat duvarları için Meyerhof taşıma gücü kapasitesi yaklaşımı, dış dinamik kuvvet artışı  $\Delta P_{dynH}$  ve atalet kuvveti  $P_{IR}$  yüzünden meydana gelen ek taban yükleme eksantrisitesinin hesaplara dahil edilmesi ile modifiye edilmiştir. Taşıma gücü kaybına karşı güvenlik katsayısı, aşağıdaki formül ile açıklanmıştır:

$$FS_{bc} = \frac{q_{ult}}{q_a} \quad (4.24)$$

Burada  $q_{ult}$  temel zemininin en büyük taşıma gücü kapasitesi,  $q_a$  ise donatılı zemin ve kaplama duvarının tabanına (kompozit kütle) uygulanan taşıma gerilmesidir.  $q_{ult}$ 'un büyüklüğü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır :

$$q_{ult} = c_f \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma_f B'_f N_{\gamma} + \gamma_f H_{emb} N_q \quad (4.25)$$

Taşıma gücü kapasite katsayıları  $N_c$ ,  $N_g$ , ne  $N_q$  Şekil 4.7'de bulunabilir.  $B'_f$  büyüklüğü donatılı bölgenin tabanındaki tekil temel genişliğine eşdeğer genişlik olup şu şekilde hesaplanmaktadır:

$\phi^+$ (deg)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_q/N_c$	$\tan \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19

Şekil 4.7 Taşıma gücü faktörleri [16]

$$B'_f = L_{\min} - 2e \quad (4.26)$$

DMSRW'da kullanılan metodun sınırları içinde donatılı zemin tabanının merkezine bağlı olarak (örn: duvar topuğundan  $L_{\min}/2$  mesafede) eksantrisite terimi,  $e$ , şu şekilde hesaplanır:

$$e = \frac{P_{IR} \cdot h_{IR} + P_{AH} \frac{h}{3} \gamma + 0.5 \cdot \Delta P_{dynH} 0.6h - W_w (X_w - \frac{L_{\min}}{2}) - W_i (X_i - \frac{L_{\min}}{2}) - W_\beta (X_\beta - \frac{L_{\min}}{2})}{W_r} \quad (4.27)$$

Donatılı bölgenin tabanında uygulanan taşıma gücü gerilmesi:

$$q_a = \frac{W_r}{B'_f} \quad (4.28)$$

Bulunan güvenlik katsayısı 1.5 'den düşük olmamalıdır. (Tablo 4.2)

## 4.2.2. İç Stabilite Hesapları

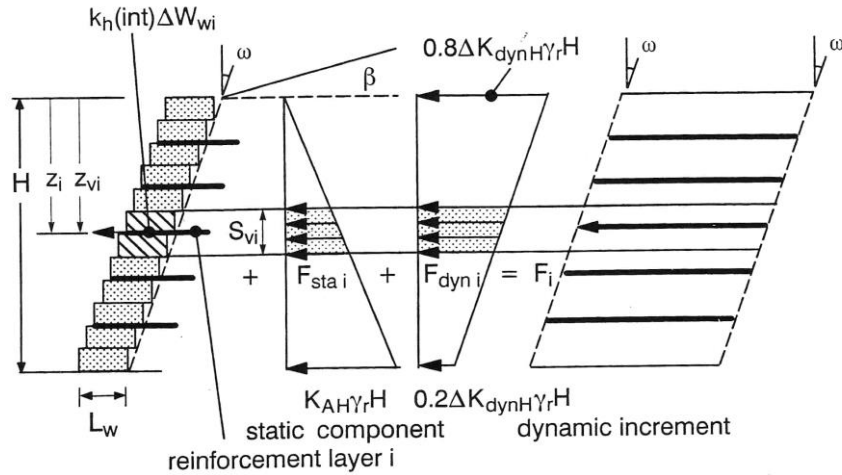
### 4.2.2.1. Geosentetik Donatı Yükleri

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının statik stabilite analizlerinde kullanılan faydalı alan yaklaşımı dinamik yükleme durumu için genişletilmiştir (Şekil 4.8). Bu metotta donatı tabakaları ankraj halatları şeklinde modellenmekte, çekme kuvveti  $F_i$ ,  $i$  tabakasında, kaplama duvarının arkasında kalan  $S_{vi}$  faydalı alan içindeki zemin gerilmelerinin integrali ve duvar ataleti kuvvet artışının toplamı olarak hesaplanmaktadır:

$$F_i = k_h(ic)\Delta W_{wi} + F_{sta\_i} + F_{dyn\_i} \quad (4.29)$$

Burada  $k_h(ic)\Delta W_{wi}$  duvar ataleti kuvvet artışı,  $F_{sta\_i}$  donatı üzerine etkiyen yükün statik bileşeni,  $F_{dyn\_i}$  donatı üzerine etkiyen yükün dinamik bileşeni,  $\Delta W_{wi}$  ise faydalı alan  $S_{vi}$  arkasında kalan ilgili donatı tabakası ile belirlenen kaplamanın ağırlığı olup şu şekilde bulunmaktadır:

$$\Delta W_{wi} = S_{vi} \cdot L_w \cdot \gamma_w \quad (4.30)$$



Şekil 4.8 Geosentetik donatılı istinat duvarlarının donatı yükleri hesabında kullanılan geometri ve kuvvetler [16]



Şekil 4.8' e göre,

$$F_{sta\_i} = K_{AH} \cdot \gamma_r \cdot z_{vi} \cdot S_{vi} \quad (4.31)$$

$$F_{dyn\_i} = (0.8 - 0.6 \frac{z_{vi}}{H}) \Delta K_{dynH} \cdot \gamma_r \cdot H \cdot S_{vi} \quad (4.32)$$

Bu formüllerde  $z_{vi}$ , duvarın üst kaplama bölgesi ile faydalı alan  $S_{vi}$  nin orta noktası arasındaki uzaklık olarak belirlenmiştir. Sabit donatı aralıklarında  $z_{vi} = z_i$  olmaktadır. Düzgün yayılı olmayan aralıklarda  $z_{vi} \neq z_i$  olmaktadır. En üst tabakadaki donatının faydalı alanının bulunması için duvarın en üst noktasındaki üst kaplama noktası ile üstteki ilk iki donatının orta noktası arasındaki uzaklık alınmaktadır. En alt noktadaki donatı tabakasının faydalı alanı ise en alt ve hemen üstündeki donatıların orta noktasının topuk kısmı olan duvarın en alt kısmına uzaklığı ile belirlenir. Duvar ataleti kuvvet artışı hesabı ( $k_h(ic) \Delta W_{wi}$  (4.29) içerisinde geçen) eşdeğer yatay deprem katsayısının ( $k_h = k_h(ic)$ ) değeri ve donatı yükünün dinamik bileşeni ( $\Delta K_{dynH}$  (4.32) içerisinde geçen)  $k_h(iç) = (1.45 - A_0) A_0$  denklemi ile belirlenmiştir.

AASHTO/FHWA dokümanlarında sismik yükleme sırasında donatı üzerine etkileyen yüklerin bulunması için farklı yaklaşımlar gösterilmiştir.  $\omega \leq 10^\circ$  olan duvarlar için statik zemin kuvveti  $P_{AH}$ , Rankine toprak basıncı teorisi ile hesaplanmış ve Rankine kayma kaması açısı  $\alpha_{AE} = \pi/4 + \phi_r/2$  olarak öngörülmüştür. Coulomb toprak basıncı teorisi için, Coulomb açısı ( $\theta = 0$ ) istinat duvarının düşeyle yaptığı açı  $\omega > 10^\circ$  olarak kullanılmaktadır. Dinamik yük artışı  $\Delta P_{dynH} = k_h(ic) W_A$  formülü ile bulunmakta ve burada  $W_a$  statik haldeki kayma kamasının ağırlığı olmaktadır. Donatının dinamik çekme yükü artışı  $\Delta F_{dyn\_i}$ , temel olarak pasif bölgedeki (kayma kamasının ayırdığı aktif/pasif bölgeler) toplam ankraj uzunluğuna bağlı olmakta ve şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\Delta F_{dyn\_i} = \Delta P_{dynH} L_{Ai} / \sum_{j=1}^N L_{Aj} \quad (4.33)$$

Burada,  $N$  = toplam donatı tabakası sayısı,  $L_{Ai} = i$  tabakasındaki donatının ankraj boyu (Şekil 4.9) olmaktadır. Temel strateji, toprakarme istinat duvarlarında kullanılan rijit çelik donatıların sonsuz elemanlar yöntemiyle modellenmesine

dayanır (Sergestin ve Bastick 1988) [17]. Bu yaklaşım, üniform aralıklı donatı uygulanmış yapıların iç stabilite hesaplarında dinamik kuvvetlerin tekrar dağılımı sonucu donatı sayısının azalmasına yol açmaktadır. Bu ön sayısal modelleme, dinamik yük dağılımı çerçevesinde donatı sayısının azaltılmasının geosentetik donatılı istinat duvar ve tüm donatılı istinat duvar yükseklikleri için uygun olamayabileceğini önermektedir (Bathrust and Alfaro 1996; Bathrust and Hatami 1998) [11].

Bu dokümanda kullanılan faydalı alan yaklaşımı, maksimum yer ivmesi artışının donatılı duvarın üst kotunda daha fazla sayıda donatı tabakası gerektirdiği ve bazı durumlarda elverişli ankraj kapasitesi için donatı uzunluğunun arttırılmasının gerektiği göz önüne alındığında tasarım için daha spesifik bir yaklaşım teşkil etmektedir. Ayrıca, bu tezde kullanılan yaklaşım DMSRW'da donatı yüklerinin bulunması için yapılan statik analiz yaklaşımı ile sismik tasarım arasında bir köprü kurmaktadır [16].

#### 4.2.2.2. Donatının Aşırı Gerilmesi Durumu

Donatının aşırı gerilmesi durumunda  $i$  donatı katmanı için dinamik güvenlik katsayısı  $FS_{os}$  aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$FS_{os} = \frac{T_{a(dyn)}}{F_i} \quad (4.34)$$

Burada  $T_{a(dyn)}$  sismik yükleme için emniyetli çekme yükü olarak belirtilmektedir. AASHTO/FHWA dokümanları, sismik yüklemeye tabi yapıların emniyetli mukavemetinin, statik yüklü yapıların hesapları için kullanılan azaltma faktörünün sünme azaltma faktörü  $RF_{CR} = 1$  olmaksızın yaklaşımı ile aynı şekilde hesaplanacağını göstermişlerdir. Benzer şekilde, statik yüklemeye tabi yapıların emniyetli mukavemeti, şu şekilde modifiye edilmektedir:

$$T_{a(dyn)} = T_a \cdot RF_{CR} \quad (4.35)$$

Bulunan  $FS_{os}$  güvenlik katsayısının 1.0'den az olmaması gerekmektedir (Tablo 4.2). Diğer bir deyişle,  $T_a > F_i$  olmalıdır. Dinamik yükleme altında emniyetli çekme kuvveti genellikle donatının indeks mukavemetinin yüzdesinin sismik bir olay anında oluşan maksimum çekme yükünün kısa süreli olması nedeniyle statik yükleme

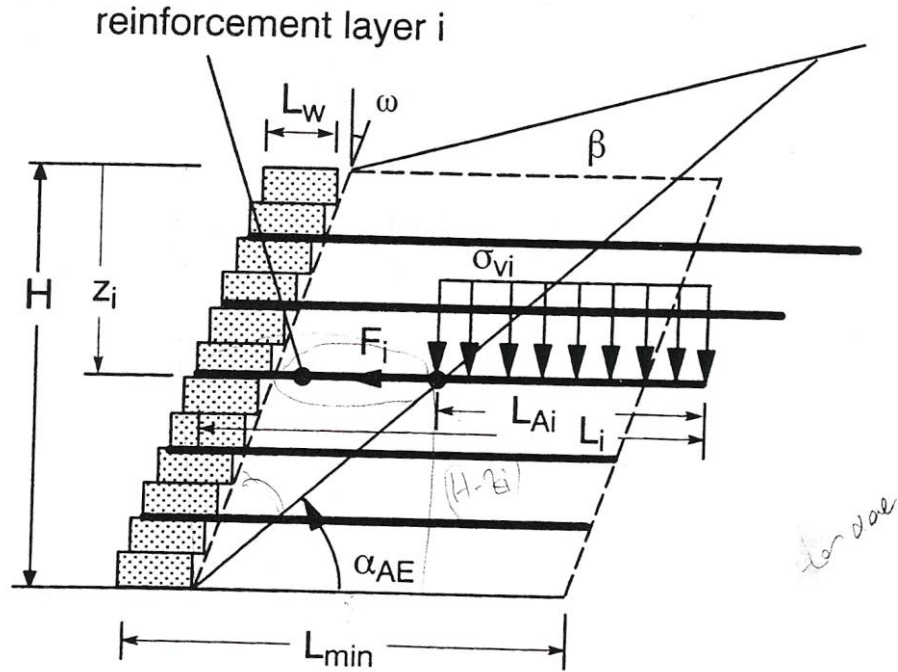
altındaki tasarım yüzdesine göre daha büyük kısmı olarak alınır. Hızlı in-isolation geniş enli bantlı çekme yüklemesi geleneksel yükleme değerleri ile karşılaştırıldığında polimer malzemelerin sıklığında potansiyel fazlasıyla artış gösterdiği görülmüştür (Bathrust ve Cai 1994) [9]. Bu gözlemler donatı tabakalarının sismik koşullar için statik yüklemelere göre çok daha fazla yüklemeler için tasarlandığını göstermektedir

#### 4.2.2.3. Ankraj Donatıları

Donatı çekme yüklemesi  $F_i$  donatı içsel aktif kayma kamasi yüzeyi (yatayda  $\alpha_{AE}$  açısı ile yönlendirilmiş) ve donatı serbest bitiş noktası arasında belirlenen ankraj uzunluğu tarafından karşılanmalıdır. (Şekil 4.9) Ankraj kapasitesi tasarımında kullanılan genel yaklaşım ankraj kapasitesinin ankraj boyu, aşırı yüklemeden meydana gelen gerilme ve zemin kayma mukavemeti ile lineer orantılı olduğu basit Coulomb tipi arayüz modeli olarak geliştirilmiştir. )

İlgili  $i$  donatı tabakası için ankraj kapasitesi  $T_{pull\_i}$  şu şekilde hesaplanmalıdır:

$$T_{pull\_i} = 2L_{Ai} \cdot C_i \cdot \sigma_{vi} \cdot \tan \phi_r \quad (4.36)$$



Şekil 4.9 Geosentetik donatılı istinat duvarlarının donatılarının ankraj kapasitesi hesabında kullanılan geometri ve kuvvetler [16]

Burada;

$L_{Ai}$  = i no'lu donatı tabakasında yer alan donatının ankraj uzunluğu

$C_{vi}$  = Sıyırılma katsayısı

$\sigma_{vi}$  =  $L_{Ai}$  üzerinde etkili olan ortalama aşırı yüklemekten meydana gelen gerilme

$\phi_r$  =Donatılı zeminin maksimum içsel sürtünme açısı

Ankraj uzunluğu  $L_{Ai}$  aşağıdaki formülle bulunmaktadır:

$$L_{Ai} = L_i - L_w + (H - z_i) \left[ \tan \omega - \tan \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_{AE} \right) \right] \quad (4.37)$$

Burada  $L_i$ ,  $i$ . donatı tabakasının duvar ön yüzünden donatının yataklanmış son noktası arasındaki toplam uzunluktur. Donatının ankraj boyu üzerinde etkiyen ortalama normal gerilme ise şu ifadeyle belirlenmektedir:

$$\sigma_{vi} = \gamma_r \cdot \left[ z_i + \left( \frac{H - z_i}{\tan \alpha_{AE}} - H \cdot \tan \omega + \frac{L_{Ai}}{2} \right) \tan \beta \right] \quad (4.38)$$

Sıyırılma göçmesi için güvenlik katsayısı ise şöyle belirlenmektedir.

$$FS_{po} = \frac{T_{pull-i}}{F_i} \quad (4.39)$$

Burada hesaplanan güvenlik katsayısı  $FS_{po}$  1.1'den küçük olmamalıdır (Tablo 4.2).

İçsel kayma kaması yüzeyinin yatayla yaptığı açı olan  $\alpha_{AE}$ 'nin statik yükleme durumunda değişmediği varsayılmaktadır. Bu görüş AASHTO/FHWA'nın yaptığı öneriler ile çakışmaktadır. Bathrust ve Hatami tarafından yapılan (1998a,b) ön nümerik simülasyon çalışmaları göstermiştir ki  $\alpha_{AE}$  büyüklüğünün azalması, donatılmamış zemin bölgelerinde  $k_h$ 'in büyüklüğünün artmasına neden olmaktadır. Çoklu donatı tabakalarının varlığı iç kayma kaması yüzeyinin donatılı zemin bölgesinde gelişmesine mani oluyor gibi görünmektedir. Yine de duvar üst kotuna yakın donatı tabakalarının, yeterli ankraj kapasitesinin sismik bir olay anında daha

büyük çekme gerilmelerine karşı koyabilecek şekilde olmasının sağlanması için genişletilebilme /uzatılabilme ihtimali olabilir.

Bathrust ve Alfaro (1996) literatürde bulunan tekrarlı yükleme altında sıyrılma testleri hakkındaki sınırlı bilgileri incelediğinde geosentetik donatı katmanlarının ankraj kapasitesinin dinamik çekme yüklemeleri durumunda azalacağına dair hiçbir kanıt bulunmadığını iddia etmişlerdir [10]. Çelik şeritli donatı ürünlerinin, tekrarlı yük sıyrılma testlerinden elde edilen sonuçlar ışığında geosentetik donatılı istinat duvarları için AASHTO/FHWA herhangi bir donatı tabakasının sismik bir olay anında ankraj kapasitesinin %20 azalacağını önermişlerdir (örn: (4.36)'da bulunan değerlerin 0.80 ile çarpılması) [15].

#### 4.2.2.4.İçsel Kayma

Duvarın üst kaplama yüksekliğinden  $z$  yüksekliği kadar derinde bulunan donatı tabakasının içsel kayma için güvenlik katsayısı  $FS_{sli}$  şu şekilde ifade edilmiştir:

$$FS_{sli} = \frac{R_s(z_i)}{\Delta P_{IR}(z_i) + P_{AEH}(z_i)} \quad (4.40)$$

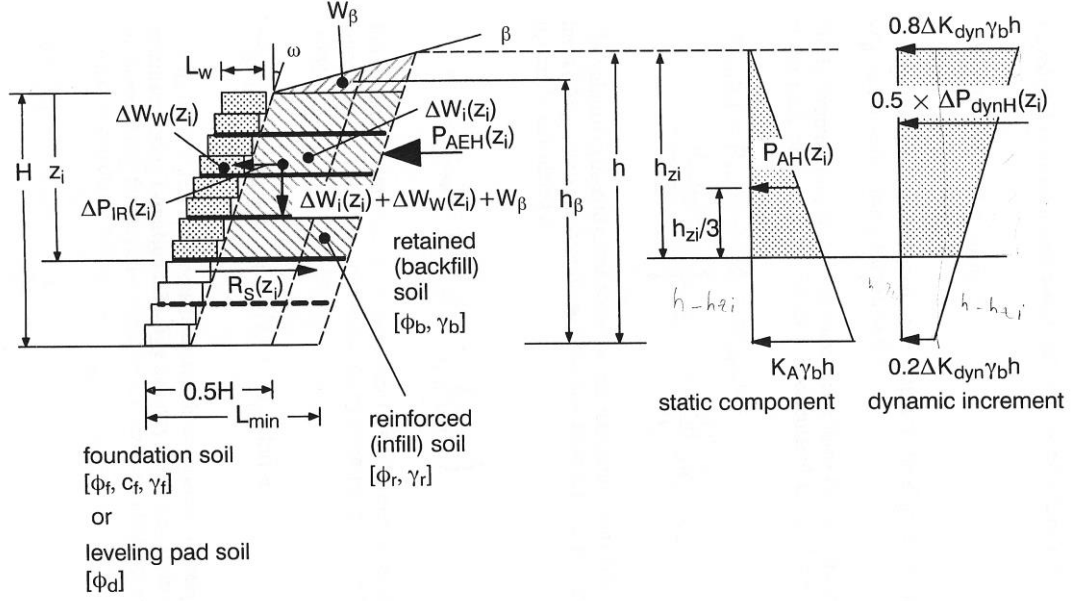
Atalet kuvveti artışı  $\Delta P_{IR}(z_i)$  şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\Delta P_{IR}(z_i) = k_h(dis) (\Delta W_w(z_i) + \Delta W'_i(z_i) + W'_\beta) \quad (4.41)$$

$k_h(dis)$  değeri atalet kuvvet artışı hesabında kullanılmaktadır.  $\Delta W_w(z_i)$  ise  $z_i$  derinliğindeki kayma kaması yüzeyinin üzerinde kalan kaplama duvarının ağırlığıdır. (Şekil 4.10) Taban kayması için kullanılan yaklaşımla benzerlik gösterdiği gibi azaltılmış donatı bölgesinin ağırlığı  $\Delta W'_i(z_i)$  ise şu şekilde bulunmaktadır:

$$\Delta W'_i(z_i) = (0.5H - L_w) \cdot z_i \cdot \gamma_r \quad (4.42)$$

Sonuçta, donatılı bölgenin üzerindeki şevin içinde kalan azaltılmış donatılı bölgenin ağırlığı  $W'_\beta$  (4.10) bulunmaktadır.



Şekil 4.10 Geosentetik donatılı istinat duvarlarının donatı tabakalarının içsel kayma hesabında kullanılan geometri ve kuvvetler [16]

Donatılı bölgenin arkasında kalan  $h_{zi}$  derinliği üzerine etkileyen dinamik toprak basıncının yatay bileşeni  $P_{AEH}(z_i)$  şu ifade ile bulunmaktadır [16]:

$$P_{AEH}(z_i) = P_{AH}(z_i) + 0.5 \cdot \Delta P_{dynH}(z_i)$$

$$P_{AEH}(z_i) = \frac{K_{AH} \gamma_b h_{zi}^2}{2} + \left( 0.8 h_{zi} - 0.3 \frac{h_{zi}^2}{h} \right) \cdot \Delta K_{dynH} \gamma_b h \quad (4.43)$$

$k_h$  değeri dinamik toprak basıncı artışı ( $\Delta P_{dynH}(z_i)$ ) değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (örn:  $k_h = k_h(dis)$ ).  $h_{zi}$  değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$h_{zi} = z_i + (L_{min} - L_w) \cdot \left( \frac{\tan \beta}{1 - \tan \beta \cdot \tan \omega} \right) \quad (4.44)$$

Duvar üstü şev açısının yatay olması durumunda ( $\beta = 0$ ),  $h_{zi} = z_i$  olmaktadır. Kaymaya karşı koyan kuvvet,  $i$  arayüzü için:

$$R_s(z_i) = V_u(z_i) + C_{ds} (\Delta W_i(z_i) + W_\beta) \tan \phi_r \quad (4.45)$$

$V_u(z_i)$  büyüklüğü kaplama duvarını oluşturan üniter beton bloklar arasındaki maksimum arayüz kayma kapasitesi olup  $V_u(z_i) = a_u + \Delta W_h(z_i) \cdot \tan \lambda_u$  denklemi ile

hesaplanmaktadır. (4.45)'te geçen  $C_{ds}$  ise zemin geosentetik arayüz direkt kayma katsayısı olup birleşimi geçmemektedir.  $\Delta W_i(z_i)$  değeri ise şöyle hesaplanmaktadır:

$$\Delta W_i(z_i) = (L_{\min} - L_w) \cdot z_i \cdot \gamma_r \quad (4.46)$$

$W_\beta$  ise (4.7) ile bulunmaktadır.

İç kayma stabilitesi hesaplamalarında  $h_{z_i}$  yüksekliğinin üzerinde kalan dış dinamik yer kuvvet artışının  $\Delta P_{dynH}(z_i)$  sadece %50'si kullanılmaktadır. Kuvvet bileşenlerinden  $P_{AH}(z_i)$  ve  $\Delta P_{dynH}(z_i)$  nin hesapları donatılı zemin bölgesi ve iksalanmış zemin arasındaki arayüz sürtünmesinin tümüyle devrede olduğunu öngörmektedir (örn:  $\phi$ ,  $\phi_r$  ve  $\phi_b$  arasında en düşük değer olmak üzere  $\delta = \phi$  durumu). Burada hesaplanan güvenlik katsayısı  $FS_{sli}$  1.1'den küçük olmamalıdır (Tablo 4.2). İçsel kayma hesaplamaları, statik yükleme altındaki yapılar için DMSRW tarafından kullanılan metodun basitleştirilmiş halidir. DMSRW metodunda içsel kayma kaması yüzeyi, tabakanın serbest bitiş noktasından geride kayma tabakasının üstünde, donatı tabakası boyu ile karşılaştırılmış bir noktadaki donatı ile yaygınlaşmaktadır. Bu tezde kullanılan metod daha basit ve üniform uzunlukta dağıtılmamış durum için bile kafa karıştırmayıcı ve statik yükleme durumu için geliştirilmiş SRWALL (ver 2.1) ile uyumludur. Sayısal sonuçlar ile farkları ise çok düşük çıkmıştır [15].

İçsel kayma durumu için  $k_h = k_h(dis)$  seçimi, iç kayma hesap sonuçları dış kayma sonuçlarına yaklaşmalı ve en alt kayma yüzeyi sınırlarında kalmalıdır (örn. donatılı bölge tabanı içerisinde) [17].

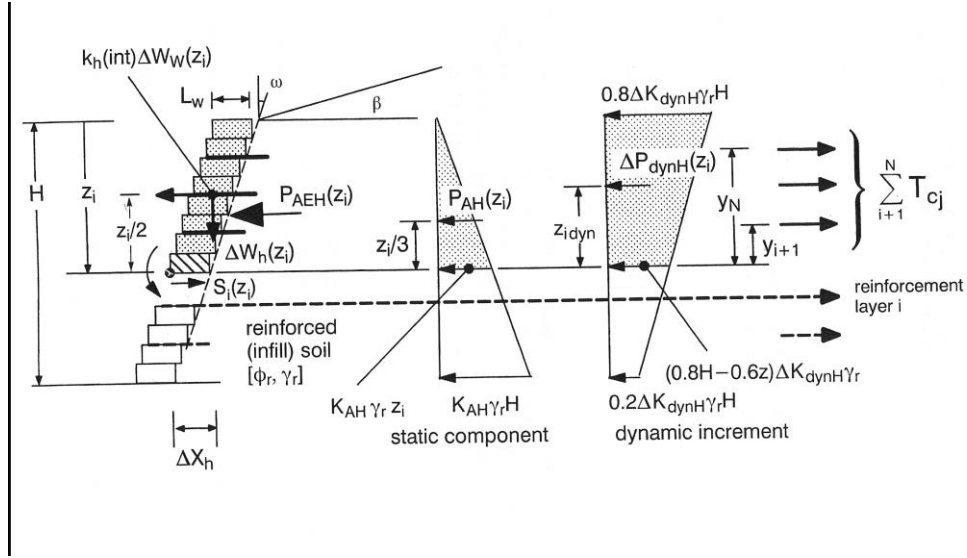
### 4.2.3. Kaplama Duvarı Stabilitesi

Geosentetik donatılı istinat yapıları için psödo-statik sismik analizlerinde, arayüz kayma göçmesi; devrilme göçmesi, üst kaplama dönmesi ve birleşme göçmesi mekanizmaları incelenmelidir (Şekil 4.3).

#### 4.2.3.1. Arayüz Kayması

Kaplama duvarı stabilite hesaplarında arayüz kayma analizinde kaplama duvarı, bütün reaksiyon kuvvetlerine (donatı tabakası üzerindeki kuvvetler) eşdeğer yatay

basınca (yayılı yük) maruz kalmış bir kiriş olarak düşünülebilir. Dinamik yükleme altındaki arayüz kesme kuvvetinin hesapları duvarın kaplama duvarı ataleti etkilerini de içermelidir. Genel yaklaşım, Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Lokal maksimum arayüz kesme kuvvetleri donatı kotlarında oluşmaktadır.



Şekil 4.11 Geosentetik donatılı istinat duvarlarının kaplama duvarlarında meydana gelen içsel kayma ve devrilmenin hesaplanması için gerekli geometri ve kuvvetler [16]

Bir  $z_i$  derinliğindeki arayüze iletilen ( $i$  no'lu donatı tabakasındaki) denge halinde bulunmayan yatay kuvvet  $S_i$ , dinamik toprak basıncının meydana getirdiği kuvvetin bileşeni ile kaplama duvarı atalet kuvvetinin toplamının hedef arayüzün üzerindeki donatı tabakaları tarafından taşınan tüm yatay kuvvetlerin toplamının farkından oluşmaktadır.

$$S_i(z_i) = k_h(ic) \cdot \Delta W_w(z_i) + P_{AEH}(z_i) - \sum_{j=i+1}^N F_j \quad (4.47)$$

Burada  $N$ , donatı tabakası sayısıdır.  $z_i$  derinliğide ve kaplama duvarı arkasına etkiyen dinamik yer kuvvetinin yatay bileşeni  $P_{AEH}(z_i)$  ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$P_{AEH}(z_i) = P_{AH}(z_i) + \Delta P_{dynH}(z_i) \quad (4.48)$$

$$P_{AEH}(z_i) = \frac{K_{AH} \gamma_r z_i^2}{2} + \left( 0.8 z_i - 0.3 \frac{z_i^2}{H} \right) \cdot \Delta K_{dynH} \gamma_r H$$



Toprak basıncı katsayıları ( $K_{AH}$  ve  $\Delta K_{dynH}$ )  $\phi = \phi_r$  ve  $0 \leq \delta \leq \phi_r$  kullanılarak hesaplanmaktadır. Her zaman olduğu gibi,  $\delta$  kaplama stabilitesi hesapları için  $2\phi_r/3$  olarak alınmaktadır. (4.48)'deki  $\Delta K_{dynH}$  ise  $k_h = k_h(ic)$  durumu için hesaplanmaktadır. Arayüz kayma güçmesi durumu için donatı tabakası güvenlik katsayısı  $FS_{sc}$ , aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$FS_{sc} = \frac{V_u(z_i)}{S_i(z_i)} \quad (4.49)$$

Burada  $V_u(z_i)$ , arayüze ait maksimum kayma kapasitesidir. Arayüz kayma mukavemeti parametrelerinin seçiminde geosentetik-üniter beton blok arayüzünün modellenmesi sonucu bulunan laboratuvar sonuçları baz alınmalıdır [17].

Burada hesaplanan güvenlik katsayısı  $FS_{sc}$  1.1'den küçük olmamalıdır (Tablo 4.2).

#### 4.2.3.2. Bağlantı Göçmesi

Birleşme göçmesi için hesaplanan dinamik güvenlik katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$FS_{cs} = \frac{T_{ci}}{F_i} \quad (4.50)$$

Burada  $F_i$  donatı tabakası  $i$  için hesaplanan çekme kuvveti olup (4.29) ile hesaplanmakta,  $T_{ci}$  ise maksimum bağlantı kapasitesi olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$T_{ci} = a_{cs} + \Delta W_h(z_i) \cdot \tan \lambda_{cs} \quad (4.51)$$

$a_{cs}$ , minimum uygun maksimum birleşme mukavemeti (lb/ft veya kN/m),  $\lambda_{cs}$  bağlantı göçme zarfını (derece) belirleyen  $\Delta W_h(z_i)$ 'nin üzerine etki ettiği normal ağırlık değişimine göre, görünen maksimum arayüz sürtünme açısıdır [15]. Burada hesaplanan güvenlik katsayısı  $FS_{cs}$  1.1'den küçük olmamalıdır (**Tablo 4.2**).

**NCMA** Test Metodu “Üniter Beton Blok Üniteleri Arasında Bağlantı Mukavemetinin Belirlenmesi” ile belirlenen maksimum bağlantı mukavemeti

özellikleri, sismik yüklemenin ani ve kısa süreli olmasından dolayı geosentetik donatılı istinat yapılarının psödo-statik sismik tasarımı için uygulanabilir bulunmuştur [15].

#### 4.2.3.3.Lokal Devrilme

Arayüz kotlarında bulunan iç moment dağılımı, arayüz kayma stabilitesi hesaplamaları kiriş analogu kullanımı ile yapılabilir. Kaplama ünitesinin topuk bölgesindeki net dış momente yol açan iç momentler, olası göçme mekanizması oluşturur ve uygun güvenlik katsayısının kontrol edilmesini gerektirir. Lokal maksimum destabilize momentler donatı kotlarında oluşur(Şekil 4.11).

Kaplama duvarının topuk bölgesinde dönmeye karşı güvenlik katsayısı , duvarın üst kaplama kısmından  $z_i$  derinliğindeki lokal devrilme durumu için tutan momentlerin devirici momentlere oranı ile hesaplanır [16]:

$$FS_{oit} = \frac{M_r(z_i) + \sum_{i+1}^N T_{cj} \cdot y_j}{M_o(z_i)} \quad (4.52)$$

$M_r(z_i)$ , Kaplama duvarının tutucu moment;  $M_o(z_i)$  yer kuvvetleri sayesinde oluşan devirici moment olarak tanımlanır. (4.52)'de geçen  $T_{cj} \cdot y_j$  terimi toplamı donatı tabakalarının ve dönme noktasına göre moment kollarının maksimum bağlantı kapasitesi ile belirlenen tutucu moment toplamını ifade etmektedir.

Burada hesaplanan güvenlik katsayısı  $FS_{oit}$  1.1'den küçük olmamalıdır (Tablo 4.2).

#### 4.2.3.4.Üst Kaplama Devrilmesi

Lokal üst kaplama devrilmesi, kaplama duvarının en üstteki donatı bulunmayan parçasının devrilmesi anlamına gelmektedir (Şekil 4.3j). Bu analiz geleneksel ağırlık yapılarının  $k_h = k_h(ic)$  kullanılmadan yapılan analiz ile aynıdır (Toplama ifadesi ihmal edilerek) (4.52). Kaplama duvarının kritik bölgesi, en üst kottaki donatı kotundan başlamak üzere duvar yüksekliğidir.

Burada hesaplanan güvenlik katsayısı  $FS_{oit}$  1.1'den küçük olmamalıdır (Tablo 4.2).

## 5. İSTİNAT YAPILARININ MALİYET ANALİZİ

İstinat yapıları temelde şev ve derin kazıların stabilitelerini sağlamak amacıyla çeşitli inşaat projelerinde kullanılmaktadır. Aynı amaç doğrultusunda yapılsa bile çok çeşitli alternatifler mevcuttur. Bu alternatifler genellikle aşağıda sıralanan nedenlerden dolayı birbirlerinden büyük ölçüde farklılaşırlar:

- Maliyet
- Yapım kolaylığı ve uygunluğu
  - Kamulaştırma alanı imkanı
  - Yapım tekniği ve ekipman
  - Dizayn parametreleri
- Şantiye kısıtları veya yapım şartları
  - Şantiyeye ulaşım ve erişim kolaylığı
  - İnşaat malzemelerinin depolanması
  - Trafik akışının kontrolü
- Estetik
- Çevre ilişkisi ve şartları
  - Gürültü
  - Toz
  - Vibrasyon
  - Yer altı tesisleri kısıtları
- Geometri ve performans şartları
  - İstinat yapısının boyutları
  - Düz veya eğrisel ön yüz
  - Zeminin yatay basınç ve dayanımı [18]

Tüm bu kalemlerin ışığında istinat duvarları *Dolgu Duvarlar* (Ağırlık, konsol, payandalı, sandık, gabyon, donatılı zemin, geotekstil/ geogrid kaynaklı çelik hasır, geosentetik donatılı şev stabilizasyonu) ve *Yarma Duvarlar* (İstinat perdesi, kazıklı, diyafram, tanjant, sekant, ankrajlı, zemin çivili, mikrokazık) olarak ikiye ayrılır.

Aşağıda verilen tablolarda dolgu ve yarma duvarlara ilişkin karşılaştırma neticesinde inşaat altyapı projelerinde en uygun istinat yapısının seçilmesi mümkün olabilir.

Tablo 5.1 Dolgu İstinat Yapılarının Karşılaştırılması [18]

Dolgu İstinat Yapılarının Mukayesesi (FHWA)							
Duvar Tipi	Sürekli Yapı	Geçici Yapı	Maliyet Efektif Yüksekliği	Maliyet (BP/m <sup>2</sup> )	Gerekli Kamulaştırma	Farklı Oturma Toleransı	NOT
Beton Ağırlık	√	-	1-3 m	100-137	0,5-0,7H	1/500	► Dayanıklı ► Geri Dolgu Malzemesi geosentetik donatılı duvara nazaran daha düşük kalitede
Beton Konsol	√	-	2-9 m	100-240	0,4-0,7H	1/500	
Beton Payandalı	√	-	9-18 m	100-240	0,4-0,7H	1/500	
Beton Sandık	√	-	2-11 m	100-140	0,5-0,7H	1/300	► Her iklim koşulunda hızlı yapım
Gabyon	√	-	2-8 m	100-200	0,5-0,7H	1/60	► Yapım kolaylığı
Donatılı Zemin	√	-	3-20 m	100-140	0,7-1,0H	1/100	
Geotekstil/ Geogrid	√	√	2-15 m	60-140	0,7-1,0H	1/60	► Korozyon ve durabilite problemi
Geosentetik Donatılı Şev Stabilizasyonu	√	√	3-30 m	30-96	0,5-1,0H	1/60	

Geosentetik donatılı istinat duvarları bir dolgu duvar çeşitidir ve aslen geotekstillere dik dolgu şevlerinde kullanılması sonucu ortaya çıkmış bir istinat türüdür. Önceki bölümlerde genişçe yer verdiğimiz üzere ülkemizde kullanımı diğer birinci dünya ülkelerinde olduğundan çok daha yeni olan bu türün en önemli rakibi geleneksel betonarme istinat duvarlarıdır. Yerleşmiş bir teknolojinin önüne yeni bir alternatif olarak sunulan bu duvarların yeterince yaygın bir kullanıma sahip olamamasının nedenleri olarak gerek kamu gerekse özel ihalelerde altyapı işlerinin diğer kalemlere oranla daha az önemsenmesi itibarıyla müteahhitlerin ve buna bağlı taşeronların yeni teknolojilere olan duyarsızlığı ve özellikle kamuya yapılacak işlerde devletin kurumlarından onaylı pozlara alternatif daha ekonomik türlerin pozlarının oluşmasındaki bürokratik zorluklar ana başlıklar olarak sıralanabilir. Sonuçta her yeniliğe karşı tutucu bir tutum sergilenen ülkemiz inşaat sektöründe yeni türlere karşı güvenin oluşması üniversiteler bünyesinde yapılan araştırmalar ve uygulamalar neticesinde olacağı yadsınamaz bir gerçektir.

Tablo 5.2 Yarma İstinat Yapılarının Karşılaştırılması [18]

Yarma İstinat Yapılarının Mukayesesi (FHWA)

Duvar Tipi	Sürekli Yapı	Geçici Yapı	Maliyet Efektif Yüksekliği	Maliyet (BP/m <sup>2</sup> )	Gerekli Kamulaştırma	Yatay Hareket	Geçirimsizlik	NOT
İstinat Perdesi	√	√	≤5 m	59-159	Hiç	Fazla	Orta Zayıf	► Hızlı yapım ► Sert zeminde zor inşaat
Kazıklı İstinat	√	√	≤5 m	41-141	Hiç	Orta	Zayıf	► Hızlı yapım
Beton Diyafram	√	√	6-24 m	241-344	Hiç	Az	İyi	► Sert zeminde zor inşaat ► Kayma Mukavemeti düşük zeminler için uygun değil
Tanjant Kazık	√	√	3-9 m	159-300	Hiç	Az	Orta	
			6-24 m					
Sekant Kazık	√	√	3-9 m	159-301	Hiç	Az	Orta Zayıf	
			6-24 m					
Ankrajlı Duvar	√	√	5-20 m	59-300	0,6H + Ank. Uz.	Küçük Orta	-	► Kalifiye işçilik ve özel ekipman gerekli
Zemin Çivisi	√	√	3-20 m	59-222	0,6-1,0H	Küçük Orta	-	
Mikro Kazık	√	-	-	1185-3630	Değişken	Küçük Orta	-	► Yapımı zor

1999 İzmit depremi ile yaşanan yıkımın gözler önüne serdiği gibi inşaat işlerinde altyapının önemi büyüktür. Depremde yitirilmiş yaşamların yerine konması mümkün değildir ancak doğanın bu gerçeğine karşı alınacak dersler neticesinde yıkılan her yapının uygun altyapı çözümleriyle yerine konması gayet mümkündür. Çalışmamda da değinmek istediğim gibi ülkemiz geniş bir deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır ve şimdiye kadar büyük ölçekli projeler hariç kendi insanlarımızın oturduğu binaların, kullandığı yolların, köprülerin ve bilimum sosyal ihtiyaçlarını giderdiği mekanların çoğunun *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*'te belirtilen sismik dizayn şartlarına göre yapılmadığı görülmüştür. Unutulmamalıdır ki deprem değil yapı öldürür. Bu nedenle uluslararası sektörde ileri teknolojik sistemleri yaratan çeşitli ülkelerin sismik tasarım dizayn kriterleri gözönüne alınarak oluşturulan afet yönetmeliğine uygunluk ilk temel şart olmalıdır. Tezin içeriğindeki tüm yöntemler bu sebeple yönetmeliğe uygun olarak seçilmiş ve takip edilen yabancı kaynaklı şartname (NCMA) yönetmelik esaslarına göre yeniden yapılandırılmıştır. Ülkemizde henüz geosentetik donatılı istinat duvarlarına ait herhangi bir poz devlet kurumlarının hiçbirinde yoktur, bu nedenden ötürüdür ki sismik dizayn şartlarının

belirlenmesinde Amerikan standardı olan National Concrete Masonry Association (NCMA)'da konu ile ilgili şartnameden faydalanılmıştır.

Geleneksel betonarme istinat duvarı ile geosentetik donatılı istinat duvarı bu çalışmada maliyet açısından üç farklı yükseklikte (3 m, 5 m, 7,6 m) karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada *sadece dolgu* ve *kazı-dolgu* uygulamalarına binaen çıkan sonuçlar tartışılmış, yüksekliklerin seçiminde sektör talebi etkili olmuştur. Böylece üç stratejik yükseklik üzerinden hesaplar yürütülmüş, tezde belirtilen esaslara uygun bilgisayar programı her iki duvar türü için geliştirilmiştir. Uygulamalarda *sadece yarma* çalışılmamıştır zira her iki duvar türü de dolguda istinat duvar türüdür. Geleneksel betonarme istinat duvarı beton konsol türünde seçilmiş ve dizaynı excel ortamında geliştirilen betonarme hesap programı ile optimum çözüm verecek şekilde hesaplanmıştır. Aynı şekilde geosentetik donatılı istinat duvarı da Mononobe-Okabe (M-O) yöntemi olarak bilinen ve istinat yapıları üzerindeki sismik zemin basınçlarının psödo-statik analizini yapan bir yöntemle dizayn edilmiş ve hesaplar excel ortamında geliştirilen bir program yardımıyla yapılmıştır. Hesaplamalar ve programlar ilerleyen bölümlerde geniş şekilde anlatılacak, sonuçlar tartışma kısmında yorumlanacaktır.

### **5.1. Betonarme Konsol İstinat Duvarı Analizi**

Çalışmamda geleneksel betonarme istinat yapısı olarak betonarme konsol istinat duvarı seçilmiştir. Bu seçimin nedeni konsol duvarların da geosentetik donatılı duvarların maruz kaldığı göçme türlerine sahip olmasıdır. Bu durum duvarların karşılaştırılmasında daha objektif bir sonuç doğuracağı için tercih edilmiştir. Konsol duvarlar genellikle kayma ve/veya dönme, toplam duraysızlık gibi rijit gövde mekanizmalarıyla göçmektedir. Ayrıca esnek göçme mekanizmalarına da maruz kalırlar. Konsol duvarlardaki zemin basınçları ve eğilme momentleri duvar-zemin geometrisine, rijitliğine ve dayanımına bağlıdır. Denge için gerekli eğilme momentlerinin, duvarın eğilme dayanımını aşması halinde eğilme göçmesi gelişebilir. Bu durum Şekil 3.3'te açıkça görülmektedir.

Betonarme konsol istinat duvarının sismik analizi için yapılan excel programında "TS500" ve "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" esaslarına uyularak kayma, devrilme ve dönme durumlarına göre güvenlik tahkiki yapılmıştır.

Programda kullanılan girdi bilgileri aşağıda Tablo 5.3'te verildiği gibidir. Her duvar yüksekliğine ait duvar geometrisi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

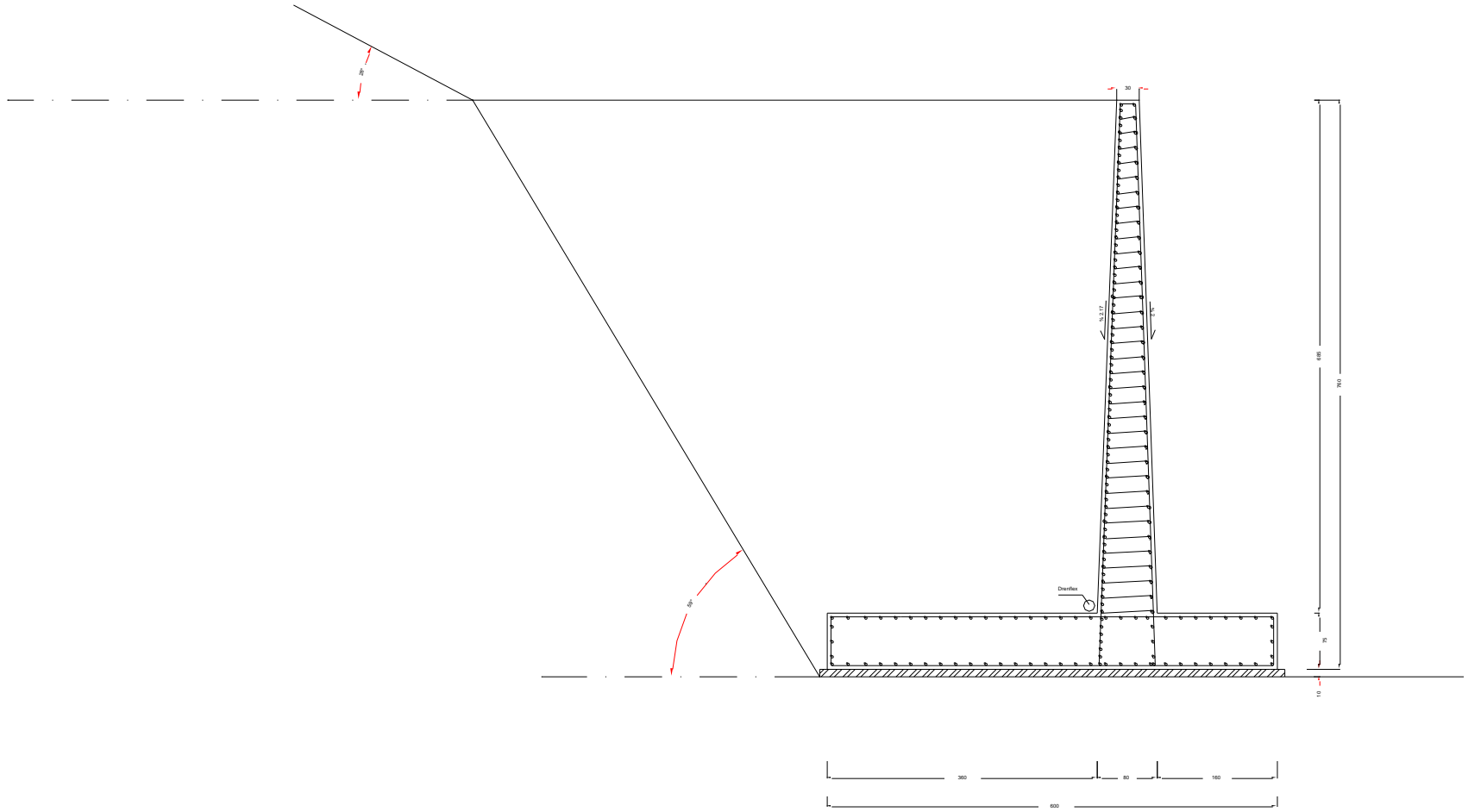
Tablo 5.3 Betonarme Konsol İstinat Duvarı Program Girdileri

**Betonarme Konsol İstinat Duvarı Program Girdileri**

Açıklama	Birim	Girdi
Yapı Önem Katsayısı, I	-	1.00
Etkin Yer İvmesi Katsayısı, $A_0$	-	0.40
İçsel Sürtünme Açısı, $\phi$	Dolgu $\phi_b$	40
	Zemin $\phi_f$	28
Doğal Zemin Birim Hacim Ağırlığı, $\gamma_f$	t/m <sup>3</sup>	1.90
Taban Zemin Sürtünme Katsayısı, $\mu$	-	0.50
Zemin Emniyet Gerilmesi, $\sigma_{emn}$	t/m <sup>2</sup>	20.00
Beton Birim Hacim Ağırlığı, $\gamma_c$	t/m <sup>3</sup>	2.50
Duvar Yüzünün Düşeyle Açısı, $\theta$ (Ortalama)	Derece°	2
Zemin Şev Açısı, $\beta$	Derece°	0
Duvar Sürtünme Açısı, $\delta$	Derece°	23
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, R	-	1.50

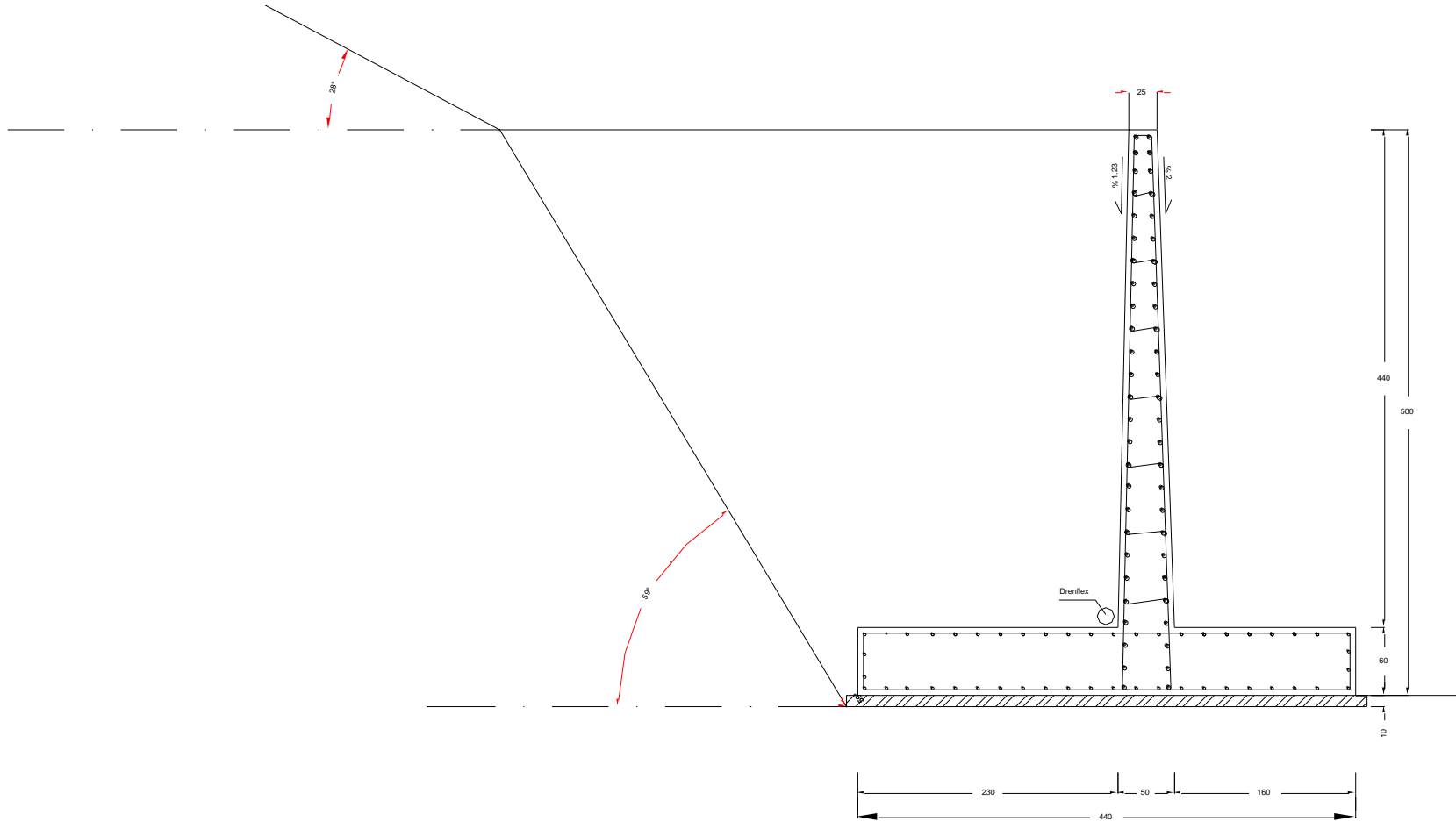
Duvar geometrilerinde de görüldüğü üzere duvar taç kısımlarında sürşarj yükü etki etmemekte olup yeraltı su seviyesi 15 m olarak tanımlanmıştır. Böylece zemin doğal birim hacim ağırlığıyla çalışılabilmiş, ayrıca su basıncından kaynaklanacak ek kuvvetler bertaraf edilebilmiştir. Yeraltı su seviyesinin duvarın altında alınmasının en önemli sebeplerinden biri de geosentetik donatılı istinat duvarlarında suyun duvar taban kotundan daha yüksekte olmaması gereğidir. Her ne kadar geosentetik malzeme su geçirimli ve arka dolgu çakıl stabilize malzeme olsa da bu durum duvar stabilitesinin sismik analizinde su basıncı faktörünü ekleyecektir. Su drenajı yapılmış olmasına karşın duvar arkasında suyun yükselmesi istenen bir durum değildir zira kaplama duvarı ön yüzü bu basınca dayanıklı olmayacaktır. Şartların eşit olması için su seviyesi duvar taban kotunun hayli altında seçilmiştir.

Arka dolgunun bitiminden itibaren zemin kendi içsel sürtünme açısı olan 28 derecede durmaktadır. Grobetonun alt kotundan itibaren arka dolgunun bitimine kadar olan kazı aynasının  $45^\circ + \phi/2$  derecede (yaklaşık 59 derece) stabilitesini koruduğu kabul edilmiştir. Duvar boyutları her üç yükseklik için Tablo 5.4' te verilmiştir.

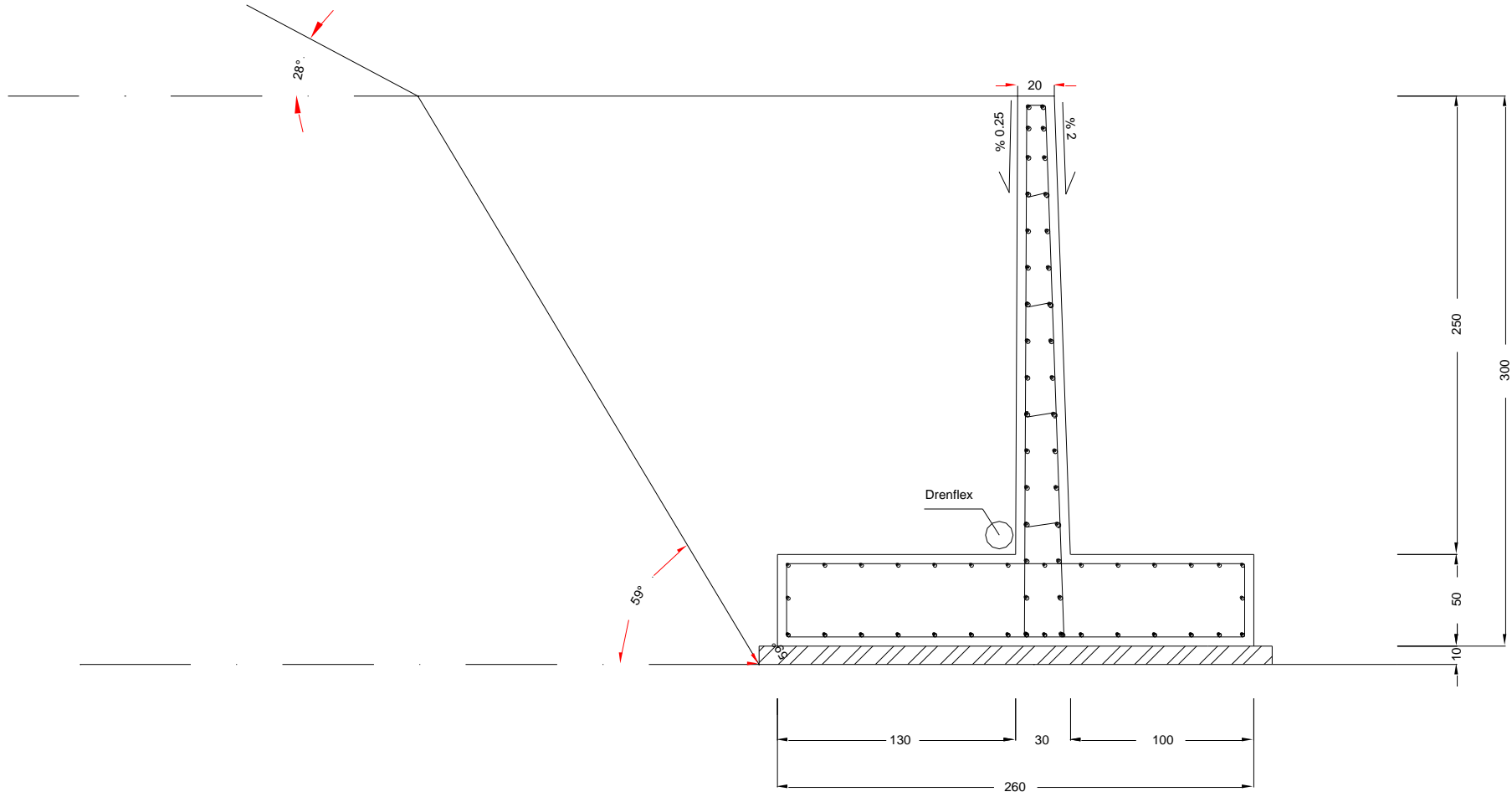


Şekil 5.1 (a) 7,60 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı Geometrisi





Şekil 5.1 (b) 5,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı Geometrisi



Şekil 5.1 (c) 3,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı Geometrisi

Tablo 5.4 Yüksekliklere göre betonarme konsol duvar boyutları

	Birim	Duvar Yükseklikleri		
		3,00 m	5,00 m	7,60 m
Grobeton Yükseklik	M	0,10	0,10	0,10
Grobeton Genişlik	M	2,80	4,60	6,20
Ön Ampatman Yükselik	M	0,50	0,60	0,75
Ön Ampatman Genişlik	M	1,00	1,60	1,60
Arka Ampatman Yükseklik	M	0,50	0,60	0,75
Arka Ampatman Genişlik	M	1,30	2,30	3,60
Konsol Yükseklik	M	2,50	4,40	6,85
Konsol Taç Genişliği	M	0,20	0,25	0,30
Konsol Taban Genişliği	M	0,30	0,50	0,80
Duvar Ön Yüzü Eğimi (%)	-	2	2	2
Duvar Arka Yüzü Eğimi (%)	-	0,25	1,23	2,17

Hesapların tümü 1m uzunluk (hatboyu) için yapılmış olduğundan çıkan sonuçlar metretül olarak değerlendirilebilir. Metraj sonuçları Tablo 5.5'te verilmiştir. Her metraj kalemi maliyet analizinde kullanılırken pozlandırılmıştır.

Tablo 5.5 Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Metrajı

	Birim	Duvar Yükseklikleri		
		3,00 m	5,00 m	7,60 m
Kazı	m <sup>3</sup>	6.15	16.64	37.94
Grobeton	m <sup>3</sup>	0.28	0.46	0.62
Beton	m <sup>3</sup>	1.93	4.29	8.27
Kalıp	m <sup>2</sup>	6.20	10.20	15.40
Demir	kg	180.16	447.71	954.69
Dolgu (Yarma-Dolgu)	m <sup>3</sup>	6.45	16.64	44.12
Dolgu (Sadece Dolgu)	m <sup>3</sup>	12.60	35.29	82.06

## 5.2 Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Analizi

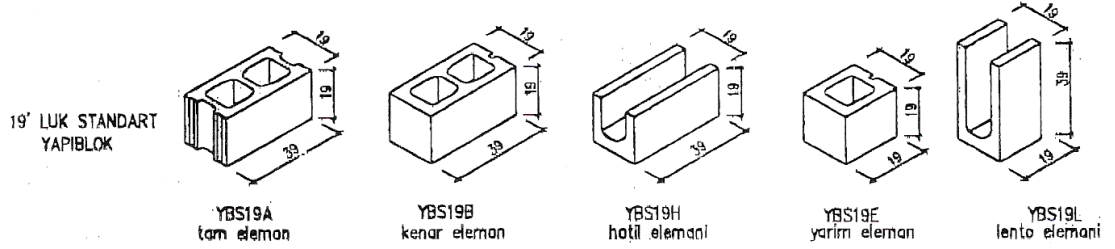
Geleneksel betonarme istinat duvarlarına alternatif olarak geosentetik donatılı istinat duvarı seçilmiştir. Geosentetik donatılı istinat duvarları hakkında geniş bilgi bölüm 2'de verilmişti. Bu alt bölümde üniter beton blok elemanlarla teşkil edilen geosentetik donatılı istinat duvarlarının metrajı excel ortamında geliştirilen bir program yardımıyla gerçekleştirilecektir. Bu programın algoritması oluşturulurken kabul edilen hususlar aşağıda maddelenmiştir:

1. Geosentetik donatılı istinat duvarları hem ağırlık hem de konsol çalışabilen, yatayda yerdeğiştiren, duvar yüksekliğince ve duvar taç kısmında akma göçmesi gösterebilen duvarlardır.

2. Donatılı zemin ve iksalanan zemin bölgelerinde kullanılan zemin türü kohezyonsuz (sürtünme katsayısı yüksek) ve homojen olarak genellikle stabilize malzeme ve/veya çakıl kombinasyonu olmalıdır. Zemin taşıma gücünün tanımlanmasında Mohr-Coulomb göçme zarflarından faydalanılmıştır. Çoğu durumda serbest drene olabilen zeminlerin kohesiv gerilme bileşeni ihmal edildiğinden sismik dizayn için bu bileşenin hesaba katılmaması güvenlik açısından bir tehlike oluşturmaz.
3. Etkin Yer İvmesi  $\leq 0,40g$  olarak kabul edilmiştir.
4. Düşeyde yer ivmesi sıfır kabul edilmiştir.
5. Donatılı zemin üniter beton blokların yüksekliğince teşkil edilecektir.
6. Harpušta uygulamalarının duvar sismik analizinde ihmal edilir ölçüde etkisi vardır.
7. Taşıma kapasitesi analizlerinde duvar önyüzünde isteğe bağlı gömme zemin yüksekliği etkisi ihmal edilebilir.
8. Duvar taç kısmında kaplama duvarının arkasında sürekli sürşarj yükü olmamalıdır.
9. Kaplama duvarı tabanı yatay bir düzleme oturtulmalı, bu amaçla 20 cm  $\times$  40 cm beton yastık duvar tabanına teşkil edilmelidir.
10. Geosentetik donatılı istinat duvarları organik zeminler gibi aşırı oturmaya aday, sıvılaşıma potansiyeli olan zeminler üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmadan inşa edilemez [16].

Bu hususların baştan kabul edilmesi sonucunda program girdileri oluşturulmuştur. Kaplama duvarını oluşturan üniter beton blok elemanlar Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.' nin Lüleburgaz tesislerinde üretilen 19 cm  $\times$  19 cm  $\times$  39 cm boyutlarında gri renkli standart yapıbloklarının tam elemanlarından seçilmiştir. Yapıblok, beton teknolojisi ile farklı renk ve dokularda üretilen, taşıyıcı duvar yapı elemanı olarak kullanılabilen ve sıva, boya gerektirmeyen modüler duvar elemanlarıdır. Yapı Merkezi tarafından "*Yapıda bilim ve teknoloji*" felsefesine uygun olarak "**Amerikan Besser**" lisansı ile Lüleburgaz tesislerinde üretilmektedir. Maliyet analizinde kaplama duvarına ait kalemler ilgili pozlarla ilişkilendirilmiştir. Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri kitabında yapı bloklara ait direkt bir poz

bulunmadığından fiyatlandırma özel poz olarak Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'nin fiyat listesine bağlı kalınarak yapılmıştır. Sektörde 19'luk Standart Yapı Blok olarak adlandırılan bloklar aşağıda Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Yapı blokların bazı fiziksel ve mekanik dayanımlarına ilişkin bilgiler ise Tablo 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.2 Standart Yapı Blok Türleri [22]

Tablo 5.6 Yapı Blokların Özellikleri [22]

ÖZELLİK	YAPI BLOK DEĞERLERİ
Yoğunluk	2.3 gr/cm <sup>3</sup>
Ses yalıtımı	52 dB
Darbe yalıtımı	26 dB
Su emme (max)	6%
Isı iletim katsayısı	0.916 kcal/mh °C
Yangın dayanımı	9 cm (2 saat)
7 Günlük basınç dayanımı (net yüzey alanına göre)	150 kgf/cm <sup>2</sup>
28 Günlük basınç dayanımı (net yüzey alanına göre)	177 kgf/cm <sup>2</sup>

Kaplama duvarına girecek toplam blok sayısı doğal olarak sadece yükseklik ve hat boyu ile belirlenebilir. Bunun dışında geosentetik donatılı istinat duvarlarının yüksekliklerden bağımsız program girdileri 3,04 m örnek teşkil etmesi amacıyla aşağıda sırasıyla Tablo 5.7, Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.7 Genel Girdiler

Genel Veriler	
Blok Adedi :	16
Duvar Yüksekliği :	3.04 m
Blok Boyutları :	19 cm * 19 cm * 39 cm

Tablo 5.8 Zemin Girdileri

	Zemin Türü	İçsel Sürtünme Açısı (φ)		Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ)		Kohezyon (c)		Duvar-Zemin Sürtünme Açısı (δ)	
		Birim	° Derece	Birim	kN/m <sup>3</sup>	Birim	Birimsiz	Birim	° Derece
Arka Dolgu	CL		28		19		0		28
Donatılı Zemin	GW		35		19		0		23
Temel Zemini	CL		28		19		0		-
Drenaj Agregası	GP		40		19		0		-

Tablo 5.9 Beton Blok Elemanlara (Yapı Blok) Ait Girdiler

Beton Blok Elemanlara Ait Veriler	Harpuşta Yüksekliği ( $H_k$ ) :	0	m	
	Beton Blok Yüksekliği ( $H_k$ ) :	0.19	m	
	Beton Blok Uzunluk ( $L_k$ ) :	0.19	m	
	Beton Blok Ağırlık Merkezi ( $L_g$ ) :	0.095	m	
	Beton Blok Genişlik ( $W_k$ ) :	0.39	m	
	Beton Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma$ ) :	25	kN/m <sup>3</sup>	
	Duvar Eğimi ( $\omega$ ) :	0	° Derece	
	Beton Blok Elemanın İçi Çakılla doldurulmuş Toplam ağırlığı :	0.35	kN	
	Drenaj Agregası ile Bloklar Arası Sürtünme Katsayısı ( $\mu_b$ ) :			0.7
	<b>Bloklararası Kayma Mukavemeti Parametreleri</b>			
İki Blok Arayüzü Minimum Uç Mukavemeti, $a_U$ :		6	kN/m	
İki Blok Arayüzü Minimum Uç Mukavemeti Göçme Zarfı Açısı, $\lambda_U$ :		30	Derece	
<b>Geosentetik - Blok Arası Bağlanma Parametreleri</b>				
Minimum Bağlanma Uç Mukavemeti, $a_{CS}$ :		17	kN/m	
Minimum Bağlanma Uç Mukavemeti Göçme Zarfı Açısı, $\lambda_{CS}$ :		30	Derece	

Tablo 5.10 Geosentetik/Geotekstil Malzeme Özelliklerine Ait Girdiler

Sınır Mukavemet Değeri, $T_{ult}$ (Her ikiyönde) :	40	kN/m
Statik Yükleme Altında İzin Verilen Mukavemet Değeri, $T_{a(sta)}$ :	8.27	kN/m
Sünme Redüksiyon Katsayısı, $RF_{CR}$ :	2.15	-
Çekme İçin Etkileşim Faktörü, $C_i$ :	0.7	-
Geosentetik - Zemin Arayüzünde Direkt Kayma İçin Katsayı, $C_{ds}$ :	0.95	-

Tablo 5.11 Zemin-Duvar Arası Sürtünme Katsayısı [15]

Zemin Türü	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )	( $\mu$ )
GW, GP	37 – 42	0.7
GM, SW, SP	33 - 40	0.65
GC, SM, SC	28 – 35	0.6
ML, CL	25 – 32	0.55

Duvar üst kotu şev eğimi,  $\beta$  yukarıda kabul edilen hususlar dahilinde  $0^\circ$  olarak alınmıştır. Duvar aynen betonarme konsol istinat duvarında olduğu gibi birinci derece deprem bölgesinde inşa edilecek olup bunu müteakip etkin yer ivmesi,  $A_0$

0,40g alınmıştır. Zemin-duvar arası sürtünme katsayısı,  $\mu$  zemin içsel sürtünme açısına bağlı olarak Tablo 5.11’de verilmiştir. Duvar yüksekliklerinin blok yüksekliğine bağlı olarak 0,19 m’nin katı olması gerekmektedir. Bu nedenle geosentetik donatılı istinat duvarlarında alınan yükseklikler betonarme konsol istinat duvarına göre 3,00 m’ye en yakın 3,04 m, 5,00 m’ye en yakın 5,13 m, 7,60 m ise tam olarak alınmıştır.

Bloklararası kayma mukavemeti parametreleri ve geosentetik-blok arası bağlanma mukavemeti parametreleri deneysel bulgular olup çalışmamda NCMA şartnamesinin Appendix C.1 ve C.2 esaslarına göre yine NCMA şartnamesinde zemin girdilerine bağlı olarak değerlendirilmiş, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik esaslarına uygun revize edilmiştir. Bu revize sadece radyan yerine derece çalışmayı uygun gören bir düzeltmeden öteye gitmemiştir. Sonuç olarak yabancı şartnamede yer alan radyan değerleri yerine derece değerleriyle çalışılmıştır. Türk standartlarında geosentetik-blok arası bağlanma mukavemeti deneyine ilişkin herhangi bir standart bulunmadığından bu uygulamaya gidilmiştir. Bu teknolojinin yeni olduğu ülkemizde standartlar bakımından bu dışa bağıllık üzücü olsa da NCMA’ nın kullandığı standartların ASTM (American Society for Testing and Materials) standartları olması kendi yönetmeliklerimizde (TS500 ve Afet Yönetmeliği) kullanılan standartların da ASTM standartları olması bakımından sevindiricidir. Bu bağlamda ülkemizde geosentetik donatılı istinat duvarları için NCMA şartlarını yönetmeliklerimizde esaslarında revize ederek kullanmak çok da yanlış olmaz.

NCMA’ nın şartnamesinde Appendix C.1 için kullandığı ASTM D4595 ve ASTM D4354 ile geosentetik-blok arası bağlanma mukavemeti deneyi tanımlanmış olup alınan 17 kN/m değeri çalışmamda belirlediğim zemin şartları için ASTM’de verilmiş bir değerdir.

Program girdileri sonucu dış stabilite, iç stabilite ve kaplama duvarı stabilitesinin tahkikleri yapılmış ve duvar metraji ortaya çıkmıştır. Bu duvarın sismik dizayn hesaplamaları için gerekli formüllerin tanımı ve açıklamaları 4.2’de genişçe bahsedildiğinden hesap adımlarını içeriklerine bağlı kalarak sıralamak yeterli olacaktır. Buna göre başlıca stabilite hesaplarına göre adımlar şu şekilde sıralanabilir:

## 1. Başlangıç Hesapları

- 1.1. Sismik katsayıların hesaplanması ( $k_h$  ve  $k_v$ )
- 1.2. Sismik atalet açısının hesabı ( $\lambda$ )
- 1.3. Statik aktif toprak basıncı katsayılarının hesabı ( $K_A$ )
- 1.4. Dinamik aktif toprak basıncı katsayılarının hesabı ( $K_{AE}$ )
- 1.5. Dinamik aktif toprak basıncı katsayılarının artımı hesabı ( $\Delta K_{dyn}$ )
- 1.6. Toprak basıncı katsayılarının yatay bileşenlerinin hesabı
- 1.7. Kaplama duvarının toplam ağırlığının hesabı
- 1.8. Kaplama duvarının mafsal yüksekliği hesabı
- 1.9. Mafsal yüksekliğine giren blok sayısına göre mafsal yüksekliğince oluşacak kolon ağırlığı hesabı

## 2. Dış Stabilitel Hesapları

- 2.1. Minimum donatı boyu hesabı ( $L_{min}$ )
- 2.2. Donatılı zemin bölgesinin ağırlık bileşenleri hesabı
- 2.3. Donatılı zemin bölgesinin toplam ağırlığının hesabı
- 2.4. Donatılı zemin bölgesinin ataletsel ağırlık bileşenleri hesabı
- 2.5. Arka dolgu bölgesi için hesaplanmış  $k_h$  ile ataletsel  $P_{IR}$  kuvveti hesabı
- 2.6. Dış stabilite hesaplarında kullanılacak donatılı zemin bölgesinin yüksekliğinin hesabı
- 2.7.  $h$  derinliğinde donatılı zemin bölgesinin gerisine etki eden dinamik toprak kuvvetinin yatay bileşeninin hesabı,  $P_{AEH}$
- 2.8. Taban kayması direncinin hesabı,  $R_S$
- 2.9. Taban kayması için güvenlik katsayısı hesabı,  $FS_{sl}$
- 2.10. Karşı koyucu moment kolları hesabı
- 2.11. Karşı koyucu moment hesabı
- 2.12. Devirici moment kolları hesabı
- 2.13. Devirici moment hesabı

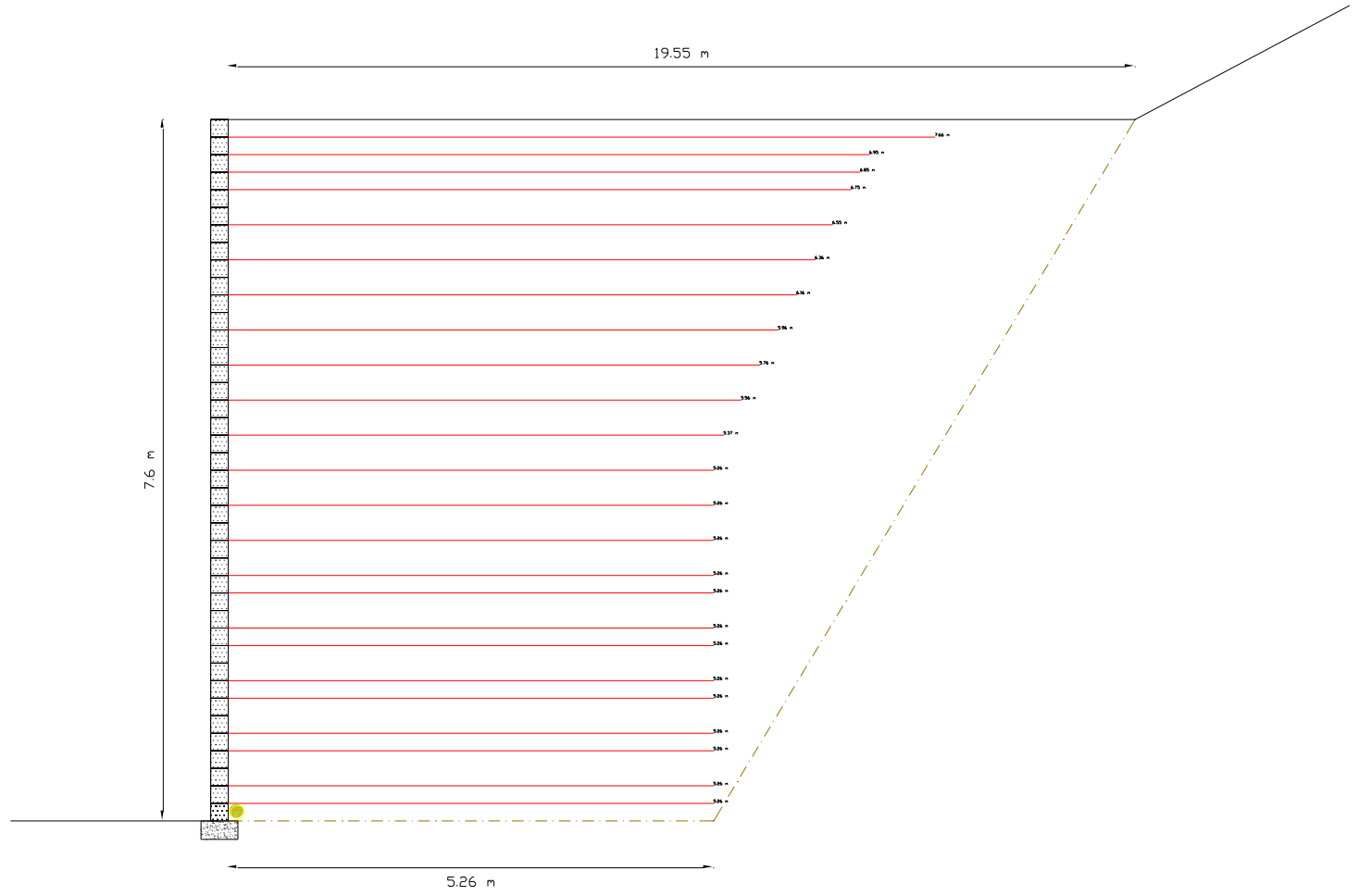


- 2.14. Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı hesabı,  $FS_{OT}$
- 2.15. Temel eksantrikliği hesabı,  $e$
- 2.16. Eşdeğer taban genişliği hesabı,  $B'_f$
- 2.17. Taşıma gücü kapasitesi katsayıları hesabı ( ilgili  $\phi$  açıları için )
- 2.18. Sınır taşıma gücü kapasitesi hesabı
- 2.19. Temel zeminine uygulanan taşıma gücü basıncı hesabı
- 2.20. Taşıma gücü için güvenlik katsayısı hesabı,  $FS_{bc}$
3. İç Stabilite Hesapları
- 3.1. Geosentetik donatıya gelecek dinamik yüklerin sınır değeri hesabı,  $T_{ult}$
- 3.2. Geosentetik donatı için deneme uzunluklarının seçimi
- 3.3. Aşırı gerilmeye karşı güvenlik katsayısının hesabı,  $FS_{os}$
- 3.4. Çekmeye karşı güvenlik katsayısının hesabı,  $FS_{po}$
- 3.5. İçsel kaymaya karşı güvenlik katsayısının hesabı,  $FS_{sli}$
4. Kaplama Duvarı Stabilitesi Hesapları
- 4.1. Kaplama arayüzünde meydana gelebilecek kayma gerilmesine karşı güvenlik katsayısının hesabı,  $FS_{sli}$
- 4.2. Bağlanma göçmesine karşı güvenlik katsayısının hesabı,  $FS_{cs}$
- 4.3. Bölgesel devrilmeye ve taç düşmesine (crest toppling) karşı güvenlik katsayılarının hesabı,  $FS_{otl}$

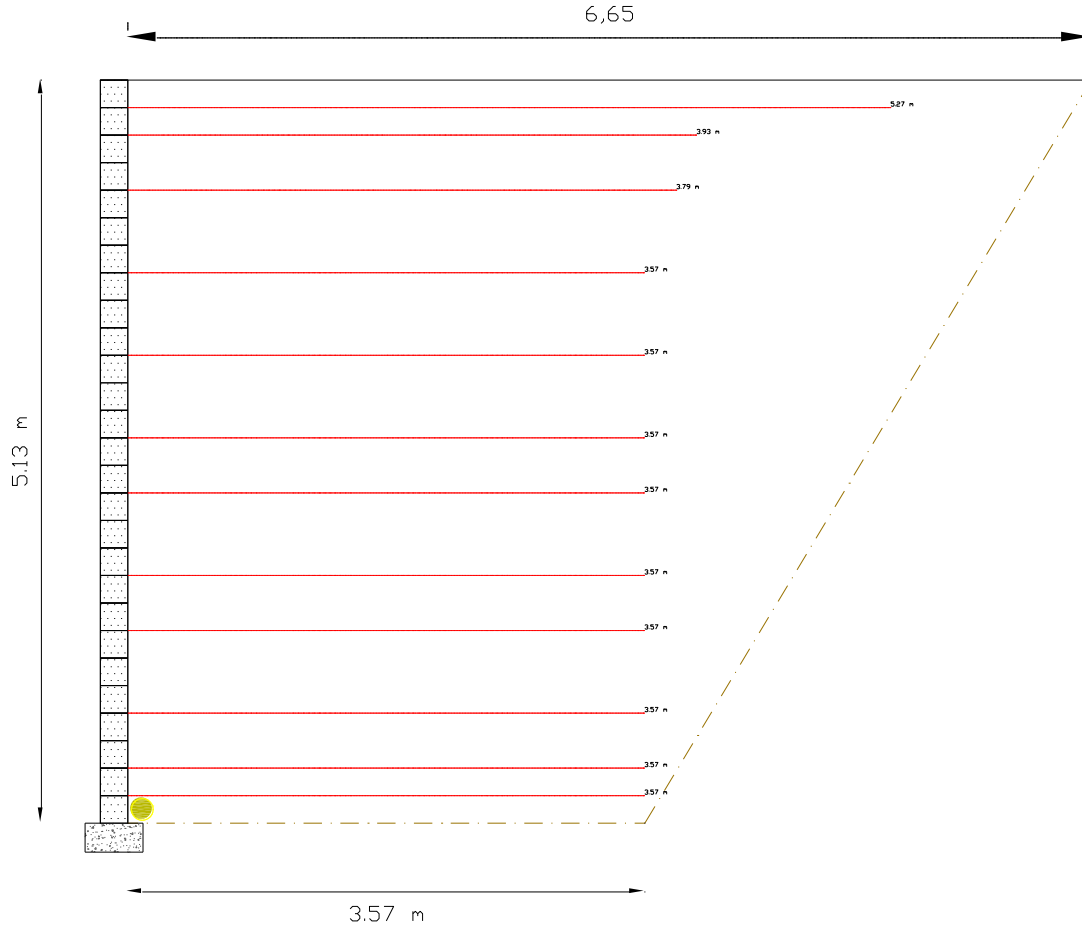
Yukarıda maddelenen hesap adımları sonucunda ortaya çıkan metraj aşağıda Tablo 5.12’de, duvar geometrileri ise Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.12 Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Metrajı

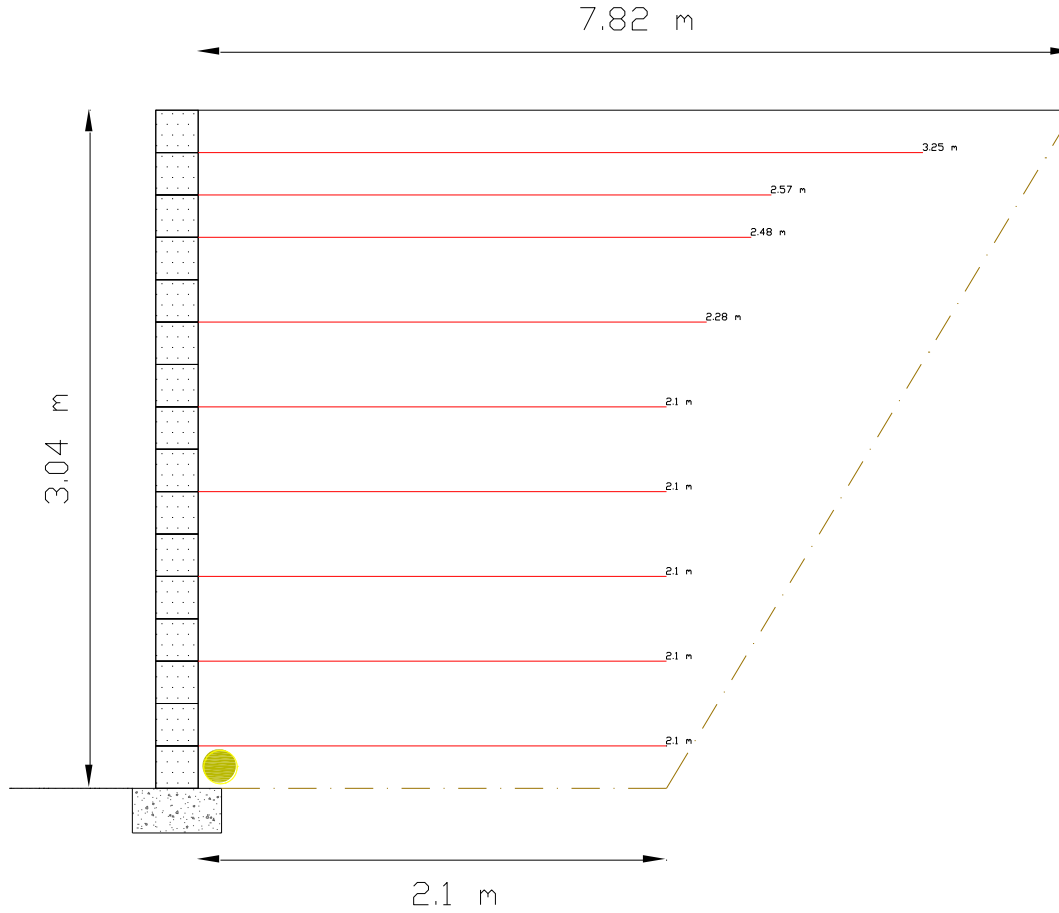
Yükseklik(m)	Toplam Donatı Miktarı ( $m^2$ )	Toplam Blok Adeti	Sadece Dolgu Uygulaması İçin Dolgu Miktarı ( $m^3$ )	Kazı-Dolgu Uygulaması İçin Kazı Ve Dolgu Miktarları ( $m^3$ )	
			<i>Dolgu</i>	<i>Kazı</i>	<i>Dolgu</i>
3,04	21.08	41	15,08	5.91	9.16
5,13	45.12	69	43,06	16.84	26.22
7,60	138.31	103	94,55	36.96	57.33



Şekil 5.3 7,60 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Geometrisi



Şekil 5.4 5,13 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Geometrisi



Şekil 5.5 3,04 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Geometrisi

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının ayrıntılı donatı boyları aşağıda Tablo 5.13'te verilmiştir.

Tablo 5.13 Duvar Yüksekliklerine Göre Geosentetik Donatı Boyları

Tabaka No	Elevasyon (m)	Derinlik, $z_i$ (m)	Deneme Donatı Uzunlukları		
			7,60 m	5,13 m	3,04 m
1	0.19	7.41	5.26	-	-
2	0.38	7.22	5.26	-	-
3	0.57	7.03	0	-	-
4	0.76	6.84	5.26	-	-
5	0.95	6.65	5.26	-	-
6	1.14	6.46	0	-	-
7	1.33	6.27	5.26	-	-
8	1.52	6.08	5.26	-	-
9	1.71	5.89	0	-	-
10	1.9	5.7	5.26	-	-
11	2.09	5.51	5.26	-	-
12	2.28	5.32	0	-	-
13	2.47	5.13	5.26	-	-
14	2.66	4.94	5.26	3.57	-
15	2.85	4.75	0	3.57	-
16	3.04	4.56	5.26	0	-
17	3.23	4.37	0	3.57	-
18	3.42	4.18	5.26	0	-
19	3.61	3.99	0	0	-
20	3.8	3.8	5.26	3.57	-
21	3.99	3.61	0	0	-
22	4.18	3.42	5.37	3.57	-
23	4.37	3.23	0	0	-
24	4.56	3.04	5.56	0	-
25	4.75	2.85	0	3.57	2.1
26	4.94	2.66	5.76	0	0
27	5.13	2.47	0	3.57	2.1
28	5.32	2.28	5.96	0	0
29	5.51	2.09	0	0	2.1
30	5.7	1.9	6.16	3.57	0
31	5.89	1.71	0	0	2.1
32	6.08	1.52	6.36	0	0
33	6.27	1.33	0	3.57	2.1
34	6.46	1.14	6.55	0	0
35	6.65	0.95	0	0	2.28
36	6.84	0.76	6.75	3.79	0
37	7.03	0.57	6.85	0	2.48
38	7.22	0.38	6.95	3.93	2.57
39	7.41	0.19	7.66	5.27	3.25

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının sismik dizaynında dikkati çeken en önemli husus geosentetik donatı boylarının yüksekliğe oranla artışının giderek azalma göstermesidir. Bu yüzden yüksek istinat duvarlarında kullanımı daha makuldür.

### **5.3 Maliyet Analizleri**

Bu bölümde betonarme konsol istinat duvarı ile geosentetik donatılı istinat duvarlarının maliyet analizleri ve bu analizlerin karşılaştırmalı yorumları yer almıştır. Karşılaştırmalar grafik olarak desteklenmiş ve her iki duvar için inşa hızının ekonomi üzerinde ne tür bir etkisi olduğu konusu tartışılmıştır. İmalat hızı şüphesiz her inşaat işinin vazgeçilmez bir parametresidir ve tercih en kısa sürede en fazla verim elde etmekten yana kullanılır. Bu durumda maliyet analizinde yakın sonuçlar veren yükseklikler için imalat hızı tercih nedeni olmaktadır. Her iki duvarın güvenlik tahkikleri bakımından birbirine eşdeğer olduğu gerçeğinden hareketle inşaat işlerinde optimum çözüm için aranan ekonomiklik ve imalat süresine ilerleyen bölümlerde açıklık getirilmiştir.

Maliyet analizinde yer alan pozların çoğu Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri Kitabı'nda yer alan Bayındırlık Poz No'larıdır. Gerekli görülen yerlerde Karayolları Genel Müdürlüğü Şartnamesi'nden de poz no kullanılmıştır. Ancak Karayolları Genel Müdürlüğü' nün şartnamesinde yer alan poz no'ların kendi içinde analizi de bayındırlık poz no'larından oluşturulduğundan maliyet analizinin geneline Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizi Kitabı'nda yer alan poz no'lar hakimdir.

#### **5.3.1 Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Maliyet Analizi**

Analizde yer alan kalemlere ait fiyatlandırma ayrıntılı olarak eklerde Tablo A, B ve C'de her bir yükseklik için ayrı ayrı verilmiştir. Analiz sadece dolgu, yarma-dolgu uygulamaları için yapılmış, yarma-dolgu uygulamasında dolgunun bir çakılla bir de yarmadan çıkan malzemeyle doldurulması bakımından toplamda üç adet maliyet analizi yapılmıştır.

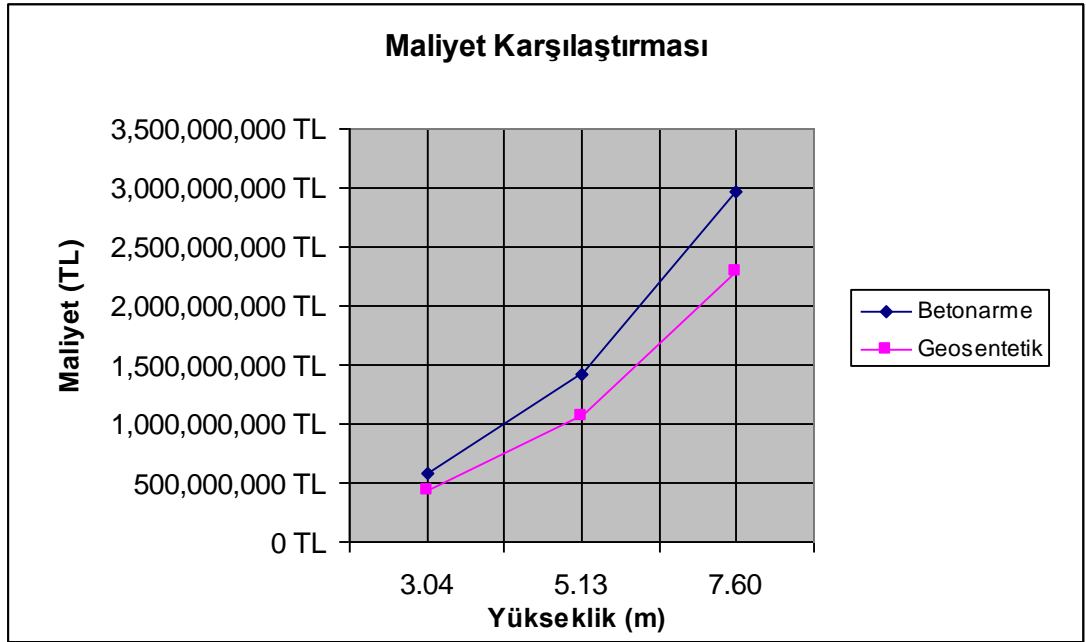
#### **5.3.2 Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Maliyet Analizi**

Analizde yer alan kalemlere ait fiyatlandırma ayrıntılı olarak eklerde Tablo D ve E'de her bir yükseklik için ayrı ayrı verilmiştir. Analiz sadece dolgu, yarma-dolgu uygulamaları için yapılmış, tüm dolgularda çakıl stabilize malzeme kullanılmıştır.

## 6. SONUÇLAR

Betonarme konsol istinat duvarları ile geosentetik donatılı istinat duvarlarının maliyet analizinin sonuçları bir tabloda düzenlenmiştir. Böylece maliyet bakımından hangi tür duvarın yükseklikler boyunca daha ekonomik olduğu ortaya konmuştur. Tablo 6.1’de sadece dolgu uygulaması, Tablo 6.2’de yarma-dolgu uygulamasının betonarme konsol duvar için arka dolgusu çakıllı versiyonu, Tablo 6.3’te yarma-dolgu uygulamasının betonarme konsol duvar için arka dolgusu yarma amlzemesi versiyonu aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Tablo 6.1 Sadece Dolgu Uygulamasında Maliyet Karşılaştırılması

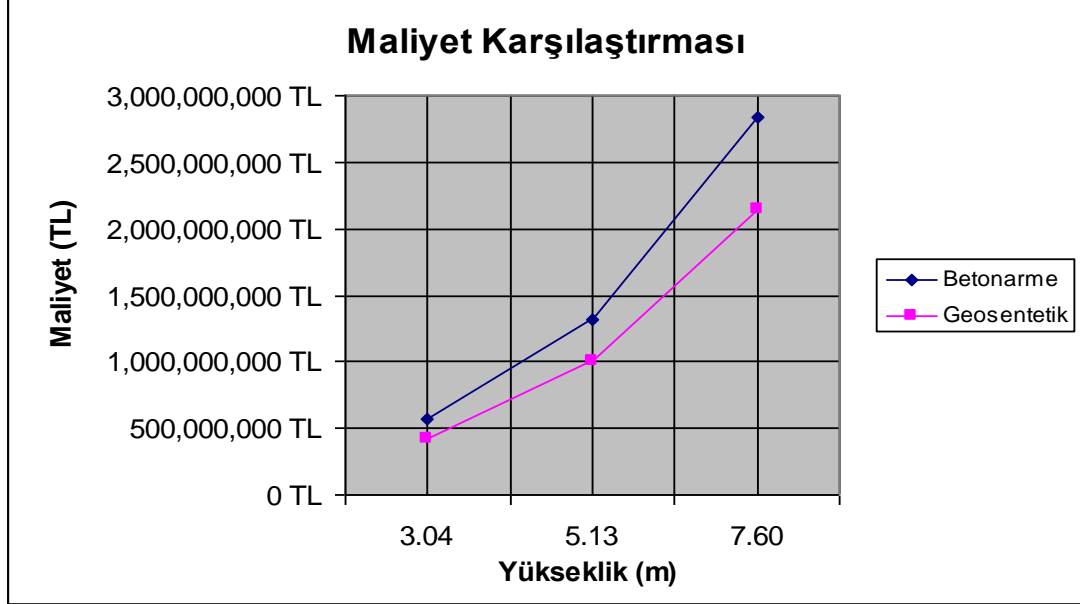


Betonarme İstinat Duvarları			Geosentetik Donatılı İstinat Duvarları		
H (m)	Maliyet	m <sup>2</sup> Fiyatı	H (m)	Maliyet	m <sup>2</sup> Fiyatı
3.00	586,939,335 TL	195,646,445 TL	3.04	439,091,151 TL	144,437,879 TL
5.00	1,411,643,286 TL	282,328,657 TL	5.13	1,069,848,256 TL	208,547,418 TL
7.60	2,974,041,413 TL	391,321,238 TL	7.60	2,282,934,463 TL	300,386,114 TL

Maliyet analizinde yer alan pozların çoğu Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri Kitabı’nda yer alan Bayındırlık Poz No’larıdır. Gerekli görülen yerlerde Karayolları Genel Müdürlüğü Şartnamesi’nden de poz no kullanılmıştır.

Ancak Karayolları Genel Müdürlüğü' nün şartnamesinde yer alan poz no'ların kendi içinde analizi de bayındırlık poz no'larından oluşturulduğundan maliyet analizinin geneline Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Analizi Kitabı' nda yer alan poz no'lar hakimdir.

Tablo 6.2 Yarma-Dolgu Uygulamasında (Çakıllı) Maliyet Karşılaştırılması



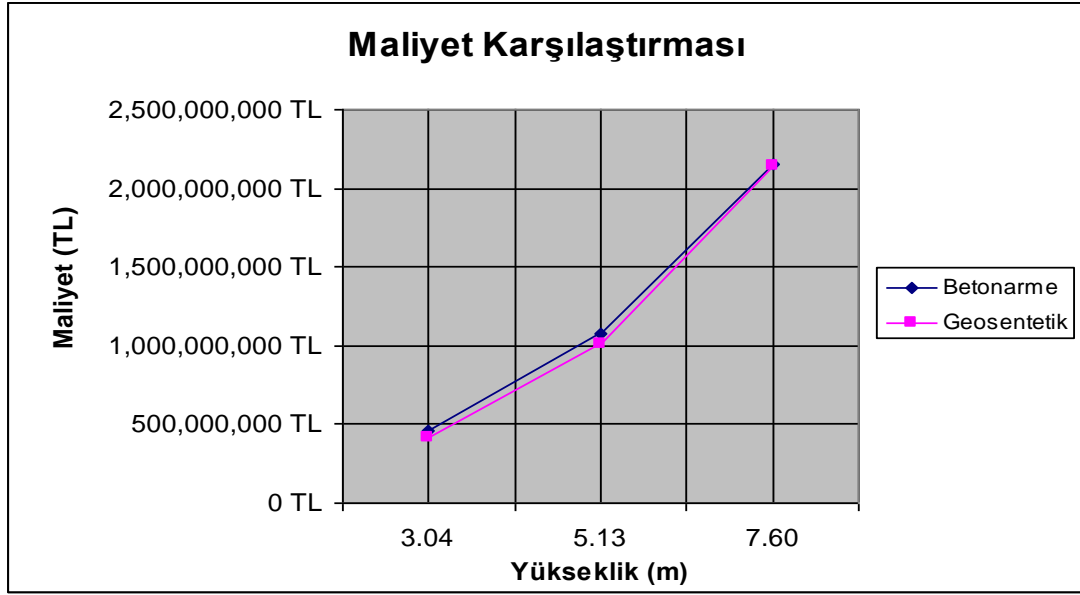
Betonarme İstinat Duvarları			Geosentetik Donatılı İstinat Duvarları		
h (m)	Maliyet	m <sup>2</sup> Fiyatı	h (m)	Maliyet	m <sup>2</sup> Fiyatı
3.00	563,792,606 TL	187,930,869 TL	3.04	416,722,045 TL	137,079,620 TL
5.00	1,312,686,662 TL	262,537,332 TL	5.13	1,006,461,165 TL	196,191,260 TL
7.60	2,831,195,016 TL	372,525,660 TL	7.60	2,143,775,352 TL	282,075,704 TL

Verilen maliyet karşılaştırmalarından çıkarılacak sonuçlar aşağıda sıralanmıştır. Sonuçlarda yorumlar öncelikle maliyet açısından yapılmıştır. Aynı yükseklikte yakın maliyet değerleri veren iki tür karşılaştırmak için bu sefer imalat hızları göz önüne alınmıştır.

1. Tüm sonuçlarda açıkça görülmektedir ki geosentetik donatılı istinat duvarları betonarme konsol duvarlardan daha ekonomik çözümler sunmaktadır.
2. Sadece Yarma ve Yarma-Dolgu (Çakıllı) uygulamalarında geosentetik donatılı istinat duvarlarının fiyat farkı Yarma-Dolgu (Çakılsız) uygulamasından daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç bize arka dolgunun betonarme konsol istinat duvarlarında çakılla teşkil edilmesinin ekonomik sonuçlar yaratmadığını göstermiştir.



Tablo 6.3 Yarma-Dolgu Uygulamasında (Çakılsız) Maliyet Karşılaştırılması



Betonarme İstinat Duvarları			Geosentetik Donatılı İstinat Duvarları		
h (m)	Maliyet	m <sup>2</sup> Fiyatı	h (m)	Maliyet	m <sup>2</sup> Fiyatı
3.00	454,381,169 TL	151,460,390 TL	3.04	416,722,045 TL	137,079,620 TL
5.00	1,078,316,226 TL	215,663,245 TL	5.13	1,006,461,165 TL	196,191,260 TL
7.60	2,156,259,073 TL	283,718,299 TL	7.60	2,143,775,352 TL	282,075,704 TL

- Geosentetik donatılı istinat duvarlarında stabilize çakıllı malzemenin kullanılması zorunludur. Bu nedenle betonarme konsol istinat duvarları ancak yarmadan çıkan malzemenin arka dolguda kullanılması ile geosentetik donatılı istinat duvarlarına yakın bir maliyet çıkarabilir.
- Özel sektörden edinilen bilgilere göre betonarme konsol istinat duvarlarının imalat hızı geosentetik donatılı istinat duvarlarına nazaran daha düşüktür. Ancak bu bilgiyi doğrulayacak karşılaştırmalı bir saha çalışması henüz akademik olarak gerçekleştirilmediğinden bu parametre sadece göreceli olmaktadır. Ancak imalat hızı projenin tamamında önemli bir kazanç sağlayacağından şimdi yapacağımız bu karşılaştırma sadece ileride yapılacak bir imalat hızı araştırmasına yol açacak bir durum olmaktan öteye gitmeyecektir.

Geosentetik donatılı istinat duvarlarına ait ülkemizde henüz ayrıntılı bir uygulama ve/veya bilgilendirme amacı ile yazılmış bir şartname yoktur. EK F'de bu amaca hizmet eden genel bir şartname çalışması verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] **BARRETT,R.,J.**, 1966. Use of Plastic Filters in Coastal Protection, Proc.16th
- [2] **CİNDEMİR, Y., O.**, 1997. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] **ÇORUH., T.**, 1993. Jeosentetikler, D.S.İ Tek.Ar. ve Kal..Kont. D..Baş., Ankara
- [4] **GIROUD, J.,P.**, 1986. From Geotextiles To Geosynthetics: A Revolution in Geotechnical Engineering, 3rd Int.Conf.on Geotextiles, Vienna, pp 1-18 Int. Conf Coastal Eng., pp 1048-1067, Tokyo, Sept.
- [5] **GREENWOOD, H., MYLES, B.**, Creep and Stress Relaxation of Geotextiles, 3rd Int.Conf. on Geotextiles, pp 821-26, Vienna
- [6] **INGOLD, T., S.**, 1982. Reinforced Earth, Thomas Telford Ltd., London
- [7] **INGOLD,T.S., MILLER., K.S.**, 1988. Geotextiles Handbook, Thomas Telford Ltd., London
- [8] **JOHN, N., W., M.**, 1987. Geotextiles, Blackie and Son Ltd., London,
- [9] **KRAMER, S., L.**, 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc.
- [10] **KOERNER, R. and M., WELSH, J.,P.**, 1980. Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics, John Wiley and Sons, New York
- [11] **KOERNER, R.M.**, 1986. Designing with Geosynthetics, Prentice Hall, Inc.
- [12] **NAFAC**, 1982. DM-7.1, Soil Mechanics
- [13] **NAFAC**, 1982. DM-7.2, Foundations and Earth Structures
- [14] **NAFAC**, 1983. DM-7.3, Soil Dynamics, Deep Stabilization and Special Geotechnical Construction
- [15] **NCMA**, 1997. Design Manual For Segmental Retaining Walls
- [16] **NCMA**, 1998. Seismic Design Manual For Segmental Retaining Walls
- [17] **STEEDMAN, R., S. and ZENG, X.**, 1990. The Seismic Response of Waterfront Retaining Walls, *ASCE Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures*, Special Technical Publication 25, Cornell University, Ithaca, New York
- [18] **TUNÇ, A.**, 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım
- [19] **VAN ZANTAN, R., V.**, 1986.Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, Balkema Pub., Rotterdam
- [20] **WASTI, Y.**, 1992. Geotekstillerin Kullanım Ve Seçim Esasları, Vateks A.Ş., Teknik Yayınları
- [21] **YETİMOĞLU, T.**, 1991. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller, Zemin Müh. Der., Zem. Mek. ve Tem. Müh. Türk Mil. Kom. Bül., s 63-80
- [22] **www.birimfiyat.net**

# EKLER

**EK A Tablo A.1** *Sadece Dolgu'* da H = 3,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.28	1,037,680 TL
2	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.28	13,287,984 TL
3	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	6.20	53,239,400 TL
4	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.18	1,669,196 TL
5	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.18	1,906,829 TL
6	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.05	36,519,929 TL
7	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.13	97,065,633 TL
8	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	1.93	20,374,200 TL
9	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	1.93	117,764,621 TL
10	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	12.60	46,695,600 TL
11	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	12.60	46,695,600 TL
12	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	12.60	130,747,680 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	12.60	4,081,456 TL
14	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.02	620,905 TL
15	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.04	102,372 TL
16	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 

586,939,335 TL
----------------

**EK A Tablo A.2** Sadece Dolgu' da H = 5,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.46	1,704,760 TL
2	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.46	21,830,259 TL
3	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	10.20	87,587,400 TL
4	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.45	4,148,054 TL
5	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.45	4,738,586 TL
6	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.05	37,026,231 TL
7	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.40	290,281,895 TL
8	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	4.29	45,405,360 TL
9	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	4.29	262,446,870 TL
10	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	35.29	130,784,740 TL
11	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	35.29	130,784,740 TL
12	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	35.29	366,197,272 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	35.29	11,431,317 TL
14	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.06	1,841,871 TL
15	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.11	303,680 TL
16	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 1,411,643,286 TL

**EK A Tablo A.3** Sadece Dolgu' da H = 7,60 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.62	2,297,720 TL
2	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.62	29,423,392 TL
3	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	15.40	132,239,800 TL
4	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.95	8,845,226 TL
5	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.95	10,104,465 TL
6	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.01	7,232,489 TL
7	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.95	684,491,947 TL
8	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	8.27	87,503,220 TL
9	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	8.27	505,776,107 TL
10	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	82.06	304,114,360 TL
11	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARIÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	82.06	304,114,360 TL
12	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	82.06	851,520,208 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	82.06	26,581,293 TL
14	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.13	4,006,070 TL
15	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.25	660,504 TL
16	18.460/1	ø150 MM SİRİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 2,974,041,413 TL

**EK B Tablo B.1** Yarma-Dolgu' da (Çakıllı) H = 3,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	6.15	6,644,325 TL
2	SNBF.27	ŞANTIYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	11.68	81,587,262 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.28	1,037,680 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.28	13,287,984 TL
5	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	6.20	53,239,400 TL
6	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.18	1,669,196 TL
7	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.18	1,906,829 TL
8	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.05	36,519,929 TL
9	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.13	97,065,633 TL
10	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	1.93	20,374,200 TL
11	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	1.93	117,764,621 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	6.45	23,906,757 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	6.45	23,906,757 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	6.45	66,938,921 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	6.45	2,089,584 TL
16	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.02	620,905 TL
17	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.04	102,372 TL
18	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 563,792,606 TL

**EK B Tablo B.2** Yarma-Dolgu' da (Çakıllı) H = 5,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	16.64	17,983,237 TL
2	SNBF.27	ŞANTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	31.62	220,820,477 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.46	1,704,760 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.46	21,830,259 TL
5	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	10.20	87,587,400 TL
6	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.45	4,148,054 TL
7	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.45	4,738,586 TL
8	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.05	37,026,231 TL
9	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.40	290,281,895 TL
10	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	4.29	45,405,360 TL
11	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	4.29	262,446,870 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	16.64	61,676,431 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	16.64	61,676,431 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	16.64	172,694,005 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	16.64	5,390,864 TL
16	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.06	1,841,871 TL
17	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.11	303,680 TL
18	18.460/1	ø150 MM SİRİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 1,312,686,662 TL



**EK B Tablo B.3** Yarma-Dolgu' da (Çakıllı) H = 7,60 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	37.94	40,992,931 TL
2	SNBF.27	ŞANTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	72.09	503,362,027 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.62	2,297,720 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.62	29,423,392 TL
5	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	15.40	132,239,800 TL
6	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.95	8,845,226 TL
7	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.95	10,104,465 TL
8	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.01	7,232,489 TL
9	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.95	684,491,947 TL
10	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	8.27	87,503,220 TL
11	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	8.27	505,776,107 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	44.12	163,507,786 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARIÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	44.12	163,507,786 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	44.12	457,821,801 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	44.12	14,291,493 TL
16	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.13	4,006,070 TL
17	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.25	660,504 TL
18	18.460/1	ø150 MM SİRİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 2,831,195,016 TL

**EK C Tablo C.1** Yarma-Dolgu' da (Yarmadan Çıkan Malzeme İle) H = 3,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	6.15	6,644,325 TL
2	SNBF.27	ŞANTIYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	11.68	81,587,262 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.28	1,037,680 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.28	13,287,984 TL
5	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	6.20	53,239,400 TL
6	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.18	1,669,196 TL
7	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.18	1,906,829 TL
8	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.05	36,519,929 TL
9	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.13	97,065,633 TL
10	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	1.93	20,374,200 TL
11	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	1.93	117,764,621 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FIGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	0.30	1,112,708 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	0.30	1,112,708 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	0.30	3,115,582 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	6.45	2,089,584 TL
16	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.02	620,905 TL
17	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.04	102,372 TL
18	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 454,381,169 TL

**EK C Tablo C.2** Yarma-Dolgu' da (Yarmadan Çıkan Malzeme İle) H = 5,00 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	16.64	17,983,237 TL
2	SNBF.27	ŞANTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	31.62	220,820,477 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.46	1,704,760 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.46	21,830,259 TL
5	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	10.20	87,587,400 TL
6	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.45	4,148,054 TL
7	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.45	4,738,586 TL
8	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.05	37,026,231 TL
9	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.40	290,281,895 TL
10	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	4.29	45,405,360 TL
11	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	4.29	262,446,870 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	16.64	61,676,431 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	16.64	5,390,864 TL
14	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.06	1,841,871 TL
15	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.11	303,680 TL
16	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 1,078,316,226 TL

**EK C Tablo C.3** Yarma-Dolgu' da (Yarmadan Çıkan Malzeme İle) H = 7,60 m Betonarme Konsol İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	37.94	40,992,931 TL
2	SNBF.27	ŞANTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	72.09	503,362,027 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.62	2,297,720 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.62	29,423,392 TL
5	21.011	BETONARME KALIP YAPILMASI	M2	8,587,000 TL	15.40	132,239,800 TL
6	09.012/1	HERCİNS DEMİRLE,DÜZ SİYAH,DKP SACI TAŞITA YÜKLEME	TON	9,265,000 TL	0.95	8,845,226 TL
7	SNBF.20/B	HERÇEŞİT B.A.VE PROFİL DEMİR NAKLİ(KARABÜK,RUMELİ)	TON	10,584,000 TL	0.95	10,104,465 TL
8	23.001/1	ø 8-ø 12 MM İNCE BETONARME DEMİRİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	792,645,000 TL	0.01	7,232,489 TL
9	23.002	ø14-ø 50 KALIN BETONARME DEMİRİ BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	TON	723,895,000 TL	0.95	684,491,947 TL
10	SNBF.29	HAZIR BETON NAKLİYESİ	M3	10,584,000 TL	8.27	87,503,220 TL
11	16.059	BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	M3	61,176,427 TL	8.27	505,776,107 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	6.18	22,896,131 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARIÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	6.18	22,896,131 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	6.18	64,109,168 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	44.12	14,291,493 TL
16	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.13	4,006,070 TL
17	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.25	660,504 TL
18	18.460/1	ø150 MM SİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 2,156,259,073 TL

**EK D Tablo D.1** *Sadece Dolgu'* da H = 3,04 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.08	296,480 TL
2	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.08	3,796,567 TL
3	SNBF.04	DELİKLİ BLOK TUĞLA NAKLİ (İSTANBUL)	TON	8,333,154 TL	0.82	6,833,186 TL
4	09.018/1	DEL.BLOK TUĞLA, ASMOLEN DÖŞEME,BLOKL.TAŞITA YÜKLEME,BOŞALTMA, İSTİFİ	1000 AD	11,118,000 TL	0.04	455,838 TL
5	ÖZEL 1	19 x 19 x 39 cm STANDART YAPI BLOK MALZEMESİ	AD	2,000,000 TL	41.00	82,000,000 TL
6	ÖZEL 2	KAPLAMA DUVAR ÖNYÜZÜ ÖRÜLMESİ	M2	3,639,100 TL	3.04	11,062,864 TL
7	ÖZEL 3	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ NAKLIYATI	M2	280,000 TL	21.08	5,902,400 TL
8	ÖZEL 4	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ	M2	1,220,000 TL	21.08	25,717,600 TL
9	ÖZEL 5	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ SERİLMESİ	M2	555,900 TL	21.08	11,718,372 TL
10	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FIGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	15.08	55,886,480 TL
11	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	15.08	55,886,480 TL
12	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	15.08	156,482,144 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	15.08	4,884,790 TL
14	15.050	HER CİNS MOTORLU KOMPAKTÖRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	12,009,680 TL	0.01	96,077 TL
15	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.03	959,712 TL
16	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.74	1,981,911 TL
17	18.460/1	Ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 439,091,151 TL

**EK D Tablo D.2** *Sadece Dolgu'* da H = 5,13 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.08	296,480 TL
2	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.08	3,796,567 TL
3	SNBF.04	DELİKLİ BLOK TUĞLA NAKLİ (İSTANBUL)	TON	8,333,154 TL	1.40	11,666,416 TL
4	09.018/1	DEL.BLOK TUĞLA, ASMOLEN DÖŞEME,BLOKL.TAŞITA YÜKLEME,BOŞALTMA, İSTİFİ	1000 AD	11,118,000 TL	0.07	778,260 TL
5	ÖZEL 1	19 x 19 x 39 cm STANDART YAPI BLOK MALZEMESİ	AD	2,000,000 TL	70.00	140,000,000 TL
6	ÖZEL 2	KAPLAMA DUVAR ÖNYÜZÜ ÖRÜLMESİ	M2	3,639,100 TL	5.13	18,668,583 TL
7	ÖZEL 3	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ NAKLIYATI	M2	280,000 TL	45.12	12,633,600 TL
8	ÖZEL 4	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ	M2	1,220,000 TL	45.12	55,046,400 TL
9	ÖZEL 5	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ SERİLMESİ	M2	555,900 TL	45.12	25,082,208 TL
10	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FIGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	43.06	159,580,360 TL
11	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	43.06	159,580,360 TL
12	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	43.06	446,825,008 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	43.06	13,948,215 TL
14	15.050	HER CİNS MOTORLU KOMPAKTÖRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	12,009,680 TL	0.01	124,901 TL
15	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.08	2,329,846 TL
16	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	1.64	4,360,803 TL
17	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 1,069,848,256 TL

**EK D Tablo D.3** *Sadece Dolgu'* da H = 7,60 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.08	296,480 TL
2	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.08	3,796,567 TL
3	SNBF.04	DELİKLİ BLOK TUĞLA NAKLİ (İSTANBUL)	TON	8,333,154 TL	2.06	17,166,297 TL
4	09.018/1	DEL.BLOK TUĞLA, ASMOLEN DÖŞEME,BLOKL.TAŞITA YÜKLEME,BOŞALTMA, İSTİFİ	1000 AD	11,118,000 TL	0.10	1,145,154 TL
5	ÖZEL 1	19 x 19 x 39 cm STANDART YAPI BLOK MALZEMESİ	AD	2,000,000 TL	103.00	206,000,000 TL
6	ÖZEL 2	KAPLAMA DUVAR ÖNYÜZÜ ÖRÜLMESİ	M2	3,639,100 TL	7.60	27,657,160 TL
7	ÖZEL 3	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ NAKLIYATI	M2	280,000 TL	138.31	38,726,800 TL
8	ÖZEL 4	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ	M2	1,220,000 TL	138.31	168,738,200 TL
9	ÖZEL 5	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ SERİLMESİ	M2	555,900 TL	138.31	76,886,529 TL
10	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	94.29	349,438,740 TL
11	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	94.29	349,438,740 TL
12	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	94.29	978,428,472 TL
13	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	94.29	30,542,897 TL
14	15.050	HER CİNS MOTORLU KOMPAKTÖRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	12,009,680 TL	0.02	240,194 TL
15	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.23	6,910,047 TL
16	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	4.65	12,391,937 TL
17	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 2,282,934,463 TL

**EK E Tablo E.1** Yarma-Dolgu' da H = 3,04 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	5.91	6,389,611 TL
2	SNBF.27	ŞANTIYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	11.24	78,459,560 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.08	296,480 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.08	3,796,567 TL
5	SNBF.04	DELİKLİ BLOK TUĞLA NAKLİ (İSTANBUL)	TON	8,333,154 TL	0.82	6,833,186 TL
6	09.018/1	DEL.BLOK TUĞLA, ASMOLEN DÖŞEME,BLOKL.TAŞITA YÜKLEME,BOŞALTMA, İSTİFİ	1000 AD	11,118,000 TL	0.04	455,838 TL
7	ÖZEL 1	19 x 19 x 39 cm STANDART YAPI BLOK MALZEMESİ	AD	2,000,000 TL	41.00	82,000,000 TL
8	ÖZEL 2	KAPLAMA DUVAR ÖNYÜZÜ ÖRÜLMESİ	M2	3,639,100 TL	3.04	11,062,864 TL
9	ÖZEL 3	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ NAKLİYATI	M2	280,000 TL	21.08	5,902,400 TL
10	ÖZEL 4	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ	M2	1,220,000 TL	21.08	25,717,600 TL
11	ÖZEL 5	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ SERİLMESİ	M2	555,900 TL	21.08	11,718,372 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	9.16	33,948,813 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	9.16	33,948,813 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	9.16	95,056,676 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	9.16	2,967,316 TL
16	15.050	HER CİNS MOTORLU KOMPAKTÖRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	12,009,680 TL	0.01	96,077 TL
17	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.03	959,712 TL
18	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	0.74	1,981,911 TL
19	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 416,722,045 TL



**EK E Tablo E.2** Yarma-Dolgu' da H = 5,13 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	16.84	18,195,480 TL
2	SNBF.27	ŞANTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	32.00	223,426,663 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.08	296,480 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.08	3,796,567 TL
5	SNBF.04	DELİKLİ BLOK TUĞLA NAKLİ (İSTANBUL)	TON	8,333,154 TL	1.40	11,666,416 TL
6	09.018/1	DEL.BLOK TUĞLA, ASMOLEN DÖŞEME,BLOKL.TAŞITA YÜKLEME,BOŞALTMA, İSTİFİ	1000 AD	11,118,000 TL	0.07	778,260 TL
7	ÖZEL 1	19 x 19 x 39 cm STANDART YAPI BLOK MALZEMESİ	AD	2,000,000 TL	70.00	140,000,000 TL
8	ÖZEL 2	KAPLAMA DUVAR ÖNYÜZÜ ÖRÜLMESİ	M2	3,639,100 TL	5.13	18,668,583 TL
9	ÖZEL 3	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ NAKLİYATI	M2	280,000 TL	45.12	12,633,600 TL
10	ÖZEL 4	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ	M2	1,220,000 TL	45.12	55,046,400 TL
11	ÖZEL 5	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ SERİLMESİ	M2	555,900 TL	45.12	25,082,208 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FİGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	26.22	97,173,173 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	26.22	97,173,173 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	26.22	272,084,884 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	26.22	8,493,478 TL
16	15.050	HER CİNS MOTORLU KOMPAKTÖRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	12,009,680 TL	0.01	124,901 TL
17	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.08	2,329,846 TL
18	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	1.64	4,360,803 TL
19	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 1,006,461,165 TL

**EK E Tablo E.3** Yarma-Dolgu' da H = 7,60 m Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı İçin Maliyet Analizi

No	Poz No	Tanım	Birim	Birim Fiyatı (2004)	Adet	Toplam
1	15.001/1A	MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	M3	1,080,421 TL	36.96	39,935,066 TL
2	SNBF.27	ŞANTİYE DIŞINA KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	TON	6,982,500 TL	70.23	490,372,247 TL
3	14.001	EL İLE YUMUŞAK TOPRAK KAZILMASI	M3	3,706,000 TL	0.08	296,480 TL
4	16.002	200 DOZLU DEMİRSİZ BETON	M3	47,457,084 TL	0.08	3,796,567 TL
5	SNBF.04	DELİKLİ BLOK TUĞLA NAKLİ (İSTANBUL)	TON	8,333,154 TL	2.06	17,166,297 TL
6	09.018/1	DEL.BLOK TUĞLA, ASMOLEN DÖŞEME,BLOKL.TAŞITA YÜKLEME,BOŞALTMA, İSTİFİ	1000 AD	11,118,000 TL	0.10	1,145,154 TL
7	ÖZEL 1	19 x 19 x 39 cm STANDART YAPI BLOK MALZEMESİ	AD	2,000,000 TL	103.00	206,000,000 TL
8	ÖZEL 2	KAPLAMA DUVAR ÖNYÜZÜ ÖRÜLMESİ	M2	3,639,100 TL	7.60	27,657,160 TL
9	ÖZEL 3	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ NAKLİYATI	M2	280,000 TL	138.31	38,726,800 TL
10	ÖZEL 4	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ	M2	1,220,000 TL	138.31	168,738,200 TL
11	ÖZEL 5	GEOSENTETİK DONATI MALZEMESİ SERİLMESİ	M2	555,900 TL	138.31	76,886,529 TL
12	09.003/1	KUM,ÇAKIL,TUVENAN,STABİLİZE, KİLİN TAŞITA YÜKLEME, BOŞALTMA VE FIGÜRESİ.	M3	3,706,000 TL	57.33	212,460,866 TL
13	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELİ HARİÇ) NAKLİ	M3	3,706,000 TL	57.33	212,460,866 TL
14	04.003/B	ÇAKIL (08.003)	M3	10,376,800 TL	57.33	594,890,426 TL
15	15.140	MAKİNA İLE KIRMATAŞ, KUM ÇAKIL V.B. MALZEME SERME	M3	323,925 TL	57.33	18,570,266 TL
16	15.050	HER CİNS MOTORLU KOMPAKTÖRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	12,009,680 TL	0.02	240,194 TL
17	15.052	TİTREŞİMLİ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMA YAPILMASI	SA	30,293,936 TL	0.23	6,910,047 TL
18	15.047	ARAZÖZ İLE SULAMA	TON	2,663,859 TL	4.65	12,391,937 TL
19	18.460/1	ø150 MM SPİRAL SARIMLI PVC BORU DÖŞENMESİ (DRENAJ,Y.SUYU İÇİN)	M	15,130,250 TL	1.00	15,130,250 TL

TOPLAM 2,143,775,352 TL

## **EK F GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARI İÇİN HAZIRLANMIŞ ÖRNEK ŞARTNAME**

### **GENEL**

### **ÖZET**

Bu şartname “Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Zemin (MSE)” türünde yapılacak istinat duvar sisteminin donanımı ve inşaatı hakkında bilgi vermektedir. Duvar sistemi; yüksek çekme mukavemetli polipropilen (PP) geotekstil ve/veya polietilen (PET) geogrid vasıtasıyla duvar ön yüzünde teşkil edecek üniter bloklarla bağlanacaktır. Duvar işi bu şartname esas alınarak yapılacak ve aynı zamanda proje donelerine (arazi çizgileri, arazi eğimi, dizayn ve boyutlar) uygunluk yüklenici firma tarafından sağlanacaktır.

### **REFERANSLAR**

#### **Deutsches Institut für Normung (DIN)**

**DIN-EN-965** Geotekstiller ve Geotekstil 'Benzeri Ürünler - Birim alana kullanılacak geotekstil ağırlığının belirlenmesi

**DIN-EN-ISO 10319** Geotekstiller-Enine çekme testi

**DIN-EN-ISO 12236** Geotekstiller ve Geotekstil Benzeri Ürünler - CBR testi

**DIN-V 60500** Geotekstiller ve Geotekstil Benzeri Ürünler - Uygulama sırasında meydana gelen hasarlara karşı gösterilen direncin belirlenmesi

**DIN-EN-918** Geotekstiller ve Geotekstil Benzeri Ürünler - Dinamik Performans Testi(Standart Proktor Testi)

**DIN-EN-ISO-11058** Geotekstiller ve Geotekstil Benzeri Ürünler - Hiçbir yük altında olmadan yüzeye normal halde iken su permeabilite

karakteristiğinin belirlenmesi

**DIN-EN 12225** Geotekstiller ve Geotekstil Benzeri Ürünler -  
Zemine gömme testi ile mikrobiyolojik direncinin belirlenmesi

#### **American Society for Testing and Materials (ASTM)**

**ASTM-D-4355** Geotekstillerin ultraviyole ışınlarına maruz kalması durumunda meydana gelen hasarın tespit edilmesi için test

**ASTM-D-698** Standart yük altında laboratuvar Kompaksiyon Testi

Şartnamelerin ve referans dokümanların çelişmesi durumunda mimar/mühendis hangi dokümana uygun iş yapılacağıının son kararın vermekle mükelleftir.

#### **TANIMLAMALAR**

**Üniter Beton Blok** - TS 19 “Portland Çimentoları” standardında belirtilen çimentola, su ve agregadan muhtevi makine imalatı BS 30 beton sınıfına mahsup betonlar

**Geotekstil** - Polipropilen (PP), siyah renkli, örgülü (woven) inşaat malzemesi. Zemin, kaya veya toprağa uygulandığında çekme mukavemeti yaratarak kilitlenme özelliği ile birinci! olarak donatı, ikincil olarak drenaj amaçlı elemanlar

**Geogrid** - Siyah polimerik malzeme ile kaplı, düşük sünmede yüksek çekme mukavemeti sağlayan yüksek gevreklik kapasitesine sahip polietilen (PET) lifli yapıda inşaat malzemesi. Belli boyutlarda kayaç (çakıl ve taş boyutlan) içeren zemin veya toprağa uygulandığında yüksek çekme mukavemeti yaratarak kilitlenme özelliği ile donatı amaçlı elemanlar

**Üniter Beton Blok İç Dolgusu** - İsteğe bağlı olarak “Üniter Beton Blok” iç boş hacmi; bitki tohumlarının yeşerebilmesine elverişli nebati toprak veya kırma taş, çakıl vb. iri daneli malzeme ile doldurulabilir.

**Donatılı Arka Dolgu** - “Karayolları Fenni Şartnamesi”nde belirtilen türde sıkıştırılabilen stabilize inşaat dolgu malzemesi. Projede belirtilen şekilde donatılı

zemin bölgesinde uygulanacak malzeme.

## **NAKLİYE, TAŞIMA VE DEPOLAMA**

Yüklenici, malzeme sahaya nakledildiği sırada üniter beton blokların istenilen tip, renk ve dokuda teslim olunduğunun kontrolünü yapmalıdır

Yüklenici, teslim aldığı üniter beton blokların çamur, su, epoksi ve benzeri maddelerle temasını engellemekle sorumludur.

Yüklenici, teslim aldığı üniter beton blokların taşınmasında ve depolanmasında yetkili kişilerin tavsiyelerine uymak zorundadır.

Yüklenici, üniter beton blokların hesap görmesini engellemektedir. Hasarlı malzemelerin istinat duvarlarında kullanılmamalıdır.

## **KALİTE ONAYI**

İnşaat - Yüklenici firma, “Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Zemin (MSE)” türünde yapılacak istinat duvar sistemlerinin inşaatında en az üç sene deneyime sahip olmalıdır.

Testler - Uygulama sahasından elde edilecek dolgu malzemesinin istinat duvarı inşaatında kullanmaya uygun olup olmadığının tespit edilebilmesi için bağımsız bir zemin laboratuvarında gerekli Kompaksiyon testleri müteahhit tarafından yapılmalıdır.

## **ÜRÜNLER**

Üniter Beton Bloklar , sadece ana bayii, lisanslı ve/veya onaylı Üniter Beton Blok bayileri tarafından imal edilirler.

Geotekstil/Geogrid; istinat duvar inşaatının gerektirdiği özelliklerde onaylı imalatçılardan temin edilmelidir.

## **MALZEME**

Üniter Beton Bloklar için tanımlanmış malzeme, şekil, dayanım ve renk özellikleri aşağıda verilmiştir:

Blok Yapımında Kullanılan Beton Sınıfı	:BS30
Blok Şekli	:Bir yüzü yuvarlak, diğer yüzü düz kırma taş görünümlü dekoratif beton blok
Ortalama Blok Ağırlığı	:23 kg
Tek Sıra İnşa Edilen Duvarların Ortalama Ağırlığı	:530 kg/m <sup>2</sup>
Blok İç Boş Hacmi	:0,0083 m <sup>3</sup>
Bloğun Minimum Ezilme Dayanımı (in-situ)	:8 Mpa
Betonun 28 Günlük Küp Dayanımı (kürsüz)	:25 MPa min.
Bloklar Arası Minimum Sürtünme Direnci, C <sub>f</sub> (Bağlayıcı eleman yok)	:0,54
Blok Rengi	Gri (Standart)

Geotekstil/Geogrid belirtilen genel özelliklerinin yanı sıra UV filtrasyonu sahada serilecek ruloların güneşin zararlı ışınlarından koruması amacıyla gereklidir. Her iki türde en az 40 kN'luk çekme mukavemeti gerekli şarttır. Tip, dayanım ve yerleştirme detayları yapılacak istinat duvarının niteliğine ve mevcut uygulama projesine göre belirlenecektir. Geotekstil için istenilen diğer özellikler aşağıda verilmiştir:

1. Geotekstil örgülü tip olacaktır.
2. Birim genişlikteki (1m) maksimum çekme mukavemeti minimum 40 kN olmalıdır (DIN-EN-ISO 10319).
3. Maksimum çekme kuvveti altında örgülü geotekstil için örgü yönünde deformasyon maksimum 14%, çözgü yönünde deformasyon maksimum 22% olmalıdır. (DIN-EN-ISO 10319)
4. CBR Statik delme- deneyinde minimum delme kuvveti 5,2 kN olmalıdır. (DIN-EN-ISO 12236)

5. Dinamik delme deneyinde maksimum delme çapı 10 mm olmalıdır. (DINEN-918)
6. Karakteristik açıklık büyüklüğü Ø90 (kuru elek metodu) maksimum 150 mikron olmalıdır (NEN 5168).
7. Karakteristik açıklık büyüklüğü Ø90 (ıslak elek metodu) maksimum 0,1 mm olmalıdır. (DIN- V 60500)
8. Ultraviyole dayanımı (500 saat sonunda) çekme mukavemetinin minimum 80%'i kadar olmalıdır (ASTM-D-43 55).
9. Mikrobiyolojik degradasyona karşı iksa çekme mukavemeti 83% oranında olmalıdır (EN 12225).
10. Örgülü geotekstilin permeabilitesi minimum  $25 \times 10^{-3}$  m/s olmalıdır (EN ISO 11058).
11. Geotekstiller güneş altında iki haftadan uzun bırakılmamalıdır. Kullanılana kadar koruma ambalaj! içinde tutulmalıdır.
12. Geotekstillerin üzerine dolgu malzemesi yayılmadan üzerlerinde ağır inşaat makineleri dolaştırılmamalıdır.

Üniter Beton Blok Bağlantıları - Gerektiği takdirde bloklar arası bağlayıcı olarak bir miktar harç kullanılabilir.

### **SEVİYELENDİRME YASTIĞI VE BETONU**

İstinat duvarını teşkil edecek geotekstil/geogridin düzgün tabakalar halinde serilebilmesi için sıkıştırılmış kum, çakıl veya kırma taştan yastık veya inşaat projesinde belirtilen seviyelendirme betonu sahaya uygulanabilir.

Seviyelendirme yastığı minimum 20 cm, seviyelendirme betonu minimum. 10 cm olmalıdır. Bu değerler istinat duyan uygulamasının yapılacağı sahanın zemin koşullarına göre yapılacak hesaplara göre değişkenlik gösterebilir. Hesaplar mutlaka bir geoteknik mühendisi tarafından onaylanmalıdır.

## **DOLGU MALZEMESİ**

Üniter Beton Blok İç Boş Hacim Dolgusu (Çekirdek Dolgu) - Serbest drene olabilen, iri daneli zemin iç boş hacimleri doldurabilir.

a)	75% - 100%	25 mm'lik elekten geçen,
b)	50% - 75%	20 mm'lik elekten geçen,
c)	0% - 60%	No.4 elekten geçen,
d)	0% - 50%	No.40 elekten geçen,
e)	0% - 5%	No.200 elekten geçen,

Drenaj Dolgusu - Serbest drene olabilen, iri daneli zemin, Üniter Beton Blokların arkasında drenaj amaçlı kullanılabilir.

a)	75% - 100%	25 mm'lik elekten geçen,
b)	50% - 75%	20 mm'lik elekten geçen,
c)	0% - 60%	No.4 elekten geçen,
d)	0% - 50%	No.40 elekten geçen,
e)	0% - 5%	No.200 elekten geçen

Donatılı Arka Dolgu - Granüler stabilize dolgu malzemesi kullanılabilir.

f)	75% - 100%	50 mm'lik elekten geçen,
g)	75% - 100%	20 mm'lik elekten geçen,
h)	20% - 100%	No.4 elekten geçen,
i)	0% - 60%	No.40 elekten geçen,
j)	0% - 35%	No.200 elekten geçen,

## **KAZI**

Yüklenici, duvarın projede belirlenen hat boyunca yapılacak seviyelendirme yastığının ve/veya seviyelendirme betonunun hizasına kadar sahayı kazmakla mükelleftir.



Yüklenicinin projede belirtilen hat boyunu ihlal ederek fazla kazı yapması durumunda sıkıştırılmış stabilize dolgu malzemesiyle mimar/mühendisin direktifleri doğrultusunda tekrar fazla kazılmış yerler doldurulacaktır.

Sorunlu zeminlerin kazısı ve yerine uygun sıkıştırılmış dolgu malzemesi konulması işi mutlaka bir geoteknik mühendisin himayesinde yapılmalıdır.

Yüklenici kazıdan önce inşaat sahasına komşu bütün yapıları rapor etmekle yükümlüdür

### **TEMEL HAZIRLIĞI**

İstinat duvarı projesinde belirtilen seviyelendirme yastığı ve/veya seviyelendirme betonu boyutları dikkate alınarak temel kazısı yapılır.

Yeterli taşıma kapasitesi sağlandığından emin olmak için geotekstil/geogrid donatılı bölge ve seviyelendirme yastığı ve/veya seviyelendirme betonu saha mühendisi tarafından kontrol edilmelidir.

Yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayan sorunlu zeminler kaldırılarak yerine geoteknik mühendisinin onaylayacağı sıkıştırılmış dolgu malzemesi konulmalıdır.

Temel zemini seviyelendirme yastığı ve/veya betonu yerleştirilmeden önce minimum 95% SPT (ASTM D698 uyarınca) değerine kadar sıkıştırılmalıdır.

### **SEVİYELENDİRME**

Minimum yükseklik 30 cm olacak şekilde seviyelendirme yastığı ve/veya betonu projede belirtildiği üzere sahaya yerleştirilmelidir.

Seviyelendirme yastığı malzemesi ilk sıra Üniter Beton Blok yerleştirilmesi için sıkı ve düzgün bir seviyelendirme sağlamak amacıyla sıkıştırılmalıdır.

### **ÜNİTER BETON BLOK UYGULANMASI**

İlk sıra Üniter Beton Blok seviyelendirme yastığı ve/veya betonu üzerine blok bloğa ve önden arkaya hizalanmak suretiyle yerleştirilir.

Düz bir hat boyu yaratmak için hizalama çizgisi, temiz konkav veya konveks eğriler yaratmak için ise esnek plastik borular kullanılabilir.

Üniter Beton Blokların ikinci sırasını yerleştirmek ve geotekstil/geogrid serilebilmel için ilk sıra üzerindeki tüm fazlalıklar iyice temizlendirilmelidir.

### **GEOSENTETİK/GEOGRİD YERLEŞTİRİLMESİ**

Geotekstil/geogrid, duvar doğrultusuna dik olacak şekilde hat boyunca kesintisiz birbirine eklenerek/bağlanarak her Üniter Beton Blok alt ve üst yüzeyine ve arka stabilize dolgu üzerine hesaplanan donatı boylarında yatay olarak serilir.

Bu işlemlere istinat duvarı projesinde belirtilen yüksekliğe erişene kadar devam edilir.

Serme işlemi için minimum donatılı dolgu yüksekliği 20 cm olmalıdır.

### **DRENAJ DOLGUSU**

Drenaj dolgusu duvarından en az 10 en çok 40 cm mesafede teşkil edilmelidir. Drenaj dolgusu ve Üniter Beton Blok iç boş hacimlerin dolgusu, Bölüm 2.05'te belirtilen iri daneli zemin özelliklerini gösteren dolgu malzemesinden olmalıdır.

Drenaj dolgusu, geotekstil/geogrid teşkilinden sonra duvar ile donatılı zemin arasına yerleştirilmelidir. Blok iç boş hacimlerin dolgusu özenle yapılmalıdır.

### **ARKA DOLGU**

Donatılı dolgu alanına stabilize dolgu malzemesi maksimum 20cm yükseklikte uygulanmalıdır ve ASTM D698 standartlarına göre 95% SPT değerine kadar sıkıştırılmalıdır.

Üniter Beton Bloklara maksimum 50 cm yaklaşmak suretiyle el Kompaksiyon makineleri sıkıştırma amaçlı kullanılabilir.

Donatılı zemin bölgesinde arka dolgu mümkün olduğunca seviyelendirilmeli ve düzgün bir satıh sağlanmalıdır. Bu işlemler geotekstil/geogrid malzemenin düzgün serilebilmesi için gereklidir.

## **HARPUŞTA UYGULAMALARI**

Üst sıra Üniter Beton Bloklarda yeşillendirme yapılmak istenmezse bloklar için özel üretilmiş harpuőtaların kullanılması tercih edilmelidir. İsteğe göre yüklenici tarafından kullanılabilir.

Bir ip ve/veya esnek borular yardımıyla harpuőtaların hizalanması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **BARRETT,R.,J.**, 1966. Use of Plastic Filters in Coastal Protection, Proc.16th
- [2] **CİNDEMİR, Y., O.**, 1997. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] **ÇORUH., T.**, 1993. Jeosentetikler, D.S.İ Tek.Ar. ve Kal..Kont. D..Baş., Ankara
- [4] **GIROUD, J.,P.**, 1986. From Geotextiles To Geosynthetics: A Revolution in Geotechnical Engineering, 3rd Int.Conf.on Geotextiles, Vienna, pp 1-18 Int. Conf Coastal Eng., pp 1048-1067, Tokyo, Sept.
- [5] **GREENWOOD, H., MYLES, B.**, Creep and Stress Relaxation of Geotextiles, 3rd Int.Conf. on Geotextiles, pp 821-26, Vienna
- [6] **INGOLD, T., S.**, 1982. Reinforced Earth, Thomas Telford Ltd., London
- [7] **INGOLD,T.S., MILLER., K.S.**, 1988. Geotextiles Handbook, Thomas Telford Ltd., London
- [8] **JOHN, N., W., M.**, 1987. Geotextiles, Blackie and Son Ltd., London,
- [9] **KRAMER, S., L.**, 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc.
- [10] **KOERNER, R. and M., WELSH, J.,P.**, 1980. Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics, John Wiley and Sons, New York
- [11] **KOERNER, R.M.**, 1986. Designing with Geosynthetics, Prentice Hall, Inc.
- [12] **NAFAC**, 1982. DM-7.1, Soil Mechanics
- [13] **NAFAC**, 1982. DM-7.2, Foundations and Earth Structures
- [14] **NAFAC**, 1983. DM-7.3, Soil Dynamics, Deep Stabilization and Special Geotechnical Construction
- [15] **NCMA**, 1997. Design Manual For Segmental Retaining Walls
- [16] **NCMA**, 1998. Seismic Design Manual For Segmental Retaining Walls
- [17] **STEEDMAN, R., S. and ZENG, X.**, 1990. The Seismic Response of Waterfront Retaining Walls, *ASCE Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures*, Special Technical Publication 25, Cornell University, Ithaca, New York
- [18] **TUNÇ, A.**, 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım
- [19] **VAN ZANTAN, R., V.**, 1986.Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, Balkema Pub., Rotterdam
- [20] **WASTI, Y.**, 1992. Geotekstillerin Kullanım Ve Seçim Esasları, Vateks A.Ş., Teknik Yayınları
- [21] **YETİMOĞLU, T.**, 1991. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller, Zemin Müh. Der., Zem. Mek. ve Tem. Müh. Türk Mil. Kom. Bül., s 63-80
- [22] **www.birimfiyat.net**

## **ÖZGEÇMİŞ**

DEMİREZEN Begüm. 1978 yılında Ankara' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara' da tamamladıktan sonra 1996 yılında Ankara Gazi Anadolu Lisesi' nden mezun oldu. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü' ne girdi. Lisans eğitimini 2001 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl fakültenin Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Ana Bilim Dalı' nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen özel sektörde çalışmalarını sürdürmektedir.